

**UJI KOMPARASI DATA PERHITUNGAN AWAL WAKTU
SALAT ANTARA VERSI *TRUNCATED* DAN *HIGHER
ACCURACY* DALAM BUKU ASTRONOMICAL ALGORITHMS
KARYA JEAN MEEUS**

SKRIPSI

Oleh

Indana Zuyyina Illiyyin

NIM. CO6219019



**UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A**

Universitas Islam Negeri Sunan Ampel

Fakultas Syariah dan Hukum

Jurusan Hukum Perdata Islam

Program Studi Ilmu Falak

Surabaya

2023

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Indana Zuyyina Illiyyin
NIM C06219019
Fakultas/Prodi Syariah dan Hukum/ Ilmu Falak
Judul Uji Komparasi Data Perhitungan Awal Waktu Salat
Antara Versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam Buku *Astronomical Algorithms* Karya Jean Meeus

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

Surabaya, 26 Juni 2023
Saya yang menyatakan,



Indana Zuyyina Illiyyin
NIM. C06219019

PERSETUJUAN PEMBIMBING

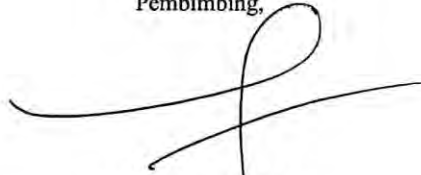
Skripsi yang ditulis oleh:

Nama : Indana Zuyyina Illiyyin
NIM. : C06219019
Judul : Uji Komparasi Data Perhitungan Awal Waktu Salat
Antara Versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam
Buku *Astronomical Algorithms* Karya Jean Meeus

telah diberikan bimbingan, arahan dan koreksi sehingga dinyatakan layak dan disetujui untuk diajukan kepada Fakultas guna diujikan pada sidang munaqasah.

Surabaya, 27 Juni 2023

Pembimbing,



Agus Solikin, M.S.I

NIP. 198608162015031003

PENGESAHAN

Skripsi yang ditulis oleh:

Nama : Indana Zuyyina Illiyyin

NIM : C06219019

Telah dipertahankan di depan sidang Majelis Munaqasah Skripsi Fakultas Syariah dan Hukum UIN Sunan Ampel pada hari Rabu, tanggal 12 Juli 2023, dan dapat diterima sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana strata satu dalam Program Studi Ilmu Falak.

Majelis Munaqasah Skripsi:

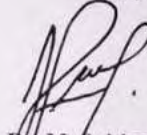
Penguji I



Agus Solikin, M.S.I.

NIP. 198608162015031003

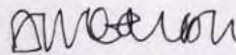
Penguji II



Dr. M. Sulthon, MA

NIP. 197205152006041003

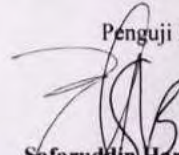
Penguji III



A. Mufti Khazin, M.H.I.

NIP. 197303132009011004

Penguji IV



Safaruddin Harefa, M.H.

NIP. 202111004

Surabaya, 12 Juli 2023

Mengesahkan,

Fakultas Syariah dan Hukum

Universitas Islam Negeri Sunan Ampel

Dekan,



Dr. H. Sugeng Musafa'ah, M.Ag.

NIP. 196303271999032001

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Indana Zuyyina Illiyyin
NIM : C06219019
Fakultas/Jurusan : Syariah dan Hukum/ Ilmu Falak
E-mail address : indanazuyy11@gmail.com

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

Skripsi Tesis Desertas Lain-lain (.....)
yang berjudul : Uji Komparasi Data Perhitungan Awalo Waktu Salat Antara Versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* Dalam Buku *Astronomical Algorithms* Karya Jean Meeus

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

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

Demikian pernyataan ini yang saya buat dengan sebenarnya.

Surabaya, 18 Juli 2023
Penulis



(Indana Zuyyina Illiyyin)

ABSTRAK

Komparasi atau perbandingan antara perhitungan pastinya memiliki penyebab seperti metode hisab yang berbeda, algoritma perhitungan yang berbeda atau karena perbedaan lainnya. Untuk membuktikan keakuratan hasil hisab tersebut, Skripsi ini menjawab pertanyaan yang dituangkan dalam rumusan masalah: bagaimana perhitungan data Matahari *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus? Serta bagaimana komparasi perhitungan data Matahari antara versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical algorithms* Karya Jean Meeus untuk perhitungan awal waktu salat?.

Penelitian ini merupakan jenis penelitian studi pustaka (*library research*), yang bersifat deskriptif kualitatif. Metode analisis data yang penulis gunakan dalam penelitian ini adalah metode komparatif deskriptif. Metode pengumpulan data yang penulis gunakan adalah dokumentasi. Data primer dalam penelitian ini yaitu perhitungan data Matahari dalam versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus. Sedangkan sumber data sekunder dalam penelitian ini adalah buku, jurnal, artikel ilmiah dan sumber-sumber lainnya yang terkait dengan penelitian ini.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan jawaban dari dua rumusan masalah yakni: pertama, algoritma *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* Jean Meeus dapat digunakan untuk mengumpulkan data Matahari, seperti Deklinasi, Equation of Time, Asensioekta Matahari dan lainnya untuk menentukan waktu salat. Kedua, dibandingkan dengan teknik *Higher Accuracy*, *Truncated* memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi untuk dapat dijadikan alternatif memperoleh data-data Matahari untuk perhitungan waktu salat. Hal ini ditunjukkan dengan selisih rata-ratanya adalah 0,6 detik dan selisih terbesarnya 2,5 detik. Maka dari itu metode *Truncated* ini layak untuk dijadikan alternatif memperoleh data-data Matahari untuk perhitungan waktu salat selain menggunakan metode *Higher Accuracy*.

Keberadaan penelitian ini diharapkan dapat memperkaya gudang pengetahuan pembaca dan menjadi batu loncatan untuk penelitian yang lebih lanjut. Di sini, penulis memberikan saran kepada para pembaca terutama penggiat ilmu Falak untuk dapat mengimplementasikan serta mengembangkan metode *Truncated* ini menggunakan bahasa pemrograman seperti *Visual Basic*, *Python*, dan sebagainya. Diharapkan para pembaca dapat menelaah dan mengkaji lebih terhadap metode *Truncated* ini.

DAFTAR ISI

SAMPUL DALAM.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR TRANSLITERASI.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi dan Batasan Masalah.....	5
C. Rumusan Masalah.....	6
D. Kajian Pustaka.....	7
E. Tujuan Penelitian.....	10
F. Kegunaan Hasil Penelitian.....	10
G. Definisi Operasional.....	11
H. Metode Penelitian.....	12
I. Sistematika Penulisan.....	15
BAB II AWAL WAKTU SALAT.....	17
A. Pengertian Salat.....	17
B. Dasar Hukum Waktu Salat.....	18
C. Awal Waktu Salat.....	22

D. Data Perhitungan Awal Waktu Salat	27
BAB III DATA MATAHARI VERSI <i>TRUNCATED</i> DAN <i>HIGHER ACCURACY</i> DALAM BUKU ASTRONOMICAL ALGORITHMS.....	33
A. Biografi Jean Meeus dan Buku <i>Astronomical Algorithms Second Edition</i>	33
B. Perhitungan Data Matahari Versi <i>Truncated</i> dan <i>Higher Accuracy</i> dalam Buku <i>Astronomical Algorithms Second Edition</i>	34
BAB IV UJI KOMPARASI DATA PERHITUNGAN AWAL WAKTU SALAT VERSI <i>TRUNCATED</i> DAN <i>HIGHER ACCURACY</i> DALAM BUKU ASTRONOMICAL ALGOTIHMS KARYA JEAN MEEUS.....	124
A. Perhitungan Waktu Salat dengan Data Matahari Versi <i>Truncated</i> dan <i>Higher Accuracy</i> dalam Buku <i>Astronomical Algorithms</i>	124
B. Komparasi Perhitungan Waktu Salat dengan Data Matahari Versi <i>Truncated</i> dan <i>Higher Accuracy</i> dalam Buku <i>Astronomical Algorithms</i>	133
BAB V PENUTUP.....	138
A. Kesimpulan	138
B. Saran	139
DAFTAR PUSTAKA	140

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1. Grafik selisih detik waktu Zuhur Truncated dan Higher Accuracy 2023-2024	134
Gambar 4. 2. Grafik selisih detik waktu Asar Truncated dan Higher Accuracy 2023-2024	134
Gambar 4.3. Grafik selisih detik waktu Magrib Truncated dan Higher Accuracy 2023-2024	134
Gambar 4. 4 Grafik selisih detik waktu Isya Truncated dan Higher Accuracy 2023-2024.....	135
Gambar 4. 5. Grafik selisih detik waktu Subuh Truncated dan Higher Accuracy 2023-2024.....	135



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1. Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Truncated Waktu Zuhur	39
Tabel 3. 2. Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Truncated Waktu Asar	47
Tabel 3. 3. Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Truncated Waktu Magrib	55
Tabel 3. 4. Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Truncated Waktu Isya	62
Tabel 3. 5. Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Truncated Waktu Isya	70
Tabel 3. 6. Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Higher Accuracy Waktu Zuhur	80
Tabel 3. 7. Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Higher Accuracy Waktu Asar	89
Tabel 3. 8. Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Higher Accuracy Waktu Magrib	99
Tabel 3. 9. Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Higher Accuracy Waktu Isya	109
Tabel 3. 10. Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Higher Accuracy Waktu Subuh.....	119
Tabel 4. 1. Hasil Perbandingan Perhitungan Waktu Salat antara Truncated dan Higher Accuracy	132
Tabel 4. 2. Nilai rata-rata selisih detik waktu salat antara Truncated dan Higher Accuracy.....	136
Tabel 4. 3. Nilai maksimum rata-rata selisih detik waktu salat antara Truncated dan Higher Accuracy.....	136
Tabel 4. 4. Nilai selisih rata-rata keseluruhan data waktu salat antara Truncated dan Higher Accuracy.....	136
Tabel 4. 5. Nilai selisih maksimum keseluruhan data waktu salat antara Truncated dan Higher Accuracy.....	136

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Salat menempati kedudukan yang agung dalam agama Islam karena merupakan tiang agama. Salat merupakan media untuk berinteraksi secara langsung dengan Tuhannya bagi orang-orang yang beriman.¹ Salat juga merupakan salah satu bagian dari lima rukum Islam. Sehingga salat wajib hukumnya untuk dilaksanakan oleh seorang muslim, sebagai bentuk untuk menyembah Sang Pencipta. Dalam Alquran Allah Swt. telah memberikan perintah kepada hamba-Nya untuk mengerjakan salat melalui firman-firmanNya, antara lain:

إِنِّي أَنَا اللَّهُ لَا إِلَهَ إِلَّا أَنَا فَاعْبُدْنِي وَأَقِمِ الصَّلَاةَ لِذِكْرِي

Sesungguhnya Aku adalah Allah, tidak ada tuhan selain Aku. Maka, sembahlah Aku dan tegakkanlah salat untuk mengingat-Ku. (Q.S. Taḥa ayat 14)²

أَتْلُ مَا أُوْحِيَ إِلَيْكَ مِنَ الْكِتَابِ وَأَقِمِ الصَّلَاةَ إِنَّ الصَّلَاةَ تَنْهَى عَنِ الْفَحْشَاءِ وَالْمُنْكَرِ وَلَذِكْرُ اللَّهِ أَكْبَرُ وَاللَّهُ يَعْلَمُ مَا تَصْنَعُونَ

Bacalah (Nabi Muhammad) Kitab (Al-Qur'an) yang telah diwahyukan kepadamu dan tegakkanlah salat. Sesungguhnya salat itu mencegah dari (perbuatan) keji dan mungkar. Sungguh, mengingat Allah (salat) itu lebih besar (keutamaannya daripada ibadah yang lain). Allah mengetahui apa yang kamu kerjakan. (Q.S. al-Ankabut ayat 45)³

¹ Muhammad Hadi Bashori, *Pengantar Ilmu Falak*, (Jakarta: Pustaka Al-Kautsar, 2015), 145.

² Lajnah Pentashihan Mushaf Alquran, *Aplikasi Alquran Kemenag*, 313.

³ Lajnah Pentashihan Mushaf Alquran, *Aplikasi Alquran Kemenag*, 401.

Pada ayat di atas Allah Swt. menjelaskan mengenai betapa utamanya ibadah salat, bahkan jika dibandingkan dengan ibadah-ibadah lainnya. Salat merupakan ibadah yang dihukumi fardu atau wajib sejak awal diutusnya Rasulullah saw.⁴

Terdapat ketentuan-ketentuan tentang bagaimana melaksanakan ibadah salat. Hal ini telah diatur dalam Alquran dan hadist. Seperti mengenai tata caranya, waktu pelaksanaannya, bahkan keringanan yang diberikan, dan lain sebagainya. Tertulis dalam Q.S. al-Mu'min pada awal diturunkannya perintah salat Allah Swt. memerintahkan agar salat dilaksanakan dalam dua waktu:

فَاصْبِرْ إِنَّ وَعْدَ اللَّهِ حَقٌّ وَاسْتَغْفِرْ لِذُنُوبِكُمْ وَسَبِّحْ بِحَمْدِ رَبِّكَ بِالْعِشِيِّ وَالْإِبْكَارِ

“Bersabarlah, sesungguhnya janji Allah itu benar, mohonlah ampun untuk dosamu, dan bertasbihlah seraya memuji Tuhanmu pada waktu petang dan pagi.” (Q.S. Ghafir ayat 55)⁵

Para ulama sepakat bahwasannya peristiwa Isra Mikraj merupakan peristiwa dimana Allah Swt. memerintahkan kepada Rasulullah Saw mengenai salat lima waktu.⁶ Peristiwa Isra Mikraj sendiri merupakan gambaran dari nilai estetika ibadah salat sebagai salah satu ibadah yang paling utama bagi setiap umat muslim yang memiliki sifat *qat'i*.⁷ Pada peristiwa Isra Mikraj tersebut Allah Swt. memerintahkan kepada manusia khususnya umat nabi Muhammad saw. untuk melaksanakan salat lima waktu dalam sehari semalam. Adapun yang dimaksud lima waktu di sini, sebagaimana tentunya telah yang dikenal oleh

⁴ Akh Mukarrom, *Ilmu Falak*, (Sidoarjo: Grafika Media, 2012), 48.

⁵ Lajnah Pentashihan Mushaf Alquran, *Aplikasi Alquran Kemenag*, 473.

⁶ Rahmat Hidayat, *Rukyat Hisab Waktu Salat*, (Medan: Rawda Publishing, 2021), 55.

⁷ *Ibid.*, 56.

masyarakat muslim hingga saat ini, yaitu waktu salat Zuhur, waktu salat Asar, waktu salat Magrib, waktu salat Isya, dan waktu salat Subuh.

Karena salat merupakan kewajiban yang harus dipenuhi pada waktu tertentu, maka salat merupakan bagian dari ibadah *muwaqqat*, atau ibadah yang telah ditentukan waktu pelaksanaannya.⁸

Salat fardu dinyatakan sah dan hanya diperbolehkan pelaksanaannya selama waktu yang telah ditentukan oleh Allah Swt. Hal ini terdapat dalam Q.S. an-Nisa' ayat 103 yang berbunyi:

فَإِذَا فَضَيْتُمُ الصَّلَاةَ فَادْكُرُوا اللَّهَ قِيَامًا وَفُجُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِكُمْ ۚ فَإِذَا اطْمَأْنَنْتُمْ فَأَقِيمُوا الصَّلَاةَ ۗ إِنَّ الصَّلَاةَ كَانَتْ عَلَى الْمُؤْمِنِينَ كِتَابًا مَّوْقُوتًا

“Apabila kamu telah menyelesaikan salat, berzikirlah kepada Allah (mengingat dan menyebut-Nya), baik ketika kamu berdiri, duduk, maupun berbaring. Apabila kamu telah merasa aman, laksanakanlah salat itu (dengan sempurna). Sesungguhnya salat itu merupakan kewajiban yang waktunya telah ditentukan atas orang-orang mukmin.” (Q.S. an-Nisa' ayat 103)⁹

Seiring dengan kemajuan teknologi dan ilmu pengetahuan, telah lahir beberapa metode untuk perhitungan waktu salat baik yang bersifat klasik hingga kontemporer. Bahkan tak sedikit buku-buku astronomi tersebut ditulis oleh ilmuwan-ilmuwan non muslim. Buku-buku astronomi tersebut dapat digunakan untuk membantu menyelesaikan beberapa permasalahan dalam ilmu falak salah satunya yaitu untuk perhitungan waktu salat. Salah satu buku yang dapat diimplementasikan dalam menghitung waktu salat adalah “*Astronomical Algorithms Second Edition*”, yaitu buku karya Jean Meeus.

⁸ Zainul Arifin, *Ilmu Falak*, (Yogyakarta: Lukita, 2013), 31.

⁹ Lajnah Pentashihan Mushaf Alquran, *Aplikasi Alquran Kemenag*, 95.

Jean Meeus lahir pada tanggal 12 Desember 1928 M. Dia adalah seorang astronom Belgia yang berkonsentrasi mempelajari astronomi bola, matematika, dan mekanika langit. Jean Meeus menyelesaikan studi sarjananya di bidang matematika di Universitas Leuven di Belgia pada tahun 1953. Pada tahun 1986, Jean Meeus memenangkan *Amateur Achievement Award* dari Astronomical Society of Pasific. Sejak tahun 1948, Jean Meeus merupakan anggota Astronomical Society of France (ASF). Lebih dari 100 karya Jean Meeus dipilih dari ASF. Jean Meeus juga menjadi editor dalam almanak perusahaannya selama 25 tahun.¹⁰

Buku *Astronomical Algorithms Second Edition* ini merupakan salah satu karyanya yang berisi perhitungan-perhitungan Astronomi.

Buku ini merupakan versi perbaikan besar-besaran dari versi yang lama. Topik bahasannya diperluas dan isinya telah diperbaiki. Sebuah resolusi baru dari *The International Astronomical Union* yang telah menyoroti perlunya beberapa modifikasi. Terutama yang berkaitan dengan penerapan epoch standar baru. Selain itu kita diuntungkan dengan adanya teori-teori baru terkait planet dan bulan yang dikembangkan oleh *The Bureau des Longitudes* di Paris. Karena algoritma Jean Meeus ini dirancang untuk menjadi panduan bagi para astronom (baik profesional maupun amatir), maka algoritma Jean Meeus ini hanya dibatasi pada matematika astronomi.¹¹

¹⁰ Khozinur Rohman, “Studi Komparasi Algoritma *Equation of Time* Versi Jean Meeus dan Newcomb”, (Skripsi—UIN Walisongo, Semarang, 2016), 41.

¹¹ Jean Meeus, *Astronomical Algorithms Second Algorithms* (Virginia: Willben-Bell, 1998), 4.

Buku *Astronomical Algorithms* ini mencakup berbagai algoritma yang dapat digunakan untuk menghitung waktu salat, termasuk metode *Truncated* dan *Higher Accuracy*. Kedua metode ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Metode *Truncated* ini lebih sederhana, namun hasilnya tidak seakurat *Higher Accuracy*. Sementara *Higher Accuracy* memiliki hasil yang lebih akurat, namun lebih rumit dan membutuhkan waktu yang lebih lama dalam perhitungannya. Tujuan skripsi ini adalah untuk menguji dan membandingkan kedua metode tersebut untuk mencari yang paling sesuai untuk digunakan dalam perhitungan waktu salat.

Berdasarkan yang telah dijelaskan dalam latar belakang di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian guna menganalisis lebih lanjut terkait hal-hal tersebut di atas. Penelitian tersebut, diangkat oleh penulis sebagai skripsi dengan judul **“Uji Komparasi Data Perhitungan Awal Waktu Salat Antara Versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam Buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus”**.

B. Identifikasi dan Batasan Masalah

Identifikasi masalah yang penulis gunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Belum diketahui akurasi data Matahari untuk waktu salat dari versi *truncated* Jean Meeus.
2. Belum ada penelitian perhitungan waktu salat dengan metode *truncated* Jean Meeus.

3. Belum banyak yang mengkaji versi *truncated* Jean Meeus karena dianggap terlalu sederhana perhitungannya, padahal apabila diterapkan pada perhitungan waktu salat, hasilnya tidak melebihi 30 detik.
4. Belum ada penelitian mengenai perbedaan hasil antara perhitungan waktu salat Jean Meeus versi *truncated* bila dibandingkan dengan *higher accuracy*.
5. Belum diketahui bahwa akurasi dari versi *truncated* Jean Meeus tidak berbeda jauh dari versi *higher accuracy*, maka layak digunakan sebagai acuan dalam waktu salat.

Pembahasan penulis dibatasi pada topik-topik berikut berdasarkan berbagai jenis identifikasi masalah yang telah dibahas di atas.

1. Perhitungan data Matahari versi *truncated* dan *higher accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus untuk penentuan awal waktu salat.
2. Komparasi data Matahari versi *truncated* dan *higher accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus untuk penentuan awal waktu salat.

C. Rumusan Masalah

Penulis menggunakan rumusan masalah berdasarkan latar belakang dan batasan masalah yang telah dijabarkan di atas, sebagai berikut:

1. Bagaimana perhitungan data Matahari versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus untuk penentuan awal waktu salat?
2. Bagaimana komparasi perhitungan data Matahari antara versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus untuk penentuan awal waktu salat?

D. Kajian Pustaka

Kajian pustaka atau yang biasa disebut kajian literatur, kajian teoritis dan landasan teori merupakan bagian penting dalam sebuah penelitian. Setiap penelitian pada dasarnya memiliki dasar suatu landasan teori tertentu bagi peneliti sebagai pijakan untuk melakukan sebuah penelitian. Kajian pustaka merupakan sebuah uraian atau deskripsi tentang literatur yang relevan dengan bidang atau topik yang sedang peneliti lakukan.¹²

Beberapa hasil penelitian yang ditemukan memiliki relevansi dengan penelitian yang akan dilakukan penulis, yaitu sebagai berikut:

1. Skripsi yang ditulis oleh Muhammad Muadz Dzulkrom yang berjudul “Perhitungan Data Matahari dalam Buku *Planetary Programs and Tables from -4000 to +2800 untuk Pemograman Awal Waktu Salat Menggunakan Software Microsoft Spreadsheet*”.¹³ Skripsi ini menyimpulkan bahwa untuk

¹² Punaji Setyosari, “Metode Penelitian Pendidikan dan Pengembangan”, (Jakarta: Kencana, 2016), 117.

¹³ “Muhammad Muadz Dzulkrom; “Perhitungan Data Matahari dalam Buku *Planetary Programs and Tables from -4000 to +2800 untuk Pemograman Awal Waktu Salat Menggunakan Software Microsoft Spreadsheet*”. (Skripsi—UIN Sunan Ampel, Surabaya, 2022).

perhitungan waktu salat penggunaan data Matahari dalam buku *Planetary Programs and Tables From -4000 To +2800* dapat dijadikan pengambilan data Matahari selain dari buku *Astronomical Algorithms*. Persamaan skripsi ini dengan penelitian penulia adalah sama-sama mengkaji mengenai perhitungan data Matahari untuk awal waktu salat. Perbedaan skripsi ini dengan skripsi yang ditulis oleh penulis adalah bahwa skripsi yang ditulis oleh Muhammad Muadz Dzulkrom ini menggunakan buku *Planetary Programs and Tables From -4000 To +2800*, sedangkan penulis menggunakan buku *Astronomical Algorithms*.

2. Skripsi yang ditulis oleh Oktaria Puspita Devi yang berjudul “Implementasi *Higher Precision Method* untuk perhitungan waktu salat dalam buku *Practical Astronomy With Your Calculator or Spreadsheet*”.¹⁴ Skripsi ini sampai pada kesimpulan bahwa jika diukur terhadap ephemeris Kementerian Agama RI dan Software Accurate Times, Metode Higher Precision untuk menghitung waktu salat pada buku *Practical Astronomy With Your Calculator or Spreadsheet* memiliki akurasi yang cukup baik. Hal ini ditunjukkan dengan selisih terkecil yaitu sekitar satu menit, dan perbedaan terbesar, yaitu dua menit. Persamaan dari skripsi ini dengan penelitian penulis adalah sama-sama mengkaji mengenai perhitungan awal waktu salat. Perbedaannya yaitu pada skripsi ini menggunakan metode *Higher Precision* dalam buku *Practical Astronomy With Your Calculator*

¹⁴ Oktaria Puspita Devi, “Implementasi *Higher Precision Method* untuk perhitungan waktu salat dalam buku *Practical Astronomy With Your Calculator or Spreadsheet*”, (Skripsi—UIN Sunan Ampel, Surabaya, 2022), 77.

or *Spreadsheet*, sedangkan penulis menggunakan metode *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms*.

3. Skripsi yang ditulis oleh Khazinur Rohman yang berjudul “Studi Komparasi Algoritma *Equation of Time* Versi Jean Meeus dan Newcomb”.¹⁵ Skripsi ini menyimpulkan bahwa selisih yang dihasilkan algoritma Jean Meeus maupun Newcomb hanya pada hitungan detik dan berubah-ubah setiap waktunya, terkadang hanya 2 detik ataupun hingga 8 detik. Skripsi yang ditulis oleh Khazinur Rohman dengan skripsi penulis memiliki persamaan yaitu sama-sama menggunakan algoritma Jean Meeus. Sedangkan perbedaan pada skripsi ini yaitu Khazinur Rohman mengkomparasikan antara algoritma Jean Meeus dengan algoritma versi Simon Newcomb sedangkan penulis mengkomparasikan algoritma Jean meeus versi *truncated* dan *higher accuracy*.

Penulis juga menggunakan literatur falak yang lain seperti buku dan penelitian-penelitian terdahulu tentang penentuan waktu salat, selain penulisan di atas. Sepanjang penelusuran yang dilakukan penulis, belum ditemukan adanya tulisan atau hasil penelitian yang secara khusus mengkomparasikan metode *truncated* dan *higher accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus untuk perhitungan awal waktu salat. Penulis percaya bahwa dengan dasar tersebut penelitian ini bermanfaat untuk dikaji lebih lanjut.

¹⁵ Khazinur Rohman, “Studi Komparasi Algoritma *Equation of Time* Versi Jean Meeus dan Newcomb”, (Skripsi—UIN Walisongo, Semarang, 2016).

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahu perhitungan data Matahari versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus untuk penentuan awal waktu salat.
2. Mengetahui komparasi perhitungan data Matahari antara versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus untuk penentuan awal waktu salat.

F. Kegunaan Hasil Penelitian

Diharapkan dari penelitian ini dapat memberikan kegunaan baik dari aspek teoritis maupun praktis.

1. Aspek teoritis

Diharapkan penelitian ini dapat meningkatkan proses pembelajaran dan memperluas wawasan khususnya dalam kaitannya dengan kajian ilmu falak, bagi masyarakat luas dan khususnya bagi mahasiswa ilmu falak itu sendiri yang tentunya membutuhkan tambahan ilmu terkait dengan konsentrasi keilmuannya, yaitu ilmu falak.

2. Aspek praktis

Penelitian ini secara praktis diharapkan bisa membantu masyarakat umum menyadari bahwa tidak disarankan untuk menunda melakukan niat baik. Terutama yang berkaitan dengan ibadah salat dan ritual ibadah lainnya dalam rangka mendekatkan diri kepada Sang Pencipta. Diharapkan

kedepannya mahasiswa yang membutuhkan dapat menggunakan hasil penelitian sebagai referensi/rujukan.

G. Definisi Operasional

1. Perhitungan awal waktu salat

Salat merupakan ibadah yang waktu pelaksanaannya telah ditentukan waktunya. Hal ini menurut hadits-hadits Rasulullah SAW. Posisi matahari setiap hari mempengaruhi masuknya waktu salat. Data seperti lintang, bujur, deklinasi Matahari, tinggi Matahari atau jarak zenit, dan sudut waktu diperlukan untuk menentukan kapan waktu salat dimulai. Data-data yang digunakan untuk menentukan waktu salat dalam buku *Astronomical Algorithms* dibahas dalam penelitian ini.

2. *Truncated*

Truncated (Perpotongan) atau bahasa lain dari *low accuracy* merupakan versi lebih ringkas daripada *higher accuracy*. Versi *truncated* ini lebih sederhana perhitungannya jika dibanding dengan *higher accuracy*. dalam buku *Astronomical Algorithms*, Jean Meeus menggunakan istilah *low accuracy*, akan tetapi oleh penulis diganti menjadi *truncated*.

3. *Higher accuracy*

Higher Accuracy atau akurasi tinggi adalah salah satu metode perhitungan data matahari dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus.

4. Buku *Astronomical Algorithms*

Buku ini merupakan karya dari astronom Belgia yaitu Jean Meeus. Buku ini membahas tentang data perhitungan peredaran Matahari dan Bulan.

H. Metode Penelitian

1. Jenis penelitian

Penulis menggunakan jenis penelitian pustaka (*library research*), yang bersifat deskriptif kualitatif, yang merupakan bentuk penelitian yang digunakan dalam penelitian ini. Hal ini menunjukkan bahwa penelitian ini mengambil sumber data dari buku, jurnal, artikel, dan literatur lainnya yang berkaitan dengan penelitian.

Metode analisis data yang digunakan adalah metode komparatif deskriptif, yakni menguraikan data Matahari untuk perhitungan awal waktu salat dalam buku *Astronomical Algorithms*. Kemudian membandingkan data Matahari untuk perhitungan awal waktu salat anatar versi truncated dan higher accuracy dalam buku *Astronomical Algorithms*.

2. Data yang dikumpulkan

Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini ada dua yaitu:

a. Data primer

Data primer yang digunakan penulis dalam penelitian ini adalah data perhitungan dalam buku *Astronomical Algorithms Second Edition* karya Jean Meeus.

b. Data sekunder

Data sekunder yang digunakan penulis adalah data perhitungan waktu salat dalam ilmu Falak dasar-dasar hisab praktis karya Akh. Mukarram.

3. Sumber data

Terdapat dua jenis sumber data yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu:

a. Sumber primer

Sumber primer adalah sumber pertama yang digunakan penulis untuk memperoleh informasi penting terkait dengan penelitian yang akan dilakukan. Dalam penelitian ini sumber primer yang penulis gunakan adalah buku *Astronomical Algorithms Second Edition* karya Jean Meeus.

b. Sumber sekunder

Sumber sekunder merupakan sumber data yang digunakan sebagai pendukung atau pelengkap dari sumber yang sudah ada. Adapun sumber sekunder yang penulis gunakan adalah buku ilmu Falak dasar-dasar hisab praktis karya Akh. Mukarram.

4. Metode pengumpulan data

Metode pengumpulan data adalah metode yang digunakan oleh penulis dalam mengumpulkan data terkait dengan penelitian yang diangkat. Adapun metode yang digunakan penulis untuk mendukung penelitian ini adalah studi pustaka. Melalui tinjauan berbagai literatur yang terkait dengan penelitian yang diangkat, penulis mengumpulkan dan menganalisis data-

data terkait, seperti: buku-buku, tafsir, terjemah, karya ilmiah, laporan temuan penelitian terdahulu, jurnal-jurnal, dan karya tulis lainnya terutama yang secara khusus berkaitan dengan kajian ilmu falak. Hal ini dilakukan untuk memperoleh data yang valid dan reliabel.

5. Metode analisis data

Metode analisis data yaitu mempelajari data yang telah dikumpulkan sehingga dapat ditarik kesimpulan yang merupakan jawaban atas masalah atau pertanyaan yang muncul dalam penelitian. Adapun metode analisis data yang penulis gunakan, terbagi menjadi dua, yaitu:

a. Tahap pengumpulan data

Tahap pengumpulan data merupakan tahap pertama di mana penulis akan mengumpulkan data yang diperlukan dari berbagai sumber sumber yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan. Dalam tahap ini, penulis akan melakukan proses pengumpulan data dari buku *Astronomical Algorithms Second Edition* karya Jean Meeus terkait dengan perhitungan data Matahari versi truncated dan higher accuracy.

b. Tahap analisis data

Tahap analisis data ini sedikit banyak akan melibatkan argumen-argumen dari penulis untuk menganalisis kerangka data yang telah dikumpulkan sehubungan dengan penelitian. Termasuk juga didalamnya akan dilakukan tahap komparasi dengan menggunakan data yang telah dikumpulkan dari tahap pengumpulan

data sebelumnya, sesuai dengan penelitian yang diangkat. Dari tahap ini, nantinya penulis akan mendapatkan hasil dan kesimpulan dari rangkaian penelitian yang telah dilakukan.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode analisis komparatif deskriptif, yaitu menguraikan hasil perhitungan data Matahari versi truncated dan higher accuracy dalam buku *Astronomical Algorithms Second Edition* karya Jean Meeus. Kemudian mengkomparasikan hasil perhitungan data Matahari tersebut antara versi truncated dan higher accuracy dalam penentuan awal waktu salat. Dari kedua versi perhitungan data Matahari tersebut nantinya juga akan dicari kelebihan dan kekurangan masing-masing.

I. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan penelitian ini secara garis besar terdiri atas lima bab, dimana dalam setiap bab terdapat sub-sub pembahasan.

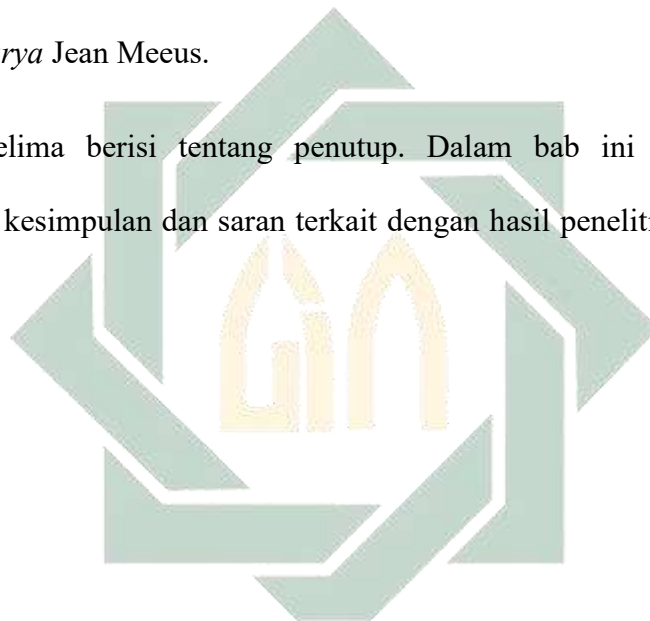
Bab pertama yakni pendahuluan, yang meliputi latar belakang masalah, identifikasi masalah dan batasan masalah, rumusan masalah, kajian pustaka, tujuan penelitian, kegunaan hasil penelitian, definisi operasional, metode penelitian dan sistematika penulisan.

Bab kedua berisi tentang teori awal waktu salat, yang terdiri dari pengertian awal waktu salat, dasar hukum waktu salat dan data-data perhitungan awal waktu salat.

Bab ketiga berisi tentang perhitungan data Matahari versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus, meliputi: gambaran umum buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus dan perhitungan data Matahari *Truncated* dan *Higher accuracy*.

Bab keempat berisi tentang perbandingan data perhitungan awal waktu salat versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus.

Bab kelima berisi tentang penutup. Dalam bab ini penulis akan memberikan kesimpulan dan saran terkait dengan hasil penelitian yang telah dilaksanakan.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB II

AWAL WAKTU SALAT

A. Pengertian Salat

Salat secara bahasa berasal dari kata *صلى* - *الاة* yang mempunyai arti doa. Sedangkan menurut istilah, salat adalah suatu ibadah yang terdiri dari perbuatan dan perkataan yang dimulai dengan takbiratul ihram dan diakhiri dengan salam dengan syarat-syarat tertentu.¹ Salat merupakan salah satu rukun Islam yang lima, salat merupakan ibadah yang pertama kali diwajibkan oleh Allah Swt. dimana perintah tersebut disampaikan langsung kepada Rasulullah saw. yaitu pada malam isra mikraj sekitar sepuluh tahun tiga bulan sesudah Rasulullah saw. diangkat menjadi rasul, tepatnya pada malam dua puluh tujuh Rajab, kira-kira dua tahun sebelum hijrah.²

Melaksanakan salat hukumnya fardu ain yaitu (wajib bagi perorangan) bagi setiap orang yang mukalaf (yang dibebani kewajiban syariah), balig (sudah beranjak dewasa) dan akil (berakal). Salat wajib dilaksanakan umat Islam pada lima waktu sehari semalam, yaitu waktu Zuhur, Asar, Magrib, Isya dan Subuh.

Menurut ulama urutan salat fardu dimulai dari Zuhur, Asar, Magrib, Isya, dan Subuh ini didasarkan pada urutan pensyariatannya. Hal ini

¹ ABD. Karim Faiz, *Waktu Salat (Kajian Fiqih dan Astronomi)*, (Parepare: IAIN Parepare Nusantara Press, 2021), 7.

² Teungku Mustafa Muhammad Isa Pulo, *Fiqih Falakiyah*, (Yogyakarta: Deepublish, 2016), 26.

berdasarkan peristiwa ketika Rasulullah Saw menerima perintah salat di malam mikraj, Allah Swt. belum menjelaskan salat apa saja yang harus dilaksanakan, nama-nama salat serta kapan waktu yang ditetapkan untuk salat-salat tersebut.

Seusai mikraj Rasulullah saw. pulang ke rumah tanpa membawa detail rincian salat. Barulah pada esok harinya, ketika matahari berada di atas kepala, malaikat Jibril datang menemui Rasulullah saw. dan mulai menjelaskan salat apa saja yang harus dikerjakan, dan juga waktu yang ditentukan. Salat yang pertama kali dijelaskan dan dikerjakan dimulai dari salat zuhur, itulah mengapa urutan saat dimulai dari zuhur bukan subuh.³

Salat fardu merupakan ibadah yang telah ditentukan waktu-waktunya.⁴ Salat fardu hanya sah dan boleh dikerjakan pada waktu-waktu itu. Apabila salat dilaksanakan di luar waktunya, tanpa adanya uzur syar'i, maka hukumnya menjadi tidak sah. Akan tetapi ada pengecualian apabila memang ada uzur yang secara syariah dapat diterima.

B. Dasar Hukum Waktu Salat

Salat wajib hukumnya bagi seluruh umat Islam karena salat merupakan salah satu dari rukun Islam. Allah Swt. telah memerintahkan hamba-Nya untuk mendirikan salat, sebagaimana yang telah di firmankan Allah di dalam Alquran terkait dasar hukum waktu salat, diantaranya:

³ Ahmad Sarwat, *Waktu Salat*, (Jakarta: Rumah Fiqih Publishing, 2018), 11.

⁴ Zainul Arifin, *Ilmu Falak*, (Yogyakarta: Lukita, 2013), 31.

1. Dasar hukum waktu salat menurut Alquran

فَاصْبِرْ عَلَىٰ مَا يَفُولُونَ وَسَبِّحْ بِحَمْدِ رَبِّكَ قَبْلَ طُلُوعِ الشَّمْسِ وَقَبْلَ غُرُوبِهَا وَمِنْ أَنَاءِ
الَّيْلِ فَسَبِّحْ وَأَطْرَافَ النَّهَارِ لَعَلَّكَ تَرْضَىٰ

Maka, bersabarlah engkau (Nabi Muhammad) atas apa yang mereka katakan dan bertasbihlah dengan memuji Tuhanmu sebelum matahari terbit dan sebelum terbenam. Bertasbihlah (pula) pada waktu tengah malam dan di ujung siang hari agar engkau merasa tenang. (Q.S. at-Thaha ayat 130).⁵

Ayat di atas menjelaskan tentang perintah melaksanakan salat yang di dalamnya terdapat bacaan tasbih. Ayat tersebut juga mengisyaratkan waktu-waktu salat seperti yang dimaksud dengan sebelum matahari terbit ialah salat subuh, sebelum terbenamnya yaitu salat Asar. Sedangkan yang dimaksud dengan bertasbihlah di waktu malam adalah salat maghrib dan Isya dan salat duhur di ujung siang yaitu pada waktu condongnya matahari ke arah Barat setelah berlalunya setengah hari.

فَإِذَا قَضَيْتُمُ الصَّلَاةَ فَادْكُرُوا اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِكُمْ ۚ فَإِذَا اطْمَأْنَنْتُمْ فَأَقِيمُوا
الصَّلَاةَ ۚ إِنَّ الصَّلَاةَ كَانَتْ عَلَى الْمُؤْمِنِينَ كِتَابًا مَّوْقُوتًا

Apabila kamu telah menyelesaikan salat, berzikirlah kepada Allah (mengingat dan menyebut-Nya), baik ketika kamu berdiri, duduk, maupun berbaring. (Q.S. an-Nisa' ayat 103).⁶

Surat an-Nisa' ayat 103 di atas menjelaskan bahwa salat merupakan kewajiban yang harus dilaksanakan pada waktu-waktu yang telah ditentukan. Tiap-tiap salat memiliki awal dan akhirnya

⁵ Lajnah Pentashihan Mushaf Alquran, *Aplikasi Alquran Kemenag*, 321.

⁶ Lajnah Pentashihan Mushaf Alquran, *Aplikasi Alquran Kemenag*, 95.

dan tidak boleh salat dilaksanakan mendahulukannya ataupun melewati batas waktunya kecuali ada uzur.

أَقِمِ الصَّلَاةَ لِلدُّلُوكِ الشَّمْسِ إِلَى غَسَقِ اللَّيْلِ وَقُرْآنَ الْفَجْرِ إِنَّ قُرْآنَ الْفَجْرِ كَانَ مَشْهُودًا

Dirikanlah salat sejak matahari tergelincir sampai gelapnya malam dan (laksanakan pula salat) Subuh. Sesungguhnya salat Subuh itu disaksikan (oleh malaikat).” (Q.S. al-Isra’ ayat 78).⁷

Ayat di atas menjelaskan bahwa umat Islam diperintahkan untuk menunaikan salat wajib lima waktu dalam sehari semalam. Mulai dari tergelincirnya matahari dari tengah langit yang mencakup waktu salat zuhur dan Asar, sampai gelapnya malam yang mencakup salat magrib dan Isya dan juga perintah untuk melaksanakan salat subuh.

2. Dasar hukum waktu salat menurut Hadis

وَحَدَّثَنِي عَنْ مَالِكٍ عَنْ نَافِعٍ مَوْلَى عَبْدِ اللَّهِ بْنِ عُمَرَ أَنَّ عُمَرَ بْنَ الْخَطَّابِ كَتَبَ إِلَى عُمَّالِهِ إِنَّ أَهَمَّ أَمْرِكُمْ عِنْدِي الصَّلَاةُ فَمَنْ حَفِظَهَا وَحَافِظَ عَلَيْهَا حَفِظَ دِينَهُ وَمَنْ ضَيَّعَهَا فَهُوَ لِمَا سِوَاهَا أَضْيَعٌ ثُمَّ كَتَبَ أَنْ صَلُّوا الظُّهْرَ إِذَا كَانَ الْفَيْءُ ذِرَاعًا إِلَى أَنْ يَكُونَ ظِلُّ أَحَدِكُمْ مِثْلَهُ وَالْعَصْرَ وَالشَّمْسُ مُرْتَفَعَةً بَيْضَاءُ نَقِيَّةً قَدَرِ مَا يَسِيرُ الرَّكْبُ فَرَسَحِينَ أَوْ ثَلَاثَةَ قَبْلِ غُرُوبِ الشَّمْسِ وَالْمَغْرِبَ إِذَا غَرَبَتِ الشَّمْسُ وَالْعِشَاءَ إِذَا غَابَ الشَّمَقُ إِلَى ثُلُثِ اللَّيْلِ فَمَنْ نَامَ فَلَا نَامَتْ عَيْنُهُ فَمَنْ نَامَ فَلَا نَامَتْ عَيْنُهُ فَمَنْ نَامَ فَلَا نَامَتْ عَيْنُهُ فَمَنْ نَامَ فَلَا نَامَتْ عَيْنُهُ وَالصُّبْحَ وَالنُّجُومُ بَادِيَةً مُشْتَبِكًا

Telah menceritakan kepadaku dari Malik dari Nafi’ mantan budak Abdullah bin Umar ra, bahwa Umar bin Al Khattab pernah menulis surat kepada para pegawainnya. Menurutku, urusan kalian yang paling penting adalah salat. Barang siapa menjaga dan memeliharanya, berarti ia telah menjaga agamanya. Sebaliknya, barang siapa menyia-nyiakannya, ia akan lebih menyia-nyiakkan amalan yang lain.” Selanjutnya, ia menulis, “Lakukanlah salat Dzuhur ketika bayangan sepanjang hasta sampai bayangan seorang di Antara kalian saama tinggi badannya. Lakukanlah salat Asar pada saat Matahari tinggi dan memancarkan cahaya putih berseri. Lamanya seukuran orang yang mengendarai (unta) sejauh dua

⁷ Lajnah Pentashihan Mushaf Alquran, *Aplikasi Alquran Kemenag*, 290.

atau tiga farsakh (jarak \pm 8 km atau 3,5 mil) sebelum Matahari terbenam. Lakukanlah salat Maghrib ketika Matahari telah terbenam. Lakukanlah salat Isya ketika mega merah di ufuk barat telah hilang hingga sepertiga malam. Oleh karena itu, barang siapa tidur-tiduran, hendaklah matanya tidak terpejam, barang siapa tidur-tiduran, hendaklah matanya tidak terpejam, barang siapa tidur-tiduran, hendaklah matanya tidak terpejam. Lakukanlah salat Shubuh ketika masih tampak dan bertaburan. (HR Malik)⁸

عَنْ عَبْدِ اللَّهِ بْنِ عَمْرٍو رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُمَا: أَنَّ نَبِيَّ اللَّهِ - صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ - قَالَ: {
وَقْتُ الظُّهْرِ إِذَا رَأَيْتَ الشَّمْسُ، وَكَانَ ظِلُّ الرَّجُلِ كَطُولِهِ مَا لَمْ يَخْضُرِ الْعَصْرُ، وَوَقْتُ الْعَصْرِ
مَا لَمْ تَصْفُرْ الشَّمْسُ وَوَقْتُ صَلَاةِ الْمَغْرِبِ مَا لَمْ يَغِبِ الشَّفَقُ، وَوَقْتُ صَلَاةِ الْعِشَاءِ إِلَى
نِصْفِ اللَّيْلِ الْأَوْسَطِ، وَوَقْتُ صَلَاةِ الصُّبْحِ مِنْ طُلُوعِ الْفَجْرِ مَا لَمْ تَطْلُعِ الشَّمْسُ

Diceritakan oleh Abdullah bin Amr (RA) Nabi Muhammad Saw. berkata: Waktu salat Dzuhur adalah ketika Matahari melewati meridian dan bayangan seorang pria sama panjangnya dengan tingginya. Itu berlangsung sampai waktu salat Asar. Waktu salat Asar adalah selama belum terbenamnya senja, waktu Isya sampai tengah malam. Dan waktu salat Subuh adalah sejak terbitnya fajar selama Matahari belum terbit. (HR. Muslim)⁹

Hadis di atas menjelaskan bahwa awal dan akhir waktu salat ditentukan berdasarkan dengan pergerakan Matahari yaitu waktu salat Dzuhur ketika bayangan sesuatu sama panjang, waktu salat Asar yaitu dua kali bayangan ketika waktu Zuhur, waktu salat Magrib yaitu ketika Matahari terbenam, waktu salat Isya yaitu ketika mega merah di langit hilang dan waktu salat Subuh yaitu ketika fajar terbit. Pergerakan Matahari dari terbit sampai terbenam menjadi patokan dalam menentukan awal waktu salat. Meskipun demikian, perkembangan

⁸ Imam Ibn Al-Atsir Al-Jazari, *"Jami' Al-Ushul fi Ahadist Al-Rasul"*, (Kairo: Maktabah Al-Halwani), 1971, 37.

⁹ Imam Ibn Hajar, *"Bulugh Al-Maram Min Adilat Al-Ahkam"*, (Lebanon: Dar El Aker), 1971, 39.

pengetahuan dan teknologi membuat manusia tidak perlu mengamati pergerakan Matahari setiap hari untuk menentukan salat.

C. Awal Waktu Salat

Salat fardu terdiri dari 5 waktu yaitu salat Zuhur, Asar, Magrib, Isya dan Subuh. Salat fardu merupakan ibadah yang telah ditentukan waktunya dan wajib dilaksanakan pada waktu yang telah ditentukan tersebut. Kemudian berikut ini adalah awal masuk dan batasan waktu salat:

1. Salat Zuhur

Masuknya waktu Zuhur dimulai sejak fenomena tergelincirnya Matahari (*zawal al-syamsi*). *Zawal* yaitu peristiwa yang terjadi sesudah tengah hari, dan yang dimaksud dengan tengah hari adalah pertengahan waktu antara Matahari terbit dan terbenam. Momen tengah hari tersebut dikonsepsikan sebagai saat kulminasi Matahari, yaitu saat berhimpitnya titik pusat Matahari dengan Meridian (*istiwa*).¹⁰ Waktu Zuhur biasanya dimulai sekitar 2 menit setelah titik *istiwa* (ketika Matahari berada pada titik meridian langit), serta terakhir sampai waktu salat Asar tiba.¹¹

Mengenai akhir waktu salat Zuhur, muncul perbedaan di kalangan Ulama. *Pertama*, pendapat mazhab Maliki, mazhab Syafi'i, mazhab Hanabi dan Imam Abu Hanifah bahwa akhir waktu Zuhur adalah ketika bayangan benda sama dengan panjang benda tersebut ditambah

¹⁰ Abd. Salam Nawawi, *Ilmu Falak Praktis: Waktu Salat, Arah Kiblat, dan Kalender Hijriah*, (Surabaya: IMTIYAZ, 2016), 73-73.

¹¹ Moh. Murtadho, *Ilmu Falak Praktis*, (Malang: UIN-Malang Press, 2008), 180.

bayangan *zawal*. *Kedua*, ketika panjang bayangan suatu benda sama dengan panjang benda tersebut maka telah masuk waktu Asar, dan waktu setelah itu adalah waktu salat Zuhur dan Asar secara *ishtirak* (bersamaan) sampai tenggelamnya Matahari. Pendapat ini dikemukakan oleh Imam 'Atha' dan Thawus.¹²

2. Salat Asar

Awal waktu salat Asar masuk ketika panjang bayangan suatu benda sama dengan panjang benda tersebut.¹³ Dalam Ilmu Falak, apabila matahari sedang berkulminasi maka semua benda yang tegak lurus, misalnya tongkat, tidak akan menimbulkan bayang-bayang. Ketika matahari itu bergerak ke arah Barat, bayangan ujung tongkat akan semakin memanjang ke arah Timur dan pada saat tertentu bayangan itu akan sama panjangnya dengan tongkat tersebut.

Dengan demikian, awal waktu salat Asar dimulai ketika panjang bayang-bayang tongkat yang tegak lurus sudah sama panjang dengan tongkatnya ditambah dengan panjang bayang-bayang matahari waktu Zuhur.¹⁴

Mengenai akhir waktu Asar ulama memiliki perbedaan pendapat. *Pertama*, waktu salat Asar berakhir ketika hilang atau tenggelamnya Matahari. Pendapat ini dikemukakan oleh mayoritas Ulama baik dari mazhab Syafi'i dan mazhab Hanafi. *Kedua*, akhir waktu salat Asar

¹² Rahmat Hidayat, *Rukyat Hisab Waktu Salat*. (Medan: Rawda Publishing), 66.

¹³ ABD. Karim Faiz, *Waktu Salat...*, 18.

¹⁴ Akh. Mukarram, *Ilmu Falak...*, 53.

adalah ketika menguningnya Matahari. Pendapat ini dikemukakan oleh mazhab Hanabi dan salah satu riwayat Imam Malik. *Ketiga*, waktu salat berakhir ketika bayang-bayang suatu benda dua kali panjang benda tersebut.¹⁵

3. Salat Maghrib

Awal waktu Maghrib menurut dalil syara' mulai masuk ketika Matahari terbenam (*Ghurub as-Shams*). Matahari dikatakan terbenam apabila seluruh piringannya sudah berada di bawah ufuk (horizon, cakrawala).¹⁶ Waktu salat Maghrib berlangsung sebelum hilangnya mega merah..¹⁷

Perbedaan pendapat ulama mengenai akhir salat Maghrib merujuk kepada perspektif ulama tentang waktu mendirikan salat Maghrib yaitu apakah termasuk *muwassa'* (luas/boleh dilaksanakan di awal sampai akhir waktu) atau *mudayyaq* (sempit/hanya dilaksanakan di awal waktu). Di dalam menyikapi masalah ini, ulama terbagi ke dalam dua kelompok, yaitu:¹⁸

Pertama, mayoritas ulama yaitu ulama mazhab Hanafiyah, mazhab Syafi'i, mazhab Hanabi, Imam Abu Tsaur dan Imam Daud mengatakan bahwa akhir waktu Maghrib adalah ketika lenyapnya *Shafaq* (mega), yaitu waktu *muwassa'*. *Kedua*, pendapat dari Imam Malik dan Syafi'i yang mengatakan bahwa salat Maghrib adalah

¹⁵ Rahmat Hidayat, *Rukyat Hisab Waktu Salat...*, 84.

¹⁶ Abd. Salam Nawawi, *Ilmu Falak Praktis: Waktu Salat, Arah Kiblat...*, 78.

¹⁷ Akh. Mukarram, *Ilmu Falak...*, 58.

¹⁸ Rahmat Hidayat, *Rukyat Hisab Waktu Salat...*, 89.

waktu *mudayyaq* yaitu satu waktu di awal.¹⁹ Dalam hal ini Imam Maliki mengatakan bahwa waktu salat Magrib sangat terbatas, yaitu dari awal tenggelamnya Matahari sampai di perkiraan dapat melaksanakan salat Magrib, termasuk di dalamnya cukup untuk bersuci dan adzan dan tidak boleh mengakhirinya (mengundurinya) dari waktu tersebut.²⁰

4. Salat Isya

Masuknya awal waktu salat Isya ditandai dengan memudarnya mega merah atau *Shafaq al-Ahmar* di bagian langit sebelah Barat, yakni sebagai tanda masuknya gelap malam.²¹ *Shafaq* merupakan fenomena alam paska Matahari terbenam. Setelah terbenam, Matahari terus turun menajuhi ufuk. Seiring dengan itu, kekuatan sebaran cahayanya di angkasa perlahan memudar.²² Dalam Ilmu Falak, masuknya waktu Isya yaitu ketika Matahari berada pada ketinggian -18° . Masuknya waktu Isya dalam ilmu Falak ialah ketika senja astronomi telah berakhir atau istilahnya *astronomical twilight*. Kondisi berakhirnya fajar ini ketika ketinggian Matahari nilainya -18° .

Terkait akhir waktu salat Isya, ulama berbeda pendapat.

Pertama, pendapat yang menyatakan bahwa akhir waktu Isya adalah

¹⁹ Ibid., 90.

²⁰ Tamhid Amri, *Waktu Salat Perspektif Syar'i*, Jurnal As-Syari'ah, Vol. 16, NO. 3, Desember 2014, 212.

²¹ Ibid., 42.

²² Ibid., 78.

sepertiga malam pertama. Pendapat ini dikemukakan oleh mazhab Maliki, mazhab Hanabi, Umar bin Khattab dan Abu Hurairah.²³ *Kedua*, pendapat bahwa akhir waktu Isya adalah pertengahan malam, pendapat ini dikemukakan oleh Abu Ishaq.²⁴ *Ketiga*, bahwa akhir Isya adalah ketika terbitnya fajar sadik, sebagaimana yang diungkapkan oleh Imam Dawd.²⁵

5. Salat Subuh

Awal waktu salat subuh dimulai ketika munculnya fajar sadik, yaitu cahaya keputih-putihan yang menyebar di ufuk Timur.²⁶ Dalam astronomi fenomena fajar sadik (*true dawn*) merupakan fenomena hamburan sinar Matahari oleh atmosfer di langit ufuk Timur yang akan menjadi latar terbitnya Matahari.²⁷

Menurut perspektif astronomi, awal waktu salat Subuh dimulai tepat pada saat kabut pagi yaitu Matahari terletak kurang lebih 20° di bawah horizon, tetapi posisinya di belahan langit bagaian Timur. Ketentuan tersebut dikarenakan batas yang tepat untuk membedakan keadaan langit dari gelap ke terang itu sulit. Oleh karena itu, maka ketinggian 18° di bawah horizon perlu ditambah maksimal 2° sebagai langkah pengaman (*ihtiyat*). Dengan

²³ Rahmat Hidayat, *Rukyat Hisab Waktu Salat...*, 99.

²⁴ *Ibid.*, 103.

²⁵ Tamhid Amri, *Waktu Salat Perspektif Syar'i...*, 213.

²⁶ ABD. Karim Faiz, *Waktu Salat (Kajian Fiqih dan Astronomi)*, (Parepare: IAIN Parepare Nusantara Press, 2021), 19.

²⁷ Abd. Salam Nawawi, *Ilmu Falak Praktis: Waktu Salat, Arah Kiblat...*, 80.

demikian, maka tinggi (h) Matahari awal Subuh adalah -20° atau jarak zenithnya adalah 110° .²⁸

Mengenai waktu akhir salat Subuh, ulama juga tidak terlepas dari perbedaan pendapat. Terdapat dua pendapat ulama pada permasalahan ini. *Pertama*, waktu subuh berakhir ketika terbit atau munculnya bagian atas Matahari. Pendapat ini diutarakan oleh mazhab Hanafi, mazhab Syafi'i dan Imam Malik.²⁹ *Kedua*, waktu Subuh berakhir dengan munculnya cahaya kuning. Pendapat ini merupakan pendapat Imam Malik dan mazhab Hanabi.³⁰

D. Data Perhitungan Awal Waktu Salat

Data yang dibutuhkan dalam perhitungan awal waktu salat adalah data tempat dan data posisi Matahari. Berikut data-data tersebut, diantaranya:

1. Meridian pass

Meridian Pass (MP) adalah waktu ketika Matahari berkulminasi. Data saat Matahari berkulminasi dapat diperoleh dengan cara mengurangi waktu Hakiki (waktu Matahari) dengan perata waktu (*Equatin of Time*).³¹ Sehingga rumus MP yaitu:

$$MP = 12 - e$$

2. Lintang tempat

²⁸ Akh Mukarram, *Ilmu Falak Dasar-Dasar...*, 67.

²⁹ Rahmat Hidayat, *Rukyat Hisab Waktu Salat...*, 113.

³⁰ Ibid., 114.

³¹ Moh. Murtadho, *Ilmu Falak*, (Malang: UIN-Malang Press, 2008), 187.

Data lintang tempat dapat diperoleh dari buku-buku Ilmu Falak yang menyediakan data tersebut atau *software* komputer. Jika tidak mendapatkan, maka bisa menggunakan data kota terdekat atau melakukan perhitungan interpolasi, yaitu menetapkan lintang yang akan dicari diantara dua nilai lintang terdekat yang sudah terdaftar.³²

3. Bujur tempat (λ)

Sama halnya dengan lintang tempat, maka data bujur tempat saat ini sudah banyak ditemukan di dalam buku-buku Ilmu Falak atau *software* komputer. Apabila data bujur tempat tersebut tidak terdapat di dalam buku atau *software* komputer, maka bisa menggunakan data bujur kota terdekat atau menghitung bujur tempat yang kita inginkan dengan melakukan perhitungan interpolasi.³³

4. Deklinasi Matahari

Deklinasi Matahari adalah jarak posisi Matahari dengan akuator langit diukur sepanjang lingkaran deklinasi atau lingkaran waktu. Deklinasi Matahari bernilai negatif apabila matahari berada di selatan akuator. Dan bernilai positif apabila Matahari berada di selatan akuator.³⁴ Data deklinasi matahari ini dapat diperoleh dari Almanak Nautika, Ephemeris Hisab Rukyat, dalam buku, kitab atau *software* yang memuat data astronomi.

5. Ketinggian Matahari (h)

³² Akh. Mukarram, *Ilmu Falak...*, 77.

³³ *Ibid.*, 77-78.

³⁴ Moh. Murtadho, *Ilmu Falak Praktis*, (Malang: UIN Malang Press, 2008), 190.

Ketinggian Matahari adalah jarak disepanjang lingkaran vertikal mulai dari ufuk (horizon) sampai ke titik pusat Matahari.³⁵ Untuk menentukan data ketinggian Matahari bisa menggunakan acuan sebagai berikut:

a. $h \text{ Zuhur} = 90 - [\text{lintang tempat } (\phi) - \text{deklinasi } (\delta)]$

b. $h \text{ Asar} = \text{Cotan } ha = \text{Tan } zm + 1 \text{ atau } \text{Tan } [\phi - \delta] + 1$

c. $h \text{ Magrib} = -1^\circ \text{ atau } z \text{ Magrib} = 91^\circ$

d. $h \text{ Isya} = -18^\circ \text{ atau } z \text{ Isya} = 108^\circ$

e. $h \text{ Subuh} = -20^\circ \text{ atau } z \text{ Subuh} = 110^\circ$

6. Sudut waktu Matahari (t)

Sudut waktu disebut juga *Hour Angle* adalah jarak antara suatu benda langit dengan titik kulminasinya atau sudut yang dibentuk oleh lingkaran deklinasi suatu benda langit dengan lingkaran meridian. Terdapat dua macam sudut waktu:

- a. Sudut waktu positif (+), yaitu bila sebuah benda langit berada di belahan langit bagian Barat dan sudah melewati titik kulminasinya, dari 0° sampai 180° .
- b. Sudut waktu negatif (-), yaitu bila sebuah benda langit berada di belahan langit bagian Timur dan yang belum melewati titik kulminasinya, dari 0° sampai 180° .³⁶

³⁵ Abd. Salam Nawawi, *Ilmu Falak Praktis: Waktu Salat, Arah Kiblat...*, 95.

³⁶ Moh. Murtadho, *Ilmu Falak Praktis*, (Malang: UIN-Malang Press), 189.

Sudut waktu Matahari digunakan ketika Matahari masih berada di Timur seperti untuk waktu salat Asar, Magrib, Isya dan Subuh, Dhuha dan Idul Fitri. Sedangkan untuk salat Zuhur sudut waktunya tidak perlu dihitung, karena awal waktu salat Zuhur dimulai beberapa saat setelah Matahari mencapai titik kulminasi.³⁷ Rumus sudut waktu Matahari yaitu: $\text{Cos } t = -\tan \phi \times \tan \delta + \sec \phi \times \sec \delta \times \sin h$

7. Perata waktu (*Equation of Time*)

Perata waktu *Equation of Time/ta'dil al-syams*, yaitu perbedaan antara waktu Matahari hakiki dan waktu Matahari pertengahan karena perbedaan kecepatan perputaran Bumi pada porosnya. Waktu Matahari hakiki adalah waktu yang didasarkan pada peredaran Matahari hakiki (sebenarnya), yaitu pada waktu Matahari mencapai titik kulminasi atas ditetapkan pukul 12.00. sedangkan waktu Matahari pertengahan adalah waktu yang berdasarkan peredaran khayal yang seakan-akan perjalanannya stabil, artinya tidak pernah terlalu cepat atau terlalu lambat.³⁸

8. Koreksi Waktu Daerah (KWD)

Koreksi Waktu Daerah (KWD) digunakan untuk memindahkan atau mengkonversi waktu *istiwa'* (waktu Matahari hakiki tiap kulminasi selalu tetap pukul 12.00) ke waktu lokal setempat. Indonesia memiliki 3 bujur daerah yakni, 105° untuk Waktu Indonesia Barat, 120° untuk

³⁷ Akh, Mukarram, *Ilmu Falak Dasar-Dasar Hisab Praktis*, (Sidoarjo: Grafika Media, 2012), 37.

³⁸ Abu Sabda, *Ilmu Falak Rumusan Syar'i dan Astronomi*, (Bandung: Persis Pers, 2020), 150.

Waktu Indonesia Tengah (WITA), dan 135° untuk Waktu Indonesia Timur (WIT). Diukur dari meridian 0° di Greenwich ke arah Timur, karena Indonesia tertelat di belahan Timur dari Greenwich.³⁹ Rumus untuk KWD: **$KWD = \lambda \text{ daerah} - \lambda \text{ tempat} \div 15$**

9. Waktu ihtiyat

Ihtiyat adalah langkah pengamanan yaitu sejumlah waktu yang ditambahkan atau dikurangkan dengan hasil perhitungan. Untuk awal masuknya waktu salat ditambahkan sedangkan batas akhir waktu salat dikurangkan.⁴⁰ Hal ini dilakukan sebagai bentuk kehati-hatian agar waktu salat yang telah dihitung tidak mendahului awal waktunya dan tidak melampaui akhir waktu yang sebenarnya. Adapun nilai ihtiyat menurut kesepakatan para ulama berkisar antara 1 sampai 2 menit.

Ihtiyat ini bertujuan, antara lain:

- a. Agar hasil perhitungan dapat mencakup daerah-daerah di sekitarnya, terutama yang berada di sebelah Baratnya. Dengan menambah 1 menit berarti telah mencakup ± 27.5 km ke sebelah Barat.
- b. Menjadikan pembulatan hasil hitungan pada satuan terkecil dalam menit waktu sehingga penggunaannya lebih mudah.

³⁹ Akh, Mukarram, *Ilmu Falak Dasar-Dasar*,..., 75.

⁴⁰ ABD. Karim Faiz, *Waktu Salat (Kajian Fiqih dan Astronomi)*, (Parepare: IAIN Parepare Nusantara Press, 2021), 21.

- c. Memberikan koreksi atas reduksi dalam perhitungan agar menambah keyakinan bahwa waktu salat benar-benar dilaksanakan dalam waktunya.⁴¹

Dari data-data yang dijelaskan di atas, maka didapatkan rumus awal waktu salat yaitu:

- a. Waktu salat Zuhur = $MP + KWD + i$
 b. Waktu salat Asar = $MP + t \div 15 + kwd + i$
 c. Waktu salat Magrib = $MP + t \div 15 + kwd + i$
 d. Waktu salat Isya = $MP + t \div 15 + kwd + i$
 e. Waktu salat Subuh = $MP + t \div 15 + kwd + i$

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

⁴¹ Abu Sabda, *Ilmu Falak.....*, 149.

BAB III
DATA MATAHARI VERSI *TRUNCATED* DAN *HIGHER ACCURACY*
DALAM BUKU *ASTRONOMICAL ALGORITHMS*

A. Biografi Jean Meeus dan Buku *Astronomical Algorithms Second Edition*

Jean Meeus lahir pada tanggal 12 Desember 1928 M. Dia adalah seorang astronom Belgia yang berkonsentrasi mempelajari mekanika langit, matematika dan astronomi bola. Jean Meeus menyelesaikan studi sarjananya di bidang matematika di Universitas Leuven di Belgia pada tahun 1953. Pada tahun 1986, Jean Meeus memenangkan *Amateur Achievement Award* dari Astronomical Society of Pasific. Sejak tahun 1948, Jean Meeus merupakan anggota Astronomical Society of France (ASF). Lebih dari 100 karya Jean Meeus dipilih dari ASF. Jean Meeus juga menjadi editor dalam almanak perusahaannya selama 25 tahun.¹ Asteroid 2213 merupakan salah satu temuan Jean Meeus. Hingga akhir hayatnya, Jean Meeus mengabdikan dirinya menjadi seorang meteorologist di Airport, Brussel.

Buku *Astronomical Algorithms Second Edition* ini merupakan salah satu karyanya yang berisi perhitungan-perhitungan Astronomi. Buku ini merupakan versi perbaikan besar-besaran dari versi yang lama. Topik bahasanya diperluas dan isinya telah diperbaiki. Beberapa perubahan

¹ Khozinur Rohman, “*Studi Komparasi Algoritma Equation of Time Versi Jean Meeus dan Newcomb*”, (Skripsi—UIN Walisongo, Semarang, 2016), 41.

memang diperlukan, terlebih sebab adanya resolusi baru dari *The International Astronomical Union*, khususnya terkait penerapan epoch standar baru. Selain itu kita diuntungkan dengan adanya teori-teori baru terkait planet dan bulan yang dikembangkan oleh *The Bureau des Longitudes* di Paris. Algoritma Jean Meeus hanya dibatasi pada matematika astronomi, sebab hal ini dimaksudkan untuk menjadi panduan bagi astronom (profesional maupun amatir) untuk melakukan perhitungan astronomi.²

B. Perhitungan Data Matahari Versi Truncated dan Higher Accuracy dalam Buku *Astronomical Algorithms Second Edition*

1. Data Matahari Truncated Jean Meeus

Perhitungan dengan metode *Truncated* ini mempunyai akurasi 0,01 derajat dengan tanpa *periodic terms* (koreksi) bujur dan lintang Matahari dan *true geosentric distance*. Dalam metode ini, posisi Matahari dihitung dengan mengasumsikan pergerakan ekliptika secara murni dari Bumi, dan mengabaikan gangguan pergerakan ekliptika lain oleh Bulan dan planet-planet lain.

Perhitungan menggunakan metode *Truncated* pada tanggal 7 Maret 2023 untuk waktu salat Zuhur pukul 5 UT (12.00 WIB)

a. Mencari Julian Day

² Jean Meeus, *Astronomical Algorithms Second Algorithms* (Virginia: Willben-Bell, 1998), 4.

Sebelum menghitung JD, tanggal dan jamnya harus dirubah terlebih dahulu dari WIB ke UT

$$12:00:00 \text{ WIB} = 05:00:00 \text{ UT}$$

$$D = 7, M = 3, Y = 2023$$

(jika $M = 1$ atau 2 , maka $Y - 1$ dan $M + 12$, tapi jika $M > 2$, maka M dan Y tetap)

$$A = \text{INT}(Y/100)$$

$$= \text{INT}(2023/100) = 20$$

$$B = 2 - A + \text{INT}(A/4)$$

$$= 2 - 20 + \text{INT}(20/4) = -13$$

$$\text{JD} = \text{INT}(365,25 \times (Y+4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (M+1)) + \text{Tanggal} + (\text{Jam} + \text{Menit}/60 + \text{Detik}/3600)/24 - 1524,5$$

$$= \text{INT}(365,25 \times (2023+4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (3+1)) + 7 + (05 + 00/60 + 00/3600)/24 - 1524,5$$

$$= 2460010,708$$

b. Menghitung Julian Day Ephemeris

$$\Delta T = -15 + (\text{JD} - 2382148)^2 / 41048480$$

$$= -15 + (2460010,708 - 2382148)^2 / 41048480$$

$$= 132,6936855 \text{ detik}$$

$$= 0,001535806 \text{ hari}$$

$$\text{JDE} = \text{JD} + \Delta T$$

$$= 2460010,708 + 0,001535806$$

$$= 2460010,709$$

c. Menghitung Geometri Mean Longitude of the Sun

$$\begin{aligned} T \text{ (TD)} &= (\text{JDE} - 2452545,0) / 36525 \\ &= (2460010,709 - 2452545,0) / 36525 \\ &= 0,2031778485 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_0 &= 280,46645 + 36000,76983 \times T + 0,0003032 \times T^2 \\ &= 280,46645 + 3600,76983 \times 0,2031778485 + 0,0003032 \times \\ &\quad 0,2031778485^2 \\ &= 334,670383 \text{ derajat} \\ &= 6,01563 \text{ radian} \end{aligned}$$

d. Menghitung Mean Anomaly of the Sun

$$\begin{aligned} M &= 357,52910 + 35999,05030 \times T - 0,0001559 \times T^2 - 0,00000048 \times T^3 \\ &= 357,52910 + 35999,05030 \times 0,2031778485 - 0,0001559 \times \\ &\quad 0,2031778485^2 - 0,00000048 \times 0,204787433^3 \\ &= 63,03021 \text{ derajat} \\ &= 1,10008 \text{ radian} \end{aligned}$$

e. Menghitung Eksentrisitas Orbit Bumi

$$\begin{aligned} e &= 0,016708617 - 0,000042037 \times T - 0,0000001236 \times T^2 \\ &= 0,016708617 - 0,000042037 \times 0,2031778485 - 0,0000001236 \times \\ &\quad 0,2031778485^2 \\ &= 0,01670 \end{aligned}$$

f. Menghitung Persamaan Pusat Matahari

$$\begin{aligned}
 C &= (1,9146 - 0,004817 \times T - 0,000014 \times T^2) \times \text{SIN}(M) + (0,019993 - \\
 &\quad 0,000101 \times T) \times \text{SIN}(2 \times M) + 0,00029 \times \text{SIN}(3 \times M) \\
 &= (1,9146 - 0,004817 \times 0,2031778485 - 0,000014 \times 0,2031778485^2) \\
 &\quad \times \text{SIN}(1,100084605) + (0,019993 - 0,000101 \times 0,2031778485) \times \\
 &\quad \text{SIN}(2 \times 1,100084605) + 0,00029 \times \text{SIN}(3 \times 1,100084605) \\
 &= 1,69575
 \end{aligned}$$

g. Menghitung True Longitude Matahari

$$\begin{aligned}
 \Theta &= L_0 + C \\
 &= 334,670383 + 1,69575 \\
 &= 346,359691 \text{ derajat}
 \end{aligned}$$

h. Menghitung True Anomali Matahari

$$\begin{aligned}
 V &= M + C \\
 &= 63,03021 + 1,69575 \\
 &= 64,725953 \text{ derajat} \\
 &= 1,129680999 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

i. Menghitung Jarak Bumi dengan Matahari

$$\begin{aligned}
 R &= (1,000001018 \times (1 - e^2)) / (1 + e \times \text{COS}(V)) \\
 &= (1,000001018 \times (1 - 0,016698884^2)) / (1 + 0,016698884 \times \text{COS} \\
 &\quad (1,129680999)) \\
 &= 0,9922078873
 \end{aligned}$$

j. Menghitung Apparent Longitude Matahari

Pertama menghitung koresinya terlebih dahulu

$$\begin{aligned}\Omega &= 125,04 - 1934,136 \times T \\ &= 125,04 - 1934,136 \times 0,2031778485 \\ &= 267,9335912 \text{ derajat} \\ &= 4,676323343 \text{ radian}\end{aligned}$$

Maka Apparent Longitude Matahari:

$$\begin{aligned}\lambda &= \Theta - 0,00569 - 0,00478 \times \text{SIN}(\Omega) \\ &= 336,3661314 - 0,00569 - 0,00478 \times \text{SIN}(4,676323343) \\ &= 346,3575357 \text{ derajat}\end{aligned}$$

k. Menghitung Obliquity Ekliptika

Pertama terlebih dahulu menghitung mean obliquity dengan rumus:

$$\begin{aligned}U &= T/100 \\ &= 0,2031778485 / 100 = 0,002031778485\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_0 &= 23^\circ 26' 21,448'' - 4680,93 * U - 1,55 * U^2 + 1999,25 * U^3 - 51,38 \\ &\quad * U^4 - 249,67 * U^5 - 39,05 * U^6 - 7,12 * U^7 + 27,87 * U^8 + 5,79 * \\ &\quad * U^9 + 2,45 * U^{10} \\ &= 23,436277\end{aligned}$$

Sebelum menghitung *True Obliquity*, terlebih dahulu menghitung koreksi menggunakan tabel *terms of the 1980 IAU Theory of Nutations*:

D	M	M'	F	Omega	koefisien 1	koefisien 2
0	0	0	0	1	92025	8.9
-2	0	0	2	2	5736	-3.1
0	0	0	2	2	977	-0.5
0	0	0	0	2	-895	0.5

0	1	0	0	0	54	-0.1
-2	1	0	2	2	224	-0.6
0	0	1	2	2	129	-0.1
-2	-1	0	2	2	-95	0.3
0	0	1	0	0	-7	0
0	0	0	2	1	200	0
-2	0	0	2	1	-70	0
0	0	-1	2	2	-53	0
0	0	1	0	1	-33	0
2	0	-1	2	2	26	0
0	0	-1	0	1	32	0
0	0	1	2	1	27	0
0	0	-2	2	1	-24	0
2	0	0	2	2	16	0
0	0	2	2	2	13	0
-2	0	1	2	2	-12	0
0	0	-1	2	1	-10	0
2	0	-1	0	1	-8	0
-2	2	0	2	2	7	0
0	1	0	0	1	9	0
-2	0	1	0	1	7	0
0	-1	0	0	1	6	0
2	0	-1	2	1	5	0
2	0	1	2	2	3	0
0	1	0	2	2	-3	0
0	-1	0	2	2	3	0
2	0	0	2	1	3	0
-2	0	2	2	2	-3	0
-2	0	1	2	1	-3	0
2	0	-2	0	1	3	0
2	0	0	0	1	3	0
-2	-1	0	2	1	3	0
-2	0	0	0	1	3	0
0	0	2	2	1	3	0

Tabel 3. 1. Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Truncated Waktu Zuhur

1) Elongasi rata-rata Bulan dari Matahari (D) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 D &= 297,85036 + 445267,11148 \times T - 0,0019142 \times T^2 + T^3 / 189474 \\
 &= 297,85036 + 445267,11148 \times 0,231778485 - 0,0019142 \times \\
 &\quad 0,231778485^2 + 0,231778485^3 / 189474 \\
 &= 3,162310 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

2) Anomali rata-rata matahari (M) dengan persamaan:

$$\begin{aligned} M &= 357,52772 + 35999,05034 \times T - 0,0001603 \times T^2 - T^3 / 300000 \\ &= 357,52772 + 35999,05034 \times 0,231778485 - 0,0001603 \times \\ &\quad 0,231778485^2 - 0,231778485^3 / 300000 \\ &= 1,070464 \text{ radian} \end{aligned}$$

3) Anomali rata-rata Bulan (M') dengan persamaan:

$$\begin{aligned} M' &= 134,96298 + 477198,867398 \times T + 0,0086972 \times T^2 + T^3 / \\ &\quad 56250 \\ &= 134,96298 + 477198,867398 \times 0,231778485 + 0,0086972 \times \\ &\quad 0,231778485^2 + 0,231778485^3 / 56250 \\ &= 3,829151 \text{ radian} \end{aligned}$$

4) *Moon's Argument of Latitude* (F) dengan persamaan:

$$\begin{aligned} F &= 93,27191 + 483202,017538 \times T - 0,0036825 \times T^2 + T^3 / 327270 \\ &= 93,27191 + 483202,017538 \times 0,231778485 - 0,0036825 \times \\ &\quad 0,231778485^2 + 0,231778485^3 / 327270 \\ &= 2,253282 \text{ radian} \end{aligned}$$

5) Bujur *Ascending Node* orbit bulan rata-rata pada ekliptika diukur dari *mean equinox* (Ω) dengan persamaan:

$$\begin{aligned} \Omega^{\circ} &= 125,04452 - 1934,136261 * T + 0,00200708 * T^2 + T^3 / \\ &\quad 450000 \\ &= 125,04452 - 1934,136261 * 0,231778485 + 0,00200708 * \\ &\quad 0,231778485^2 + 0,231778485^3 / 450000 \\ &= 0,641469 \text{ radian} \end{aligned}$$

Hasil koreksi dengan tabel tersebut menggunakan format 0,0001 detik, maka setelah semua terkoreksi dijumlahkan dibagi 10000, maka akan ketemu:

$$\begin{aligned}\Delta\varepsilon &= \text{koreksi}/10000 \\ &= -0,002208863 \text{ derajat}\end{aligned}$$

Kemudian menghitung True Obliquity dengan rumus:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon \\ &= 23,43832826 + 0,002208863 \\ &= 23,44053712 \text{ derajat} \\ &= 23^\circ 26' 25,93''\end{aligned}$$

1. Menghitung Apparent Right Ascension (α)

Sebelum menghitung α , ε harus dikoreksi dengan rumus:

$$+0,00256 \times \text{Cos} (\Omega)$$

Maka:

$$\begin{aligned}E &= \varepsilon + 0,00256 \times \text{Cos} (\Omega) \\ &= 23,44053712 + 0,00256 \times \text{Cos} (4,676323343) \\ &= 23,44308860 \text{ derajat} \\ &= 0,40915908 \text{ radian}\end{aligned}$$

Menghitung α dengan rumus:

$$\begin{aligned}\text{Tan } \alpha &= \text{Cos} (E) \times \text{Tan} (\lambda) \\ &= \text{Cos} (23,44308860) \times \text{Tan} (346,3575357) \\ &= 347,4459926\end{aligned}$$

Nilai α harus sama kuadrannya dengan Θ , maka ditambahkan 180

$$\begin{aligned}\alpha &= 180 - 347,4459926 \\ &= 167,4459 \\ &= 167^\circ 26'' 45''\end{aligned}$$

m. Menghitung Apparent Declination

$$\begin{aligned}\sin \delta &= \sin E \times \sin \lambda \\ &= \sin 23,44308860 \times \sin 346,3575357 \\ \delta &= -5,38323720 = -5^\circ 23' 17,91''\end{aligned}$$

n. Menghitung Equation of Time

$$\begin{aligned}y &= \tan^2 (E/2) \\ &= \tan^2 (23,44308860/2) = 0,20748222 \\ \text{EoT} &= y * \sin (2 * L_0) - 2 * \sin (M) + 4 * e * y * \sin (M) * \cos (2 * \\ &\quad L_0) - 0,5 * y^2 * \sin (4 * L_0) - 5/4 e^2 * \sin (2 * M) \\ &= 0,20748222 * \sin (2 * 334,670383) - 2 * \sin (63,03020501) + \\ &\quad 4 * 0,016698884 * y * \sin (63,03020501) * \cos (2 * 334,670383) \\ &\quad - 0,5 * 0,20748222^2 * \sin (4 * 334,670383) - 5/4 * 0,016698884^2 \\ &\quad * \sin (2 * 63,03020501) \\ &= -2,777946872 \text{ derajat} / 15 \\ &= -0,188559795 = -0 \text{ jam } 11 \text{ menit } 8,15 \text{ detik}\end{aligned}$$

o. Menghitung Semi Diameter Matahari

$$\begin{aligned}S_d &= 15' 99,63'' / R \\ &= 15' 99,63'' / 0,992207887 = 0^\circ 16' 7,17''\end{aligned}$$

Perhitungan menggunakan metode Truncated pada tanggal 7 Maret 2023 untuk waktu Asar pukul 8 UT (15.00 WIB)

a. Mencari Julian Day

Sebelum menghitung JD, tanggal dan jamnya harus dirubah terlebih dahulu dari WIB ke UT

$$15.00 \text{ WIB} = 08.00 \text{ UT}$$

$$D = 7, M = 3 Y = 2023$$

Jika $M = 1$ atau 2 , maka $Y - 1$ dan $M + 12$, tapi jika $M > 2$, maka M dan Y tetap).

$$A = \text{INT}(Y/100)$$

$$= \text{INT}(2023/100) = 20$$

$$B = 2 - A + \text{INT}(A/4)$$

$$= 2 - 20 + \text{INT}(20/4) = -13$$

$$\text{JD} = \text{INT}(365,25 \times (Y + 4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (M+1)) + \text{Tanggal} \\ + (\text{Jam} + \text{Menit}/60 + \text{Detik}/3600)/24 - 1524,5$$

$$= \text{INT}(365,25 \times (2023 + 4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (3+1)) + 7 + (08 \\ + 00/60 + 00/3600)/24 - 1524,5$$

$$= 2460010,823$$

a. Menghitung Julian Day Ephemeris

$$\Delta T = -15 + (\text{JD} - 2382148)^2 / 41048480$$

$$= -15 + (2460010,823 - 2382148)^2 / 41048480$$

$$= 73,353600 \text{ detik}$$

$$= 0,000849 \text{ hari}$$

$$\text{JDE} = \text{JD} + \Delta T$$

$$= 2460010,823 + 0,000849$$

$$= 2460010,834$$

- b. Menghitung Geometri Mean Longitude of the Sun

$$\begin{aligned} T \text{ (TD)} &= (\text{JDE} - 2452545,0) / 36525 \\ &= (2460010,834 - 2452545,0) / 36525 \\ &= 0,231781907 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_o &= 280,46645 + 36000,76983 \times T + 0,0003032 \times T^2 \\ &= 280,46645 + 36000,76983 \times 0,231781907 + 0,0003032 \times \\ &\quad 0,231781907^2 \\ &= 344,7831898 \text{ derajat} \end{aligned}$$

- c. Menghitung Mean Anomaly of the Sun

$$\begin{aligned} M &= 357,52910 + 35999,05030 \times T - 0,0001559 \times T^2 - 0,00000048 \times T^3 \\ &= 357,52910 + 35999,05030 \times 0,231781907 - 0,0001559 \times \\ &\quad 0,231781907^2 - 0,00000048 \times 0,231781907^3 \\ &= 63,14476551 \text{ derajat} \\ &= 1,102084063 \text{ Radian} \end{aligned}$$

- d. Menghitung Eksentrisitas Orbit Bumi

$$\begin{aligned} e &= 0,016708617 - 0,000042037 \times T + 0,0000001236 \times T^2 \\ &= 0,016708617 - 0,000042037 \times 0,231781907 + 0,0000001236 \times \\ &\quad 0,231781907^2 \\ &= 0,016698884 \end{aligned}$$

- e. Menghitung Persamaan Pusat Matahari

$$\begin{aligned} C &= (1,9146 - 0,004817 \times T - 0,000014 \times T^2) \times \text{SIN} (M) + (0,019993 - \\ &\quad 0,000101 \times T) \times \text{SIN} (2 \times M) + 0,00029 \times \text{SIN} (3 \times M) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= (1,9146 - 0,004817 \times 0,231781907 - 0,000014 \times 0,231781907^2) \times \\
&\quad \text{SIN}(1,102084063) + (0,019993 - 0,000101 \times 1,102084063) \times \text{SIN} \\
&\quad (2 \times 1,102084063) + 0,00029 \times \text{SIN}(3 \times 1,102084063) \\
&= 1,697507983
\end{aligned}$$

f. Menghitung True Longitude Matahari

$$\begin{aligned}
\Theta &= L_o + C \\
&= 344,7831898 + 1,697507983 \\
&= 346,484781 \text{ derajat}
\end{aligned}$$

g. Menghitung True Anomali Matahari

$$\begin{aligned}
V &= M + C \\
&= 1,102084063 + 346,484781 \\
&= 347,5868651 \text{ derajat} \\
&= 6,066535232 \text{ radian}
\end{aligned}$$

h. Menghitung Jarak Bumi dengan Matahari

$$\begin{aligned}
R &= (1,000001018 \times (1 - e^2)) / (1 + e \times \text{COS}(V)) \\
&= (1,000001018 \times (1 - 0,016698884^2)) / (1 + 0,016698884 \times \text{COS} \\
&\quad (6,066535232)) \\
&= 0,992237207
\end{aligned}$$

i. Menghitung Apparent Longitude Matahari

Pertama menghitung koreksinya terlebih dahulu

$$\begin{aligned}
\Omega &= 125,04 - 1934,136 \times T \\
&= 125,04 - 1934,136 \times 0,231781907 \\
&= 36,74282671 \text{ derajat}
\end{aligned}$$

$$= 0,641283302 \text{ radian}$$

Maka Apparent Longitude Matahari:

$$\begin{aligned} \lambda &= \Theta - 0,00569 - 0,00478 \times \text{SIN}(\Omega) \\ &= 346,484781 - 0,00569 - 0,00478 \times \text{SIN}(0,641283302) \\ &= 346,476448 \text{ derajat} \end{aligned}$$

j. Menghitung Obliquity Ekliptika

Pertama terlebih dahulu menghitung Mean Obliquity dengan rumus:

$$\text{Dimana } U = T/100 = 0,00231781907$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_0 &= 23^\circ 26' 21,448'' - 4680,93 * U - 1,55 * U^2 + 1999,25 * U^3 - 51,38 \\ &\quad * U^4 - 294,67 * U^5 - 39,05 * U^6 - 7,12 * U^7 + 27,87 * U^8 + 5,79 * \\ &\quad U^9 + 2,45 * U^{10} \\ &= 23,436277 \end{aligned}$$

Sebelum menghitung *True Obliquity*, maka terlebih dahulu menghitung koreksi menggunakan tabel *Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations*:

D	M	M'	F	Omega	koefisien 1	koefisien 2
0	0	0	0	1	92025	8.9
-2	0	0	2	2	5736	-3.1
0	0	0	2	2	977	-0.5
0	0	0	0	2	-895	0.5
0	1	0	0	0	54	-0.1
-2	1	0	2	2	224	-0.6
0	0	1	2	2	129	-0.1
-2	-1	0	2	2	-95	0.3
0	0	1	0	0	-7	0
0	0	0	2	1	200	0
-2	0	0	2	1	-70	0
0	0	-1	2	2	-53	0
0	0	1	0	1	-33	0
2	0	-1	2	2	26	0
0	0	-1	0	1	32	0
0	0	1	2	1	27	0

0	0	-2	2	1	-24	0
2	0	0	2	2	16	0
0	0	2	2	2	13	0
-2	0	1	2	2	-12	0
0	0	-1	2	1	-10	0
2	0	-1	0	1	-8	0
-2	2	0	2	2	7	0
0	1	0	0	1	9	0
-2	0	1	0	1	7	0
0	-1	0	0	1	6	0
2	0	-1	2	1	5	0
2	0	1	2	2	3	0
0	1	0	2	2	-3	0
0	-1	0	2	2	3	0
2	0	0	2	1	3	0
-2	0	2	2	2	-3	0
-2	0	1	2	1	-3	0
2	0	-2	0	1	3	0
2	0	0	0	1	3	0
-2	-1	0	2	1	3	0
-2	0	0	0	1	3	0
0	0	2	2	1	3	0

Tabel 3. 2. *Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Truncated Waktu Asar*

- 1) Elongasi rata-rata Bulan dari Matahari (D) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 D &= 297,85036 + 445267,11148 \times T - 0,0019142 \times T^2 + T^3 / 189474 \\
 &= 297,855036 + 44576,11148 \times 0,231781907 - 0,0019142 \times \\
 &\quad 0,231781907^2 + 0,231781907^3 / 189474 \\
 &= 3,188906 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- 2) Anomali rata-rata Matahari (M) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 M &= 357,52772 + 35999,05034 \times T - 0,0001603 \times T^2 - T^3 / 300000 \\
 &= 357,52772 + 35999,05034 \times 0,231781907 - 0,0001603 \times \\
 &\quad 0,231781907^2 - 0,231781907^3 / 300000 \\
 &= 1,072614 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- 3) Anomali rata-rata Bulan (M')

$$M' = 134,96928 + 477198,867398 \times T + 0,0086972 \times T^2 + T^3 / 56250$$

$$\begin{aligned}
 &= 134,96928 + 477198,867398 \times 0,231781907 + 0,0086972 \times \\
 &\quad 0,231781907^2 + 0,231781907^3 / 56250 \\
 &= 3,857655 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

4) *Moon's Arguments of Latitude* (F) dengan Persamaan:

$$\begin{aligned}
 F &= 93,27191 + 483202,017538 \times T - 0,0036825 \times T^2 + T^3 / 327270 \\
 &= 93,27191 + 483202,017538 \times 0,231781907 - 0,0036825 \times \\
 &\quad 0,231781907^2 + 0,231781907^3 / 327270 \\
 &= 2,282144 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

5) Bujur *Ascending Node* orbit Bulan rata-rata pada ekliptika diukur dari *mean equinox* (Ω), dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 \Omega^c &= 125,04452 - 1934,136261 \times T + 0,00200708 \times T^2 + T^3 / 450000 \\
 &= 125,04452 - 1934,136261 \times 0,231781907 + 0,00200708 \times \\
 &\quad 0,231781907^2 + 0,231781907^3 / 450000 \\
 &= 0,641353 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

Hasil koreksi dengan tabel tersebut menggunakan format 0,0001 detik, maka setelah semua terkoreksi dijumlahkan kemudian dibagi 10000, maka:

$$\begin{aligned}
 \Delta\varepsilon &= \text{koreksi}/10000 \\
 &= 0,002208678
 \end{aligned}$$

Kemudian menghitung *True Obliquity* dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon \\
 &= 23,436277 + 0,002208678 \\
 &= 23,438486 \text{ derajat}
 \end{aligned}$$

k. Menghitung Apparent Right Ascension (α)

Sebelum menghitung α , terlebih dahulu mengoreksi ε dengan rumus:

$$\begin{aligned} E &= \varepsilon + 0,00256 \times \cos(\Omega) \\ &= 23,438486 + 0,00256 \times \cos(0,641353) \\ &= 23,44104584 \text{ derajat} \end{aligned}$$

Kemudian menghitung α dengan rumus:

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= \cos(23,44104584) \times \tan(\lambda) \\ &= \cos(23,44104584) \times \tan(346,476448) \\ &= 347,556031 \text{ derajat} \\ &= 6,065997 \text{ radian} \end{aligned}$$

Nilai α kuadrannya harus sama dengan Θ , maka harus ditambahkan 180

$$\alpha = 180 - 6,065997 = 173,934003$$

l. Menghitung Apparent Declination

$$\begin{aligned} \sin \delta &= \sin E \times \sin \lambda \\ &= \sin 23,44104584 \times \sin 346,476448 \\ &= -5,33874745 \\ &= -5^\circ 20' 19,49'' \end{aligned}$$

m. Menghitung Equation of Time

$$\begin{aligned} y &= \tan^2(E/2) \\ &= \tan^2(23,44104584/2) \\ &= 0,207463626 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{EoT} &= y \times \sin(2 * L_0) - 2 * \sin(M) + 4 * e * y * \sin(M) * \cos(2 * \\ &L_0) - 0,5 * y^2 * \sin(4 * L_0) - 5/4 e^2 * \sin(2 * M) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,207463626 * \sin (2 * 344,7831898) - 2 * \sin (63,14476551) \\
&\quad + 4 * 0,016698884 * y * \sin (63,14476551) * \cos (2 * \\
&\quad 344,7831898) - 0,5 * y^2 * \sin (4 * 344,7831898) - 5/4 * \\
&\quad 0,016698884^2 * \sin (2 * 63,14476551) \\
&= -2,770522081 \text{ derajat} / 15 \\
&= -0,18514677 \\
&= -0 \text{ jam } 11 \text{ menit } 6,53 \text{ detik}
\end{aligned}$$

n. Menghitung Semi Diameter Matahari

$$\begin{aligned}
S_d &= 15' 99,63'' / R \\
&= 15' 99,63'' / 0,992237207 \\
&= 0^\circ 16' 7,14''
\end{aligned}$$

Perhitungan menggunakan metode Truncated pada tanggal 7 Maret 2023 untuk waktu Magrib pukul 11 UT (18.00 WIB)

a. Mencari Julian Day

Sebelum menghitung JD, tanggal dan jamnya harus dirubah terlebih dahulu dari WIB ke UT

$$18.00 \text{ WIB} = 11.00 \text{ UT}$$

$$D = 7, M = 3, Y = 2023$$

(Jika $M = 1$ atau 2 , maka $Y - 1$ dan $M + 12$, tapi jika $M > 2$, maka M dan Y tetap).

$$A = \text{INT} (Y/100)$$

$$= \text{INT} (2023/100) = 20$$

$$B = 2 - A + \text{INT} (A/4)$$

$$= 2 - 20 + \text{INT} (20/4) = -13$$

$$\begin{aligned} \text{JD} &= \text{INT} (365,25 \times (Y + 4716)) + \text{INT} (30,6001 \times (M+1)) + \text{Tanggal} + \\ &\quad (\text{Jam} + \text{Menit}/60 + \text{Detik}/3600)/24 - 1524,5 \\ &= \text{INT} (365,25 \times (2023 + 4716)) + \text{INT} (30,6001 \times (3+1)) + 7 + (11 \\ &\quad + 00/60 + 00/3600)/24 - 1524,5 \\ &= 2460010,958 \end{aligned}$$

b. Menghitung Julian Day Ephemeris

$$\begin{aligned} \Delta T &= -15 + (\text{JD} - 2382148)^2 / 41048480 \\ &= -15 + (2460010,958 - 2382148)^2 / 41048480 \\ &= 73,3536 \text{ detik} \\ &= 0,000849 \text{ Hari} \\ \text{JDE} &= \text{JD} + \Delta T \\ &= 2460010,958 + 0,000849 \\ &= 2460010,959 \end{aligned}$$

c. Menghitung Geometri Mean Longitude of the Sun

$$\begin{aligned} T \text{ (TD)} &= (\text{JDE} - 2452545,0) / 36525 \\ &= (2460010,959 - 2452545,0) / 36525 \\ &= 0,231785330 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_o &= 280,46645 + 36000,76983 \times T + 0,0003032 \times T^2 \\ &= 280,46645 + 36000,76983 \times 0,231785330 + 0,0003032 \times \\ &\quad 0,231785330^2 \\ &= 344,9167953 \text{ derajat} \\ &= 6,019933723 \text{ radian} \end{aligned}$$

d. Menghitung Mean Anomaly of the Sun

$$\begin{aligned}
 M &= 357,52910 + 35999,05030 \times T - 0,0001559 \times T^2 - 0,00000048 \times T^3 \\
 &= 357,52910 + 35999,05030 \times 0,231785330 - 0,0001559 \times \\
 &\quad 0,231785330^2 - 0,00000048 \times 0,231785330^3 \\
 &= 63,28043985 \text{ derajat} \\
 &= 1,104452027 \text{ Radian}
 \end{aligned}$$

e. Menghitung Eksentrisitas Orbit Bumi

$$\begin{aligned}
 e &= 0,016708617 - 0,000042037 \times T + 0,0000001236 \times T^2 \\
 &= 0,016708617 - 0,000042037 \times 0,231785330 + 0,0000001236 \times \\
 &\quad 0,231785330^2 \\
 &= 0,016698884
 \end{aligned}$$

f. Menghitung Persamaan Pusat Matahari

$$\begin{aligned}
 C &= (1,9146 - 0,004817 \times T - 0,000014 \times T^2) \times \text{SIN}(M) + (0,019993 - \\
 &\quad 0,000101 \times T) \times \text{SIN}(2 \times M) + 0,00029 \times \text{SIN}(3 \times M) \\
 &= (1,9146 - 0,004817 \times 0,231785330 - 0,000014 \times 0,231785330^2) \times \\
 &\quad \text{SIN}(1,104452027) + (0,019993 - 0,000101 \times 0,231785330) \times \text{SIN} \\
 &\quad (2 \times 1,104452027) + 0,00029 \times \text{SIN}(3 \times 1,104452027) \\
 &= 1,699583196
 \end{aligned}$$

g. Menghitung True Longitude Matahari

$$\begin{aligned}
 \Theta &= L_o + C \\
 &= 344,9167953 + 1,699583196 \\
 &= 346,609863 \text{ derajat}
 \end{aligned}$$

h. Menghitung True Anomali Matahari

$$\begin{aligned}
 V &= M + C \\
 &= 63,28043985 + 1,699583196 \\
 &= 64,98002305 \text{ derajat} \\
 &= 1,134115350 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- i. Menghitung Jarak Bumi dengan Matahari

$$\begin{aligned}
 R &= (1,000001018 \times (1 - e^2)) / (1 + e \times \cos(V)) \\
 &= (1,000001018 \times (1 - 0,016698884^2)) / (1 + 0,016698884 \times \cos(1,134115350)) \\
 &= 0,992271971
 \end{aligned}$$

- j. Menghitung Apparent Longitude Matahari

Pertama menghitung koreksinya terlebih dahulu

$$\begin{aligned}
 \Omega &= 125,04 - 1934,136 \times T \\
 &= 125,04 - 1934,136 \times 0,231785330 \\
 &= 36,73564877 \text{ derajat} \\
 &= 0,641158023 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

Maka Apparent Longitude Matahari:

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \Theta - 0,00569 - 0,00478 \times \sin(\Omega) \\
 &= 346,609863 - 0,00569 - 0,00478 \times \sin(0,641158023) \\
 &= 346,601526 \text{ derajat}
 \end{aligned}$$

- k. Menghitung Obliquity Ekliptika

Pertama terlebih dahulu menghitung Mean Obliquity dengan rumus:

$$\text{Dimana } U = T/100 = 0,00231785330$$

$$\begin{aligned} \varepsilon_0 &= 23^\circ 26' 21,448'' - 4680,93 * U - 1,55 * U^2 + 1999,25 * U^3 - 51,38 \\ &* U^4 - 294,67 * U^5 - 39,05 * U^6 - 7,12 * U^7 + 27,87 * U^8 + 5,79 * \\ &U^9 + 2,45 * U^{10} \\ &= 23,436277 \text{ derajat} \end{aligned}$$

Sebelum menghitung *True Obliquity*, terlebih dahulu menghitung koreksi menggunakan tabel *Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations*:

D	M	M'	F	Omega	koefisien 1	koefisie n 2
0	0	0	0	1	92025	8.9
-2	0	0	2	2	5736	-3.1
0	0	0	2	2	977	-0.5
0	0	0	0	2	-895	0.5
0	1	0	0	0	54	-0.1
-2	1	0	2	2	224	-0.6
0	0	1	2	2	129	-0.1
-2	-1	0	2	2	-95	0.3
0	0	1	0	0	-7	0
0	0	0	2	1	200	0
-2	0	0	2	1	-70	0
0	0	-1	2	2	-53	0
0	0	1	0	1	-33	0
2	0	-1	2	2	26	0
0	0	-1	0	1	32	0
0	0	1	2	1	27	0
0	0	-2	2	1	-24	0
2	0	0	2	2	16	0
0	0	2	2	2	13	0
-2	0	1	2	2	-12	0
0	0	-1	2	1	-10	0
2	0	-1	0	1	-8	0
-2	2	0	2	2	7	0
0	1	0	0	1	9	0
-2	0	1	0	1	7	0
0	-1	0	0	1	6	0
2	0	-1	2	1	5	0
2	0	1	2	2	3	0
0	1	0	2	2	-3	0
0	-1	0	2	2	3	0
2	0	0	2	1	3	0
-2	0	2	2	2	-3	0
-2	0	1	2	1	-3	0

2	0	-2	0	1	3	0
2	0	0	0	1	3	0
-2	-1	0	2	1	3	0
-2	0	0	0	1	3	0
0	0	2	2	1	3	0

Tabel 3. 3. *Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Truncated Waktu Magrib*

- 1) Elongasi rata-rata Bulan dari Matahari (D) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 D &= 297,85036 + 445267,11148 \times T - 0,0019142 \times T^2 + T^3 / 189474 \\
 &= 297,855036 + 44576,11148 \times 0,231785330 - 0,0019142 \times \\
 &\quad 0,231785330^2 + 0,231785330^3 / 189474 \\
 &= 3,215502 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- 2) Anomali rata-rata Matahari (M) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 M &= 357,52772 + 35999,05034 \times T - 0,0001603 \times T^2 - T^3 / 300000 \\
 &= 357,52772 + 35999,05034 \times 0,231785330 - 0,0001603 \times \\
 &\quad 0,231785330^2 - 0,231785330^3 / 300000 \\
 &= 1,074765 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- 3) Anomali rata-rata Bulan (M')

$$\begin{aligned}
 M' &= 134,96928 + 477198,867398 \times T + 0,0086972 \times T^2 + T^3 / 56250 \\
 &= 134,96928 + 477198,867398 \times 0,231785330 + 0,0086972 \times \\
 &\quad 0,231785330^2 + 0,231785330^3 / 56250 \\
 &= 3,886158 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- 4) *Moon's Arguments of Latitude* (F) dengan Persamaan:

$$\begin{aligned}
 F &= 93,27191 + 483202,017538 \times T - 0,0036825 \times T^2 + T^3 / 327270 \\
 &= 93,27191 + 483202,017538 \times 0,231785330 - 0,0036825 \times \\
 &\quad 0,231785330^2 + 0,231785330^3 / 327270 \\
 &= 2,311006 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- 5) Bujur *Ascending Node* orbit Bulan rata-rata pada ekliptika diukur dari *mean equinox* (Ω), dengan persamaan:

$$\begin{aligned}\Omega^c &= 125,04452 - 1934,136261 \times T + 0,00200708 \times T^2 + T^3 / 450000 \\ &= 125,04452 - 1934,136261 \times 0,231785330 + 0,00200708 \times \\ &\quad 0,231785330^2 + 0,231785330^3 / 450000 \\ &= 0,641238 \text{ radian}\end{aligned}$$

Hasil koreksi dengan tabel tersebut menggunakan format 0,0001 detik, maka setelah semua terkoreksi dijumlahkan kemudian dibagi 10000, maka:

$$\begin{aligned}\Delta\varepsilon &= \text{koreksi}/10000 \\ &= 0,002210078\end{aligned}$$

Kemudian menghitung *True Obliquity* dengan rumus:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon \\ &= 23,436277 + 0,002210078 \\ &= 23,438487 \text{ derajat}\end{aligned}$$

1. Menghitung Apparent Right Ascension (α)

Sebelum menghitung α , terlebih dahulu mengkoreksi ε dengan rumus:

$$\begin{aligned}E &= \varepsilon + 0,00256 \times \text{Cos}(\Omega) \\ &= 23,438487 + 0,00256 \times \text{Cos}(0,641238) \\ &= 23,44104684 \text{ derajat} \\ &= 0,409123447 \text{ radian}\end{aligned}$$

Kemudian menghitung α dengan rumus:

$$\text{Tan } \alpha = \text{Cos}(E) \times \text{Tan}(\lambda)$$

$$= \cos(23,44104684) \times \tan(346,601526)$$

$$= 347,671782 \text{ derajat}$$

$$= 6,068017 \text{ radian}$$

Nilai α kuadrannya harus sama dengan Θ , maka harus ditambahkan 180

$$\alpha = 180 - 6,068017 = 173,931983 \text{ derajat}$$

m. Menghitung Apparent Declination

$$\sin \delta = \sin E \times \sin \lambda$$

$$= \sin 23,44104684 \times \sin 346,601526$$

$$= -5,286034596 \text{ derajat}$$

$$= -5^\circ 17' 9,72''$$

n. Menghitung Equation of Time

$$y = \tan^2(E/2)$$

$$= \tan^2(23,44104684/2)$$

$$= 0,207463635$$

$$\text{EoT} = y * \sin(2 * L_0) - 2 * \sin(M) + 4 * e * y * \sin(M) * \cos(2 * L_0) - 0,5 * y^2 * \sin(4 * L_0) - 5/4 * e^2 * \sin(2 * M)$$

$$= 0,207463635 * \sin(2 * 344,9167953) - 2 * \sin(63,28043985)$$

$$+ 4 * 0,016698884 * 0,207463635 * \sin(63,28043985) * \cos$$

$$(2 * 344,9167953) - 0,5 * 0,207463635^2 * \sin(4 * 344,9167953) - 5/4 * 0,016698884^2 * \sin(2 * 63,28043985)$$

$$= -2,76307145 \text{ derajat} / 15$$

$$= -0,184610528 = 0 \text{ jam } 11 \text{ menit } 4,6 \text{ detik}$$

$$= -0,184610528 = 0 \text{ jam } 11 \text{ menit } 4,6 \text{ detik}$$

o. Menghitung Semi Diameter Matahari

$$S_d = 15' 99,63'' / R$$

$$= 15' 99,63'' / 0,992271971 = 0^\circ 16' 7,11''$$

Perhitungan menggunakan metode Truncated pada tanggal 7 Maret 2023 untuk waktu Isya pukul 12 UT (19.00 WIB)

a. Mencari Julian Day

Sebelum menghitung JD, tanggal dan jamnya harus dirubah terlebih dahulu dari WIB ke UT

$$19.00 \text{ WIB} = 12.00 \text{ UT}$$

$$D = 7, M = 3 Y = 2023$$

Jika $M = 1$ atau 2 , maka $Y - 1$ dan $M + 12$, tapi jika $M > 2$, maka M dan Y tetap).

$$A = \text{INT}(Y/100)$$

$$= \text{INT}(2023/100) = 20$$

$$B = 2 - A + \text{INT}(A/4)$$

$$= 2 - 20 + \text{INT}(20/4) = -13$$

$$\text{JD} = \text{INT}(365,25 \times (Y + 4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (M+1)) + \text{Tanggal} + (\text{Jam} + \text{Menit}/60 + \text{Detik}/3600)/24 - 1524,5$$

$$= \text{INT}(365,25 \times (2023 + 4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (3+1)) + 7 + (12$$

$$+ 00/60 + 00/3600)/24 - 1524,5$$

$$= 2460011,000$$

b. Menghitung Julian Day Ephemeris

$$\Delta T = -15 + (\text{JD} - 2382148)^2 / 41048480$$

$$= -15 + (2460011,000 - 2382148)^2 / 41048480$$

$$= 73,33004405 \text{ detik}$$

$$= 0,000849 \text{ Hari}$$

$$\text{JDE} = \text{JD} + \Delta T$$

$$= 2460011,000 + 0,000849$$

$$= 2460011,0008$$

c. Menghitung Geometri Mean Longitude of the Sun

$$T \text{ (TD)} = (\text{JDE} - 2452545,0) / 36525$$

$$= (2460011,008 - 2452545,0) / 36525$$

$$= 0,231786470$$

$$L_o = 280,46645 + 36000,76983 \times T + 0,0003032 \times T^2$$

$$= 280,46645 + 36000,76983 \times 0,231786470 + 0,0003032 \times$$

$$0,231786470^2$$

$$= 344,95786 \text{ derajat}$$

d. Menghitung Mean Anomaly of the Sun

$$M = 357,52910 + 35999,05030 \times T - 0,0001559 \times T^2 - 0,00000048 \times T^3$$

$$= 357,52910 + 35999,05030 \times 0,231786470 - 0,0001559 \times$$

$$0,231786470^2 - 0,00000048 \times 0,231786470^3$$

$$= 63,32214 \text{ derajat}$$

$$= 1,10518 \text{ radian}$$

e. Menghitung Eksentrisitas Orbit Bumi

$$e = 0,016708617 - 0,000042037 \times T + 0,0000001236 \times T^2$$

$$= 0,016708617 - 0,000042037 \times 0,231786470 + 0,0000001236 \times$$

$$0,231786470^2$$

$$= 0,01670$$

f. Menghitung Persamaan Pusat Matahari

$$\begin{aligned} C &= (1,9146 - 0,004817 \times T - 0,000014 \times T^2) \times \text{SIN}(M) + (0,019993 - \\ & 0,000101 \times T) \times \text{SIN}(2 \times M) + 0,00029 \times \text{SIN}(3 \times M) \\ &= (1,9146 - 0,004817 \times 0,231786470 - 0,000014 \times 0,231786470^2) \times \\ & \text{SIN}(1,10518) + (0,019993 - 0,000101 \times 0,231786470) \times \text{SIN}(2 \times \\ & 1,10518) + 0,00029 \times \text{SIN}(3 \times 1,10518) \\ &= 1,70022 \text{ derajat} \end{aligned}$$

g. Menghitung True Longitude Matahari

$$\begin{aligned} \Theta &= L_o + C \\ &= 344,95786 + 1,70022 \\ &= 346,651556 \text{ derajat} \end{aligned}$$

h. Menghitung True Anomali Matahari

$$\begin{aligned} V &= M + C \\ &= 63,32214 + 1,70022 \\ &= 65,02162 \text{ derajat} \\ &= 1,134841354 \text{ radian} \end{aligned}$$

i. Menghitung Jarak Bumi dengan Matahari

$$\begin{aligned} R &= (1,000001018 \times (1 - e^2)) / (1 + e \times \text{COS}(V)) \\ &= (1,000001018 \times (1 - 0,016698884^2)) / (1 + 0,016698884 \times \text{COS} \\ & (1,134841354)) \\ &= 0,9922826651 \end{aligned}$$

j. Menghitung Apparent Longitude Matahari

Pertama menghitung koreksinya terlebih dahulu

$$\begin{aligned}\Omega &= 125,04 - 1934,136 \times T \\ &= 125,04 - 1934,136 \times 0,231786470 \\ &= 36,73344 \text{ derajat} \\ &= 0,64112 \text{ radian}\end{aligned}$$

Maka Apparent Longitude Matahari:

$$\begin{aligned}\lambda &= \Theta - 0,00569 - 0,00478 \times \text{SIN}(\Omega) \\ &= 346,651556 - 0,00569 - 0,00478 \times \text{SIN}(0,64112) \\ &= 346,64954 \text{ derajat}\end{aligned}$$

k. Menghitung Obliquity Ekliptika

Pertama terlebih dahulu menghitung Mean Obliquity dengan rumus:

Dimana $U = T/100 = 0,00231786470$

$$\begin{aligned}\epsilon_0 &= 23^\circ 26' 21,448'' - 4680,93 * U - 1,55 * U^2 + 1999,25 * U^3 - 51,38 \\ &\quad * U^4 - 294,67 * U^5 - 39,05 * U^6 - 7,12 * U^7 + 27,87 * U^8 + 5,79 * \\ &\quad U^9 + 2,45 * U^{10} \\ &= 23,43628 \text{ derajat}\end{aligned}$$

Sebelum menghitung *True Obliquity*, terlebih dahulu menghitung

koreksi menggunakan tabel *Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations*:

D	M	M'	F	Omega	koefisien 1	koefisien 2
0	0	0	0	1	92025	8.9
-2	0	0	2	2	5736	-3.1
0	0	0	2	2	977	-0.5
0	0	0	0	2	-895	0.5
0	1	0	0	0	54	-0.1
-2	1	0	2	2	224	-0.6
0	0	1	2	2	129	-0.1
-2	-1	0	2	2	-95	0.3

0	0	1	0	0	-7	0
0	0	0	2	1	200	0
-2	0	0	2	1	-70	0
0	0	-1	2	2	-53	0
0	0	1	0	1	-33	0
2	0	-1	2	2	26	0
0	0	-1	0	1	32	0
0	0	1	2	1	27	0
0	0	-2	2	1	-24	0
2	0	0	2	2	16	0
0	0	2	2	2	13	0
-2	0	1	2	2	-12	0
0	0	-1	2	1	-10	0
2	0	-1	0	1	-8	0
-2	2	0	2	2	7	0
0	1	0	0	1	9	0
-2	0	1	0	1	7	0
0	-1	0	0	1	6	0
2	0	-1	2	1	5	0
2	0	1	2	2	3	0
0	1	0	2	2	-3	0
0	-1	0	2	2	3	0
2	0	0	2	1	3	0
-2	0	2	2	2	-3	0
-2	0	1	2	1	-3	0
2	0	-2	0	1	3	0
2	0	0	0	1	3	0
-2	-1	0	2	1	3	0
-2	0	0	0	1	3	0
0	0	2	2	1	3	0

Tabel 3. 4. *Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Truncated Waktu Isya*

- 1) Elongasi rata-rata Bulan dari Matahari (D) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 D &= 297,85036 + 445267,11148 \times T - 0,0019142 \times T^2 + T^3 / 189474 \\
 &= 297,855036 + 44576,11148 \times 0,231786470 - 0,0019142 \times \\
 &\quad 0,231786470^2 + 0,231786470^3 / 189474 \\
 &= 3,224367 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- 2) Anomali rata-rata Matahari (M) dengan persamaan:

$$M = 357,52772 + 35999,05034 \times T - 0,0001603 \times T^2 - T^3 / 300000$$

$$\begin{aligned}
&= 357,52772 + 35999,05034 \times 0,231786470 - 0,0001603 \times \\
&\quad 0,231786470^2 - 0,231786470^3 / 300000 \\
&= 1,075481 \text{ radian}
\end{aligned}$$

3) Anomali rata-rata Bulan (M')

$$\begin{aligned}
M' &= 134,96928 + 477198,867398 \times T + 0,0086972 \times T^2 + T^3 / 56250 \\
&= 134,96928 + 477198,867398 \times 0,231786470 + 0,0086972 \times \\
&\quad 0,231786470^2 + 0,231786470^3 / 56250 \\
&= 3,895659 \text{ radian}
\end{aligned}$$

4) *Moon's Arguments of Latitude* (F) dengan Persamaan:

$$\begin{aligned}
F &= 93,27191 + 483202,017538 \times T - 0,0036825 \times T^2 + T^3 / 327270 \\
&= 93,27191 + 483202,017538 \times 0,231786470 - 0,0036825 \times \\
&\quad 0,231786470^2 + 0,231786470^3 / 327270 \\
&= 2,320626 \text{ radian}
\end{aligned}$$

5) Bujur *Ascending Node* orbit Bulan rata-rata pada ekliptika diukur dari *mean equinox* (Ω), dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
\Omega^c &= 125,04452 - 1934,136261 \times T + 0,00200708 \times T^2 + T^3 / 450000 \\
&= 125,04452 - 1934,136261 \times 0,231786470 + 0,00200708 \times \\
&\quad 0,231786470^2 + 0,231786470^3 / 450000 \\
&= 0,641199 \text{ radian}
\end{aligned}$$

Hasil koreksi dengan tabel tersebut menggunakan format 0,0001 detik, maka setelah semua terkoreksi dijumlahkan kemudian dibagi 10000, maka:

$$\Delta\varepsilon = \text{koreksi}/10000$$

$$= 0,002210529$$

Kemudian menghitung *True Obliquity* dengan rumus:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon \\ &= 23,436277 + 0,002210529 \\ &= 23,438488 \text{ derajat}\end{aligned}$$

l. Menghitung Apparent Right Ascension (α)

Sebelum menghitung α , terlebih dahulu mengoreksi ε dengan rumus:

$$\begin{aligned}E &= \varepsilon + 0,00256 \times \cos(\Omega) \\ &= 23,438488 + 0,00256 \times \cos(0,641199) \\ &= 23,44104784 \text{ derajat} \\ &= 0,409123464 \text{ radian}\end{aligned}$$

Kemudian menghitung α dengan rumus:

$$\begin{aligned}\tan \alpha &= \cos(E) \times \tan(\lambda) \\ &= \cos(23,44104784) \times \tan(346,64954) \\ &= 347,71623 \text{ derajat}\end{aligned}$$

Nilai α kuadrannya harus sama dengan Θ , maka harus ditambahkan 180

$$\alpha = 180 - 347,71623 = 527,71623$$

m. Menghitung Apparent Declination

$$\begin{aligned}\sin \delta &= \sin E \times \sin \lambda \\ &= \sin 23,44104784 \times \sin 346,64954 \\ &= -5,269805556 \\ &= -5^\circ 16' 11,3''\end{aligned}$$

n. Menghitung Equation of Time

$$\begin{aligned}
y &= \tan^2 (E/2) \\
&= \tan^2 (23,44104784/2) = 0,207463644 \\
EoT &= 0,207463644 * \sin (2 * L_o) - 2 * \sin (M) + 4 * e * y * \sin (M) * \\
&\quad \cos (2 * L_o) - 0,5 * y^2 * \sin (4 * L_o) - 5 / 4 * e^2 * \sin (2 * M) \\
&= 0,207463644 * \sin (2 * 344,95786) - 2 * \sin (63,32214) + 4 * \\
&\quad 0,01670 * 0,207463644 * \sin (63,32214) * \cos (2 * 344,95786) \\
&\quad - 0,5 * 0,207463644^2 * \sin (4 * 344,95786) - 5 / 4 * 0,01670^2 * \\
&\quad \sin (2 * 63,32214) \\
&= -2,760582197 \text{ derajat} / 15 \\
&= -0,184434349 \\
&= - 0 \text{ jam } 11 \text{ menit } 4 \text{ detik}
\end{aligned}$$

o. Menghitung Semi Diameter Matahari

$$\begin{aligned}
S_d &= 15' 99,63'' / R \\
&= 15' 99,63'' / 0,9922826651 \\
&= 0^\circ 16' 8''
\end{aligned}$$

Perhitungan menggunakan metode Truncated pada tanggal 7 Maret 2023 untuk waktu Subuh pukul 22 UT (05.00 WIB), untuk waktu salat Subuh data diambil dari tanggal sebelumnya

a. Mencari Julian Day

Sebelum menghitung JD, tanggal dan jamnya harus dirubah terlebih dahulu dari WIB ke UT

$$05.00 \text{ WIB} = 22.00 \text{ UT}$$

$$D = 6, M = 3 Y = 2023$$

(Jika $M = 1$ atau 2 , maka $Y - 1$ dan $M + 12$, tapi jika $M > 2$, maka M dan Y tetap).

$$A = \text{INT} (Y/100)$$

$$= \text{INT} (2023/100) = 20$$

$$B = 2 - A + \text{INT} (A/4)$$

$$= 2 - 20 + \text{INT} (20/4) = -13$$

$$JD = \text{INT} (365,25 \times (Y + 4716)) + \text{INT} (30,6001 \times (M+1)) + \text{Tanggal} +$$

$$(\text{Jam} + \text{Menit}/60 + \text{Detik}/3600)/24 - 1524,5$$

$$= \text{INT} (365,25 \times (2023 + 4716)) + \text{INT} (30,6001 \times (3+1)) + 6 + (22$$

$$+ 00/60 + 00/3600)/24 - 1524,5$$

$$= 2460009,416$$

b. Menghitung Julian Day Ephemeris

$$\Delta T = -15 + (JD - 2382148)^2 / 41048480$$

$$= -15 + (2460009,416 - 2382148)^2 / 41048480$$

$$= 73,3536 \text{ detik}$$

$$= 0,000849 \text{ Hari}$$

$$JDE = JD + \Delta T$$

$$= 2460009,416 + 0,000849$$

$$= 2460009,417$$

c. Menghitung Geometri Mean Longitude of the Sun

$$T (\text{TD}) = (JDE - 2452545,0) / 36525$$

$$= (2460009,417 - 2452545,0) / 36525 = 0,2317431216$$

$$L_o = 280,46645 + 36000,76983 \times T + 0,0003032 \times T^2$$

$$\begin{aligned}
&= 280,46645 + 36000,76983 \times 0,2317431216 + 0,0003032 \times \\
&\quad 0,2317431216^2 \\
&= 343,39476 \text{ derajat} \\
&= 5,999341 \text{ radian}
\end{aligned}$$

d. Menghitung Mean Anomaly of the Sun

$$\begin{aligned}
M &= 357,52910 + 35999,05030 \times T - 0,0001559 \times T^2 - 0,00000048 \times T^3 \\
&= 357,52910 + 35999,05030 \times 0,2317431216 - 0,0001559 \times \\
&\quad 0,2317431216^2 - 0,00000048 \times 0,2317431216^3 \\
&= 61,73681 \text{ derajat} \\
&= 1,07751 \text{ Radian}
\end{aligned}$$

e. Menghitung Eksentrisitas Orbit Bumi

$$\begin{aligned}
e &= 0,016708617 - 0,000042037 \times T + 0,0000001236 \times T^2 \\
&= 0,016708617 - 0,000042037 \times 0,2317431216 + 0,0000001236 \times \\
&\quad 0,2317431216^2 \\
&= 0,01670
\end{aligned}$$

f. Menghitung Persamaan Pusat Matahari

$$\begin{aligned}
C &= (1,9146 - 0,004817 \times T - 0,000014 \times T^2) \times \text{SIN}(M) + (0,019993 - \\
&\quad 0,000101 \times T) \times \text{SIN}(2 \times M) + 0,00029 \times \text{SIN}(3 \times M) \\
&= (1,9146 - 0,004817 \times 0,2317431216 - 0,000014 \times 0,2317431216^2) \\
&\quad \times \text{SIN}(1,07751) + (0,019993 - 0,000101 \times 0,2317431216) \times \text{SIN} \\
&\quad (2 \times 1,07751) + 0,00029 \times \text{SIN}(3 \times 1,07751) \\
&= 1,67542 \text{ derajat}
\end{aligned}$$

g. Menghitung True Longitude Matahari

$$\begin{aligned}\Theta &= L_o + C \\ &= 343,39726 + 1,67542 \\ &= 345,066609 \text{ derajat}\end{aligned}$$

h. Menghitung True Anomali Matahari

$$\begin{aligned}V &= M + C \\ &= 61,73681 + 1,67542 \\ &= 63,41223 \text{ derajat} \\ &= 1,106752199 \text{ radian}\end{aligned}$$

i. Menghitung Jarak Bumi dengan Matahari

$$\begin{aligned}R &= (1,000001018 \times (1 - e^2)) / (1 + e \times \text{COS}(V)) \\ &= (1,000001018 \times (1 - 0,016698884^2)) / (1 + 0,016698884 \times \text{COS} \\ &\quad (1,129680999)) \\ &= 0,9918790831\end{aligned}$$

j. Menghitung Apparent Longitude Matahari

Pertama menghitung koreksinya terlebih dahulu

$$\begin{aligned}\Omega &= 125,04 - 1934,136 \times T \\ &= 125,04 - 1934,136 \times 0,2317431216 \\ &= 36,81729 \text{ derajat} \\ &= 0,64258 \text{ radian}\end{aligned}$$

Maka Apparent Longitude Matahari:

$$\begin{aligned}\lambda &= \Theta - 0,00569 - 0,00478 \times \text{SIN}(\Omega) \\ &= 345,066609 - 0,00569 - 0,00478 \times \text{SIN}(0,64258) \\ &= 345,06412 \text{ derajat}\end{aligned}$$

k. Menghitung Obliquity Ekliptika

Pertama terlebih dahulu menghitung Mean Obliquity dengan rumus:

Dimana $U = T/100 = 0,002317431216$

$$\begin{aligned} \varepsilon_0 &= 23^\circ 26' 21,448'' - 4680,93 * U - 1,55 * U^2 + 1999,25 * U^3 - 51,38 \\ &\quad * U^4 - 294,67 * U^5 - 39,05 * U^6 - 7,12 * U^7 + 27,87 * U^8 + 5,79 * \\ &\quad U^9 + 2,45 * U^{10} \\ &= 23,43629 \text{ derajat} \end{aligned}$$

Sebelum menghitung *True Obliquity*, maka terlebih dahulu menghitung koreksi dengan menggunakan tabel *Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations*:

D	M	M'	F	Omega	koefisien 1	koefisien 2
0	0	0	0	1	92025	8.9
-2	0	0	2	2	5736	-3.1
0	0	0	2	2	977	-0.5
0	0	0	0	2	-895	0.5
0	1	0	0	0	54	-0.1
-2	1	0	2	2	224	-0.6
0	0	1	2	2	129	-0.1
-2	-1	0	2	2	-95	0.3
0	0	1	0	0	-7	0
0	0	0	2	1	200	0
-2	0	0	2	1	-70	0
0	0	-1	2	2	-53	0
0	0	1	0	1	-33	0
2	0	-1	2	2	26	0
0	0	-1	0	1	32	0
0	0	1	2	1	27	0
0	0	-2	2	1	-24	0
2	0	0	2	2	16	0
0	0	2	2	2	13	0
-2	0	1	2	2	-12	0
0	0	-1	2	1	-10	0
2	0	-1	0	1	-8	0
-2	2	0	2	2	7	0
0	1	0	0	1	9	0
-2	0	1	0	1	7	0

0	-1	0	0	1	6	0
2	0	-1	2	1	5	0
2	0	1	2	2	3	0
0	1	0	2	2	-3	0
0	-1	0	2	2	3	0
2	0	0	2	1	3	0
-2	0	2	2	2	-3	0
-2	0	1	2	1	-3	0
2	0	-2	0	1	3	0
2	0	0	0	1	3	0
-2	-1	0	2	1	3	0
-2	0	0	0	1	3	0
0	0	2	2	1	3	0

Tabel 3. 5. *Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Truncated Waktu Isya*

- 1) Elongasi rata-rata Bulan dari Matahari (D) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 D &= 297,85036 + 445267,11148 \times T - 0,0019142 \times T^2 + T^3 / 189474 \\
 &= 297,855036 + 44576,11148 \times 0,2317431216 - 0,0019142 \times \\
 &\quad 0,2317431216^2 + 0,2317431216^3 / 189474 \\
 &= 2,887483 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- 2) Anomali rata-rata Matahari (M) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 M &= 357,52772 + 35999,05034 \times T - 0,0001603 \times T^2 - T^3 / 300000 \\
 &= 357,52772 + 35999,05034 \times 0,231998785 - 0,0001603 \times \\
 &\quad 0,2317431216^2 - 0,2317431216^3 / 300000 \\
 &= 1,048245 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- 3) Anomali rata-rata Bulan (M')

$$\begin{aligned}
 M' &= 134,96928 + 477198,867398 \times T + 0,0086972 \times T^2 + T^3 / 56250 \\
 &= 134,96928 + 477198,867398 \times 0,2317431216 + 0,0086972 \times \\
 &\quad 0,2317431216^2 + 0,2317431216^3 / 56250 \\
 &= 3,534616 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- 4) *Moon's Arguments of Latitude* (F) dengan Persamaan:

$$\begin{aligned}
 F &= 93,27191 + 483202,017538 \times T - 0,0036825 \times T^2 + T^3 / 327270 \\
 &= 93,27191 + 483202,017538 \times 0,2317431216 - 0,0036825 \times \\
 &\quad 0,2317431216^2 + 0,2317431216^3 / 327270 \\
 &= 1,955041 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- 5) Bujur *Ascending Node* orbit Bulan rata-rata pada ekliptika diukur dari *mean equinox* (Ω), dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 \Omega^\circ &= 125,04452 - 1934,136261 \times T + 0,00200708 \times T^2 + T^3 / 450000 \\
 &= 125,04452 - 1934,136261 \times 0,2317431216 + 0,00200708 \times \\
 &\quad 0,2317431216^2 + 0,2317431216^3 / 450000 \\
 &= 0,642663 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

Hasil koreksi dengan tabel tersebut menggunakan format 0,0001 detik, maka setelah semua terkoreksi dijumlahkan kemudian dibagi 10000, maka:

$$\begin{aligned}
 \Delta\varepsilon &= \text{koreksi}/10000 \\
 &= 0,002188881
 \end{aligned}$$

Kemudian menghitung *True Obliquity* dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon \\
 &= 23,436278 + 0,002188881 \\
 &= 23,438467 \text{ derajat}
 \end{aligned}$$

1. Menghitung Apparent Right Ascension (α)

Sebelum menghitung α , terlebih dahulu mengkoreksi ε dengan rumus:

$$\begin{aligned}
 E &= \varepsilon + 0,00256 \times \text{Cos}(\Omega) \\
 &= 23,438467 + 0,00256 \times \text{Cos}(0,64258)
 \end{aligned}$$

$$= 23,44102684 \text{ derajat}$$

$$= 0,409123098 \text{ radian}$$

Kemudian menghitung α dengan rumus:

$$\tan \alpha = \cos (E) \times \tan (\lambda)$$

$$= \cos (23,44102684) \times \tan (345,06412)$$

$$= 346,24775$$

Nilai α kuadrannya harus sama dengan Θ , maka harus ditambahkan 180

$$\alpha = 180 - 346,24775 = 166,24775$$

m. Menghitung Apparent Declination

$$\sin \delta = \sin E \times \sin \lambda$$

$$= \sin 23,44102684 \times \sin 345,06412$$

$$= -5,508371138 \text{ derajat}$$

$$= -5^\circ 30' 30,14''$$

n. Menghitung Equation of Time

$$y = \tan^2 (E/2)$$

$$= \tan^2 (23,44102684) = 0,207463453$$

$$EoT = y * \sin (2 * L_o) - 2 * \sin (M) + 4 * e * y * \sin (M) * \cos (2 *$$

$$L_o) - 0,5 * y^2 * \sin (4 * L_o) - 5/4 * e^2 * \sin (2 * M)$$

$$= 0,207463453 * \sin (2 * 343,39726) - 2 * \sin (61,73681) + 4 *$$

$$0,01670 * 0,207463453 * \sin (61,73681) * \cos (2 * 343,39726)$$

$$- 0,5 * 0,207463453^2 * \sin (4 * 343,39726) - 5/4 * 0,01670^2 *$$

$$\sin (2 * 61,73681)$$

$$= -2,853112748 \text{ derajat} / 15$$

$$= -0,186860018$$

$$= -0 \text{ jam } 11 \text{ menit } 12,7 \text{ detik}$$

- o. Menghitung Semi Diameter Matahari

$$Sd = 15' 99,63'' / R$$

$$= 15' 99,63'' / 0,9918790831$$

$$= 0^\circ 16' 7,25''$$

2. Data Matahari Higher Accuracy Jean Meeus

Perhitungan data Matahari dengan metode *Higher Accuracy* bisa didapatkan dengan *VSOP87 Theory* yang memiliki tingkat akurasi 0,01 detik busur. Teori ini mempunyai total jumlah koreksi 2425 buah, untuk koreksi bujur ekliptika sendiri koreksinya 1080 buah, untuk lintang ekliptika koreksinya 348 buah, dan untuk jarak Matahari ke Bumi mempunyai koreksi 997 buah.

Algoritma Jean Meeus ini sebenarnya merupakan reduksi dari teori VSOP87 yang memiliki akurasi tinggi, dari suku koreksi yang jumlahnya ribuan teori VSOP87 ini mengambil koreksi-koreksi yang penting. Untuk menentukan posisi Matahari, maka yang diperhitungkan adalah sekitar ratusan suku-suku yang besar dan penting, adapun suku-suku yang kecil tidak diperhitungkan.³ Dengan total koreksi 159 buah dan teori VSOP87 ini mempunyai kesalah yang tidak lebih dari 1 detik dalam rentang periode -2000 sampai dengan 6000.

³ Dede Muhammad Isnaeni, dkk, "Implementasi Algoritma Meeus dalam Penentuan Waktu Salat dan Pencarian Masjid Terdekat", Jurnal UINJKT, Vol. 8, No, 1, 8 Juni 2016, 50.

Berikut merupakan contoh perhitungan menggunakan metode *Higher Accuracy*:

Perhitungan menggunakan metode Higher Accuracy pada tanggal 7

Maret 2023 untuk waktu salat Zuhur pukul 5 UT (12.00 WIB)

a. Menghitung Julian Day

Sebelum menghitung JD, tanggal dan jamnya harus dirubah terlebih dahulu dari WIB ke UT

$$12:00:00 \text{ WIB} = 05:00:00 \text{ UT}$$

$$D = 7, M = 3, Y = 2023$$

(jika $M = 1$ atau 2 , maka $Y - 1$ dan $M + 12$, tapi jika $M > 2$, maka M dan Y tetap)

$$\begin{aligned} A &= \text{INT}(Y/100) \\ &= \text{INT}(2023/100) \\ &= 20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= 2 - A + \text{INT}(A/4) \\ &= 2 - 20 + \text{INT}(20/4) \\ &= -13 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{JD} &= \text{INT}(365,25 \times (Y+4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (M+1)) + \text{Tanggal} \\ &\quad + (\text{Jam} + \text{Menit}/60 + \text{Detik}/3600)/24 - 1524,5 \\ &= \text{INT}(365,25 \times (2023+4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (3+1)) + 7 + (05 \\ &\quad + 00/60 + 00/3600)/24 - 1524,5 \\ &= 2460010,708 \end{aligned}$$

b. Menghitung Julian Day Ephemeris

$$\begin{aligned}\Delta T &= -15 + ((JD - 2382148)^2 / 41048480) \\ &= -15 + ((2460010,708 - 2382148)^2 / 41048480) \\ &= 132,6936855 \text{ detik} \\ &= 0,001535806 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}JDE &= JD + \Delta T \\ &= 2460010,708 + 0,001535806 \\ &= 2460010,709\end{aligned}$$

c. Menghitung Periodic Terms pada Appendix II

Terdapat tabel-tabel koreksi orbit planet dalam Appendix II. Ada 3 jenis data berbeda untuk orbit planet-planet ini: L (untuk garis bujur planet heliosentris), B (untuk garis lintang planet heliosentris), dan R (untuk jarak planet dari Matahari). Sedangkan untuk menghitung posisi Matahari dari Bumi, menggunakan tabel Earth. Untuk data Bumi, L dipecah menjadi 6 kelompok (L0, L1, L2, L3, L4 dan L5), B menjadi kelompok (B0 dan B2), dan R menjadi 5 kelompok (R0, R1, R2, R3 dan R4).

Sebelum itu terlebih dahulu harus menghitung T (TD) dan Υ

$$\begin{aligned}T \text{ (TD)} &= (JDE - 2452545,0) / 36525 \\ &= (2460010,709 - 2452545,0) / 36525 \\ &= 0,231778485\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Upsilon &= T / 10 \\ &= 0,231778485 / 10\end{aligned}$$

$$= 0,023177848$$

Penggunaan tabel ini dengan rumus:

$$A * \text{Cos} (B+C* \tau)$$

Kemudian menghitung hasil tiap kelompok koreksi.

$$L_0 = 178299226,858157$$

$$L_1 = 14563379388,388900$$

$$L_2 = 25,587487$$

$$L_3 = 0,003241$$

$$L_4 = -0,000031$$

$$L_5 = 0,000000$$

Untuk mendapatkan Bujur Heliosentris Bumi, maka menggunakan rumus:

$$L = (L_0 + L_1 * \tau + L_2 * \tau^2 + L_3 * \tau^3 + L_4 * \tau^4 + L_5 * \tau^5) / 10^8$$

$$L = 147,416786 \text{ radian}$$

$$= 8446,3596672 \text{ derajat}$$

Hasil tersebut harus ditambahkan 180 untuk mendapatkan bujur ekliptika Matahari, karena hasil tersebut merupakan bujur ekliptika Bumi yang dikur dari Matahari.

$$\Theta = L + 180$$

$$= 346,359691 \text{ derajat}$$

Setelah itu menghitung koreksi untuk Θ dengan rumus:

$$\Theta^t = \Theta - 0,09033''$$

$$= 346,359691 - 0,90033''$$

$$= 346,359665 \text{ derajat}$$

Hasil tersebut merupakan True Geometric Longitude Matahari

Kemudian, beralih ke tabel lintang Heliosentris Bumi.

$$B_0 = -148,665723$$

$$B_1 = 0,059057$$

Untuk mendapatkan lintang Geometric Matahari menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} B &= (B_0 + B_1 * T) / 10^8 \\ &= -0,000001 \text{ radian} \\ &= -0,307 \text{ detik busur (hasilnya diegatifkan)} \end{aligned}$$

Setelah itu menghitung koreksi B dengan rumus:

$$\begin{aligned} \lambda' &= \Theta - 1,397 * T - 0,00031 * T^2 \\ &= 346,359691 - 1,397 * 0,231778485 - 0,00031 * 0,231778485^2 \\ &= 346,0358798 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta B &= 0,03916 * (\text{COS } \lambda' - \text{SIN } \lambda') \\ &= 0,03916 * (\text{COS } 346,0358798 - \text{SIN } 346,0358798) \\ &= 0,047 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= B + \Delta B \\ &= 0,307 + 0,047 \\ &= 0,354 \end{aligned}$$

Kemudian beralih ke tabel R jarak Bumi ke Matahari

$$R_0 = 99215616,700711$$

$$R_1 = -1504,544567$$

$$R2 = 1,907967$$

$$R3 = 0,001215$$

$$R4 = -0,0000001$$

Maka, True Geosentric Distance dapat diketahui dengan rumus:

$$R = (R0 + R1 * \tau + R2 * \tau^2 + R3 * \tau^3 + R4 * \tau^4) / 10^8$$

$$= 0,9921411407$$

d. Menghitung Nutasi dan True Obliquity

E_0 merupakan *Mean Obliquity* (sudut kemiringan rata-rata antara ekliptika dan ekuator langit) yang dihitung dengan algoritma:

$$\begin{aligned} \varepsilon_0 = & 23^\circ 26' 21,448'' - 4680,93 * U - 1,55 * U^2 + 1999,25 * U^3 - 51,38 \\ & * U^4 - 249,67 * U^5 - 39,05 * U^6 + 7,12 * U^7 + 27,87 * U^8 + 5,79 \\ & * U^9 + 2,45 * U^{10} \end{aligned}$$

$$\text{Dimana } U = T/100 = 0,00231778485$$

Jika disubstitusikan nilai-nilai di atas, maka didapatkan:

$$\begin{aligned} \varepsilon_0 = & 23,436277 \text{ derajat} \\ = & 23^\circ 26' 10,6'' \end{aligned}$$

Sebelum menghitung *True Obliquity*, maka terlebih dahulu menghitung koreksi $\Delta\varepsilon$ dengan menggunakan tabel *terms of the 1980*

IAU Theory of Nutations:

D	M	M'	F	Ω	$\Delta\psi$		$\Delta\varepsilon$	
					Coefficients of The Sine		Coefficients of The Cosine	
0	0	0	0	1	-171996	-174.2	92025	8.9
-2	0	0	2	2	-13187	-1.6	5736	-3.1
0	0	0	2	2	-2274	-0.2	977	-0.5

0	0	0	0	2	2062	0.2	-895	0.5
0	1	0	0	0	1426	-3.4	54	-0.1
0	0	1	0	0	712	0.1	224	-0.6
-2	1	0	2	2	-517	1.2	129	-0.1
0	0	0	2	1	-386	-0.4	-95	0.3
-2	-1	0	2	2	217	-0.5	-7	0
-2	0	0	2	1	129	0.1	200	0
0	0	1	0	1	63	0.1		
0	0	-1	0	1	-58	-0.1	-70	0
0	2	0	0	0	17	-0.1	-53	0
-2	2	0	2	2	-16	0.1		
0	0	1	2	2	-301	0	-33	0
-2	0	1	0	0	-158	0	26	0
0	0	-1	2	2	123	0	32	0
2	0	0	0	0	63	0	27	0
2	0	-1	2	2	-59	0		
0	0	1	2	1	-51	0	-24	0
-2	0	2	0	0	48	0	16	0
0	0	-2	2	1	46	0	13	0
2	0	0	2	2	-38	0		
0	0	2	2	2	-31	0	-12	0
0	0	2	0	0	29	0		
-2	0	1	2	2	29	0		
0	0	0	2	0	26	0	-10	0
-2	0	0	2	0	-22	0		
0	0	-1	2	1	21	0	-8	0
2	0	-1	0	1	16	0	7	0
0	1	0	0	1	-15	0	9	0
-2	0	1	0	1	-13	0	7	0
0	-1	0	0	1	-12	0	6	0
0	0	2	-2	0	11	0		
2	0	-1	2	1	-10	0	5	0
2	0	1	2	2	-8	0	3	0
0	1	0	2	2	7	0	-3	0
-2	1	1	0	0	-7	0		
0	-1	0	2	2	-7	0	3	0
2	0	0	2	1	-7	0	3	0
2	0	1	0	0	6	0		
-2	0	2	2	2	6	0	-3	0
-2	0	1	2	1	6	0	-3	0
2	0	-2	0	1	-6	0	3	0
2	0	0	0	1	-6	0	3	0
0	-1	1	0	0	5	0		
-2	-1	0	2	1	-5	0	3	0
-2	0	0	0	1	-5	0	3	0
0	0	2	2	1	-5	0	3	0
-2	0	2	0	1	4	0		
-2	1	0	2	1	4	0		

0	0	1	-2	0	4	0
-1	0	1	0	0	-4	0
-2	1	0	0	0	-4	0
1	0	0	0	0	-4	0
0	0	1	2	0	3	0
0	0	-2	2	2	-3	0
-1	-1	1	0	0	-3	0
0	1	1	0	0	-3	0
0	-1	1	2	2	-3	0
2	-1	-1	2	2	-3	0
0	0	3	2	2	-3	0
2	-1	0	2	2	-3	0

Tabel 3. 6. *Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Higher Accuracy Waktu Zuhur*

Sebelum menghitung $\Delta\psi$ dan $\Delta\epsilon$ dengan tabel di atas, maka terlebih dahulu menghitung Multiple Argumentsnya:

- 1) Elongasi rata-rata Bulan dari Matahari (D) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 D &= 297,85036 + 445267,11148 \times T - 0,0019142 \times T^2 + T^3 / 189474 \\
 &= 297,85036 + 445267,11148 \times 0,231778485 - 0,0019142 \times \\
 &\quad 0,231778485^2 + 0,231778485^3 / 189474 \\
 &= 3,162310 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- 2) Anomali rata-rata matahari (M) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 M &= 357,52772 + 35999,05034 \times T - 0,0001603 \times T^2 - T^3 / 300000 \\
 &= 357,52772 + 35999,05034 \times 0,231778485 - 0,0001603 \times \\
 &\quad 0,231778485^2 - 0,231778485^3 / 300000 \\
 &= 1,070464 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

- 3) Anomali rata-rata Bulan (M') dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 M' &= 134,96298 + 477198,867398 \times T + 0,0086972 \times T^2 + T^3 / \\
 &\quad 56250
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 134,96298 + 477198,867398 \times 0,231778485 + 0,0086972 \times \\
&\quad 0,231778485^2 + 0,231778485^3 / 56250 \\
&= 3,829151 \text{ radian}
\end{aligned}$$

4) *Moon's Argument of Latitude* (F) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
F &= 93,27191 + 483202,017538 \times T - 0,0036825 \times T^2 + T^3 / 327270 \\
&= 93,27191 + 483202,017538 \times 0,231778485 - 0,0036825 \times \\
&\quad 0,231778485^2 + 0,231778485^3 / 327270 \\
&= 2,253282 \text{ radian}
\end{aligned}$$

5) Bujur *Ascending Node* orbit bulan rata-rata pada ekliptika diukur dari *mean equinox* tanggal yang bersangkutan (Ω) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
\Omega^\circ &= 125,04452 - 1934,136261 * T + 0,00200708 * T^2 + T^3 / \\
&\quad 450000 \\
&= 125,04452 - 1934,136261 * 0,231778485 + 0,00200708 * \\
&\quad 0,231778485^2 + 0,231778485^3 / 450000 \\
&= 0,641469 \text{ radian}
\end{aligned}$$

Cara menggunakan tabel di atas untuk menghitung $\Delta\psi$ adalah dengan format:

Coefficient * Sin (Multiple Arguments)

Karena hasil koreksi dengan tabel tersebut menggunakan format 0,0001 detik, maka setelah semua koreksi dijumlahkan dibagi 10000, maka:

$$\Delta\varepsilon = \text{koreksi}/10000/3600$$

$$= 0,002207211 \text{ derajat}$$

Kemudian menghitung *True Obliquity* dengan rumus:

$$\varepsilon = E_0 + \Delta\varepsilon$$

$$= 23,436277 + 0,002207$$

$$= 23,438485 \text{ derajat}$$

$$= 23^\circ 26' 18,55''$$

e. Menghitung koreksi Aberasi

$$-20,4898'' / (3600/R)$$

$$= -20,4898 / (3600/0,99214114)$$

$$= -0,005737$$

f. Menghitung Apparent Longitude Matahari

$$\lambda = \Theta^t + \Delta\psi + \text{Aberasi}$$

$$= 346,359665 + (-0,002566744) - 0,005737$$

$$= 346,351362$$

$$= 346^\circ 21' 5''$$

g. Menghitung Apparent Right Ascension (α)

Sebelum menghitung α , ε harus dikoreksi terlebih dahulu

menggunakan rumus:

$$+0,00256 * \text{Cos}(\Omega)$$

Maka,

$$E = \varepsilon + 0,00256 * \text{Cos}(\Omega)$$

$$= 23,438485 + 0,00256 * \text{Cos} (36,753466389)$$

$$= 23,44053612 \text{ derajat}$$

Menghitung α dengan rumus:

$$\text{Tan } \alpha = \text{Cos} (E) * \text{Tan} (\lambda)$$

$$= \text{Cos} (23,44053612) * \text{Tan} (346,351362)$$

$$= 347,440254$$

Nilai α harus sama kuadrannya dengan Θ , maka ditambahkan 180

$$\alpha = 180 + 347,440254$$

$$= 527,440254 \text{ derajat}$$

$$= 527^\circ 26' 25''$$

h. Menghitung Apparent Declination

$$\text{Sin } \delta = \text{Sin} E * \text{Sin } \lambda$$

$$= \text{Sin} 23,44053612 * \text{Sin} 346,351362$$

$$\delta = -5,390653 \text{ derajat}$$

$$= -5^\circ 23' 26,35''$$

i. Menghitung Equation of Time

Sebelum menghitung *equation of time*, terlebih dahulu menghitung rata-rata bujur Matahari dengan rumus:

$$L_0 = 280,4664567 + 360007,6982779 * T - 0,03032028 * T^2 + T^3 /$$

$$49931 - T^4 / 15299 - T^5 / 1988000$$

$$= 344,6703804 \text{ derajat}$$

$$\text{Eq} = L_0 - 0,0057183 - \alpha + \Delta\psi * \text{Cos} e$$

$$= -0,185248$$

$$= -0 \text{ jam } 11 \text{ menit } 7 \text{ detik}$$

j. Menghitung Semi Diameter Matahari

$$\begin{aligned} S_d &= 15' 59,63'' / R \\ &= 15' 59,63'' / 0,9921411407 \\ &= 0,2686763 \\ &= 0^\circ 16' 7,23'' \end{aligned}$$

Perhitungan menggunakan metode Higher Accuracy pada tanggal 7 Maret 2023 untuk waktu salat Asar pukul 8 UT (15.00 WIB)

a. Menghitung Julian Day

Sebelum menghitung JD, tanggal dan jamnya harus dirubah terlebih dahulu dari WIB ke UT

$$15:00:00 \text{ WIB} = 08:00:00 \text{ UT}$$

$$D = 7, M = 3, Y = 2023$$

(jika $M = 1$ atau 2 , maka $Y - 1$ dan $M + 12$, tapi jika $M > 2$, maka

M dan Y tetap)

$$A = \text{INT}(Y/100)$$

$$= \text{INT}(2023/100)$$

$$= 20$$

$$B = 2 - A + \text{INT}(A/4)$$

$$= 2 - 20 + \text{INT}(20/4)$$

$$= -13$$

$$\text{JD} = \text{INT}(365,25 \times (Y+4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (M+1)) + \text{Tanggal}$$

$$+ (\text{Jam} + \text{Menit}/60 + \text{Detik}/3600)/24 - 1524,5$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{INT} (365,25 \times (2023+4716)) + \text{INT} (30,6001 \times (3+1)) + 7 + (08 \\
 &\quad + 00/60 + 00/3600)/24 - 1524,5 \\
 &= 2460010,833
 \end{aligned}$$

b. Menghitung Julian Day Ephemeris

$$\begin{aligned}
 \Delta T &= -15 + ((\text{JD} - 2382148)^2 / 41048480) \\
 &= -15 + ((2460010,833 - 2382148)^2 / 41048480) \\
 &= 73,3536 \text{ detik} \\
 &= 0,000849 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{JDE} &= \text{JD} + \Delta T \\
 &= 2460010,833 + 0,000849 \\
 &= 2460010,834
 \end{aligned}$$

c. Menghitung Periodic Terms pada Appendix II

Sebelumnya harus menghitung T (TD) dan \mathcal{T} terlebih dahulu

$$\begin{aligned}
 T \text{ (TD)} &= (\text{JDE} - 2452545,0) / 36525 \\
 &= (2460010,834 - 2452545,0) / 36525 \\
 &= 0,231781907
 \end{aligned}$$

$$\mathcal{T} = T / 10$$

$$= 0,231781907 / 10 = 0,0231781907$$

Penggunaan tabel ini dengan rumus:

$$A * \text{Cos} (B+C* \mathcal{T})$$

Kemudian menghitung hasil tiap kelompok koreksi.

$$L0 = 178302059,321814$$

$$L1 = 14563594429,896000$$

$$L_2 = 25,580017$$

$$L_3 = 0,003235$$

$$L_4 = -0,000031$$

$$L_5 = 0,000000$$

Untuk mendapatkan Bujur Heliosentris Bumi, maka menggunakan rumus:

$$L = (L_0 + L_1 * \tau + L_2 * \tau^2 + L_3 * \tau^3 + L_4 * \tau^4 + L_5 * \tau^5) / 10^8$$

$$L = 147,418970 \text{ radian}$$

$$= 8446,484781 \text{ derajat}$$

Hasil tersebut kemudian ditambahkan 180° , karena posisi Bumi diukur dari Matahari merupakan kebalikan dari posisi Matahari diukur dari Bumi.

$$\Theta = L + 180$$

$$= 346,4884781 \text{ derajat}$$

Setelah itu menghitung koreksi untuk Θ dengan rumus:

$$\Theta' = \Theta - 0,09033''$$

$$= 346,4884781 - 0,90033''$$

$$= 346,484756 \text{ derajat}$$

Hasil tersebut merupakan True Geometric Longitude Matahari

Kemudian, beralih ke tabel lintang Heliosentris Bumi.

$$B_0 = -143,597588$$

$$B_1 = 0,059278$$

Untuk mendapatkan lintang Geometric Matahari menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} B &= (B_0 + B_1 * \tau) / 10^8 \\ &= -0,000001 \text{ radian} \\ &= -0,296 \text{ detik busur (hasilnya diegatifkan)} \end{aligned}$$

Setelah itu menghitung koreksi B dengan rumus:

$$\begin{aligned} \lambda' &= \Theta - 1,397 * T - 0,00031 * T^2 \\ &= 346,4884781 - 1,397 * 0,231781907 - 0,00031 * 0,231781907^2 \\ &= 346,1646621 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta B &= 0,03916 * (\text{COS } \lambda' - \text{SIN } \lambda') \\ &= 0,03916 * (\text{COS } 346,1646621 - \text{SIN } 346,1646621) \\ &= 0,047 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta &= B + \Delta B \\ &= 0,296 + 0,047 \\ &= 0,343 \end{aligned}$$

Kemudian beralih ke tabel R jarak Bumi ke Matahari

$$R_0 = 99218811,285126$$

$$R_1 = -1508,614766$$

$$R_2 = 1,904692$$

$$R_3 = 0,001218$$

$$R_4 = -0,000001$$

Maka, True Geosentric Distance dapat diketahui dengan rumus:

$$R = (R_0 + R_1 * \tau + R_2 * \tau^2 + R_3 * \tau^3 + R_4 * \tau^4) / 10^8$$

$$= 0,9921730458$$

d. Menghitung Nutasi dan True Obliquity

ϵ_0 merupakan *Mean Obliquity* (sudut kemiringan rata-rata antara ekliptika dan ekuator langit) yang dihitung dengan algoritma:

$$\begin{aligned} \epsilon_0 = & 23^\circ 26' 21,448'' - 4680,93 * U - 1,55 * U^2 + 1999,25 * U^3 - 51,38 \\ & * U^4 - 249,67 * U^5 - 39,05 * U^6 + 7,12 * U^7 + 27,87 * U^8 + 5,79 \\ & * U^9 + 2,45 * U^{10} \end{aligned}$$

Dimana $U = T/100 = 0,00231781907$

Jika disubstitusikan nilai-nilai di atas, maka didapatkan:

$$\epsilon_0 = 23,436277 \text{ derajat} = 23^\circ 26' 10,6''$$

Sebelum menghitung *True Obliquity*, maka terlebih dahulu menghitung koreksi $\Delta\epsilon$ dengan menggunakan tabel *terms of the 1980 IAU Theory of Nutations*:

M	M'	F	Ω	$\Delta\psi$ Coefficients of The Sine		$\Delta\epsilon$ Coefficients of The Cosine	
0	0	0	1	-171996	-174.2	92025	8.9
0	0	2	2	-13187	-1.6	5736	-3.1
0	0	2	2	-2274	-0.2	977	-0.5
0	0	0	2	2062	0.2	-895	0.5
1	0	0	0	1426	-3.4	54	-0.1
0	1	0	0	712	0.1	224	-0.6
1	0	2	2	-517	1.2	129	-0.1
0	0	2	1	-386	-0.4	-95	0.3
-1	0	2	2	217	-0.5	-7	0
0	0	2	1	129	0.1	200	0
0	1	0	1	63	0.1		
0	-1	0	1	-58	-0.1	-70	0
2	0	0	0	17	-0.1	-53	0
2	0	2	2	-16	0.1		
0	1	2	2	-301	0	-33	0
0	1	0	0	-158	0	26	0
0	-1	2	2	123	0	32	0

0	0	0	0	63	0	27	0
0	-1	2	2	-59	0		
0	1	2	1	-51	0	-24	0
0	2	0	0	48	0	16	0
0	-2	2	1	46	0	13	0
0	0	2	2	-38	0		
0	2	2	2	-31	0	-12	0
0	2	0	0	29	0		
0	1	2	2	29	0		
0	0	2	0	26	0	-10	0
0	0	2	0	-22	0		
0	-1	2	1	21	0	-8	0
0	-1	0	1	16	0	7	0
1	0	0	1	-15	0	9	0
0	1	0	1	-13	0	7	0
-1	0	0	1	-12	0	6	0
0	2	-2	0	11	0		
0	-1	2	1	-10	0	5	0
0	1	2	2	-8	0	3	0
1	0	2	2	7	0	-3	0
1	1	0	0	-7	0		
-1	0	2	2	-7	0	3	0
0	0	2	1	-7	0	3	0
0	1	0	0	6	0		
0	2	2	2	6	0	-3	0
0	1	2	1	6	0	-3	0
0	-2	0	1	-6	0	3	0
0	0	0	1	-6	0	3	0
-1	1	0	0	5	0		
-1	0	2	1	-5	0	3	0
0	0	0	1	-5	0	3	0
0	2	2	1	-5	0	3	0
0	2	0	1	4	0		
1	0	2	1	4	0		
0	1	-2	0	4	0		
0	1	0	0	-4	0		
1	0	0	0	-4	0		
0	0	0	0	-4	0		
0	1	2	0	3	0		
0	-2	2	2	-3	0		
-1	1	0	0	-3	0		
1	1	0	0	-3	0		
-1	1	2	2	-3	0		
-1	-1	2	2	-3	0		
0	3	2	2	-3	0		
-1	0	2	2	-3	0		

Tabel 3. 7. *Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Higher Accuracy Waktu Asar*

Sebelum menghitung $\Delta\psi$ dan $\Delta\varepsilon$ dengan tabel di atas, maka terlebih dahulu menghitung Multiple Argumentsnya:

1) Elongasi rata-rata Bulan dari Matahari (D) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 D &= 297,85036 + 445267,11148 \times T - 0,0019142 \times T^2 + T^3 / \\
 &189474 \\
 &= 297,85036 + 445267,11148 \times 0,231781907 - 0,0019142 \times \\
 &0,231781907^2 + 0,231781907^3 / 189474 \\
 &= 3,188906 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

2) Anomali rata-rata matahari (M) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 M &= 357,52772 + 35999,05034 \times T - 0,0001603 \times T^2 - T^3 / \\
 &300000 \\
 &= 357,52772 + 35999,05034 \times 0,231781907 - 0,0001603 \times \\
 &0,231781907^2 - 0,231781907^3 / 300000 \\
 &= 1,072614 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

3) Anomali rata-rata Bulan (M') dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 M' &= 134,96298 + 477198,867398 \times T + 0,0086972 \times T^2 + T^3 / \\
 &56250 \\
 &= 134,96298 + 477198,867398 \times 0,231781907 + 0,0086972 \\
 &\times 0,231781907^2 + 0,231781907^3 / 56250 \\
 &= 3,857655 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

4) *Moon's Argument of Latitude* (F) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 F &= 93,27191 + 483202,017538 \times T - 0,0036825 \times T^2 + T^3 / \\
 &\quad 327270 \\
 &= 93,27191 + 483202,017538 \times 0,231781907 - 0,0036825 \times \\
 &\quad 0,231781907^2 + 0,231781907^3 / 327270 \\
 &= 2,282144 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

5) Bujur *Ascending Node* orbit bulan rata-rata pada ekliptika diukur dari *mean equinox* tanggal yang bersangkutan (Ω) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 \Omega^\circ &= 125,04452 - 1934,136261 * T + 0,00200708 * T^2 + T^3 / \\
 &\quad 450000 \\
 &= 125,04452 - 1934,136261 * 0,231781907 + 0,00200708 * \\
 &\quad 0,231781907^2 + 0,231781907^3 / 450000 \\
 &= 0,641353 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

Cara menggunakan tabel di atas untuk menghitung $\Delta\psi$ adalah dengan format:

Coefficient * Sin (Multiple Arguments)

Setelah hasil koreksi tersebut dijumlahkan, kemudian dibagi 10000. Karena hasil koreksi dengan tabel tersebut menggunakan format 0,0001 detik.

$$\begin{aligned}
 \Delta\varepsilon &= \text{koreksi}/10000/3600 \\
 &= 0,002208678 \text{ derajat}
 \end{aligned}$$

Kemudian menghitung *True Obliquity* dengan rumus:

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon \\ &= 23,436277 + 0,002208678 \\ &= 23,438486 \text{ derajat} \\ &= 23^\circ 26' 18,55''\end{aligned}$$

e. Menghitung koreksi Aberasi

$$\begin{aligned}&-20,4898'' / (3600/R) \\ &= -20,4898 / (3600/0,99217305) \\ &= -0,005737\end{aligned}$$

f. Menghitung Apparent Longitude Matahari

$$\begin{aligned}\lambda &= \Theta^t + \Delta\psi + \text{Aberasi} \\ &= 346,484756 + (-0,00257107) - 0,005737 \\ &= 346,476448 \\ &= 346^\circ 28' 35''\end{aligned}$$

g. Menghitung Apparent Right Ascension (α)

Sebelum menghitung α , ε harus dikoreksi terlebih dahulu menggunakan rumus:

$$+0,00256 * \text{Cos} (\Omega)$$

Maka,

$$\begin{aligned}E &= \varepsilon + 0,00256 * \text{Cos} (\Omega) \\ &= 23,438486 + 0,00256 * \text{Cos} (0,641353) \\ &= 23,44104584 \text{ derajat}\end{aligned}$$

Menghitung α dengan rumus:

$$\begin{aligned}\tan \alpha &= \cos (E) * \tan (\lambda) \\ &= \cos (23,44104584) * \tan (346,476448) \\ &= 347,556031\end{aligned}$$

Nilai α harus sama kuadrannya dengan Θ , maka ditambahkan 180

$$\begin{aligned}\alpha &= 180 + 347,556031 \\ &= 527,556031 \text{ derajat} \\ &= 527^{\circ} 33' 22''\end{aligned}$$

h. Menghitung Apparent Declination

$$\begin{aligned}\sin \delta &= \sin E * \sin \lambda \\ &= \sin 23,44104584 * \sin 346,476448 \\ \delta &= -5,341114 \text{ derajat } -5,390653 \text{ derajat} \\ &= -5^{\circ} 20' 28''\end{aligned}$$

i. Menghitung Equation of Time

Sebelum menghitung *equation of time*, terlebih dahulu menghitung rata-rata bujur Matahari dengan rumus:

$$\begin{aligned}L_0 &= 280,4664567 + 360007,6982779 * T - 0,03032028 * T^2 + T^3 / \\ &\quad 49931 - T^4 / 15299 - T^5 / 1988000 \\ &= 344,7935863 \text{ derajat}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Eq &= L_0 - 0,0057183 - \alpha + \Delta\psi * \cos e \\ &= -0,184743 \\ &= -0 \text{ jam } 11 \text{ menit } 5 \text{ detik}\end{aligned}$$

j. Menghitung Semi Diameter Matahari

$$Sd = 15' 59,63'' / R$$

$$= 15' 59,63'' / 0,99217305$$

$$= 0,2686675$$

$$= 0^{\circ} 16' 7''$$

Perhitungan menggunakan metode Higher Accuracy pada tanggal 7 Maret 2023 untuk waktu salat Magrib pukul 11 UT (18.00 WIB)

a. Menghitung Julian Day

Sebelum menghitung JD, tanggal dan jamnya harus dirubah terlebih dahulu dari WIB ke UT

$$18:00:00 \text{ WIB} = 11:00:00 \text{ UT}$$

$$D = 7, M = 3, Y = 2023$$

(jika $M = 1$ atau 2 , maka $Y - 1$ dan $M + 12$, tapi jika $M > 2$, maka M dan Y tetap)

$$A = \text{INT}(Y/100)$$

$$= \text{INT}(2023/100)$$

$$= 20$$

$$B = 2 - A + \text{INT}(A/4)$$

$$= 2 - 20 + \text{INT}(20/4)$$

$$= -13$$

$$\text{JD} = \text{INT}(365,25 \times (Y+4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (M+1)) + \text{Tanggal}$$

$$+ (\text{Jam} + \text{Menit}/60 + \text{Detik}/3600)/24 - 1524,5$$

$$= \text{INT}(365,25 \times (2023+4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (3+1)) + 7 + (08$$

$$+ 00/60 + 00/3600)/24 - 1524,5$$

$$= 2460010,958$$

b. Menghitung Julian Day Ephemeris

$$\begin{aligned}\Delta T &= -15 + ((JD - 2382148)^2 / 41048480) \\ &= -15 + ((2460010,958 - 2382148)^2 / 41048480) \\ &= 73,3536 \text{ detik} \\ &= 0,000849 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}JDE &= JD + \Delta T \\ &= 2460010,958 + 0,000849 \\ &= 2460010,959\end{aligned}$$

c. Menghitung Periodic Terms pada Appendix II

Sebelumnya harus menghitung T (TD) dan τ terlebih dahulu

$$\begin{aligned}T \text{ (TD)} &= (JDE - 2452545,0) / 36525 \\ &= (2460010,959 - 2452545,0) / 36525 \\ &= 0,231785330\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\tau &= T / 10 \\ &= 0,231785330 / 10\end{aligned}$$

$$= 0,0231785330$$

UIN SUNAN AMPEL
SURABAYA

Penggunaan tabel ini dengan rumus:

$$A * \text{Cos} (B+C* \tau)$$

Kemudian menghitung hasil tiap kelompok koreksi.

$$L0 = 178305777,566666$$

$$L1 = 14563809471.420500$$

$$L2 = 25,572559$$

$$L3 = 0,003229$$

$$L_4 = -0,000031$$

$$L_5 = 0,000000$$

Untuk mendapatkan Bujur Heliosentris Bumi, maka menggunakan rumus:

$$L = (L_0 + L_1 * \tau + L_2 * \tau^2 + L_3 * \tau^3 + L_4 * \tau^4 + L_5 * \tau^5) / 10^8$$

$$L = 147,421153 \text{ radian}$$

$$= 8446,609863 \text{ derajat}$$

Hasil tersebut kemudian ditambahkan 180° , karena posisi Bumi diukur dari Matahari merupakan kebalikan dari posisi Matahari diukur dari Bumi.

$$\Theta = L + 180$$

$$= 346,609863 \text{ derajat}$$

Setelah itu menghitung koreksi untuk Θ dengan rumus:

$$\Theta^t = \Theta - 0,09033''$$

$$= 346,609863 - 0,90033''$$

$$= 346,609838 \text{ derajat}$$

Hasil tersebut merupakan True Geometric Longitude Matahari

Kemudian, beralih ke tabel lintang Heliosentris Bumi.

$$B_0 = -138,353171$$

$$B_1 = 0,059498$$

Untuk mendapatkan lintang Geometric Matahari menggunakan rumus:

$$B = (B_0 + B_1 * \tau) / 10^8$$

$$= -0,000001 \text{ radian}$$

$$= -0,285 \text{ detik busur (hasilnya diegatifkan)}$$

Setelah itu menghitung koreksi B dengan rumus:

$$\lambda' = \Theta - 1,397 * T - 0,00031 * T^2$$

$$= 346,609863 - 1,397 * 0,231785330 - 0,00031 * 0,231785330^2$$

$$= 346,286043$$

$$\Delta B = 0,03916 * (\text{COS } \lambda' - \text{SIN } \lambda')$$

$$= 0,03916 * (\text{COS } 346,286043 - \text{SIN } 346,286043)$$

$$= 0,047$$

$$\beta = B + \Delta B$$

$$= 0,285 + 0,047$$

$$= 0,333$$

Kemudian beralih ke tabel R jarak Bumi ke Matahari

$$R_0 = 99222011,413734$$

$$R_1 = -1512,677626$$

$$R_2 = 1,901409$$

$$R_3 = 0,001222$$

$$R_4 = -0,0000001$$

Maka, True Geosentric Distance dapat diketahui dengan rumus:

$$R = (R_0 + R_1 * \tau + R_2 * \tau^2 + R_3 * \tau^3 + R_4 * \tau^4) / 10^8$$

$$= 0,9922050064$$

d. Menghitung Nutasi dan True Obliquity

ε_0 merupakan *Mean Obliquity* (sudut kemiringan rata-rata antara ekliptika dan ekuator langit) yang dihitung dengan algoritma:

$$\begin{aligned} \varepsilon_0 = & 23^\circ 26' 21,448'' - 4680,93 * U - 1,55 * U^2 + 1999,25 * U^3 - 51,38 \\ & * U^4 - 249,67 * U^5 - 39,05 * U^6 + 7,12 * U^7 + 27,87 * U^8 + 5,79 \\ & * U^9 + 2,45 * U^{10} \end{aligned}$$

Dimana $U = T/100 = 0,00231785330$

Jika disubstitusikan nilai-nilai di atas, maka didapatkan:

$$\begin{aligned} \varepsilon_0 &= 23,436277 \text{ derajat} \\ &= 23^\circ 26' 10,6'' \end{aligned}$$

Sebelum menghitung *True Obliquity*, maka terlebih dahulu menghitung koreksi $\Delta\varepsilon$ dengan menggunakan tabel *terms of the 1980 IAU Theory of Nutations*:

D	M	M'	F	Ω	$\Delta\psi$		$\Delta\varepsilon$	
					Coefficients of The Sine		Coefficients of The Cosine	
0	0	0	0	1	-171996	-174.2	92025	8.9
-2	0	0	2	2	-13187	-1.6	5736	-3.1
0	0	0	2	2	-2274	-0.2	977	-0.5
0	0	0	0	2	2062	0.2	-895	0.5
0	1	0	0	0	1426	-3.4	54	-0.1
0	0	1	0	0	712	0.1	224	-0.6
-2	1	0	2	2	-517	1.2	129	-0.1
0	0	0	2	1	-386	-0.4	-95	0.3
-2	-1	0	2	2	217	-0.5	-7	0
-2	0	0	2	1	129	0.1	200	0
0	0	1	0	1	63	0.1		
0	0	-1	0	1	-58	-0.1	-70	0
0	2	0	0	0	17	-0.1	-53	0
-2	2	0	2	2	-16	0.1		
0	0	1	2	2	-301	0	-33	0
-2	0	1	0	0	-158	0	26	0
0	0	-1	2	2	123	0	32	0
2	0	0	0	0	63	0	27	0
2	0	-1	2	2	-59	0		

0	0	1	2	1	-51	0	-24	0
-2	0	2	0	0	48	0	16	0
0	0	-2	2	1	46	0	13	0
2	0	0	2	2	-38	0		
0	0	2	2	2	-31	0	-12	0
0	0	2	0	0	29	0		
-2	0	1	2	2	29	0		
0	0	0	2	0	26	0	-10	0
-2	0	0	2	0	-22	0		
0	0	-1	2	1	21	0	-8	0
2	0	-1	0	1	16	0	7	0
0	1	0	0	1	-15	0	9	0
-2	0	1	0	1	-13	0	7	0
0	-1	0	0	1	-12	0	6	0
0	0	2	-2	0	11	0		
2	0	-1	2	1	-10	0	5	0
2	0	1	2	2	-8	0	3	0
0	1	0	2	2	7	0	-3	0
-2	1	1	0	0	-7	0		
0	-1	0	2	2	-7	0	3	0
2	0	0	2	1	-7	0	3	0
2	0	1	0	0	6	0		
-2	0	2	2	2	6	0	-3	0
-2	0	1	2	1	6	0	-3	0
2	0	-2	0	1	-6	0	3	0
2	0	0	0	1	-6	0	3	0
0	-1	1	0	0	5	0		
-2	-1	0	2	1	-5	0	3	0
-2	0	0	0	1	-5	0	3	0
0	0	2	2	1	-5	0	3	0
-2	0	2	0	1	4	0		
-2	1	0	2	1	4	0		
0	0	1	-2	0	4	0		
-1	0	1	0	0	-4	0		
-2	1	0	0	0	-4	0		
1	0	0	0	0	-4	0		
0	0	1	2	0	3	0		
0	0	-2	2	2	-3	0		
-1	-1	1	0	0	-3	0		
0	1	1	0	0	-3	0		
0	-1	1	2	2	-3	0		
2	-1	-1	2	2	-3	0		
0	0	3	2	2	-3	0		
2	-1	0	2	2	-3	0		

Tabel 3. 8. *Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Higher Accuracy Waktu Magrib*

Sebelum menghitung $\Delta\psi$ dan $\Delta\varepsilon$ dengan tabel di atas, maka terlebih dahulu menghitung Multiple Argumentsnya:

1) Elongasi rata-rata Bulan dari Matahari (D) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 D &= 297,85036 + 445267,11148 \times T - 0,0019142 \times T^2 + T^3 / \\
 &189474 \\
 &= 297,85036 + 445267,11148 \times 0,231785330 - 0,0019142 \times \\
 &0,231785330^2 + 0,231785330^3 / 189474 \\
 &= 3,215502 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

2) Anomali rata-rata matahari (M) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 M &= 357,52772 + 35999,05034 \times T - 0,0001603 \times T^2 - T^3 / 300000 \\
 &= 357,52772 + 35999,05034 \times 0,231785330 - 0,0001603 \times \\
 &0,231785330^2 - 0,231785330^3 / 300000 \\
 &= 1,074765 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

3) Anomali rata-rata Bulan (M') dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 M' &= 134,96298 + 477198,867398 \times T + 0,0086972 \times T^2 + T^3 / \\
 &56250 \\
 &= 134,96298 + 477198,867398 \times 0,231785330 + 0,0086972 \times \\
 &0,231785330^2 + 0,231785330^3 / 56250 \\
 &= 3,886158 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

4) *Moon's Argument of Latitude* (F) dengan persamaan:

$$F = 93,27191 + 483202,017538 \times T - 0,0036825 \times T^2 + T^3 / 327270$$

$$\begin{aligned}
&= 93,27191 + 483202,017538 \times 0,231778485 - 0,0036825 \times \\
&\quad 0,231778485^2 + 0,231778485^3 / 327270 \\
&= 2,311006 \text{ radian}
\end{aligned}$$

5) Bujur *Ascending Node* orbit bulan rata-rata pada ekliptika diukur dari *mean equinox* tanggal yang bersangkutan (Ω) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
\Omega^c &= 125,04452 - 1934,136261 * T + 0,00200708 * T^2 + T^3 / \\
&\quad 450000 \\
&= 125,04452 - 1934,136261 * 0,231785330 + 0,00200708 * \\
&\quad 0,231785330^2 + 0,231785330^3 / 450000 \\
&= 0,641238 \text{ radian}
\end{aligned}$$

Cara menggunakan tabel di atas untuk menghitung $\Delta\psi$ adalah dengan format:

Coefficient * Sin (Multiple Arguments)

Karena hasil koreksi dengan tabel tersebut menggunakan format 0,0001 detik, maka setelah semua koreksi dijumlahkan dibagi 10000, maka:

$$\Delta\varepsilon = \text{koreksi}/10000/3600$$

$$= 0,002210078 \text{ derajat}$$

Kemudian menghitung *True Obliquity* dengan rumus:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon$$

$$= 23,436277 + 0,002210078$$

$$= 23,438487 \text{ derajat}$$

$$= 23^\circ 26' 18,55''$$

e. Menghitung koreksi Aberasi

$$-20,4898'' / (3600/R)$$

$$= -20,4898 / (3600/0,99220501)$$

$$= -0,005736$$

f. Menghitung Apparent Longitude Matahari

$$\lambda = \Theta^t + \Delta\psi + \text{Aberasi}$$

$$= 346,609838 + (-0,002575514) - 0,005736$$

$$= 346,601526$$

$$= 346^\circ 36' 5,5''$$

g. Menghitung Apparent Right Ascension (α)

Sebelum menghitung α , ε harus dikoreksi terlebih dahulu

menggunakan rumus:

$$+0,00256 * \text{Cos} (\Omega)$$

Maka,

$$E = \varepsilon + 0,00256 * \text{Cos} (\Omega)$$

$$= 23,438487 + 0,00256 * \text{Cos} (36,740231064)$$

$$= 23,44053847 \text{ derajat}$$

Menghitung α dengan rumus:

$$\text{Tan } \alpha = \text{Cos} (E) * \text{Tan} (\lambda)$$

$$= \text{Cos} (23,44053847) * \text{Tan} (346,601526)$$

$$= 347,671782$$

Nilai α harus sama kuadrannya dengan Θ , maka ditambahkan 180

$$\alpha = 180 + 347,671782$$

$$= 527,671782 \text{ derajat}$$

$$= 527^\circ 40' 18,4''$$

h. Menghitung Apparent Declination

$$\sin \delta = \sin E * \sin \lambda$$

$$= \sin 23,44053847 * \sin 346,601526$$

$$\delta = -5,292048 \text{ derajat}$$

$$= -5^\circ 17' 31,37''$$

i. Menghitung Equation of Time

Sebelum menghitung *equation of time*, terlebih dahulu menghitung rata-rata bujur Matahari dengan rumus:

$$L_0 = 280,4664567 + 360007,6982779 * T - 0,03032028 * T^2 + T^3 /$$

$$49931 - T^4 / 15299 - T^5 / 1988000$$

$$= 344,9167923 \text{ derajat}$$

$$Eq = L_0 - 0,0057183 * \alpha + \Delta\psi * \cos e$$

$$= -0,184242$$

$$= -0 \text{ jam } 11 \text{ menit } 3,27 \text{ detik}$$

j. Menghitung Semi Diameter Matahari

$$Sd = 15' 59,63'' / R$$

$$= 15' 59,63'' / 0,99220501$$

$$= 0,2686587$$

$$= 0^{\circ} 16' 7,17''$$

Perhitungan menggunakan metode Higher Accuracy pada tanggal 7 Maret 2023 untuk waktu salat Isya pukul 12 UT (19.00 WIB)

a. Menghitung Julian Day

Sebelum menghitung JD, tanggal dan jamnya harus dirubah terlebih dahulu dari WIB ke UT

$$19:00:00 \text{ WIB} = 12:00:00 \text{ UT}$$

$$D = 7, M = 3, Y = 2023$$

(jika $M = 1$ atau 2 , maka $Y - 1$ dan $M + 12$, tapi jika $M > 2$, maka M dan Y tetap)

$$A = \text{INT}(Y/100)$$

$$= \text{INT}(2023/100)$$

$$= 20$$

$$B = 2 - A + \text{INT}(A/4)$$

$$= 2 - 20 + \text{INT}(20/4)$$

$$= -13$$

$$\text{JD} = \text{INT}(365,25 \times (Y+4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (M+1)) + \text{Tanggal}$$

$$+ (\text{Jam} + \text{Menit}/60 + \text{Detik}/3600)/24 - 1524,5$$

$$= \text{INT}(365,25 \times (2023+4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (3+1)) + 7 + (19$$

$$+ 00/60 + 00/3600)/24 - 1524,5$$

$$= 2460011,000$$

b. Menghitung Julian Day Ephemeris

$$\Delta T = -15 + ((\text{JD} - 2382148)^2 / 41048480)$$

$$= -15 + ((2460011,000 - 2382148)^2 / 41048480$$

$$= 73,3536 \text{ detik}$$

$$= 0,000849 \text{ hari}$$

$$\text{JDE} = \text{JD} + \Delta T$$

$$= 2460011,000 + 0,000849$$

$$= 2460011,000$$

c. Menghitung Periodic Terms pada Appendix II

Sebelumnya harus menghitung T (TD) dan τ terlebih dahulu

$$T (\text{TD}) = (\text{JDE} - 2452545,0) / 36525$$

$$= (2460011,000 - 2452545,0) / 36525$$

$$= 0,231786470$$

$$\tau = T / 10$$

$$= 0,231786470 / 10$$

$$= 0,0231786470$$

Penggunaan tabel ini dengan rumus:

$$A * \cos (B+C* \tau)$$

Kemudian menghitung hasil tiap kelompok koreksi.

$$L0 = 178306863,827879$$

$$L1 = 14563881151,932300$$

$$L2 = 25,570076$$

$$L3 = 0,003228$$

$$L4 = -0,000031$$

$$L5 = 0,000000$$

Untuk mendapatkan Bujur Heliosentris Bumi, maka menggunakan rumus:

$$L = (L0 + L1 * \tau + L2 * \tau^2 + L3 * \tau^3 + L4 * \tau^4 + L5 * \tau^5) / 10^8$$

$$L = 147,421880 \text{ radian}$$

$$= 8446,651556 \text{ derajat}$$

Hasil tersebut kemudian ditambahkan 180° , karena posisi Bumi diukur dari Matahari merupakan kebalikan dari posisi Matahari diukur dari Bumi.

$$\Theta = L + 180$$

$$= 346,651556 \text{ derajat}$$

Setelah itu menghitung koreksi untuk Θ dengan rumus:

$$\Theta^t = \Theta - 0,09033''$$

$$= 346,651556 - 0,90033''$$

$$= 346,651530 \text{ derajat}$$

Hasil tersebut merupakan True Geometric Longitude Matahari. Kemudian, beralih ke tabel lintang Heliosentris Bumi.

$$B0 = -136,566627$$

$$B1 = 0,059571$$

Untuk mendapatkan lintang Geometric Matahari menggunakan rumus:

$$B = (B0 + B1 * \tau) / 10^8$$

$$= -0,000001 \text{ radian}$$

= -0,282 detik busur (hasilnya diegatifkan)

Setelah itu menghitung koreksi B dengan rumus:

$$\begin{aligned}\lambda' &= \Theta - 1,397 * T - 0,00031 * T^2 \\ &= 346,609863 - 1,397 * 0,231786470 - 0,00031 * 0,231786470^2 \\ &= 346,327733\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta B &= 0,03916 * (\text{COS } \lambda' - \text{SIN } \lambda') \\ &= 0,03916 * (\text{COS } 346,327733 - \text{SIN } 346,327733) \\ &= 0,047\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta &= B + \Delta B \\ &= 0,285 + 0,047 \\ &= 0,329\end{aligned}$$

Kemudian beralih ke tabel R jarak Bumi ke Matahari

$$R_0 = 99223079,354154$$

$$R_1 = -1514,030278$$

$$R_2 = 1,900313$$

$$R_3 = 0,001223$$

$$R_4 = -0,0000001$$

Maka, True Geosentric Distance dapat diketahui dengan rumus:

$$\begin{aligned}R &= (R_0 + R_1 * \tau + R_2 * \tau^2 + R_3 * \tau^3 + R_4 * \tau^4) / 10^8 \\ &= 0,9922156723\end{aligned}$$

d. Menghitung Nutasi dan True Obliquity

ϵ_0 merupakan *Mean Obliquity* (sudut kemiringan rata-rata antara ekliptika dan ekuator langit) yang dihitung dengan algoritma:

$$\begin{aligned}\varepsilon_0 = & 23^\circ 26' 21,448'' - 4680,93 * U - 1,55 * U^2 + 1999,25 * U^3 - 51,38 \\ & * U^4 - 249,67 * U^5 - 39,05 * U^6 = 7,12 * U^7 + 27,87 * U^8 + 5,79 \\ & * U^9 + 2,45 * U^{10}\end{aligned}$$

Dimana $U = T/100 = 0,00231786470$

Jika disubstitusikan nilai-nilai di atas, maka didapatkan:

$$\varepsilon_0 = 23,436277 \text{ derajat}$$

$$= 23^\circ 26' 10,6''$$

Sebelum menghitung *True Obliquity*, maka terlebih dahulu menghitung koreksi $\Delta\varepsilon$ dengan menggunakan tabel *terms of the 1980*

IAU Theory of Nutations:

D	M	M'	F	Ω	$\Delta\psi$		$\Delta\varepsilon$	
					Coefficients of The Sine		Coefficients of The Cosine	
0	0	0	0	1	-171996	-174.2	92025	8.9
-2	0	0	2	2	-13187	-1.6	5736	-3.1
0	0	0	2	2	-2274	-0.2	977	-0.5
0	0	0	0	2	2062	0.2	-895	0.5
0	1	0	0	0	1426	-3.4	54	-0.1
0	0	1	0	0	712	0.1	224	-0.6
-2	1	0	2	2	-517	1.2	129	-0.1
0	0	0	2	1	-386	-0.4	-95	0.3
-2	-1	0	2	2	217	-0.5	-7	0
-2	0	0	2	1	129	0.1	200	0
0	0	1	0	1	63	0.1		
0	0	-1	0	1	-58	-0.1	-70	0
0	2	0	0	0	17	-0.1	-53	0
-2	2	0	2	2	-16	0.1		
0	0	1	2	2	-301	0	-33	0
-2	0	1	0	0	-158	0	26	0
0	0	-1	2	2	123	0	32	0
2	0	0	0	0	63	0	27	0
2	0	-1	2	2	-59	0		
0	0	1	2	1	-51	0	-24	0
-2	0	2	0	0	48	0	16	0
0	0	-2	2	1	46	0	13	0
2	0	0	2	2	-38	0		

0	0	2	2	2	-31	0	-12	0
0	0	2	0	0	29	0		
-2	0	1	2	2	29	0	-10	0
0	0	0	2	0	26	0		
-2	0	0	2	0	-22	0	-8	0
0	0	-1	2	1	21	0	7	0
2	0	-1	0	1	16	0	9	0
0	1	0	0	1	-15	0	7	0
-2	0	1	0	1	-13	0	6	0
0	-1	0	0	1	-12	0		
0	0	2	-2	0	11	0	5	0
2	0	-1	2	1	-10	0	3	0
2	0	1	2	2	-8	0	-3	0
0	1	0	2	2	7	0		
-2	1	1	0	0	-7	0	3	0
0	-1	0	2	2	-7	0	3	0
2	0	0	2	1	-7	0		
2	0	1	0	0	6	0	-3	0
-2	0	2	2	2	6	0	-3	0
-2	0	1	2	1	6	0	3	0
2	0	-2	0	1	-6	0	3	0
2	0	0	0	1	-6	0		
0	-1	1	0	0	5	0	3	0
-2	-1	0	2	1	-5	0	3	0
-2	0	0	0	1	-5	0	3	0
0	0	2	2	1	-5	0		
-2	0	2	0	1	4	0		
-2	1	0	2	1	4	0		
0	0	1	-2	0	4	0		
-1	0	1	0	0	-4	0		
-2	1	0	0	0	-4	0		
1	0	0	0	0	-4	0		
0	0	1	2	0	3	0		
0	0	-2	2	2	-3	0		
-1	-1	1	0	0	-3	0		
0	1	1	0	0	-3	0		
0	-1	1	2	2	-3	0		
2	-1	-1	2	2	-3	0		
0	0	3	2	2	-3	0		
2	-1	0	2	2	-3	0		

Tabel 3. 9. *Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Higher Accuracy Waktu Isya*

Sebelum menghitung $\Delta\psi$ dan $\Delta\varepsilon$ dengan tabel di atas, maka terlebih dahulu menghitung Multiple Argumentsnya:

1) Elongasi rata-rata Bulan dari Matahari (D) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 D &= 297,85036 + 445267,11148 \times T - 0,0019142 \times T^2 + T^3 / \\
 &\quad 189474 \\
 &= 297,85036 + 445267,11148 \times 0,231786470 - 0,0019142 \times \\
 &\quad 0,231786470^2 + 0,231786470^3 / 189474 \\
 &= 3,224367 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

2) Anomali rata-rata matahari (M) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 M &= 357,52772 + 35999,05034 \times T - 0,0001603 \times T^2 - T^3 / \\
 &\quad 300000 \\
 &= 357,52772 + 35999,05034 \times 0,231786470 - 0,0001603 \times \\
 &\quad 0,231786470^2 - 0,231786470^3 / 300000 \\
 &= 1,075481 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

3) Anomali rata-rata Bulan (M') dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 M' &= 134,96298 + 477198,867398 \times T + 0,0086972 \times T^2 + T^3 / \\
 &\quad 56250 \\
 &= 134,96298 + 477198,867398 \times 0,231786470 + 0,0086972 \\
 &\quad \times 0,231786470^2 + 0,231786470^3 / 56250 \\
 &= 3,895659 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

4) *Moon's Argument of Latitude* (F) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 F &= 93,27191 + 483202,017538 \times T - 0,0036825 \times T^2 + T^3 / \\
 &\quad 327270 \\
 &= 93,27191 + 483202,017538 \times 0,231786470 - 0,0036825 \times \\
 &\quad 0,231786470^2 + 0,231786470^3 / 327270
 \end{aligned}$$

$$= 2,320626 \text{ radian}$$

5) Bujur *Ascending Node* orbit bulan rata-rata pada ekliptika diukur dari *mean equinox* tanggal yang bersangkutan (Ω) dengan persamaan:

$$\Omega^{\circ} = 125,04452 - 1934,136261 * T + 0,00200708 * T^2 + T^3 / 450000$$

$$= 125,04452 - 1934,136261 * 0,231786470 + 0,00200708 * 0,231786470^2 + 0,231786470^3 / 450000$$

$$= 0,641199 \text{ radian}$$

Cara menggunakan tabel di atas untuk menghitung $\Delta\psi$ adalah dengan format:

Coefficient * Sin (Multiple Arguments)

Setelah semua koreksi dijumlahkan, kemudian dibagi 10000, karena hasil koreksi dengan tabel tersebut menggunakan format 0,0001 detik,

maka:

$$\Delta\epsilon = \text{koreksi}/10000/3600$$

$$= 0,002210529 \text{ derajat}$$

Kemudian menghitung *True Obliquity* dengan rumus:

$$\epsilon = \epsilon_0 + \Delta\epsilon$$

$$= 23,436277 + 0,002210529$$

$$= 23,438488 \text{ derajat}$$

$$= 23^{\circ} 26' 18,56''$$

e. Menghitung koreksi Aberasi

$$-20,4898'' / (3600/R)$$

$$= -20,4898 / (3600/0,99221567)$$

$$= -0,005736$$

f. Menghitung Apparent Longitude Matahari

$$\lambda = \Theta^t + \Delta\psi + \text{Aberasi}$$

$$= 346,651530 + (-0,00257702) - 0,005736$$

$$= 346,643217$$

$$= 346^{\circ} 38' 35,5''$$

g. Menghitung Apparent Right Ascension (α)

Sebelum menghitung α , ε harus dikoreksi terlebih dahulu menggunakan rumus:

$$+0,00256 * \text{Cos}(\Omega)$$

Maka,

$$E = \varepsilon + 0,00256 * \text{Cos}(\Omega)$$

$$= 23,438488 + 0,00256 * \text{Cos}(36,737996528)$$

$$= 23,44053953 \text{ derajat}$$

Menghitung α dengan rumus:

$$\text{Tan } \alpha = \text{Cos}(E) * \text{Tan}(\lambda)$$

$$= \text{Cos}(23,44053953) * \text{Tan}(346,643217)$$

$$= 347,710360$$

Nilai α harus sama kuadrannya dengan Θ , maka ditambahkan 180

$$\begin{aligned}\alpha &= 180 + 347,710360 \\ &= 527,71036 \text{ derajat} \\ &= 527^\circ 42' 37,3''\end{aligned}$$

h. Menghitung Apparent Declination

$$\begin{aligned}\sin \delta &= \sin E * \sin \lambda \\ &= \sin 23,44053953 * \sin 346,643217 \\ \delta &= -5,271148 \text{ derajat} \\ &= -5^\circ 16' 16,13''\end{aligned}$$

i. Menghitung Equation of Time

Terlebih dahulu menghitung rata-rata Bujur Matahari, sebelum menghitung *equation of time*, dengan rumus:

$$\begin{aligned}L_0 &= 280,4664567 + 360007,6982779 * T - 0,03032028 * T^2 + T^3 / \\ &\quad 49931 - T^4 / 15299 - T^5 / 1988000 \\ &= 344,9578609 \text{ derajat}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Eq &= L_0 - 0,0057183 - \alpha + \Delta\psi * \cos e \\ &= -0,184028\end{aligned}$$

$$= -0 \text{ jam } 11 \text{ menit } 2,5 \text{ detik}$$

j. Menghitung Semi Diameter Matahari

$$\begin{aligned}Sd &= 15' 59,63'' / R \\ &= 15' 59,63'' / 0,99221567 \\ &= 0,268655 \\ &= 0^\circ 16' 7,16''\end{aligned}$$

Perhitungan menggunakan metode Higher Accuracy pada tanggal 7 Maret 2023 untuk waktu salat Subuh pukul 22 UT (05.00 WIB), (untuk waktu salat Subuh diambil dari data tanggal sebelumnya):

a. Menghitung Julian Day

Sebelum menghitung JD, tanggal dan jamnya harus dirubah terlebih dahulu dari WIB ke UT

$$05:00:00 \text{ WIB} = 22:00:00 \text{ UT}$$

$$D = 6, M = 3, Y = 2023$$

(jika $M = 1$ atau 2 , maka $Y - 1$ dan $M + 12$, tapi jika $M > 2$, maka M dan Y tetap)

$$A = \text{INT}(Y/100)$$

$$= \text{INT}(2023/100)$$

$$= 20$$

$$B = 2 - A + \text{INT}(A/4)$$

$$= 2 - 20 + \text{INT}(20/4)$$

$$= -13$$

$$\text{JD} = \text{INT}(365,25 \times (Y+4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (M+1)) + \text{Tanggal}$$

$$+ (\text{Jam} + \text{Menit}/60 + \text{Detik}/3600)/24 - 1524,5$$

$$= \text{INT}(365,25 \times (2023+4716)) + \text{INT}(30,6001 \times (3+1)) + 6 + (22$$

$$+ 00/60 + 00/3600)/24 - 1524,5$$

$$= 2460009,416$$

b. Menghitung Julian Day Ephemeris

$$\Delta T = -15 + ((\text{JD} - 2382148)^2 / 41048480)$$

$$= -15 + ((2460009,416 - 2382148)^2 / 41048480$$

$$= 73,3536 \text{ detik}$$

$$= 0,000849 \text{ hari}$$

$$\text{JDE} = \text{JD} + \Delta T$$

$$= 2460009,416 + 0,000849$$

$$= 2460009,417$$

c. Menghitung Periodic Terms pada Appendix II

Sebelumnya harus menghitung T (TD) dan τ terlebih dahulu

$$T \text{ (TD)} = (\text{JDE} - 2452545,0) / 36525$$

$$= (2460009,417 - 2452545,0) / 36525$$

$$= 0,231743121$$

$$\tau = T / 10$$

$$= 0,231743121 / 10$$

$$= 0,0231743121$$

Penggunaan tabel ini dengan rumus:

$$A * \cos (B+C* \tau)$$

Kemudian menghitung hasil tiap kelompok koreksi.

$$L0 = 178264467,578468$$

$$L1 = 14561157293,808800$$

$$L2 = 25,665360$$

$$L3 = 0,003298$$

$$L4 = -0,000031$$

$$L5 = 0,000000$$

Untuk mendapatkan Bujur Heliosentris Bumi, maka menggunakan rumus:

$$L = (L0 + L1 * T + L2 * T^2 + L3 * T^3 + L4 * T^4 + L5 * T^5) / 10^8$$

$$L = 147,394218 \text{ radian}$$

$$= 8445,066609 \text{ derajat}$$

Hasil tersebut kemudian ditambahkan 180° , karena posisi Bumi diukur dari Matahari merupakan kebalikan dari posisi Matahari diukur dari Bumi.

$$\Theta = L + 180$$

$$= 345,066609 \text{ derajat}$$

Setelah itu menghitung koreksi untuk Θ dengan rumus:

$$\Theta^t = \Theta - 0,09033''$$

$$= 345,066609 - 0,90033''$$

$$= 345,066584 \text{ derajat}$$

Hasil tersebut merupakan True Geometric Longitude Matahari. Kemudian, beralih ke tabel lintang Heliosentris Bumi.

$$B0 = -189,761594$$

$$B1 = 0,056762$$

Untuk mendapatkan lintang Geometric Matahari menggunakan rumus:

$$B = (B0 + B1 * T) / 10^8$$

$$= -0,000002 \text{ radian}$$

= -0,391 detik busur (hasilnya diegatifkan)

Setelah itu menghitung koreksi B dengan rumus:

$$\begin{aligned}\lambda' &= \Theta - 1,397 * T - 0,00031 * T^2 \\ &= 345,066609 - 1,397 * 0,231743121 - 0,00031 * 0,231743121^2 \\ &= 344,742847\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta B &= 0,03916 * (\text{COS } \lambda' - \text{SIN } \lambda') \\ &= 0,03916 * (\text{COS } 344,742847 - \text{SIN } 344,742847) \\ &= 0,048\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\beta &= B + \Delta B \\ &= 0,391 + 0,048 \\ &= 0,439\end{aligned}$$

Kemudian beralih ke tabel R jarak Bumi ke Matahari

$$R_0 = 99182931,545221$$

$$R_1 = -1462,060572$$

$$R_2 = 1,941260$$

$$R_3 = 0,001183$$

$$R_4 = -0,000001$$

Maka, True Geosentric Distance dapat diketahui dengan rumus:

$$\begin{aligned}R &= (R_0 + R_1 * \tau + R_2 * \tau^2 + R_3 * \tau^3 + R_4 * \tau^4) / 10^8 \\ &= 0,9918147143\end{aligned}$$

d. Menghitung Nutasi dan True Obliquity

ε_0 merupakan *Mean Obliquity* (sudut kemiringan rata-rata antara ekliptika dan ekuator langit) yang dihitung dengan algoritma:

$$\begin{aligned}\varepsilon_0 = & 23^\circ 26' 21,448'' - 4680,93 * U - 1,55 * U^2 + 1999,25 * U^3 - 51,38 \\ & * U^4 - 249,67 * U^5 - 39,05 * U^6 + 7,12 * U^7 + 27,87 * U^8 + 5,79 \\ & * U^9 + 2,45 * U^{10}\end{aligned}$$

Dimana $U = T/100 = 0,00231743121$

Jika disubstitusikan nilai-nilai di atas, maka didapatkan:

$$\varepsilon_0 = 23,436278 \text{ derajat}$$

$$= 23^\circ 26' 10,6''$$

Sebelum menghitung *True Obliquity*, maka terlebih dahulu menghitung koreksi $\Delta\varepsilon$ dengan menggunakan tabel *terms of the 1980*

IAU Theory of Nutations:

D	M	M'	F	Ω	$\Delta\psi$		$\Delta\varepsilon$	
					Coefficients of The Sine		Coefficients of The Cosine	
0	0	0	0	1	-171996	-174.2	92025	8.9
-2	0	0	2	2	-13187	-1.6	5736	-3.1
0	0	0	2	2	-2274	-0.2	977	-0.5
0	0	0	0	2	2062	0.2	-895	0.5
0	1	0	0	0	1426	-3.4	54	-0.1
0	0	1	0	0	712	0.1	224	-0.6
-2	1	0	2	2	-517	1.2	129	-0.1
0	0	0	2	1	-386	-0.4	-95	0.3
-2	-1	0	2	2	217	-0.5	-7	0
-2	0	0	2	1	129	0.1	200	0
0	0	1	0	1	63	0.1		
0	0	-1	0	1	-58	-0.1	-70	0
0	2	0	0	0	17	-0.1	-53	0
-2	2	0	2	2	-16	0.1		
0	0	1	2	2	-301	0	-33	0
-2	0	1	0	0	-158	0	26	0
0	0	-1	2	2	123	0	32	0
2	0	0	0	0	63	0	27	0
2	0	-1	2	2	-59	0		
0	0	1	2	1	-51	0	-24	0
-2	0	2	0	0	48	0	16	0
0	0	-2	2	1	46	0	13	0
2	0	0	2	2	-38	0		

0	0	2	2	2	-31	0	-12	0
0	0	2	0	0	29	0		
-2	0	1	2	2	29	0	-10	0
0	0	0	2	0	26	0		
-2	0	0	2	0	-22	0	-8	0
0	0	-1	2	1	21	0	7	0
2	0	-1	0	1	16	0	9	0
0	1	0	0	1	-15	0	7	0
-2	0	1	0	1	-13	0	6	0
0	-1	0	0	1	-12	0		
0	0	2	-2	0	11	0	5	0
2	0	-1	2	1	-10	0	3	0
2	0	1	2	2	-8	0	-3	0
0	1	0	2	2	7	0		
-2	1	1	0	0	-7	0	3	0
0	-1	0	2	2	-7	0	3	0
2	0	0	2	1	-7	0		
2	0	1	0	0	6	0	-3	0
-2	0	2	2	2	6	0	-3	0
-2	0	1	2	1	6	0	3	0
2	0	-2	0	1	-6	0	3	0
2	0	0	0	1	-6	0		
0	-1	1	0	0	5	0	3	0
-2	-1	0	2	1	-5	0	3	0
-2	0	0	0	1	-5	0	3	0
0	0	2	2	1	-5	0		
-2	0	2	0	1	4	0		
-2	1	0	2	1	4	0		
0	0	1	-2	0	4	0		
-1	0	1	0	0	-4	0		
-2	1	0	0	0	-4	0		
1	0	0	0	0	-4	0		
0	0	1	2	0	3	0		
0	0	-2	2	2	-3	0		
-1	-1	1	0	0	-3	0		
0	1	1	0	0	-3	0		
0	-1	1	2	2	-3	0		
2	-1	-1	2	2	-3	0		
0	0	3	2	2	-3	0		
2	-1	0	2	2	-3	0		

Tabel 3. 10. *Periodik Terms of the 1980 IAU Theory of Nutations Metode Higher Accuracy Waktu Subuh*

Sebelum menghitung $\Delta\psi$ dan $\Delta\varepsilon$ dengan tabel di atas, maka terlebih dahulu menghitung Multiple Argumentsnya:

1) Elongasi rata-rata Bulan dari Matahari (D) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 D &= 297,85036 + 445267,11148 \times T - 0,0019142 \times T^2 + T^3 / \\
 &\quad 189474 \\
 &= 297,85036 + 445267,11148 \times 0,231743121 - 0,0019142 \times \\
 &\quad 0,231743121^2 + 0,231743121^3 / 189474 \\
 &= 2,887483 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

2) Anomali rata-rata matahari (M) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 M &= 357,52772 + 35999,05034 \times T - 0,0001603 \times T^2 - T^3 / \\
 &\quad 300000 \\
 &= 357,52772 + 35999,05034 \times 0,231743121 - 0,0001603 \times \\
 &\quad 0,231743121^2 - 0,231743121^3 / 300000 \\
 &= 1,048245 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

3) Anomali rata-rata Bulan (M') dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 M' &= 134,96298 + 477198,867398 \times T + 0,0086972 \times T^2 + T^3 / \\
 &\quad 56250 \\
 &= 134,96298 + 477198,867398 \times 0,231743121 + 0,0086972 \times \\
 &\quad 0,231743121^2 + 0,231743121^3 / 56250 \\
 &= 3,534616 \text{ radian}
 \end{aligned}$$

4) *Moon's Argument of Latitude* (F) dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
 F &= 93,27191 + 483202,017538 \times T - 0,0036825 \times T^2 + T^3 / \\
 &\quad 327270 \\
 &= 93,27191 + 483202,017538 \times 0,231743121 - 0,0036825 \times \\
 &\quad 0,231743121^2 + 0,231743121^3 / 327270
 \end{aligned}$$

$$= 1,955041 \text{ radian}$$

5) Bujur *Ascending Node* orbit bulan rata-rata pada ekliptika diukur dari *mean equinox* tanggal yang bersangkutan (Ω) dengan persamaan:

$$\Omega^{\circ} = 125,04452 - 1934,136261 * T + 0,00200708 * T^2 + T^3 / 450000$$

$$= 125,04452 - 1934,136261 * 0,231743121 + 0,00200708 * 0,231743121^2 + 0,231743121^3 / 450000$$

$$= 0,642663 \text{ radian}$$

Cara menggunakan tabel di atas untuk menghitung $\Delta\psi$ adalah dengan format:

Coefficient * Sin (Multiple Arguments)

Setelah semua koreksi dijumlahkan, kemudian dibagi 10000, karena hasil koreksi dengan tabel tersebut menggunakan format 0,0001 detik, maka:

$$\Delta\varepsilon = \text{koreksi}/10000/3600$$

$$= 0,002188881 \text{ derajat}$$

Kemudian menghitung *True Obliquity* dengan rumus:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \Delta\varepsilon$$

$$= 23,436278 + 0,002188881$$

$$= 23,438467 \text{ derajat}$$

$$= 23^{\circ} 26' 18,48''$$

e. Menghitung koreksi Aberasi

$$-20,4898'' / (3600/R)$$

$$= -20,4898 / (3600/0,99181471)$$

$$= -0,005739$$

f. Menghitung Apparent Longitude Matahari

$$\lambda = \Theta^t + \Delta\psi + \text{Aberasi}$$

$$= 345,066584 + (-0,0025305) - 0,005739$$

$$= 345,058314$$

$$= 345^{\circ} 3' 30''$$

g. Menghitung Apparent Right Ascension (α)

Sebelum menghitung α , ϵ harus dikoreksi terlebih dahulu menggunakan rumus:

$$+0,00256 * \text{Cos}(\Omega)$$

Maka,

$$E = \epsilon + 0,00256 * \text{Cos}(\Omega)$$

$$= 23,438467 + 0,00256 * \text{Cos}(36,821877549)$$

$$= 23,44051629 \text{ derajat}$$

Menghitung α dengan rumus:

$$\text{Tan } \alpha = \text{Cos}(E) * \text{Tan}(\lambda)$$

$$= \text{Cos}(23,44051629) * \text{Tan}(345,058314)$$

$$= 346,242325$$

Nilai α harus sama kuadrannya dengan Θ , maka ditambahkan 180

$$\begin{aligned}\alpha &= 180 + 346,242325 \\ &= 526,242325 \text{ derajat} \\ &= 527^\circ 14' 32,3''\end{aligned}$$

h. Menghitung Apparent Declination

$$\begin{aligned}\sin \delta &= \sin E * \sin \lambda \\ &= \sin 23,44051629 * \sin 345,058314 \\ \delta &= -5,510668 \text{ derajat} \\ &= -5^\circ 30' 38''\end{aligned}$$

i. Menghitung Equation of Time

Terlebih dahulu menghitung rata-rata bujur Matahari sebelum menghitung *equation of time*, dengan rumus:

$$\begin{aligned}L_0 &= 280,4664567 + 360007,6982779 * T - 0,03032028 * T^2 + T^3 / \\ &\quad 49931 - T^4 / 15299 - T^5 / 1988000 \\ &= 344,9578609 \text{ derajat}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Eq &= L_0 - 0,0057183 - \alpha + \Delta\psi * \cos e \\ &= -0,186464\end{aligned}$$

$$= -0 \text{ jam } 11 \text{ menit } 11,27 \text{ detik}$$

j. Menghitung Semi Diameter Matahari

$$\begin{aligned}Sd &= 15' 59,63'' / R \\ &= 15' 59,63'' / 0,99181471 \\ &= 0,2686976 \\ &= 0^\circ 16' 7,13''\end{aligned}$$

BAB IV

UJI KOMPARASI DATA PERHITUNGAN AWAL WAKTU SALAT VERSI *TRUNCATED* DAN *HIGHER ACCURACY* DALAM BUKU *ASTRONOMICAL ALGORITHMS* KARYA JEAN MEEUS

A. Perhitungan Waktu Salat dengan Data Matahari Versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam Buku *Astronomical Algorithms*

Berdasarkan data Matahari versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* yang telah dihitung pada bab sebelumnya, berikut ini adalah merupakan awal waktu salat pada tanggal 7 Maret 2023 di kota Surabaya, perhitungan ini menggunakan kalkulator saintifik.

1. Perhitungan Waktu Salat Versi *Truncated*

a. Waktu Zuhur salat pada tanggal 7 Maret 2023 di Surabaya

Diketahui:

$$\phi : -7^{\circ} 15'$$

$$\lambda : 112^{\circ} 45'$$

$$\delta : -5^{\circ} 23' 17,91''$$

$$e : -0^{\circ} 11' 8,34''$$

$$\text{kwd} : 105 - 112^{\circ} 45' = -7^{\circ} 45' / 15 = -0^{\circ} 31'$$

$$\text{MP} = 12 - (e)$$

$$= 12 - (-0^{\circ} 11' 8,34'') = 12^{\circ} 11' 8,34''$$

$$\text{Waktu salat Zuhur} = \text{MP} + \text{KWD} + i$$

$$= 12^{\circ} 11' 8,34'' + (-0^{\circ} 31') + 0^{\circ} 2'$$

= 11° 42' 8" atau pukul 11 jam 42 menit 8 detik

WIB

b. Waktu Asar salat pada tanggal 7 Maret 2023 di Surabaya

Diketahui:

$$\phi : -7^{\circ} 15'$$

$$\lambda : 112^{\circ} 45'$$

$$\delta : -5^{\circ} 20' 19,49''$$

$$e : -0^{\circ} 11' 6,53''$$

$$\text{kwd} : 105 - 112^{\circ} 45' = -7^{\circ} 45' / 15 = -0^{\circ} 31'$$

$$h_{\text{Asar}} = \tan z_m + 1$$

$$= \tan (-7^{\circ} 15' - (-5^{\circ} 20' 19,49'')) + 1$$

$$= \tan (-1^{\circ} 54' 40,51'') + 1$$

$$= 44^{\circ} 5' 1,67''$$

$$t_{\text{Asar}} = -\tan \phi \times \tan \delta + \sec \phi \times \sec \delta \times \sin h$$

$$= -\tan -7^{\circ} 15' \times \tan -5^{\circ} 20' 19,49'' + 1/\cos -7^{\circ} 15' \times 1/\cos -5^{\circ}$$

$$20' 19,49'' \times \sin 44^{\circ} 5' 1,67''$$

$$= 46^{\circ} 10' 26,16'' / 15 = 3 \text{ jam } 4 \text{ menit } 41,5 \text{ detik}$$

$$\text{MP} = 12 - (e)$$

$$= 12 - (-0^{\circ} 11' 6,53'') = 12^{\circ} 11' 6,53''$$

$$\text{Waktu salat Asar} = \text{MP} + t + \text{KWD} + i$$

$$= 12^{\circ} 11' 6,53'' + 3^{\circ} 4' 41,5'' + -0^{\circ} 31' + 0^{\circ} 2'$$

$$= 14^{\circ} 46' 48'' \text{ atau pukul 14 jam 46 menit 48 detik WIB}$$

c. Waktu Magrib salat pada tanggal 7 Maret 2023 di Surabaya

Diketahui:

$$\phi : -7^{\circ} 15'$$

$$\lambda : 112^{\circ} 45'$$

$$\delta : -5^{\circ} 17' 22,79''$$

$$e : -0^{\circ} 11' 4,73''$$

$$\text{kwd} : 105 - 112^{\circ} 45' = -7^{\circ} 45' / 15 = -0^{\circ} 31'$$

$$h_{\text{Magrib}} = -1^{\circ}$$

$$t_{\text{Magrib}} = -\tan \phi \times \tan \delta + \sec \phi \times \sec \delta \times \cos z$$

$$= -\tan -7^{\circ} 15' \times \tan -5^{\circ} 17' 22,79'' + 1/\cos -7^{\circ} 15' \times 1/\cos -5^{\circ} 17' 22,79'' \times \sin -1^{\circ}$$

$$= 91^{\circ} 31' 17,7'' / 15 = 6 \text{ jam } 6' \text{ menit } 29,52 \text{ detik}$$

$$\text{MP} = 12 - (e)$$

$$= 12 - (-0^{\circ} 11' 4,73'') = 12^{\circ} 11' 4,73''$$

$$\text{Waktu salat Magrib} = \text{MP} + t + \text{KWD} + i$$

$$= 12^{\circ} 11' 4,73'' + 6^{\circ} 6' 29,52'' + -0^{\circ} 31' + 0^{\circ} 2'$$

$$= 17^{\circ} 48' 34'' \text{ atau 17 jam 48 menit 34 detik}$$

WIB

d. Waktu Isya salat pada tanggal 7 Maret 2023 di Surabaya

Diketahui:

$$\phi : -7^{\circ} 15'$$

$$\lambda : 112^{\circ} 45'$$

$$\delta : -5^{\circ} 16' 7,52''$$

$$e : -0^{\circ} 11' 3,96''$$

$$\text{kwd} : 105 - 112^{\circ} 45' = -7^{\circ} 45' / 15 = -0^{\circ} 31'$$

$$Z_{\text{Isya}} = -18^{\circ}$$

$$t_{\text{Isya}} = -\tan \phi \times \tan \delta + \sec \phi \times \sec \delta \times \sin h$$

$$= -\tan -7^{\circ} 15' \times \tan -5^{\circ} 16' 7,52'' + 1/\cos -7^{\circ} 15' \times 1/\cos -5^{\circ} 16' 7,52'' \times \sin -18^{\circ}$$

$$= 108^{\circ} 56' 20'' / 15 = 7 \text{ jam } 23 \text{ menit } 54,15 \text{ detik}$$

$$\text{MP} = 12 - (e)$$

$$= 12 - (-0^{\circ} 11' 3,96'') = 12^{\circ} 11' 3,96''$$

$$\text{Waktu salat Isya} = \text{MP} + t + \text{KWD} + i$$

$$= 12^{\circ} 11' 3,96'' + 7^{\circ} 23' 54,15'' + -0^{\circ} 31' + 0^{\circ}$$

UIN SUNAN AMPEL

SURABAYA
= 19^{\circ} 5' 58'' atau pukul 19 jam 5 menit 58 detik

WIB

e. Waktu Subuh salat pada tanggal 7 Maret 2023 di Surabaya

Diketahui:

$$\phi : -7^{\circ} 15'$$

$$\lambda : 112^{\circ} 45'$$

$$\delta : -5^{\circ} 30' 30,14''$$

$$e : -0^{\circ} 11' 12,7''$$

$$\text{kwd} : 105 - 112^{\circ} 45' = -7^{\circ} 45' / 15 = -0^{\circ} 31'$$

$$h_{\text{Subuh}} = -20^{\circ}$$

$$t_{\text{Subuh}} = -\tan -\phi \times \tan \delta + \sec \phi \times \sec \delta \times \sin h$$

$$= -\tan -7^{\circ} 15' \times \tan -5^{\circ} 30' 30,14'' + 1/\cos -7^{\circ} 15' \times 1/\cos -5^{\circ} 30' 30,14'' \times \sin -20^{\circ}$$

$$= 111^{\circ} 1' 2'' / 15 = -7 \text{ jam } 24 \text{ menit } 4,07 \text{ detik}$$

$$\text{MP} = 12 - (e)$$

$$= 12 - (-0^{\circ} 11' 12,7'') = 12^{\circ} 11' 12,7''$$

$$\text{Waktu salat Subuh} = \text{MP} + t + \text{KWD} + i$$

$$= 12^{\circ} 11' 12,7'' + -7^{\circ} 24' 4,07'' + 0^{\circ} 31' + 0^{\circ} 2'$$

$$= 4^{\circ} 18' 8'' \text{ atau } 4 \text{ jam } 18 \text{ menit } 8 \text{ detik WIB}$$

2. Perhitungan Waktu Salat Versi *Higher Accuracy*

a. Waktu Zuhur salat pada tanggal 7 Maret 2023 di Surabaya

Diketahui:

$$\phi : -7^{\circ} 15'$$

$$\lambda : 112^{\circ} 45'$$

$$\delta : -5^{\circ} 23' 26,35''$$

$$e : -0^{\circ} 11' 6,89''$$

$$\text{kwd} : 105 - 112^{\circ} 45' = -7^{\circ} 45' / 15 = -0^{\circ} 31'$$

$$\text{MP} = 12 - (e)$$

$$= 12 - (-0^{\circ} 11' 6,89'') = 12^{\circ} 11' 6,89''$$

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu salat Zuhur} &= \text{MP} + \text{KWD} + i = \\
 &= 12^\circ 11' 6,89'' + 0^\circ 31' + 0^\circ 2' \\
 &= 11^\circ 42' 7'' \text{ atau pukul 11 jam 42 menit 7 detik WIB}
 \end{aligned}$$

b. Waktu Asar salat pada tanggal 7 Maret 2023 di Surabaya

Diketahui:

$$\phi : -7^\circ 15'$$

$$\lambda : 112^\circ 45'$$

$$\delta : -5^\circ 20' 28''$$

$$e : -0^\circ 11' 5,07''$$

$$\text{kwd} : 105 - 112^\circ 45' = -7^\circ 45' / 15 = -0^\circ 31'$$

$$h_{\text{Asar}} = \tan z_m + 1$$

$$= \tan (-7^\circ 15' - (-5^\circ 20' 28'')) + 1$$

$$= \tan (-1^\circ 54' 32'') + 1$$

$$= 44^\circ 5' 5,76''$$

$$t_{\text{Asar}} = -\tan -\phi \times \tan \delta + \sec \phi \times \sec \delta \times \sin h$$

$$\begin{aligned}
 &= -\tan -7^\circ 15' \times \tan -5^\circ 20' 28'' + 1/\cos -7^\circ 15' \times 1/\cos -5^\circ \\
 &\quad 20' 28'' \times \sin 44^\circ 5' 5,76''
 \end{aligned}$$

$$= 46^\circ 10' 19,17'' / 15 = 3 \text{ jam } 4 \text{ menit } 41,28 \text{ detik}$$

$$\text{MP} = 12 - (e)$$

$$= 12 - (-0^\circ 11' 5,07'') = 12^\circ 11' 5,07''$$

$$\text{Waktu salat Asar} = \text{MP} + t + \text{KWD} + i$$

$$= 12^\circ 11' 5,07'' + 3^\circ 4' 41,28'' + -0^\circ 31' + 0^\circ 2'$$

$$= 14^{\circ} 46' 46'' \text{ atau } 14 \text{ jam } 46 \text{ menit } 46 \text{ detik WIB}$$

c. Waktu Magrib salat pada tanggal 7 Maret 2023 di Surabaya

Diketahui:

$$\phi : -7^{\circ} 15'$$

$$\lambda : 112^{\circ} 45'$$

$$\delta : -5^{\circ} 17' 31,37''$$

$$e : -0^{\circ} 11' 3,27''$$

$$\text{kwd} : 105 - 112^{\circ} 45' = -7^{\circ} 45' / 15 = -0^{\circ} 31'$$

$$h_{\text{Magrib}} = -1^{\circ}$$

$$t_{\text{Magrib}} = -\tan \phi \times \tan \delta + \sec \phi \times \sec \delta \times \sin h$$

$$= -\tan -7^{\circ} 15' \times \tan -5^{\circ} 17' 31,37'' + 1/\cos -7^{\circ} 15' \times 1/\cos -5^{\circ} 17' 31,37'' \times \sin -1^{\circ}$$

$$= 91^{\circ} 41' 16'' / 15 = 6 \text{ jam } 6 \text{ menit } 29,6 \text{ detik}$$

$$\text{MP} = 12 - (e)$$

$$= 12 - (-0^{\circ} 11' 3,27'') = 12^{\circ} 11' 3,27''$$

$$\text{Waktu salat Magrib} = \text{MP} + t + \text{KWD} + i$$

$$= 12^{\circ} 11' 3,27'' + 6^{\circ} 6' 29,6'' + -0^{\circ} 31' + 0^{\circ} 2'$$

$$= 17^{\circ} 48' 33'' \text{ atau pukul } 17 \text{ jam } 48 \text{ menit } 33$$

detik WIB

d. Waktu Isya salat pada tanggal 7 Maret 2023 di Surabaya

Diketahui:

$$\phi : -7^{\circ} 15'$$

$$\lambda : 112^{\circ} 45'$$

$$\delta : -5^{\circ} 16' 16,13''$$

$$e : -0^{\circ} 11' 2,5''$$

$$\text{kwd} : 105 - 112^{\circ} 45' = -7^{\circ} 45' / 15 = -0^{\circ} 31'$$

$$h_{\text{Isya}} = -18^{\circ}$$

$$t_{\text{Isya}} = -\tan \phi \times \tan \delta + \sec \phi \times \sec \delta \times \sin h$$

$$= -\tan -7^{\circ} 15' \times \tan -5^{\circ} 16' 16,13'' + 1/\cos -7^{\circ} 15' \times 1/\cos -5^{\circ}$$

$$16' 16,13'' \times \sin -18^{\circ}$$

$$= 108^{\circ} 56' 21,7'' / 15 = 7 \text{ jam } 23 \text{ menit } 54,25 \text{ detik}$$

$$\text{MP} = 12 - (e)$$

$$= 12 - (-0^{\circ} 11' 2,5'') = 12^{\circ} 11' 2,5''$$

$$\text{Waktu salat Isya} = \text{MP} + t + \text{KWD} + i$$

$$= 12^{\circ} 11' 2,5'' + 7^{\circ} 23' 54,25'' + -0^{\circ} 31' + 0^{\circ} 2'$$

$$= 19^{\circ} 5' 56'' \text{ atau pukul } 19 \text{ jam } 5 \text{ menit } 56 \text{ detik}$$

UIN SUNAN AMPEL
WIB

e. Waktu Subuh salat pada tanggal 7 Maret 2023 di Surabaya

Diketahui:

$$\phi : -7^{\circ} 15'$$

$$\lambda : 112^{\circ} 45'$$

$$\delta : -5^{\circ} 30' 38,4''$$

$$e : -0^{\circ} 11' 11,27''$$

$$\text{kwd} : 105 - 112^{\circ} 45' = -7^{\circ} 45' / 15 = -0^{\circ} 31'$$

$$h_{\text{Subuh}} = -20^\circ$$

$$t_{\text{Subuh}} = -\tan -\phi \times \tan \delta + \sec \phi \times \sec \delta \times \sin h$$

$$= -\tan -7^\circ 15' \times \tan -5^\circ 30' 38,4'' + 1/\cos -7^\circ 15' \times 1/\cos -5^\circ 30' 38,4'' \times \sin -20^\circ$$

$$= 111^\circ 1' 2,45'' / 15 = -7 \text{ jam } 24 \text{ menit } 4,17 \text{ detik}$$

$$MP = 12 - (e)$$

$$= 12 - (-0^\circ 11' 11,27'')$$

$$= 12^\circ 11' 11,27''$$

$$\text{Waktu salat Subuh} = MP + t + \text{KWD} + i$$

$$= 12^\circ 11' 11,27'' + -7^\circ 24' 4,17'' + -0^\circ 13' + 0^\circ 2'$$

$$= 4^\circ 18' 7'' \text{ atau pukul } 4 \text{ jam } 18 \text{ menit } 7 \text{ detik WIB}$$

Waktu Salat	<i>Truncated</i>	<i>Higher Accuracy</i>
Salat Zuhur	11:42:08 WIB	11:42:07 WIB
Salat Asar	14:46:48 WIB	14:46:46 WIB
Salat Magrib	17:48:34 WIB	17:48:33 WIB
Salat Isya	19:05:58 WIB	19:05:56 WIB
Salat Subuh	04:18:08 WIB	04:18:07 WIB

Tabel 4. 1. Hasil Perbandingan Perhitungan Waktu Salat antara *Truncated* dan *Higher Accuracy* pada Tanggal 7 Maret 2023.

Kesimpulan:

- Salat Zuhur: terdapat selisih 1 detik.
- Salat Asar: terdapat selisih 2 detik.
- Salat Magrib: terdapat selisih 1 detik.
- Salat Isya: terdapat selisih 2 detik.
- Salat Subuh: terdapat selisih 1 detik.

Dapat disimpulkan bahwa metode *Higher Accuracy* 1-2 detik lebih awal masuk waktunya dibanding metode *Truncated*.

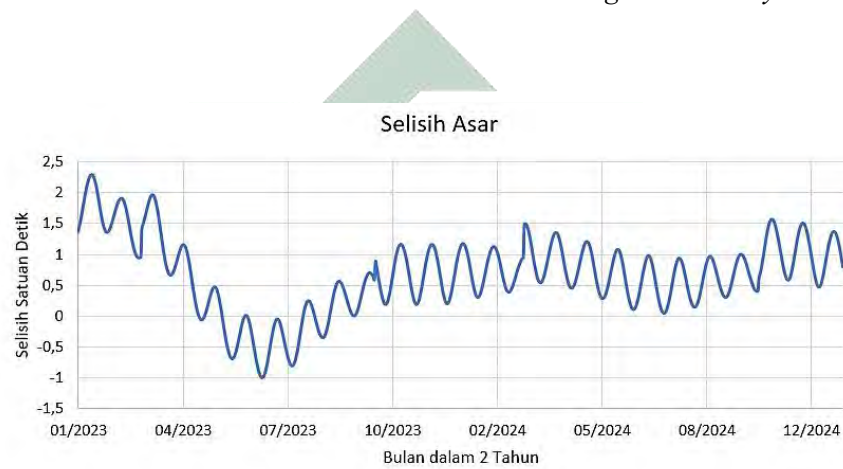
B. Komparasi Perhitungan Waktu Salat dengan Data Matahari Versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam Buku *Astronomical Algorithms*

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia komparasi memiliki arti yaitu perbandingan. Penelitian komparasi merupakan penelitian yang dimaksudkan untuk mengetahui atau menguji perbedaan antara dua kelompok atau lebih. Nazir mendefinisikan penelitian komparasi adalah jenis penelitian deskriptif yang berusaha memahami sebab dan akibat secara mendasar. Hasilnya kemudian diperiksa dengan menggunakan uji perbandingan. Komparasi juga bertujuan untuk melihat apakah variabel (objek penelitian) berbeda antar satu sama lain (Nazir,2005).

Pada penelitian ini penulis melakukan uji komparasi terhadap waktu salat menggunakan data Matahari *Truncated* dan data Matahari *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* Jean Meeus. Penulis menggunakan grafik yang dihasilkan dari microsoft excel untuk mengkomparasikan selisih dari perhitungan waktu salat menggunakan data Matahari *Truncated* dan menggunakan data Matahari *Higher Accuracy* Jean Meeus dalam kurun waktu 2 tahun yaitu dari tahun 2023 sampai 2024 di kota Surabaya.



Gambar 4.1. Grafik selisih detik waktu Zuhur *Truncated* dan *Higher Accuracy* 2023-2024



Gambar 4.2. Grafik selisih detik waktu Asar *Truncated* dan *Higher Accuracy* 2023-2024



Gambar 4.3. Grafik selisih detik waktu Magrib *Truncated* dan *Higher Accuracy* 2023-2024



Gambar 4. 4. Grafik selisih detik waktu Isya *Truncated* dan *Higher Accuracy* 2023-2024



Gambar 4. 5. Grafik selisih detik waktu Subuh *Truncated* dan *Higher Accuracy* 2023-2024

Penulis melakukan perbandingan antara metode *Truncated* dan *Higher Accuracy* menggunakan grafik-grafik seperti di atas. Perbandingan ini dilakukan dalam rentang waktu 2 tahun yaitu dari tahun 2023 hingga 2024 untuk jadwal waktu salat Zuhur, Asar, Magrib, Isya dan Subuh di kota Surabaya. Dapat dilihat bahwa grafik di atas memiliki pola naik dan turun setiap bulannya, dan menghasilkan nilai selisih maksimum keseluruhan data yaitu 2.52734 detik yang artinya selisih antara kedua metode tersebut tidak lebih dari 2,5 detik kurun waktu 2 tahun. Perbedaan tersebut dapat dilihat dalam tabel di bawah ini:

Selisih Rata-Rata Satuan Detik Waktu				
Zuhur	Asar	Magrib	Isya	Subuh
0.66112705	0.66225555	0.65441111	0.65620213	0.66629879

Tabel 4. 2. Nilai rata-rata selisih detik waktu salat antara *Truncated* dan *Higher Accuracy*

Selisih Maksimum Satuan detik Waktu				
Zuhur	Asar	Magrib	Isya	Subuh
2.4076892	2.30015479	2.35197811	2.29843716	2.52734913

Tabel 4. 3. Nilai maksimum rata-rata selisih detik waktu salat antara *Truncated* dan *Higher Accuracy*

Selisih Rata-Rata Keseluruhan Data
0.66005893

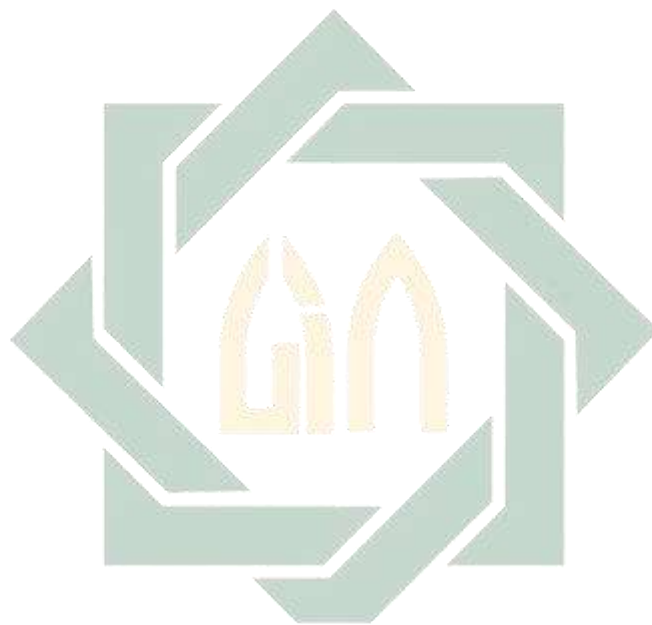
Tabel 4. 4. Nilai selisih rata-rata keseluruhan data waktu salat antara *Truncated* dan *Higher Accuracy*

Selisih Maksimum Keseluruhan Data
2.527349134

Tabel 4. 5. Nilai selisih maksimum keseluruhan data waktu salat antara *Truncated* dan *Higher Accuracy*

Sehingga rata-rata jadwal waktu salat antara menggunakan data Matahari *Truncated* dan dengan menggunakan data Matahari *Higher Accuracy* bila dihitung di kota Surabaya selama rentang waktu 2023 hingga 2024 adalah sekitar 0.66005893 detik atau 00:00:0.66006. Dari sini maka dapat dilihat bahwa data Matahari metode *Truncated* ini memiliki potensi untuk dijadikan acuan dalam mencari posisi Matahari. Metode *Truncated* ini memiliki keunggulan karena perhitungannya yang lebih ringkas dan sederhana dibanding dengan metode *Higher Accuracy*. Namun, kesederhanaan ini tidak lantas membuat metode *Truncated* ini mempunyai akurasi yang tidak akurat. Kesederhanaan perhitungan ini ternyata justru menghasilkan selisih yang kecil apabila dibandingkan dengan perhitungan data Matahari metode *Higher Accuracy* yang menggunakan suku koreksi yang cukup rumit.

Oleh karena itu, perhitungan data Matahari *Truncated* ini dapat dijadikan sebagai pengganti menggunakan data Matahari *Higher Accuracy* guna menghitung waktu salat. Perhitungan data Matahari *Truncated* ini dapat dijadikan rujukan dan pedoman guna menentukan jadwal waktu salat, selain karena akurasinya yang terjaga metode *Truncated* ini perhitungannya lebih ringkas dan sederhana jika dibanding dengan *Higher Accuracy*.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian yang berjudul “Uji Komparasi Perhitungan Data Matahari Versi *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam Buku *Astronomical Algorithms* Karya Jean Meeus” ini, yakni sebagai berikut:

1. Perhitungan data Matahari dengan metode *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* yaitu dengan menghitung data-data Matahari yang diperlukan untuk perhitungan waktu salat seperti *deklinasi*, *semidiameter* dan *equation of time*. Kemudian mengimplementasikan data-data Matahari tersebut untuk perhitungan waktu salat. Data Matahari dari kedua metode tersebut terdapat perbedaan dalam perhitungannya, yaitu metode *Truncated* perhitungannya lebih ringkas dan tidak mempunyai koreksi dengan jumlah banyak seperti *Higher Accuracy*. Sedangkan *Higher Accuracy* lebih rumit perhitungannya dan memiliki total jumlah koreksi sebanyak 159 buah.
2. Tingkat akurasi data Matahari *Truncated* untuk perhitungan waktu salat memiliki ketepatan akurasi yang tinggi. Kedua metode ini mempunyai akurasi yang tinggi. Hal ini dibuktikan dengan nilai selisih maksimum yang dihasilkan adalah 2.52734 detik, yang artinya selisih antara kedua

metode *Truncated* dan *Higher Accuracy* tidak lebih dari 2,5 detik. Maka dari itu, metode *Truncated* ini dapat dijadikan alternatif untuk mendapatkan data-data Matahari guna menghitung waktu salat selain menggunakan metode *Higher Accuracy*.

B. Saran

Penelitian terhadap uji komparasi antara *Truncated* dan *Higher Accuracy* dalam buku *Astronomical Algorithms* ini menghasilkan metode yang dapat dijadikan salah satu rujukan dalam menghitung waktu salat. Terutama untuk *Truncated*, metode ini ternyata terbilang akurat untuk menjadi salah satu alternatif guna menghitung waktu salat. Disarankan kepada para ahli falak untuk dapat mengimplementasikan metode *Truncated* ini dalam bahasa pemrograman, seperti *Visual Basic*, *Phyton* dan sebagainya.

Selain itu metode *Truncated* ini juga dapat dijadikan alternatif bagi pemula sebagai proses pembelajaran untuk melakukan perhitungan data Matahari guna menghitung waktu salat. Karena perhitungan dari metode *Truncated* ini lebih ringkas dan sederhana jika dibanding dengan menggunakan metode *Higher Accuracy* yang perhitungannya lebih kompleks dan rumit. Namun, penelitian ini jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, pembaca diharapkan dapat menggali lebih dalam mengkaji terkait metode *Truncate* ini. Dan juga diharapkan pembaca lebih kritis dalam melakukan kajian ulang agar mendapatkan inovasi terbaru.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Jazari, Imam Ibn Al-Atsir. *“Jami’ Al-Ushul fi Ahadist Al-Rasul”*. Kairo: Maktabah Al-Halwani, 1971.
- Amri, Tamhid. *Waktu Salat Perspektif Syar’i*. Jurnal As-Syari’ah, Vol. 16, N0. 3. Desember 2014.
- Baihaqi, Imam. *Analisis Sistem Perhitungan Awal Waktu Salat Thomas Djamaluddin*. Skripsi—UIN Walisongo, Semarang, 2017.
- Bashori, Muhammad Hadi. *Pengantar Ilmu Falak*. Jakarta: Pustaka Al-Kautsar, 2015.
- Devi, Oktaria Puspita. “Implementasi *Higher Precision Method* untuk perhitungan waktu salat dalam buku *Practical Astronomy With Your Calculator or Spreadsheet*”. Skripsi—UIN Sunan Ampel, Surabaya, 2022.
- Dzulikrom, Muhammad Muadz. “Perhitungan Data Matahari dalam Buku *Planetary Programs and Tables from -4000 to +2800 untuk Pemograman Awal waktu Salat Menggunakan Software Microsoft Spreadsheet*”. Skripsi—UIN Sunan Ampel, Surabaya, 2022.
- Faiz, ABD. Karim. *Waktu Salat (Kajian Fiqih dan Astronomi)*. Parepare: IAIN Parepare Nusantara Press, 2021.
- Hajar, Imam Ibn. *“Bulugh Al-Maram Min Adilat Al-Ahkam”*. Lebanon: Dar El Aker, 1971.
- Hidayat, Rahmat. *Rukyat Hisab Waktu Salat*. Medan: Rawda Publishing, 2021.
- Hidayatullah. “Penentuan Awal Waktu Salat Ashar Menurut Imam Hanafi dan Imam Syafi’i”. Skripsi--UIN Antasari, Banjarmasin, 2018.
- Isnaeni, Dede Muhammad, Fitri Mintarsih, Feri Fahrianto. “Implementasi Algoritma Meeus dalam penentuan Waktu Salat dan Pencarian Masjid Terdekat”. Jurnal UINJKT, Vol. 8, N0. 1. 8 Juni 2016.
- Lajnah Pentashihan Mushaf Alquran. *Aplikasi Alquran Kemenag*.

- Meeus, Jean. “*Astronomical Algorithms Second Edition*”. Virginia: Willman-Bell, 1998.
- Mukarrom, Akh. *Ilmu Falak*. Sidoarjo: Grafika Media, 2012.
- Murtadho, Moh. *Ilmu Falak Praktis*. Malang: UIN-Malang Press, 2008.
- Nawawi, Abd. Salam. *Ilmu Falak Praktis: Waktu Salat, Arah Kiblat, dan Kalender Hijriah*. Surabaya: IMTIYAZ, 2016
- Pulo, Teungku Mustafa Muhammad Isa. *Fiqih Falakiyah*. Yogyakarta: Deepublish, 2016.
- Rohman, Khozinur. “Studi Komparasi Algoritma *Equation of Time* Versi Jean Meeus dan Newcomb”. Skripsi—UIN Walisongo, Semarang, 2016.
- Sabda, Abu. *Ilmu Falak Rumusan Syar’i dan Astronomi*. Bandung: Persis Pers, 2020.
- Sarwat, Ahmad. *Waktu Salat*. Jakarta: Rumah Fiqih Publishing, 2018.
- Setyosari, Punaji. “Metode Penelitian Pendidikan dan Pengembangan”. Jakarta: Kencana, 2016.
- Zainul, Arifin. *Ilmu Falak*. Yogyakarta: Lukita, 2013.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A