

**PENGARUH POSISI PERIGEE DAN APOGEE BULAN TERHADAP
VISIBILITAS HILAL**

SKRIPSI

Oleh

Muhammad Alwi Musyafa

NIM. C76219034



**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 : Muhammad Alwi Musyafa
NIM : C76219034
Fakultas/Prodi : Syariah dan Hukum/ Ilmu Falak
Judul : Pengaruh Posisi Perigee dan Apogee Bulan Terhadap Visibilitas Hilal

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,



Muhammad Alwi Musyafa
NIM. C76219034

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Skripsi yang ditulis oleh:

Nama : Muhammad Alwi Musyafa
NIM. : C76219034
Judul : Pengaruh Posisi Perigee dan Apogee Bulan Terhadap
Visibilitas Hilal

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

Surabaya, 26 Juni 2023
Pembimbing,



Novi Sopwan, M.Si
NIP. 198411212018011002

PENGESAHAN

Skripsi yang ditulis oleh:

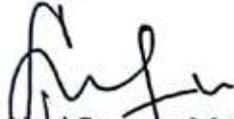
Nama : Muhammad Alwi Musyafa

NIM : C76219034

telah dipertahankan di depan sidang Majelis Munaqasah skripsi Fakultas Syariah dan Hukum UIN Sunan Ampel pada hari Selasa, tanggal 11 Juli 2023 , dan dapat diterima sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana strata satu dalam Ilmu Falak.

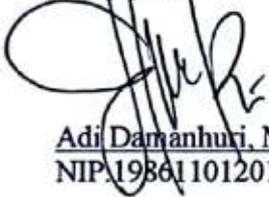
Majelis Munaqasah Skripsi:

Penguji I



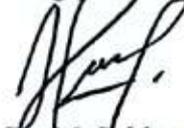
Novi Sopwan, M. Si.
NIP.198411212018011002

Penguji III



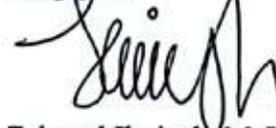
Adi Damanhuki, M. Si.
NIP.198611012019031010

Penguji II



Dr. M. Sulthon, MA.
NIP.197205152006041003

Penguji IV



Zainatul Ilmiyah, M. H.
NIP.199302152020122020

Surabaya, 18 Juli 2023

Mengesahkan,

Fakultas Syariah dan Hukum

Universitas Islam Negeri Sunan Ampel

Dekan,




M. Sa'adah 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 : Muhammad Alwi Musyafa'
NIM : C76219034
Fakultas/Jurusan : Syariah dan Hukum / Ilmu Falak
E-mail address : m.alwimusyafa@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 Desertasi Lain-lain (.....)
yang berjudul :

Pengaruh Posisi Perigee dan Apogee Bulan Terhadap Visibilitas Hilal

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, 3 September 2023

Penulis



(Muhammad Alwi Musyafa')

ABSTRAK

Dalam upaya meningkatkan keakuratan prediksi visibilitas hilal, diperlukan pertimbangan terhadap fenomena astronomi yang berkaitan dengan kedudukan bulan di langit pada saat rukyatul hilal. Skripsi ini menjawab pertanyaan yang tertuang dalam rumusan masalah, yaitu: bagaimana perhitungan posisi perigee dan apogee Bulan; dan analisis pengaruh posisi perigee dan apogee terhadap visibilitas hilal.

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif komparatif, dengan data penelitian diperoleh menggunakan teknik dokumentasi. Data primer diperoleh dari hasil perhitungan visibilitas hilal dan jarak bujur Bulan dari bujur perigee, mulai tahun 622 hingga 2500 Masehi untuk lokasi Kota Surabaya. Perhitungan dilakukan menggunakan aplikasi *Microsoft Visual Basic 6.0*. Metode pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan metode dokumentasi yaitu dengan mempelajari perhitungan posisi Bulan dan posisi bujur perigee dalam *Lunar Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000*, perhitungan posisi Matahari dari *Planetary Program and Tables From -4000 To +2800*, serta rumus yang terdapat dalam *Astronomical Algorithms* untuk perhitungan parameter posisi Bulan dan Matahari yang tidak dijelaskan dalam dua sumber buku sebelumnya. Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif kualitatif terhadap data hasil perhitungan visibilitas hilal dan jarak bujur perigee, dengan mendeskripsikan pengaruh posisi perigee dan apogee Bulan terhadap visibilitas hilal berdasarkan fungsi visibilitas hilal Odeh dan kriteria Neo MABIMS.

Hasil penelitian ini menyimpulkan: *pertama*, perhitungan posisi perigee dan apogee Bulan menggunakan perhitungan *indirect method* yang diturunkan dari perhitungan elemen orbit oskulasi Bulan pada nilai bujur, lintang, dan jarak Bumi-Bulan yang terdapat dalam buku *Lunar Programs and Tables from 4000 B.C. to A.D. 8000*, dengan suku koreksi berjumlah 641 koreksi bujur Bulan, 328 koreksi lintang Bulan, dan 355 koreksi jarak Bumi-Bulan. *Kedua*, posisi perigee dan apogee Bulan memberikan pengaruh terhadap variasi nilai maksimum parameter visibilitas hilal. Nilai maksimum tinggi Bulan dan elongasi Bulan-Matahari lebih tinggi ketika posisi Bulan berada didekat perigee daripada ketika didekat apogee. Nilai maksimum umur Bulan ketika berada di apogee memiliki nilai umur Bulan yang lebih besar dibandingkan ketika Bulan berada di perigee. Berdasarkan fungsi visibilitas hilal Odeh, data hilal ketika posisi Bulan dekat dengan apogee diprediksi tidak dapat diamati dengan menggunakan mata telanjang.

Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam perumusan kriteria visibilitas hilal. Serta diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut terkait prediksi visibilitas hilal dengan mempertimbangkan fenomena astronomis lain yang berhubungan dengan konfigurasi Bumi-Bulan-Matahari.

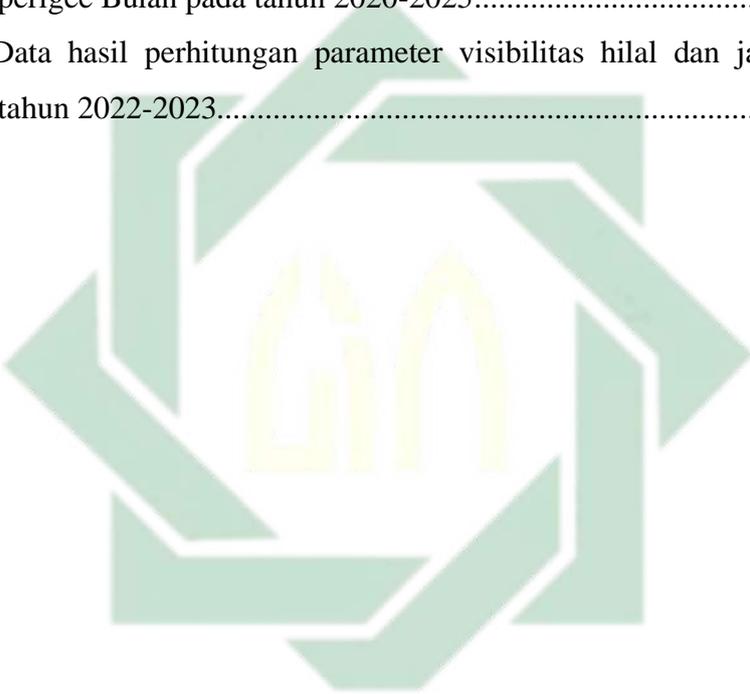
DAFTAR ISI

SAMPUL DALAM.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
PERSETUJUAN PEMBIMBING.....	iii
PENGESAHAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TRANSLITERASI.....	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Identifikasi dan Batasan Masalah.....	7
C. Rumusan Masalah.....	8
D. Kajian Pustaka.....	8
E. Tujuan Penelitian	11
F. Kegunaan Hasil Penelitian	11
G. Definisi Operasional.....	12
H. Metode Penelitian.....	13
I. Sistematika Penulisan.....	17
BAB II KAJIAN VISIBILITAS HILAL DAN ORBIT BULAN DALAM SISTEM BUMI, BULAN DAN MATAHARI.....	19
A. Kriteria Visibilitas Hilal.....	19
B. Orbit Bulan dalam Sistem Bumi, Bulan, dan Matahari	39

BAB III DATA HASIL PERHITUNGAN VISIBILITAS HILAL SERTA	
POSISI PERIGEE DAN APOGEE BULAN.....	45
A. Metode Perhitungan Parameter Visibilitas Hilal dan Posisi Perigee	
Apogee Bulan.....	45
B. Hasil Perhitungan Parameter Visibilitas Hilal dan Posisi Perigee	
Apogee Bulan.....	68
BAB IV ANALISIS PENGARUH POSISI PERIGEE DAN APOGEE BULAN	
TERHADAP VISIBILITAS HILAL	75
A. Pengaruh Posisi Perigee dan Apogee Bulan terhadap Parameter	
Visibilitas Hilal	75
B. Analisis Pengaruh Perigee dan Apogee Bulan terhadap Parameter	
Visibilitas Hilal berdasarkan Fungsi Visibilitas Hilal Odeh dan	
Kriteria Neo MABIMS	83
BAB V PENUTUP.....	94
A. Kesimpulan	94
B. Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA	96
LAMPIRAN.....	100

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Kriteria Fotheringham - Mounder.....	30
Tabel 2. Kriteria Visibilitas Hilal Bruin.....	32
Tabel 3. Kriteria Visibilitas Hilal Yallop (q) dan Odeh (V)	35
Tabel 4. Contoh tabel data hasil perhitungan parameter visibilitas hilal dan jarak perigee Bulan pada tahun 2020-2025.....	68
Tabel 5. Data hasil perhitungan parameter visibilitas hilal dan jarak perigee tahun 2022-2023.....	81



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Danjon limit.....	31
Gambar 2. Lintasan orbit bulan mengelilingi bumi dan bumi mengelilingi matahari yang berbentuk elips	40
Gambar 3. Posisi Matahari ketika ekuinoks, summer solstice, dan winter solstice.....	43
Gambar 4. Titik simpul antara orbit Bulan dan orbit Bumi	44
Gambar 5. Alur perhitungan parameter visibilitas hilal dan jarak posisi perigee dan apogee Bulan	46
Gambar 6. Plot data tinggi toposentris Bulan dengan jarak bujur Bulan dari bujur perigee.....	76
Gambar 7. Plot data elongasi toposentris Bulan-Matahari dengan jarak bujur perigee.....	77
Gambar 8. Jarak Bulan baru dan purnama sehubungan dengan perigee pada tahun 2022 hingga 2023	79
Gambar 9. Plot data tinggi toposentris Bulan dengan jarak bujur Bulan dari perigee yang ditambahkan batas kriteria Odeh dan Neo MABIMS ...	84
Gambar 10. Plot data elongasi toposentris Bulan-Matahari dengan jarak bujur Bulan dari perigee yang ditambahkan batas kriteria Odeh dan NEO MABIMS	85
Gambar 11. Plot data umur Bulan dengan jarak bujur Bulan dari bujur Perigee berdasarkan fungsi visibilitas hilal Odeh	91

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Sistem penanggalan digunakan sebagai penanda waktu bagi umat manusia yang mengacu pada kejadian fenomena astronomi. Kalender Kamariah merupakan salah satu sistem penanggalan yang dipakai mayoritas masyarakat di dunia khususnya di Indonesia. Kalender Kamariah yang biasa juga disebut penanggalan Islam atau kalender Hijriyah menggunakan pergerakan bulan mengelilingi bumi (revolusi Bulan) sebagai acuan dalam penetapan awal bulannya. penetapan awal dan akhir bulan dalam kalender ini sangat penting bagi umat Islam dikarenakan berkaitan dengan hari besar keagamaan serta untuk kepentingan ibadah.

Polemik seputar perbedaan penentuan awal bulan kamariah di Indonesia selalu menjadi topik yang ramai diperbincangkan. Permasalahan ini tidak hanya dialami oleh umat Islam di Indonesia tapi juga terjadi terhadap umat Islam di seluruh dunia. Awal bulan dalam penanggalan kamariah bisa terjadi dalam dua bahkan tiga tanggal yang berbeda menurut penanggalan masehi, hal tersebut dikarenakan beragamnya metode yang digunakan dalam penentuan awal bulan kamariah.

Dalam penetapan awal bulan kamariah metode yang sering digunakan yaitu hisab dan rukyat. Hisab adalah sistem perhitungan yang didasarkan pada peredaran Bulan dan Bumi terhadap Martahari. Pada setiap bulan memiliki variasi nilai umur Bulan yang bergantung pada kedudukan hilal pada tiap awal

bulan. Bisa terjadi kemungkinan dua bulan yang berurutan memiliki umur bulan 29 hari atau 30 hari, bahkan bisa jadi berselang-seling sebagaimana menurut hisab *urfi*.¹ Hisab *urfi* merupakan metode perhitungan berdasarkan peredaran rata-rata Bumi dan bulan terhadap Matahari. Para ulama menyepakati terkait penggunaan hisab *urfi* tidak bisa dijadikan pedoman dalam perhitungan awal bulan kamariah.²

Sedangkan rukyat merupakan kegiatan mengamati hilal setelah terbenamnya matahari pada saat sesudah terjadinya fase Bulan baru yang ditandai dengan konjungsi, untuk menentukan awal bulan dalam penanggalan kamariah. Rukyatul hilal dilaksanakan setiap tanggal 29, apabila hilal teramati pada waktu terbenamnya Matahari atau setelahnya, maka hari besoknya ditetapkan sebagai bulan baru. Namun jika hilal tidak teramati maka jumlah hari dalam bulan tersebut di *istikmal*-kan menjadi 30 hari. Dalam praktiknya, metode hisab dan rukyat tidak harus diperdebatkan, melainkan digunakan keduanya sebagai sesuatu kesatuan yang saling melengkapi.³

Menurut ruang lingkup ilmu falak kedua metode tersebut merupakan multi disiplin ilmu yang dijadikan sebagai acuan dalam penentuan awal bulan penanggalan Islam, dan membantu dalam penentuan waktu ibadah bagi umat Islam. Ilmu hisab dan rukyat adalah interpretasi antara syariat dengan astronomi.⁴ Disebut *syari'ah* sebab dalam petapan awal bulan berpedoman pada

¹ Susiknan Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, cet. II. (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2008), 78.

² Akh. Mukarrom, *Ilmu Falak Dasar-Dasar Hisab Praktis* (Sidoarjo: Grafika Media, 2012), 130.

³ Thomas Djamaluddin, *Astronomi Memberi Solusi Penyatuan Ummat* (Jakarta: Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (LAPAN), 2011), 5.

⁴ Ibid.

dalil syar'i yang telah ditetapkan, yakni al-Qur'an, hadis, serta ijtihad para ulama. Disebut astronomi sebab dalam hal ini memberikan formulasi terkait tafsiran dalil-dalil syar'i yang menghasilkan formulasi perhitungan matematis yang dipakai sebagai prakiraan waktu.

Awal mula beragamnya pendapat tentang penentuan awal bulan kamariah adalah pemahaman yang berbeda dalam menginterpretasikan dalil-dalil syar'i yang berkaitan dengan penentuan awal bulan. Adanya perbedaan penetapan awal bulan kamariah memberikan dampak hukum pada waktu pelaksanaan ibadah. Sebagai contoh ibadah puasa dianggap tidak sah jika dilakukan sebelum waktunya. Sebaliknya akan dianggap melalaikan pelaksanaan ibadah jika sudah ditetapkan waktunya ibadah puasa, namun umat Islam masih belum melaksanakannya sebagaimana yang sudah diperintahkan oleh Allah SWT. Oleh sebab itu maka sudah sepatutnya umat Islam memiliki sistem kalender yang mapan, konsisten, serta dapat memberikan kepastian dalam waktu pelaksanaan ibadah. Sehingga tidak menimbulkan adanya perbedaan-perbedaan yang dapat menjadikan adanya kebimbangan di tengah-tengah umat Islam.⁵

Seiring dengan berkembangnya pengetahuan dan teknologi, sudah sepatutnya dapat membantu memberikan kemudahan terkait pembuatan sistem penanggalan *lunar system* yang berdasarkan astronomi dan tidak bertentangan dengan syariat Islam. Perhitungan awal bulan kamariah dengan pertimbangan

⁵ Suhadirman, "Kriteria Visibilitas Hilal Dalam Penetapan Awal Bulan Kamariah Di Indonesia," *Jurnal Khatulistiwa* vol.3, no. 1 (2013), 73.

astronomi yang dilakukan secara komputerisasi, tentu akan mendapatkan hasil perhitungan yang lebih cepat dan akurat.

Beberapa kriteria empiris dan kriteria fisis telah dikembangkan berdasarkan data pengamatan hilal yang telah terdokumentasi dari berbagai sumber dengan pendekatan posisi bulan dan matahari, maupun pendekatan fotometri, antara lain yang dikembangkan oleh Fotheringham (1910), Maunder (1911), Danjon (1936), F. Bruin (1977), Mohammad Ilyas (1981), Bradley Schaefer (1994), B.D. Yalooop (1997), Cadwell & Laney (2001), dan Odeh (2004).⁶

Terdapat beberapa kriteria yang digunakan dalam penetapan awal bulan kamariah di Indonesia. Metode hisab digunakan pada kriteria *wujudul hilal* yang digunakan oleh Muhammadiyah, dan kriteria *imkanurrukyat* usulan LAPAN digunakan oleh Persatuan Islam (PERSIS), serta digunakan dalam penyusunan Taqwim Standar Indonesia. Sementara mazhab rukyat yang dipedomani oleh Nahdlatul Ulama dengan menggunakan kriteria *imkanurrukyat* Kementerian Agama RI. Pada tahun 1998 Pemerintah Indonesia mencoba menjembatani antara mazhab hisab dan rukyat, dengan menggagas kriteria visibilitas hilal bersama-sama dengan negara Malaysia, Brunei Darussalam, dan Singapura, yang menghasilkan kriteria *imkanurrukyat* versi

⁶ Novi Sopwan and Moedji Raharto, "Model Awal Visibilitas Hilal Metonik," in *Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains* (Institut Teknologi Bandung, 2017), 371.

MABIMS. Kemudian terdapat pembaharuan terhadap kriteria MABIMS pada tahun 2021 yang lebih dikenal dengan kriteria Neo MABIMS.⁷

Prediksi awal terhadap kenampakan hilal yang bisa diamati atau tidak yakni membandingkan terhadap kriteria visibilitas hilal. Urgensi penelitian terhadap visibilitas hilal baik di wilayah Indonesia maupun global adalah dibutuhkan melihat gambaran terhadap karakteristik perubahan parameter visibilitas hilal dan perumusan kriteria visibilitas hilal yang ideal sesuai dengan fenomena astronomis yakni realita posisi bulan dan matahari.⁸ Untuk meningkatkan keakuratan prediksi kenampakan hilal, perlu adanya pertimbangan terhadap fenomena-fenomena astronomi yang berkaitan dengan posisi hilal ketika rukyatul hilal. Fenomena astronomis yang perlu dipertimbangkan khususnya yang berhubungan dengan konfigurasi bumi-bulan-matahari.

Bulan bergerak mengelilingi Bumi pada lintasan orbit yang berbentuk elips dalam satu bulan. Dalam orbit elips, suatu benda langit yang bergerak memiliki kecepatan yang tidak tetap, hal tersebut bergantung pada jarak posisi suatu benda langit terhadap titik perifokusnya. Dalam rentang waktu satu lunasi atau periode dari konjungsi ke konjungsi berikutnya memiliki variasi waktu, dapat lebih lama dibandingkan dengan rata-rata ketika posisi Bulan berada di

⁷ Mutoha Arkanuddin and Muh Ma'rufin Sudiby, "Kriteria Visibilitas Hilal Rukyatul Hilal Indonesia (Rhi) (Konsep, Kriteria, Dan Implementasi)," *Jurnal Al-Marshad* vol.1, no. 1 (2015), 37-39.

⁸ Novi Sopwan and Moedji Raharto, "Perbandingan Sebaran Posisi Hilal Saat Matahari Terbenam di Kota Jayapura, Pontianak, Pelabuhan Ratu, dan Banda Aceh," in *Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains* (Institut Teknologi Bandung, 2019), 166.

dekat apogee atau bisa lebih pendek pada saat posisi bulan berada di dekat perigee.⁹

Sebagaimana pemahaman kita bahwa benda yang memiliki ukuran sama jika ditaruh pada jarak yang berbeda maka akan menjadikan kenampakan yang berbeda juga terhadap benda tersebut. Benda yang memiliki jarak lebih dekat akan memberikan kenampakan yang lebih besar daripada benda yang memiliki jarak yang lebih jauh dari titik pengamatan. Hal tersebut jika diterapkan dalam fenomena perigee dan apogee juga akan memberikan gambaran kenampakan bulan yang berbeda ketika diamati dari bumi. Salah satu contoh pengaruh adanya fenomena perigee terhadap kenampakan bulan purnama terlihat dari bumi adalah terjadinya fenomena *Supermoon*. Pada saat terjadinya fenomena *supermoon* ini kenampakan Bulan akan terlihat lebih besar sekitar 14 – 15% dan terlihat lebih terang sebesar 30% jika diamati dari bumi.¹⁰

Melihat pengaruh fenomena perigee dan apogee pada saat terjadinya bulan purnama yang menimbulkan adanya fenomena *supermoon*, penulis tertarik untuk mengkaji pengaruh jarak posisi bulan dari titik perigee dan apogee terhadap kenampakan bulan sabit tipis pada saat setelah terjadinya konjungsi. Berdasarkan uraian tersebut, penulis tertarik untuk mengangkat penelitian dengan judul “Pengaruh Posisi Perigee dan Apogee Bulan Terhadap Visibilitas Hilal”. Penulis akan menggunakan data perhitungan posisi perigee dan apogee bulan dalam buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to*

⁹ Novi Sopwan, “Umur bulan sebagai parameter visibilitas hilal,” in *Seminar Nasional Fisika* (Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya, 2019), 26.

¹⁰ Muhammad Himmatur Riza, “Fenomena Supermoon dalam Perspektif Fiqh dan Astronomi,” *ELFALAKY* vol.4, no. 1 (2020), 12-13.

A.D. 8000, yang memberikan nilai jarak bujur bulan dari bujur perigee dan apogee. Kemudian akan dilihat perubahan parameter visibilitas hilal berdasarkan jarak posisi bulan dari titik perigee dan apogee.

B. Identifikasi dan Batasan Masalah

Dari uraian latar belakang masalah di atas, dapat diidentifikasi beberapa masalah, di antaranya adalah:

1. Terus berkembang dan beragamnya pendapat tentang kriteria visibilitas hilal
2. Perlu adanya kajian terhadap kriteria visibilitas hilal yang didasarkan pada pertimbangan fenomena astronomi.
3. Perlunya mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi visibilitas hilal dalam perumusan kriteria visibilitas hilal.
4. Belum adanya penelitian mendalam yang dibuktikan secara empiris terkait pengaruh jarak posisi bulan dari titik perigee dan apogee terhadap visibilitas hilal.
5. Menganalisis pengaruh posisi perigee dan apogee bulan terhadap visibilitas hilal.

Dari beberapa indentifikasi masalah di atas, penulis membatasi ruang lingkup dalam penelitian ini terhadap pembahasan:

1. Perhitungan visibilitas hilal dan jarak posisi Bulan dari perigee dan apogee dilakukan untuk lokasi Kota Surabaya dan dibatasi pada umur Bulan yang bernilai positif

2. Analisis pengaruh jarak posisi bulan dari perigee dan apogee terhadap visibilitas hilal dilakukan berdasarkan batas minimum kriteria visibilitas hilal Neo MABIMS dan fungsi visibilitas hilal Odeh.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang serta batasan masalah dan ruang lingkup pembahasan yang dijelaskan sebelumnya, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perhitungan posisi perigee dan apogee bulan?
2. Bagaimana pengaruh posisi perigee dan apogee bulan terhadap visibilitas hilal?

D. Kajian Pustaka

Kajian Pustaka merupakan penelusuran terhadap penelitian atau kajian yang telah dilakukan dan memiliki pembahasan yang relevan terhadap objek penelitian yang akan dilakukan oleh penulis. Sehingga peneliti akan mengetahui bahwa objek penelitian yang akan dilakukan tersebut bukan merupakan duplikasi atau pengulangan dari penelitian-penelitian terdahulu.¹¹

Sejauh penelusuran telah penulis lakukan, terdapat beberapa hasil penelitian yang ditemukan memiliki relevansi dengan penelitian yang dilakukan penulis, yaitu:

1. Jurnal yang berjudul “*The Width Progress of the Thin Lunar Crescent After Conjunction Closed to the Perihelion and Aphelion Passage of the Earth*” yang ditulis oleh Novi Sopwan, Moedji Raharto, Budi Darmawan, dan

¹¹ Rahmadi, *Pengantar Metodologi Penelitian* (Banjarmasin: Antasari Press, 2011), 37.

Dhani Herdiwijaya.¹² Jurnal tersebut menjelaskan tentang kemajuan lebar hilal yang terlihat ketika posisi bumi berada di dekat titik *perihelion* dan *aphelion*. Data diperoleh dari perhitungan algoritma untuk tanggal fase bulan serta posisi bulan dan matahari berdasarkan perhitungan dalam buku *Astronomical Algorithms*. Jurnal tersebut menyimpulkan bahwa posisi bumi ketika berada di *aphelion* akan memberikan kontras yang lebih baik dengan latar belakang langit daripada saat bumi berada di *perihelion*. Kecepatan bumi ketika berada di *perihelion* adalah 30,3 km/s sedangkan kecepatan bumi ketika berada di *aphelion* adalah 29,3 km/s. Hal tersebut membuat panjang periode sinodis bulan ketika bumi berada di posisi *perihelion* lebih panjang yakni antara 29,3 dan 29,4 hari, dibandingkan dengan saat bumi berada di *aphelion* yang lebih pendek berkisar antara 29,6 dan 29,8 hari. Perbedaan jurnal ini dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis terletak pada objek kajian, dimana dalam jurnal tersebut menjelaskan pengaruh titik *perihelion* dan *aphelion* terhadap variasi panjang periode sinodis bulan yang berdampak pada kemajuan lebar hilal yang terlihat. Dalam jurnal tersebut juga disebutkan besar kemungkinan adanya pengaruh posisi bulan terhadap titik perigee dan apogee yang belum dijelaskan dalam jurnal tersebut. Sedangkan penulis akan mengkaji terkait adanya pengaruh jarak posisi bulan terhadap titik perigee dan apogee yang belum dijelaskan

¹² Novi Sopwan et al., "The Width Progress of the Thin Lunar Crescent After Conjunction Closed to the Perihelion and Aphelion Passage of the Earth," in *International Conference on Mathematics and Natural Science* (Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2008).

dalam jurnal tersebut, dan akan melihat seberapa besar pengaruh tersebut terhadap parameter visibilitas hilal dalam penentuan awal bulan Kamariah.

2. Tesis dengan judul "Faktor Atmosfer dalam Visibilitas Hilal Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)" yang ditulis oleh Badrul Munir.¹³ Dalam tesis ini dijelaskan bahwa terdapat dua faktor atmosfer yang menurut kajian BMKG memberikan pengaruh terhadap visibilitas hilal. Dua faktor tersebut adalah faktor kejernihan atmosfer dan faktor tutupan awan di ufuk barat pada waktu rukyatul hilal. Nilai kejernihan atmosfer memiliki rentang antara 0 – 1,3 semakin besar nilainya kondisi atmosfer semakin bersih. Tutupan awan dinyatakan dalam satuan 0 untuk keadaan langit cerah tanpa awan, sedangkan nilai 8/8 atau 10/10 untuk keadaan langit yang tertutup awan sepenuhnya. Melalui perhitungan model Kastner diperoleh nilai kecerahan atmosfer dengan rentang 0-0,7 untuk hilal dengan altitude kurang dari 8° memberikan pengaruh terhadap visibilitas hilal tidak dapat diamati mata telanjang. Jadi dapat disimpulkan bahwa kecerahan atmosfer sangat berpengaruh terhadap visibilitas hilal. Objek kajian dalam tesis tersebut berbeda dengan penelitian yang akan dilakukan oleh penulis. Objek kajian tesis tersebut yaitu faktor atmosfer terhadap visibilitas hilal, sedangkan objek kajian pada penelitian yang akan penulis kaji adalah faktor posisi perigee dan apogee terhadap visibilitas hilal. Data penelitian dalam tesis tersebut bersumber dari hasil pengamatan

¹³ Badrul Munir, "Faktor Atmosfer dalam Visibilitas Hilal Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)" (Universitas Islam Negeri Walisongo, 2019).

yang dilakukan oleh BMKG di Manado dan Kupang, dan hasil wawancara dengan BMKG Jakarta. Sumber data dalam penelitian yang akan dilakukan penulis adalah hasil perhitungan visibilitas hilal dan posisi perigee dan apogee.

3. Skripsi yang berjudul “Pengaruh Kecerlangan Langit Terhadap Visibilitas Hilal” yang ditulis oleh Mayo Rizky Satria.¹⁴ Skripsi tersebut mengkaji terkait adanya faktor pengaruh kecerlangan langit pada visibilitas hilal, digunakan data hasil perhitungan model kecerlangan Kastner dan data pengamatan dengan alat *Sky Quality Meter* (SQM). Dari hasil perhitungan model Kastner didapatkan nilai visibilitas yang bervariasi, bisa lebih tinggi/rendah jika dibandingkan dengan data hasil observasi. Hal tersebut menunjukkan adanya pengaruh kecerlangan langit pada visibilitas hilal. Perbedaan skripsi ini dengan penelitian yang akan penulis lakukan. Penelitian ini akan membahas tentang adanya pengaruh posisi perigee dan apogee bulan terhadap visibilitas dan seberapa besar pengaruh tersebut.

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian mengenai pengaruh posisi perigee dan apogee bulan terhadap visibilitas hilal ini adalah:

1. Untuk mengetahui perhitungan posisi perigee dan apogee bulan.
2. Mengetahui pengaruh posisi perigee dan apogee terhadap visibilitas hilal.

F. Kegunaan Hasil Penelitian

¹⁴ Mayo Rizky Satria, “Pengaruh Kecerlangan Langit Terhadap Visibilitas Hilal” (Universitas Islam Negeri Walisongo, 2018).

Dari hasil penelitian ini penulis mengharapkan dapat memberikan kegunaan baik dari segi teoritis maupun dari segi praktis:

1. Aspek teoritis

Penulis mengharapkan dengan hasil penelitian ini bisa memberikan wawasan mengenai pengaruh jarak posisi bulan dari titik perigee dan apogee terhadap visibilitas hilal bagi masyarakat umum, khususnya bagi akademisi falak ataupun para pegiat falak. Penelitian ini juga diharapkan nantinya dapat dikembangkan lebih lanjut serta digunakan sebagai rujukan dalam penelitian kedepannya terkait visibilitas hilal atau yang berkaitan.

2. Aspek praktis

Secara praktis hasil penelitian ini diharapkan bisa membantu memprediksi visibilitas hilal pada saat rukyatul hilal. Dengan diketahui adanya pengaruh posisi perigee dan apogee terhadap visibilitas hilal, maka diharapkan dapat meningkatkan prediksi visibilitas hilal yang lebih optimal.

Kedepannya diharapkan dapat digunakan sebagai pertimbangan perumusan visibilitas berdasarkan kejadian astronomi.

G. Definisi Operasional

Definisi operasional dapat digunakan sebagai indikator untuk menelusuri, mengkaji, atau mengukur suatu variabel penelitian.¹⁵ Dengan definisi operasional diharapkan penelitian ini dapat dengan mudah dipahami serta menghindari adanya salah penafsiran.

1. Posisi perigee dan apogee bulan

¹⁵ Maryam B Gainau, *Pengantar Metode Penelitian* (Yogyakarta: PT Kanisius, 2021), 23.

Lintasan orbit Bulan dalam mengelilingi Bumi berbentuk elips sehingga pada waktu tertentu Bulan akan berada di posisi jauh dari bumi, dan ada saatnya Bulan berada pada jarak yang dekat dengan bumi. Perigee bulan diartikan sebagai titik terdekat bulan dengan bumi dalam orbitnya, jarak antara bumi dan bulan pada titik perigee ini lebih pendek dari rata-rata jarak antara bumi dan bulan. Sedangkan apogee bulan diartikan sebagai titik terjauh bulan dengan bumi dalam orbitnya, jarak antara bumi dan bulan pada titik apogee lebih jauh dibandingkan rata-rata jarak antara bumi dan bulan.¹⁶

2. Visibilitas hilal

Visibilitas hilal merupakan parameter yang digunakan untuk mendefinisikan kemungkinan keterlihatan posisi hilal, dengan visibilitas hilal dapat diprediksi kenampakan hilal dengan menggunakan mata telanjang ataupun dengan bantuan alat optik, dalam penentuan masuknya bulan baru dalam penanggalan Hijriyah. Kriteria visibilitas hilal dapat juga diartikan sebagai persamaan matematis yang menjadi batas minimum hilal dapat teramati didasarkan pada data tabulasi kenampakan hilal mulai muncul.¹⁷

H. Metode Penelitian

1. Jenis penelitian

¹⁶ Avivah Yamani, "Supermoon? Bulan Purnama Perigee!," *Langitselatan*, March 23, 2013, accessed March 10, 2023, <https://langitselatan.com/2013/06/23/supermoon-bulan-purnama-perigee/>.

¹⁷ Mutoha Arkanuddin and Muh Ma'rufin Sudiby, "Kriteria Visibilitas Hilal Rukyatul Hilal Indonesia (Rhi) (Konsep, Kriteria, Dan Implementasi)," *Jurnal Al-Marshad* vol.1, no. 1 (2015), 76.

Dalam penelitian ini penulis memakai metode penelitian kualitatif. Penelitian kualitatif dimaksudkan agar memberikan pemahaman terkait fenomena yang dialami oleh objek penelitian dengan mendeskripsikan dalam bentuk kata-kata serta menggunakan berbagai metode ilmiah.¹⁸ Pembahasan dalam penelitian ini memakai metode metode deskriptif komparatif. Penelitian deskriptif digunakan agar memberikan pemahaman dan gambaran yang nyata terhadap temuan hasil penelitian kemudian dari temuan tersebut akan dijelaskan dan divalidasi terkait kebenaran hasil tersebut.¹⁹

Dalam penelitian ini peneliti akan menjelaskan tentang bagaimana pengaruh posisi perigee dan apogee bulan terhadap visibilitas hilal, yang dihitung jarak bujur bulan dari titik perigee dan apogee serta dihitung untuk visibilitas hilal mulai tahun 622 M hingga 2500 M. Hasil perhitungan tersebut dapat digunakan untuk menjelaskan serta mendeskripsikan visibilitas hilal berdasarkan prediksi posisi hilal.

Penelitian komparatif digunakan untuk melakukan perbandingan antara satu variabel dengan variabel yang lain. Metode komparatif ini bertujuan untuk menemukan jawaban mendasar mengenai sebab-akibat, dengan melakukan analisis terhadap berbagai faktor yang menyebabkan adanya dampak terhadap fenomena tertentu.²⁰ Hasil perhitungan visibilitas hilal dan posisi perigee Bulan akan dibandingkan dengan kriteria visibilitas

¹⁸ Lexy J Moleong, *Metode Penelitian Kualitatif* (Bandung: PT. Remaja Rosdakarya, 2013), 5.

¹⁹ Marisi Baturbutar, *Pengantar Metodologi Penelitian: Pendekatan Multidisipliner* (Bandung: CV. Media Sains Indonesia, 2022), 34.

²⁰ *Ibid*, 40.

hilal Neo MABIMS dan fungsi visibilitas hilal Odeh, dengan menggunakan kriteria tersebut akan diprediksi kenampakan hilal yang bisa teramati menggunakan mata telanjang ataupun dengan bantuan alat optik, hal ini dilakukan agar mengetahui apakah posisi perigee dan apogee bulan memiliki pengaruh terhadap parameter-parameter visibilitas hilal.

2. Sumber data

Penelitian ini menggunakan dua sumber data, adapun sumber data yang digunakan adalah sumber data primer dan sumber data sekunder.

a. Sumber primer

Sumber data utama atau primer dalam penelitian ini diperoleh dari perhitungan jarak bujur Bulan dari titik perigee dan apogee serta perhitungan visibilitas hilal mulai tahun 622 M sampai 2500 M untuk lokasi Kota Surabaya menggunakan aplikasi *Microsoft Visual Basic 6.0*. Perhitungan untuk mengetahui data posisi bulan dan titik perigee dan apogee bulan menggunakan perhitungan dari buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000* karya Michelle Chapront-Touze dan Jean Chapront. Sedangkan untuk perhitungan posisi matahari bersumber dari buku *Planetary Program and Tables From -4000 To +2800* karya Pierre Bretagnon dan Jean-Louis Simon. Serta dari buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus untuk perhitungan posisi Bulan dan Matahari yang tidak dijelaskan dalam dua sumber buku sebelumnya.

b. Sumber sekunder

Sumber data sekunder adalah sumber yang didapatkan penulis dari buku, artikel ilmiah, *website* serta laporan hasil penelitian yang berkaitan tentang posisi perigee dan apogee bulan serta visibilitas hilal.

3. Metode pengumpulan data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan metode dokumentasi. Dokumentasi yaitu dengan melakukan pengumpulan terkait berbagai informasi, fakta, dan data terkait yang berhubungan dengan posisi perigee dan apogee bulan serta visibilitas hilal dari beberapa sumber antara lain buku, artikel ilmiah, laporan hasil penelitian, *website* dan sumber lainnya.

Metode dokumentasi dalam penelitian ini dengan mempelajari perhitungan posisi Bulan dan titik perigee dan apogee Bulan dalam buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000* dan perhitungan posisi Matahari dalam buku *Planetary Program and Tables From -4000 To +2800* serta rumus perhitungan dalam buku *Astronomical Algorithms* untuk nantinya dilakukan perhitungan menggunakan aplikasi *Microsoft Visual Basic 6.0*.

4. Metode analisis data

Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif kualitatif, dengan data hasil perhitungan jarak bulan dari titik perigee dan apogee serta perhitungan visibilitas hilal mulai tahun 622 M sampai 2500 M. Adapun Langkah-langkah yang dilakukan dalam menganalisis data yaitu:

- a. Mengumpulkan data-data jarak bulan dari titik perigee dan apogee serta visibilitas hilal, dengan melakukan perhitungan menggunakan *Microsoft Visual Basic 6.0*.
- b. Membuat grafik secara sistematis dengan data hasil perhitungan jarak posisi bulan dari titik perigee dan apogee serta parameter-parameter visibilitas hilal.
- c. Menganalisis secara sistematis grafik data hasil perhitungan dengan mendeskripsikan pengaruh jarak bulan dari titik perigee dan apogee terhadap parameter visibilitas hilal dan seberapa besar pengaruh tersebut berdasarkan fungsi visibilitas hilal Odeh dan kriteria Neo MABIMS.
- d. Membuat kesimpulan atas implementasi dari hasil analisis pengaruh jarak posisi bulan dari titik perigee dan apogee terhadap visibilitas hilal.

I. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang terdapat pada penelitian ini memiliki lima bab, dimana pada setiap babnya memiliki sub-sub pembahasan.

Bab pertama berisi pendahuluan, dengan memaparkan 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 kajian teori visibilitas hilal serta posisi perigee dan apogee bulan. Dalam bab ini akan dijelaskan terkait definisi, landasan

hukum, serta teori visibilitas hilal yang dikembangkan sejak zaman klasik, peradaban Islam, dan zaman modern serta yang berkembang di Indonesia. Selain itu juga akan dipaparkan pembahasan tentang orbit Bulan dalam sistem Bumi, Bulan, dan Matahari.

Bab ketiga berisi metode perhitungan dan data hasil perhitungan dalam penelitian. Dalam bab ini memuat data perhitungan parameter visibilitas hilal dan jarak posisi perigee Bulan serta data hasil perhitungan visibilitas hilal menggunakan aplikasi *Microsoft Visual Basic 6.0*.

Bab keempat berisi pembahasan analisis data hasil perhitungan jarak posisi bulan dari titik perigee dan apogee serta visibilitas hilal berdasarkan fungsi visibilitas hilal Odeh dan kriteria visibilitas Neo MABIMS untuk mengetahui adanya pengaruh posisi perigee dan apogee bulan terhadap visibilitas hilal.

Bab kelima merupakan penutup. Pada bagian ini memuat kesimpulan dan saran terkait dengan hasil penelitian

UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

BAB II

KAJIAN VISIBILITAS HILAL DAN ORBIT BULAN DALAM SISTEM BUMI, BULAN DAN MATAHARI

A. Kriteria Visibilitas Hilal

1. Definisi dan Landasan Hukum Hilal

Hilal dalam Bahasa Arab berasal dari bentuk jamak *al-ahillah* yang bermakna Bulan sabit, dan dalam Bahasa Inggris hilal dinamakan *crescent moon* yang memiliki arti Bulan sabit yang terlihat sesudah terjadinya fase Bulan baru. Hilal adalah bagian sabit Bulan yang terkena cahaya pantulan dari sinar Matahari, pada waktu terbenamnya Matahari atau setelahnya dan terjadi setelah fase bulan Baru yang ditandai dengan fenomena konjungsi. Hilal digunakan sebagai tanda masuknya Bulan baru pada sistem kalender kamariah.¹ Sebagaimana QS Al Baqarah ayat 189 yang menyatakan hilal sebagai penanda waktu.

﴿يَسْأَلُونَكَ عَنِ الْأَهْلِ قُلْ هِيَ مَوَاقِيتُ لِلنَّاسِ وَالْحَجِّ وَلَيْسَ الْبِرُّ بِأَنْ تَأْتُوا الْبُيُوتَ مِنْ ظُهُورِهَا وَلَكِنَّ الْبِرَّ مَنِ اتَّقَى وَأْتُوا الْبُيُوتَ مِنْ أَبْوَابِهَا وَأَتُوا اللَّهَ لَعَلَّكُمْ تُفْلِحُونَ﴾ (١٨٩)

“Mereka bertanya kepadamu tentang Bulan sabit. Katakanlah: "Bulan sabit itu merupakan penanda waktu bagi manusia dan (bagi ibadah) haji; Dan bukanlah kebajikan memasuki rumah-rumah dari belakangnya, namun kebajikan itu adalah kebajikan orang yang bertakwa. Dan masuklah ke rumah-rumah itu dari pintu-pintunya; dan bertakwalah kepada Allah agar kamu beruntung.” [QS. Al-Baqarah: 189]

¹ Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak* (Yogyakarta: Buana Pustaka, 2005), 30.

² al-Qur'an, al-Baqarah: 185

Ayat di atas diturunkan berkaitan dengan adanya pertanyaan dari para sahabat Nabi terkait Bulan sabit (hilal), yang awalnya nampak kecil seiring bertambahnya hari semakin tampak membesar sehingga bundar sempurna (purnama). Kemudian setelahnya ukuran Bulan akan tampak mengecil sehingga kembali sebagaimana awalnya, keadaan tersebut tidak seperti Matahari. Dalam riwayat lain dijelaskan bahwa hilal merupakan salah satu pertanda kekuasaan Allah yang digunakan sebagai penentuan awal waktu peribadatan umat Islam, seperti puasa dan haji, yang bertujuan untuk kemaslahatan umat serta terciptanya keseragaman dan kesatuan umat.³

Dalam Al-Qur'an dijelaskan tentang hilal yang digunakan sebagai penentuan waktu ibadah. Dalam hadis Nabi juga dijelaskan tentang permulaan dan akhir waktu ibadah puasa Ramadhan dengan melihat adanya hilal. Dari hal tersebut dapat diketahui bahwa permulaan adanya perhitungan awal Bulan tergantung pada awal mula kemunculan hilal. Pengamatan fisik secara aktual terhadap hilal dalam penentuan awal Bulan lebih diutamakan dalam Islam daripada perhitungan secara teoritis.⁴

Hilal menurut perspektif astronomi didefinisikan sebagai visibilitas hilal, yang merupakan hasil pengembangan terhadap metode hisab dan rukyat agar didapatkan interpretasi astronomi dari dalil-dalil syar'i. Dalam perspektif astronomi Bulan selalu wujud dan dengan melakukan

³ Qomarus Zaman, "Memahami Makna Hilal Menurut Tafsir Al-Qur'an Dan Sains," *Universum* vol.9, no. 1 (2015), 104-105.

⁴ Cyril Glasse, *Ensiklopedi Islam Ringkas, Cet. II, Terj. Ghufron A. Mas'adi, The Concise Encyclopaedia of Islam* (Jakarta: Raja Grafindo Persada, 1999), 204.

perhitungan bisa diperkirakan kedudukannya, namun belum pasti hilal dapat terlihat (secara pengamatan atau perhitungan). Dalam astronomi, hilal bukan merupakan masalah eksistensi (karena posisi yang dihitung bukan hilalnya, namun Bulan), namun lebih pada masalah tampak atau tidaknya hilal bergantung pada sudut pandang pengamat dipermukaan Bumi. Dari segi konsep, hilal merupakan fenomena kenampakan, bukan hanya mementingkan aspek posisi, namun juga kenampakannya. Astronomi memandang hisab (perhitungan) dan rukyat (pengamatan) adalah setara dan kompatibel.⁵

2. Definisi dan Landasan Hukum Visibilitas Hilal

Kajian terkait visibilitas hilal muncul dari problematika penetapan awal Bulan kamariah, adanya banyak pendapat terkait penafsiran terhadap dalil-dalil yang menjelaskan tentang penetapan awal Bulan kamariah menjadikan munculnya berbagai pandangan terkait metode penentuan awal Bulan kamariah. Kelompok yang menggunakan metode hisab menafsirkan hadis Nabi secara konstektual sehingga melahirkan metode penentuan awal Bulan dengan memanfaatkan perkembangan iptek. Sedangkan, metode rukyat mengartikan hadis Nabi secara zahir sebagaimana yang dijalankan pada zaman Nabi Muhammad SAW.

Dalam fikih, penggunaan hisab dimanfaatkan dalam penentuan waktu salat serta untuk perhitungan arah kiblat. Hisab yang digunakan untuk

⁵ Thomas Djamaluddin, "Hakikat Hilal Dan Aplikasinya Pada Pembuatan Kalender," Wordpress, November 6, 2012, accessed May 9, 2023, <https://tdjamaluddin.wordpress.com/2012/11/06/hakikat-hilal-dan-aplikasinya-pada-pembuatan-kalender/>.

perhitungan awal Bulan kamariah adalah metode hisab hakiki, yaitu hisab yang didasarkan pada perhitungan posisi Bulan yang sebenarnya, bukan berdasarkan perhitungan rata-rata Bulan atau aritmatik sebagaimana dalam hisab 'urfi.⁶ Berikut adalah dalil al-Qur'an yang digunakan sebagai landasan hukum tentang hisab antara lain terdapat dalam surat Yunus ayat 5,

هُوَ الَّذِي جَعَلَ الشَّمْسُ ضِيَاءً وَالْقَمَرَ نُورًا وَقَدَرَهُ مَنَازِلَ لِتَعْلَمُوا عَدَدَ السِّنِينَ وَالْحِسَابَ مَا خَلَقَ اللَّهُ ذَلِكَ إِلَّا بِالْحَقِّ يُفَصِّلُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَعْلَمُونَ (٥)⁷

“Dialah yang menjadikan Matahari bersinar dan Bulan bercahaya dan ditetapkan-Nya manzilah-manzilah (tempat-tempat) bagi perjalanan Bulan itu, agar kamu mengetahui bilangan tahun dan perhitungan waktu. Allah tidak menciptakan yang demikian itu melainkan dengan hak. Dia menjelaskan tanda-tanda (kebesaran-Nya) kepada orang-orang yang mengetahui.” [QS. Yunus: 5]

Rukyat adalah melakukan pengamatan hilal di ufuk barat pada waktu Matahari terbenam atau sesudahnya, setiap tanggal 29 Bulan kamariah untuk menetapkan permulaan awal Bulan baru. Jika hilal berhasil diamati maka hari esoknya ditetapkan sebagai awal bulan baru. Tetapi jika hilal tidak berhasil dirukyat, maka jumlah hari dalam Bulan tersebut akan digenapkan menjadi 30 hari atau diistimkalkan. Berikut merupakan salah satu dalil yang digunakan sebagai landasan hukum dilaksanakannya rukyatul hilal,

⁶ Majelis Tarjih dan Tajdid Pimpinan Pusat Muhammadiyah, *Pedoman Hisab Muhammadiyah* (Yogyakarta: Majelis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah, 2009), 2.

⁷ al-Qur'an, Yunus: 5.

صحيح البخاري ١٧٧٦: حَدَّثَنَا آدَمُ حَدَّثَنَا شُعْبَةُ حَدَّثَنَا مُحَمَّدُ بْنُ زَيَْادٍ قَالَ سَمِعْتُ أَبَا هُرَيْرَةَ رَضِيَ اللَّهُ عَنْهُ يَقُولُ قَالَ النَّبِيُّ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ: صُومُوا لِرُؤْيَيْهِ وَأَفْطَرُوا لِرُؤْيَيْهِ فَإِنْ غُبِّيَ عَلَيْكُمْ فَأَكْمَلُوا عِدَّةَ شَعْبَانَ ثَلَاثِينَ (رواه البخاري)⁸

“Shahih Bukhori 1776: Telah menceritakan kepada kami Adam telah menceritakan kepada kami Syu’bah telah menceritakan kepada kami Muhammad bin Ziyad berkata: aku mendengar Abu Hurairah r.a. berkata: Nabi SAW bersabda: berpuasalah kalian karena melihatnya (hilal) dan berbukalah karena melihatnya pula. Jika terhalang oleh awan maka sempurnakan jumlah bilangan hari Bulan Sya’ban menjadi tiga puluh.”

Apabila ditelusuri lebih lanjut, maka tidak kurang dari 100 hadis Nabi yang dapat digunakan sebagai petunjuk terkait permulaan awal Bulan kamariah khususnya Bulan Ramadhan dan Syawal. Adanya perbedaan macam metode dalam penetapan awal Bulan kamariah, dengan penggunaan kriteria berbeda yang diusung oleh masing-masing metode, seringkali menimbulkan perbedaan dan ketidakpastian dalam permulaan awal Bulan.

Menyikapi hal tersebut, lahirlah pemikiran yang berusaha melakukan penyatuan terhadap metode hisab dan rukyat. Salah satu usaha dalam penyatuannya yaitu ditetapkannya kriteria visibilitas hilal yang merupakan parameter dalam memprediksi kemungkinan kedudukan hilal dapat diamati. Diharapkan dengan menggunakan kriteria visibilitas hilal, mazhab hisab dan rukyat dapat terakomodir. Hisab dipakai sebagai konsep utama dalam

⁸ H.R. Bukhori Nomor 1776, “Kitab Fathul Bari Nomor 1909” (HadiSoft, n.d.)

penetapan awal Bulan kamariah, tapi penggunaan hisab juga harus tetap didasari pada kriteria rukyat.⁹

Kriteria visibilitas hilal adalah hasil dari pengkajian antara hisab dan rukyat guna memperoleh pandangan astronomis terhadap dalil syar'i yang dipakai. Adanya pengetahuan astronomi yang baik, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang jelas mengenai perhitungan dan penetapan awal Bulan kamariah. Selain merupakan kajian dalam ilmu falak, kajian terhadap visibilitas hilal juga menjadi pembahasan dalam ilmu astronomi. Meskipun menurut astronomi, kriteria kenampakan hilal mempunyai bagian dan wilayah tersendiri dalam pengkajiannya, namun sistem penanggalan Hijriyah juga tidak boleh mengabaikan aspek-aspek lain seperti aspek sosiologis, serta dalil syar'i yang dijadikan landasan hukum. Hal ini seperti halnya yang diterapkan pada kalender Masehi, juga memperhatikan aspek lainnya selain aspek otoritas dan kaidah matematis maupun astronomis, sehingga bisa menjadikan sistem penanggalan yang mapan dan *ajeg* serta dapat diterima oleh semua golongan masyarakat.¹⁰

3. Teori Visibilitas Hilal

Kajian tentang kriteria visibilitas hilal selalu berkembang, hal ini tidak hanya sekedar sebagai kepentingan terkait awal Bulan kamariah, namun juga sebagai tantangan pengembangan sains oleh para astronom. Pengamatan

⁹ Badrul Munir, "Faktor Atmosfer dalam Visibilitas Hilal Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)" (Universitas Islam Negeri Walisongo, 2019), 20-21.

¹⁰ Suhadirman, "Kriteria Visibilitas Hilal Dalam Penentuan Awal Bulan Kamariah Di Indonesia," *Jurnal Khatulistiwa: Journal Of Islamic Studies* vol.3, no. 1 (2013), 76.

terhadap hilal dan pembahasan tentang kriteria visibilitas hilal telah dilaksanakan sejak zaman Babilonia Baru. Setelah itu disusul oleh bangsa Cina, Hindu, Yahudi, Islam serta beberapa aliran Kristen.¹¹ Seiring dengan perkembangan iptek, variabel yang ditambahkan dalam perumusan kriteria visibilitas hilal bertambah kompleks, akurasi yang didapatkan juga semakin tinggi. Berikut beberapa perkembangan kriteria visibilitas hilal:

a. Kriteria visibilitas hilal pada zaman klasik

Sejarah mencatat bahwa pengamatan terhadap hilal sudah dimulai pada era bangsa Babilonia Baru yaitu periode tahun 626 – 75 Masehi, mereka melakukan pengamatan terhadap hilal digunakan untuk keperluan penanggalan mereka yang berdasarkan pada peredaran Bulan (*Lunar Calendar*). Pada masa ini batas minimum kriteria visibilitas hilal dapat teramati didasarkan pada data kenampakan hilal mulai dapat diamati, pada saat itu disebut dengan kriteria visibilitas Babilon.¹² Para astronom Babilon kuno melakukan observasi terhadap Bulan pada waktu terbenamnya Matahari pada waktu tertentu dengan menggunakan mata telanjang tanpa memakai alat optik. Tabel-tabel tanah liat (*Conuiform*) yang sudah diekskavasi menunjukkan bahwa pengamatan

¹¹ Mutoha Arkanuddin and Muh Ma'rufin Sudibyo, "Kriteria Visibilitas Hilal Rukyatul Hilal Indonesia (RHI) (Konsep, Kriteria, dan Implementasi)," *Jurnal Al-Marshad* vol.1, no. 1 (2015), 34.

¹² Louay J Fatoohi, F. Richard Stephenson, and Shetha S. Al-Dargazelli, "The Babylonian First Visibility of the Lunar Crescent: Data and Criterion," *Science History Publication Ltd* (1999), 57.

oleh bangsa Babilonia kurang lebih selama lima abad yakni berkisar antara tahun 568 hingga 74 SM.¹³

Pada masa tersebut bangsa Babilonia berhasil membuktikan kebenaran perhitungan *matematis* teori Bulan sebagai prediksi terhadap parameter kenampakan hilal. Observasi yang mereka lakukan melahirkan kriteria tentang kenampakan hilal dapat teramati jika umur Bulan lebih dari 24 jam serta *Lag Time*¹⁴ sebesar 40 menit. Kriteria tersebut didapatkan dengan formulasi yang sederhana, pada permulaannya kriteria tersebut didasarkan pada nilai asensiorekta ≥ 12 ,¹⁵ letak geografis bangsa Babilonia yang berada di lembah Mesopotamina dengan lintang tempat sebesar 25° LU, oleh karenanya dapat diartikan sebagai *Lag Time* sebesar 40 menit.¹⁶

Pada masa hampir bersamaan dengan kriteria Babilonia, bangsa India kuno, melahirkan formulasi kriteria pengamatan sabit Bulan yang mirip dengan Bangsa Babilonia, namun dengan sistem kalender yang berbeda. Visibilitas India yang menggunakan penanggalan *lunisolar* juga menetapkan suatu formulasi yang digunakan sebagai penetapan waktu permulaan awal Bulan berdasarkan fase-fase Bulan. Kriteria India didasarkan pada nilai beda Matahari-Bulan di equator sebesar 12° .

¹³ Louay J Fatoohi, F. Richard Stephenson, and Shetha S. Al-Dargazelli, "The Danjon Limit of First Visibility of the Lunar Crescent," *The Observatory* vol.118 (1998), 69.

¹⁴ Selisih waktu antara waktu Matahari terbenam hingga waktu hilal terbenam, dikenal juga dengan lama hilal di atas ufuk.

¹⁵ asensiorekta merupakan sudut jarak antara dua benda langit dalam equator.

¹⁶ Fatoohi, Stephenson, and Al-Dargazelli, "The Babylonian, ...,60

Nilai ini diperoleh dari pergerakan rata-rata Bulan terhadap Matahari dalam satu Bulan yakni sebesar 12° , disebut dengan *Thithi*. Terdapat 30 *thithi*, selama satu Bulan, sehingga jumlah nilai *thithi* dalam satu Bulan genap 360° , pada waktu terjadi konjungsi jarak Bulan dan Matahari di equator sebesar 0° sehingga hilal bisa teramati jika sudah mencapai 1 *thithi*.¹⁷

b. Kriteria visibilitas hilal di zaman peradaban Islam

Penelitian dan kajian terkait visibilitas hilal yang lebih teliti dimulai pada masa peradaban Islam berkisar antara 8 hingga 14 M, hal tersebut dikarenakan kepentingan teori sistem penanggalan dalam Islam didasarkan pada Bulan, selain itu secara keilmuan memang terdapat perkembangan pesat terhadap ilmu pengetahuan pada zaman tersebut. Penelitian dan kajian tentang kriteria visibilitas Bulan sabit juga sering dilakukan, hal ini dibuktikan dengan adanya banyak kriteria yang bermunculan pada masa tersebut. Salah satu ilmuwan Muslim adalah Yaqub ibn Thoriq, yang dikenal sebagai astronom yang mengawasi pembuatan tabel ketetapan visibilitas hilal, serta menjelaskan juga terkait pentingnya parameter lebar sabit Bulan dalam perumusan kriteria visibilitas hilal.¹⁸

¹⁷ Ibid.

¹⁸ Thomas Hockey, "The Biographical Encyclopedia of Astronomers," *Springer Reference*, last modified 2007, accessed May 12, 2023, https://islamsci.mcgill.ca/RASI/BEA/Yaqub_ibn_Tariq_BEA.htm.

Pada masa ini kriteria Babilonia dan India juga masih diadopsi oleh astronom Muslim, mereka menggunakan asensiorekta $\geq 12^\circ$ pada kasus hilal yang tipis dan asensiorekta $\geq 10^\circ$ pada kasus hilal yang lebar. Kriteria India dipakai oleh para astronom Muslim sebagai landasan dalam melakukan penelitian lebih lanjut terkait sifat fisis hilal. Para ilmuwan Muslim kemudian membakukan tradisi mengobservasi hilal atau rukyatul hilal serta berinovasi terkait kriteria visibilitas khususnya secara empiris, para ilmuwan Muslim juga melakukan perbaikan terhadap kriteria visibilitas yang sudah ada. Misalnya al-Khawarizmi yang menekankan visibilitas hilal sebagai fungsi ARCL¹⁹ atau ARCV²⁰, dimana menurutnya hilal dapat diamati apabila $ARCL > 9,5^\circ$. Parameter tersebut kemudian diikuti oleh Ibn Maimun (731–861) dengan menambahkan variabel musim semi dan musim gugur, menurutnya hilal didefinisikan sebagai Bulan dengan $9^\circ \leq ARCL \leq 24^\circ$ dan $ARCV + ARCL \geq 22^\circ$. Kemudian Ibn Qurrah (826–901) melakukan perbaikan terhadap kriteria Ibn Maimun menjadi $11^\circ \leq ARCL \leq 25^\circ$.²¹

Sebagian astronom Muslim juga ada yang masih berpegang kepada kriteria India sebagaimana ash-Shufi, Ibn Sina, ath-Thusi, dan al-Kashani. Sedangkan al-Battani dan al-Farghani sedikit melakukan pengembangan dengan didefinisikan hilal sebagai Bulan dengan asensiorekta $< 12^\circ$, nilai ini hanya digunakan para hilal dengan ARCL

¹⁹ *Arc of Light* atau elongasi yaitu jarak sudut antara Bulan-Matahari

²⁰ *Arc of Vision* atau beda altitude Bulan dengan Matahari

²¹ Arkanuddin dan Sudiby, "Kriteria Visibilitas,....35.

yang besar. Dikembangkan juga kriteria visibilitas hilal oleh Al-Biruni sebagai fungsi dari ARCL dan DAz.²² Al-Biruni juga mengusung sistem hisab *'urfi* yang menentukan bilangan lunasi Bulan secara tetap dalam setahun penanggalan Hijriyah, dimana setiap 30 tahun penanggalan Hijriyah ada 11 tahun yang berumur 355 hari (tahun kabisat) dan 19 tahun berumur 354 (tahun basitah). Sistem hisab ini dipakai agar membantu dalam menyusun kalender Hijriyah sepanjang tahun, namun dalam penetapan awal Bulan tetap didasarkan pada kriteria visibilitas.²³

c. Kriteria visibilitas hilal pada era modern

Pencapaian terkait konsep visibilitas hilal yang terus dikembangkan tersebut sempat mengalami masa stagnan selama 3,5 abad yakni mulai permulaan abad ke-15 M. Pada pertengahan abad ke-19 M, Schmidt melakukan pengamatan dalam rentang waktu antara tahun 1859 hingga 1877 di Athena (Yunani). Dihasilkan 72 data hilal dari pengamatan ini. Pada tahun 1910 Fotherigham kemudian menganalisis data-data hasil pengamatan Schmidt guna dikembangkan lebih lanjut terkait kriteria visibilitas hilal berbasis parameter ARCV dan DAz, parameter ini sebelumnya juga sudah digunakan oleh al-Biruni. Kemudian Maunder pada tahun 1911 melakukan perbaikan terhadap kriteria Fotherigham dengan dilakukan penambahan beberapa data

²² DAz merupakan selisih antara azimuth Bulan dan Matahari

²³ Arkanuddin and Sudiby, "Kriteria Visibilitas,...,36

observasi dari Indian Astronomical Ephemeris oleh Carl Schooch,²⁴ data Schmidt juga dikoreksi sehingga menghasilkan kriteria Fotheringham-Mounder yang memiliki fungsi altitude: $ARCV \geq -0,01 DAZ^2 - 0,05 DAZ + 11$.²⁵

Tabel 1. Kriteria Fotheringham - Mounder²⁶

DAZ	ARCV
0°	11°
5°	10,5°
10°	9,5°
15°	8°
25°	6°

Kriteria visibilitas ini dijadikan pedoman di era modern walaupun hingga dekade 1970-an kriteria tersebut tidak direalisasikan dalam penyusunan penanggalan Hijriyah. Kriteria Fotheringham-Mounder ini secara fungsional lebih fleksibel, hal ini dikarenakan kriteria ini dapat diterapkan pada cakupan wilayah yang lebih luas

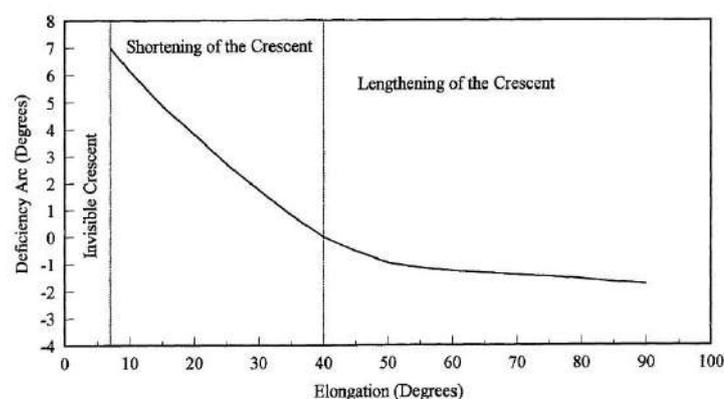
²⁴ Mohammad Ilyas, "Lunar Crescent Visibility Criterion and Islamic Calendar," *Royal Astronomical Society* vol.35, no. 4 (1994), 436.

²⁵ Muh. Ma'rufin Sudibyo, "OBSERVASI HILĀL DI INDONESIA DAN SIGNIFIKANSINYA DALAM PEMBENTUKAN KRITERIA VISIBILITAS HILĀL," *Al-Ahkam* vol.24, no. 1 (April 23, 2014), 125.

²⁶ BD Yallop, "A Method for Predicting the First Sighting of the New Crescent Moon," *NAO Technical Note*, no. 69 (September 22, 2004), 1.

(regional) dan bukan hanya sebatas dalam lingkup wilayah lokal tertentu seperti halnya kriteria di era klasik.²⁷

Selanjutnya Andre Danjon melakukan pengamatan visibilitas hilal dan dihasilkan 72 data untuk mengetahui adanya pengaruh ARCL kepada lebar sabit Bulan. Dari penelitian tersebut ditemukan pada $ARCL < 7^\circ$ memiliki nilai lebar sabit Bulan sebesar 0 (Hilal tidak terbentuk), artinya hilal tidak dapat teramati berapapun umur hilal pada waktu pengamatan, dan nilai $ARCL \geq 7^\circ$ selanjutnya dikenal dengan batas Danjon (Danjon limit).²⁸



Gambar 1. Danjon limit²⁹

Riset terkait visibilitas hilal memasuki ranah yang lebih modern, kriteria empirik dan fisis yang pada mulanya terpisah selanjutnya disatukan oleh F. Bruin pada tahun 1977 di Beirut (Lebanon). Bruin mengusung metode teoritis modern untuk penyusunan kriteria visibilitas

²⁷ Sudiby, "OBSERVASI HILĀL,...,125

²⁸ Fatoohi, Stephenson, and Al-Dargazelli, "The Danjon Limit,..., 67

²⁹ Ibid,66.

fisis yang dikenal dengan kriteria Bruin, yang berdasarkan variabel W ³⁰ dan ARCV dengan formulasi: $ARCV > 12,4023 - 9,4878 W + 3,9512 W^2 - 0,5632 W^3$.

Tabel 2. Kriteria Visibilitas Hilal Bruin³¹

W (dalam menit busur)	ARCV
0.3	10°
0.5	8.4°
0.7	7.5°
1	6.4°
2	4.7°
3	4.3°

Bruin juga memperhatikan beberapa faktor yang belum pernah ditambahkan sebelumnya seperti kecerahan langit senja, kontras yang bisa dilihat, intensitas cahaya, dan sebagainya. Konsep tersebut dipandang cukup akurat serta dapat dimungkinkan untuk mengetahui durasi visibilitas hilal di suatu tempat. Meskipun disadari kriteria ini tidak sempurna dan masih terdapat kekurangan, namun kriteria Bruin ini dijadikan dasar terhadap perkembangan kriteria visibilitas modern pada periode selanjutnya.³²

³⁰ W adalah lebar sabit Bulan diamati dari permukaan Bumi

³¹ Yallop, "A Method for Predicting, ..., 2.

³² Sudiby, "OBSERVASI HILĀL, ..., 125

Mohammad Ilyas dari Malaysia kemudian melakukan revisi terhadap nilai W pada kriteria Bruin, dari yang mulanya 0,5 diubah ke 0,25. Menurutnya apabila perubahan itu digunakan maka batas terendah ARCL kriteria Bruin menjadi sepadan dengan batas terendah ARCL kriteria Fotheringham-Mounder, yaitu 11° . Perbaikan yang dilakukan Ilyas ini menjadikan kriteria Fotheringham-Mounder dapat diterapkan untuk daerah yang memiliki lintang tinggi, pengembangan oleh Ilyas ini kemudian disebut dengan kriteria Kompisit Ilyas.³³ Selain itu Ilyas juga menggagas konsep Garis Tanggal Kalender Bulan Internasional (*Internasional Lunar Date Line/ILDL*), menurutnya Garis Tanggal Kalender Lunar berbeda dengan Garis Penanggalan Internasional dalam kalender Masehi (garis bujur 180°). Garis Tanggal Kalender Lunar Internasional selalu berubah dari satu Bulan ke satu Bulan Hijriyah selanjutnya tidak menetap berada di satu garis lintang ataupun garis bujur tertentu.

Pengembangan terbaru dilakukan oleh B.D. Yallop tahun 1997 di Inggris, ia membentuk ulang kriteria Bruin sesudah melakukan Analisa terhadap 295 data pengamatan sabit Bulan yang dilakukan oleh Schaefer tahun 1994,³⁴ dengan menerapkan perubahan kondisi topocentrik meskipun hanya terbatas untuk variabel W' , hal ini membuat kriteria Yallop ini selangkah lebih maju dibandingkan kriteria-

³³ Ilyas, "Lunar Crescent Visibility Criterion,...., 5

³⁴ Yallop, "A Method for Predicting,...., 4

kriteria sebelumnya karena kriteria-kriteria sebelumnya disusun berdasarkan kondisi geosentrik. Pengembangan terakhir dilakukan Mohomad Shaukat Odeh pada tahun 2004 dari Yordania dengan melakukan Analisa pada 737 data pengamatan sabit Bulan: 294 data pengamatan SAAO (*South African Astronomy Observatory*), 15 data pengamatan Mohsen Mirsaid dan 57 data pengamatan Alireza Mehranid dari Iran, serta 323 data pengamatan ICOP (*Islamic Crescent Observation Project*) sejak 1998.³⁵ Hasil analisa tersebut melahirkan kriteria Odeh yang dibuat secara toposentrik (parameter ARCV dan W) serta *airless*.³⁶

Selain mempergunakan kondisi toposentrik pada variabelnya, yang membedakan kriteria Yallop dan Odeh dengan kriteria visibilitas yang telah ada yakni adanya parameter tertentu untuk mengkasifikasi sifat visibilitas. Klasifikasi tersebut yakni: terlihat dengan mata telanjang, teramati dengan bantuan alat optik (mungkin terlihat dengan mata telanjang jika kondisi atmosfer bersih), hanya teramati dengan bantuan alat optik, dan tidak dapat teramati. Formulasi kriteria Yallop yaitu: $q = ARCV - (11,8371 - 6,3226 W' + 0,7319 I W^2 - 0,1018 W^3) / 10$.³⁷ Adapun formulasi kriteria odeh yaitu: $V = ARCV - (-0,1018 W^2 + 0,7319 W^3 - 6,3226 W + 7,1651)$.³⁸ Dari kedua formulasi tersebut

³⁵ Mohammad Sh. Odeh, "New Criterion for Lunar Crescent Visibility," *Experimental Astronomy* vol.18, no. 1 (December 2004), 43.

³⁶ *Airless* yaitu mengasumsikan bahwa kondisi atmosfer tidak ada, atau mengabaikan kondisi atmosfer

³⁷ Yallop, "A Method for Predicting,...,11

³⁸ Odeh, "New Criterion for Lunar,..., 61.

digunakan untuk mengkalsifikasikan sifat visibilitas hilal dalam keadaan *best time*.

Tabel 3. Kriteria Visibilitas Hilal Yallop (q) dan Odeh (V)³⁹

Prediksi Visibilitas	q	V
Terlihat dengan mata telanjang	$q > 0,216$	$V \geq 5,56$
Dapat teramati dengan bantuan alat bantu optik (mungkin terlihat dengan mata telanjang dalam kondisi atmosfer yang bersih)	$0,014 < q < 0,216$	$2 \leq V \leq 5,56$
Hanya dapat teramati dengan alat bantu optik	$-0,232 < q < -0,014$	$-0,96 \leq V < 2$
Tidak tdpapat terlihat	$q < -0,232$	$V < -0,96$

d. Kriteria visibilitas hilal di Indonesia

Sebelum ada kajian tentang kriteria Imkanur Rukyat Pemerintah Indonesia, hal tersebut telah dibahas dalam kitab klasik. Sebagaimana pada kitab *al-Khulāshah al-Wafiyah* karya Zubaer Umar al-Jaelany yang menyebutkan bahwa para ulama falak mempunyai kriteria yang beragam terkait batas kemungkinan hilal dapat dirukyah. Dalam kitab *Sullam an-Nayyirain* karya Mansur al-Batawi juga menjelaskan adanya

³⁹ Munir, "Faktor Atmosfer,...", 45.

pendapat terkait kriteria Imkanur Rukyat dengan tinggi hilal minimal sebesar $8^{\circ} 13'$ atau dapat dikatakan kurang dari 13° .⁴⁰

Pembahasan terkait Imkanur Rukyat mulai dilakukan Pemerintah sejak tahun 1991, kriteria visibilitas hilal terbentuk berawal dari pertemuan-pertemuan tidak resmi oleh MABIMS (Menteri-Menteri Agama Brunei Darussalam, Indonesia, Malaysia, dan Singapura) yang menghasilkan kriteria rukyat dengan ketinggian hilal $\geq 2^{\circ}$ dan Elongasi $\geq 3^{\circ}$ atau umur Bulan pada waktu terbenamnya Mathari ≥ 8 jam setelah terjadinya fase Bulan baru. Menurut Thomas Djamaluddin kriteria tersebut berdasarkan pengamatan empiris rukyat hilal bulan Ramadan 1394 H, terdapat 10 orang yang berada pada 3 lokasi berbeda yang bersaksi melihat hilal. Ketika itu, dengan nilai beda azimuth Bulan dan Matahari sebesar 6° dan nilai elongasi sebesar $6,8^{\circ}$, nilai tersebut sesuai dengan nilai limit Danjon.⁴¹ Kriteria tersebut dikukuhkan dengan dilaksanakannya Lokakarya Musyawarah kriteria Imkan Rukyat, pada lokakarya ini ditentukan kriteria imkan rukyat yang disepakati mulai Maret 1998.⁴² Dalam peraktiknya kriteria Imkan Rukyat MABIMS mendapat kendala pada validitasnya, kriteria ini masih belum ditepati oleh negara-negara anggota.

⁴⁰ Khazin, *Kamus Ilmu Falak*,..., 110-111.

⁴¹ Arkanuddin and Sudiby, "Kriteria Visibilitas Hilal",..., 39.

⁴² Siti Tatmainul Qulub, "Pendekatan Politik sebagai Strategi Unifikasi Kalender Hijriyah Seajar dengan Kalender Masehi," *Jurnal Bimas Islam* vol.10, no. 3 (2017), 464.

Upaya perbaikan terhadap kriteria visibilitas hilal terus dilakukan, pada tahun 2000 Thomas Djamaluddin dari Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional mengembangkan kriteria baru yang disempurnakan dari kriteria MABIMS dikenal dengan kriteria LAPAN. Kriteria ini dibuat berdasarkan data penetapan awal Bulan Kementerian Agama RI yang merupakan hasil laporan rukyatul hilal tahun 1967-1997. Dalam perumusannya melahirkan kriteria minimum umur hilal > 8 jam, elongasi $> 5,6^\circ$, dan ketinggian $> 3^\circ$. Kriteria ini hanya digunakan untuk kasus hilal dengan $DAz \geq 6^\circ$, namun apabila $DAz < 6^\circ$ maka diperlukan nilai ketinggian yang lebih tinggi lagi. Kriteria ini memperbarui kriteria MABIMS yang tidak memperhitungkan beda azimuth (DAz).⁴³

Rukyatul Hilal Indonesia (RHI) sebagai lembaga pengkajian ilmu falak juga memiliki kriteria visibilitas hilal yang didasarkan pada hasil observasi hilal setiap bulan yang dilakukan mulai Januari 2007 hingga Desember 2009. Dari observasi tersebut menghasilkan 174 data, terdiri atas 107 hilal positif dan 67 hilal negatif selama 37 lunasi. RHI mendefinisikan hilal sebagai Bulan yang memiliki Lag ≥ 40 menit pada waktu Matahari terbenam setelah terjadinya konjungsi. Bulan yang memiliki nilai Lag < 24 menit tidak dianggap hilal namun dianggap Didapatkan kriteria RHI dengan variabel Daz dan ARCV dengan bentuk

⁴³ Thomas Djamaluddin, *Astronomi Memberi Solusi Penyatuan Ummat* (Jakarta: Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (LAPAN), 2011), 18.

persamaan: $ARCV \geq 0,099 \text{ Daz}^2 - 1,490 \text{ Daz} + 10,382$. Kriteria RHI membuktikan bahwa nilai ARCV dipengaruhi oleh nilai Daz. Adapun kriteria RHI yaitu ARCV minimum 5° pada Daz $7,5^\circ$ hingga maksimum nilai ARCV adalah $10,4^\circ$ pada Daz 0° .⁴⁴

Setelah puluhan tahun penetapan kriteria visibilitas hilal MABIMS, muncul upaya evaluasi terhadap kriteria tersebut. Alasan ilmiah perlu adanya perbaikan kriteria MABIMS (2,3, dan 8) karena hilal dengan kriteria tersebut dipandang terlalu sulit untuk diamati. Hilal dengan altitude 2 derajat sulit diamati karena sangat tipis dan tidak masih lemah kontras cahaya senja. Secara global, tidak ditemukan hilal yang dapat diamati dengan altitude 2° dan elongasi 3° bahkan jika dilakukan dengan bantuan alat optik. Merujuk pada kriteria Odeh batas minimum elongasi agar hilal dapat teramati adalah $6,4^\circ$. hal ini dikuatkan dengan data analisis hisab selama ratusan tahun pada waktu terbenamnya Matahari di Pelabuhan Ratu dan Banda Aceh yang mensyaratkan minimal elongasi $6,4^\circ$ agar hilal telah berada di atas ufuk pada waktu Matahari terbenam.⁴⁵

Untuk mewujudkan penyatuan kalender Hijriyah, diadakan pertemuan pakar falak MABIMS pada tahun 2019 di Yogyakarta, yang menghasilkan rekomendasi kriteria MABIMS baru dengan batas minimal ketinggian hilal 3° dan elongasi $6,4^\circ$. Kemudian ditindak lanjuti dengan

⁴⁴ Arkanuddin and Sudiby, "Kriteria Visibilitas Hilal,...", 40-41.

⁴⁵ Nuril Faridah Maratus, "Implementasi Neo Visibilitas Hilal MABIMS Di Indonesia," *Ahkam* vol.10, no. 2 (November 2022), 242.

adanya pertemuan formal Pejabat Tinggi MABIMS pada tanggal 11-14 November 2019 di Singapura yang sepakat menggunakan kriteria Neo MABIMS, dan disahkan pada tanggal 8 Desember 2021. Malaysia mulai menerapkan kriteria Neo MABIMS pada saat penentuan awal tahun 1443 H, dan Indonesia menerapkannya di tahun 2022 M.⁴⁶

B. Orbit Bulan dalam Sistem Bumi, Bulan, dan Matahari

Posisi Bulan di langit pada waktu rukyatul hilal bergantung pada konfigurasi Bumi-Bulan-Matahari. Dalam sistem Bumi-Bulan-Matahari, Bumi berevolusi mengitari Matahari, Bulan berevolusi mengitari Bumi, dan tiga benda langit tersebut berotasi pada porosnya dengan berlawanan arah putaran jarum jam. Bumi berputar mengelilingi Matahari dalam orbit yang berbentuk elips selama satu tahun. Bulan dalam mengelilingi Bumi juga dalam orbit yang berbentuk elips dalam satu bulan.⁴⁷ Pada lintasan yang berbentuk orbit elips, suatu benda langit memiliki kecepatan yang tidak tetap, hal tersebut bergantung pada jarak posisi benda langit tersebut dari titik perifokusnya.

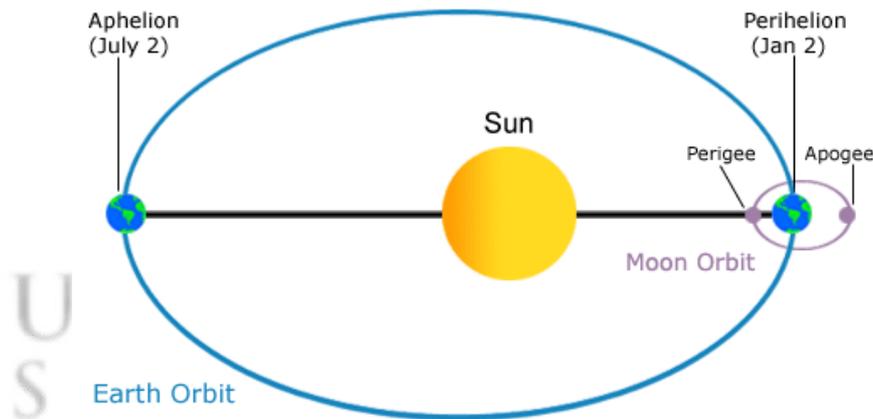
Bulan dalam mengelilingi Bumi, titik terdekatnya memiliki jarak 356.370 km dari Bumi disebut perigee, dan titik terjauhnya sejauh 406.720 km dari Bumi.⁴⁸ Waktu yang ditempuh Bulan pada lintasan orbitnya dihitung dari posisi perigee ke perigee berikutnya dinamakan periode anomalistik, dengan

⁴⁶ Thomas Djamaluddin, "Bismillah, Indonesia Menerapkan Kriteria Baru MABIMS," February 23, 2022, <https://tdjamaluddin.wordpress.com/2022/02/23/bismillah-indonesia-menerapkan-kriteria-baru-mabims/>, diakses 21 Mei 2023.

⁴⁷ Novi Sopwan and Moedji Raharto, "Karakteristik Parameter Posisi Hilal Elongasi dan Tinggi Bulan Saat Matahari Terbenam di Pelabuhan Ratu Jawa Barat," in *Seminar Pendidikan IPA*, vol. 2 (Pascasarjana Universitas Negeri Malang, 2017), 51.

⁴⁸ Jean Meeus, *Astronomical Algorithms* (Virginia: Willmann-Bell, Inc, 1998), 356.

rata-rata menempuh 27,55455 hari.⁴⁹ Bumi bersama Bulan mengelilingi Matahari dengan orbit yang berbentuk elips juga, dengan titik terdekatnya memiliki jarak 144.700.000 km dari Matahari disebut perihelion, dan titik terjauhnya disebut aphelion sejauh 151.800.000 km dari Matahari. Setiap tahun Bumi akan berada pada titik perihelion di bulan Januari dan berada pada titik aphelion di bulan Juli. Adanya variasi jarak benda langit dari titik perifokusnya berpengaruh terhadap kecepatan rata-rata perubahan bujur Bulan-Matahari, untuk Bulan akan berada pada nilai maksimum ketika di perigee dan untuk Matahari pada saat di Perihelion. Sedangkan kecepatan rata-rata perubahan bujur Bulan-Matahari berada pada nilai minimum pada saat Bulan di apogee serta ketika Matahari di aphelion.⁵⁰



Gambar 2. Lintasan orbit bulan mengelilingi bumi dan bumi mengelilingi matahari yang berbentuk elips⁵¹

⁴⁹ Iswanuddin, "Fase-Fase Bulan Dan Jarak Bumi-Bulan Pada Tahun 2019," Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, diakses pada 5 Juni 2023, <https://www.bmkg.go.id/berita/?p=fase-fase-bulan-dan-jarak-bumi-bulan-pada-tahun-2019&tag=hilal-gerhana&lang=ID>.

⁵⁰ Novi Sopwan, "Umur bulan sebagai parameter visibilitas hilal," dalam *Seminar Nasional Fisika* (Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya, 2019), 27.

⁵¹ Sociencythoughts, diakses pada 10 Maret 2023 <http://sciencythoughts.blogspot.com/2023/01/the-earth-approaches-perihelion.html>

Bulan menempuh satu putaran peredarannya, menempuh busur sebesar 360° yang ditempuh dalam selang waktu satu bulan sideris atau 27,321661 hari, berarti rata-rata dalam satu hari bulan menempuh busur pada lintasan orbitnya yang ditempuh oleh Bulan sebesar $13^\circ,17667728$ atau sekitar 13° . Satu tahun sideris Matahari adalah 365,2564 hari, dalam satu hari Matahari bergerak pada lintasannya sebesar $0^\circ,985609121$ atau sekitar 1° . Waktu yang ditempuh Bulan dalam satu hari lebih banyak sebesar $12^\circ,190749$ atau sekitar 12° daripada yang ditempuh Matahari. Untuk itu Bulan memerlukan waktu 29,530589 hari untuk menempuh dari konjungsi ke konjungsi berikutnya, masa inilah yang dinamakan periode Sinodis atau lunasi Bulan.⁵²

Variasi waktu periode sinodis Bulan bisa lebih kecil dibandingkan dengan rata-rata ketika Bulan berada di perigee dan bisa lebih besar ketika Bulan berada di apogee. Nilainya akan bertambah signifikan apabila peristiwa konjungsi terjadi ketika Bulan berada di perihelion, Bumi memiliki kecepatan sudut mengorbit Matahari yang lebih besar. Sehingga, pada selang waktu yang serupa Bumi bergerak pada bidang ekliptika lebih besar dibandingkan dengan rata-rata. Hal ini mengakibatkan Bulan perlu waktu yang lebih lama untuk mencapai fase Bulan baru selanjutnya. Lama waktu lunasi akan bertambah panjang lagi apabila Bulan berada di titik apogee. Sebaliknya jika konjungsi terjadi pada saat Bumi di aphelion, Bumi memiliki kecepatan sudut yang lebih

⁵² Novi Sopwan and Moedji Raharto, "Distribusi periode sinodis bulan dalam penanggalan masehi," in *Seminar Nasional Fisika 5.0*, 2019, 372.

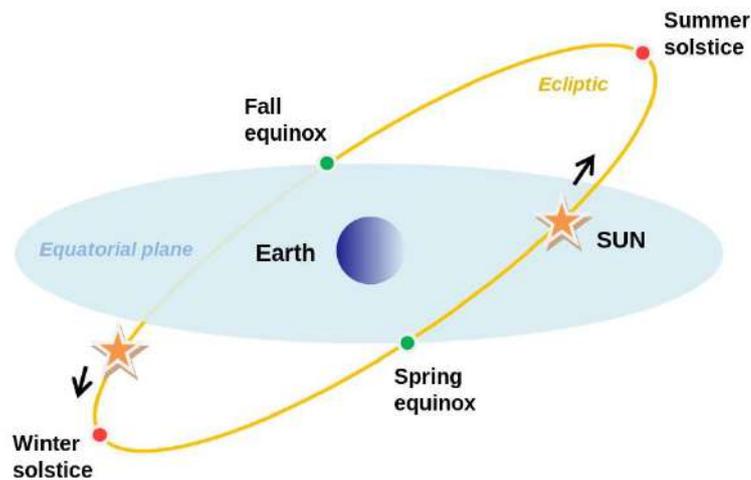
kecil sehingga bujur ekliptika yang dilalui untuk menuju fase Bulan baru selanjutnya bisa lebih pendek.⁵³

Pergerakan Bulan dalam mengorbit Bumi dari arah barat ke timur langit, oleh karena itu apabila seseorang mengamati Bulan dari arah kutub Utara ekliptika maka akan dapat mengamati Bulan yang bergerak berlawanan dengan arah jarum jam. Perputaran Bumi pada porosnya juga mengarah ke arah timur, sehingga secara umum Bulan akan terbit 52 menit lebih lambat tiap harinya. Misalkan pada hari ini Bulan terbit pada suatu lokasi pada jam 17.00, maka keesokan harinya Bulan terbit pada jam 17.52 begitupun selanjutnya. Selama satu kali revolusi Bulan mengitari Bumi, Bulan satu kali berputar pada porosnya, hal ini menjadikan permukaan Bulan yang terlihat dari Bumi akan tampak sama setiap harinya.

Kedudukan hilal pada waktu terbenamnya Matahari berubah-ubah dipengaruhi orbit Bumi dan Bulan, serta rotasi Bumi. Bumi berotasi pada porosnya dengan orbit yang memiliki kemiringan terhadap bidang ekliptika sebesar $23,5^\circ$ terhadap kutub Utara dan Selatan Bumi. Hal ini menyebabkan terjadinya pergantian musim di permukaan Bumi dan juga berdampak adanya variasi panjang siang dan malam serta mengakibatkan terjadinya gerak semu tahunan Matahari. Gerak semu tahunan Matahari yaitu gerakan Matahari yang seakan-akan bergeser dari utara ke selatan dan kembali lagi ke utara ekuator pada tiap tahun. Sepanjang tahun posisi Matahari tidak terus-menerus berada di ekuator, melainkan ada kalanya berada di utara ekuator dan ada kalanya berada

⁵³ Sopwan, "Umur bulan sebagai,..., 27

di selatan ekuator. Gerak semu tahunan Matahari dibatasi garis lintang $23,5^\circ$ LU yang dinamakan dengan *tropis cancer* atau garis balik utara (GBU) dan lintang $23,5^\circ$ LS yang dinamakan *tropis capricorn* atau garis balik selatan (GBS).⁵⁴



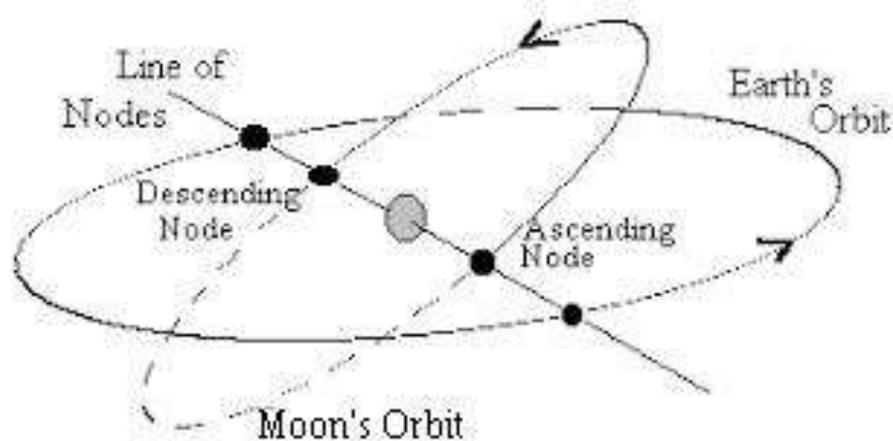
Gambar 3. Posisi Matahari ketika ekuinoks, summer solstice, dan winter solstice⁵⁵

Kedudukan Matahari pada saat tepat di ekuator disebut ekuinoks, yang dalam setahun terjadi sebanyak dua kali yakni sekitar tanggal 21 Maret yang dinamakan ekuinoks musim semi, serta sekitar tanggal 23 September pada wilayah belahan Bumi bagian utara yang dinamakan ekuinoks musim gugur. Posisi Matahari ketika sampai pada titik terjauhnya pada bagian utara ekuator dengan deklinasi maksimum ($+23,5^\circ$) berlangsung sekitar tanggal 21 Juni yang dinamakan solstis musim panas (*summer solstice*). Sedangkan posisi Matahari ketika sampai pada titik terjauhnya pada bagian selatan ekuator dengan

⁵⁴ Abu Yazid Raisal et al., "Posisi Matahari Pada Saat Ekuinoks, Summer Solstice, Dan Winter Solstice Di Observatorium Ilmu Falak Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara," *Jurnal Riset Dan Kajian Pendidikan Fisika* vol.7, no. 1 (April 2020), 37.

⁵⁵ Wikimedia, diakses pada 10 Maret 2023 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Equinoxes-solstice_EN.svg

deklinasi minimum ($-23,5^\circ$) berlangsung sekitar tanggal 22 Desember yang dinamakan solstis musim dingin (*winter solstice*). Fenomena ekuinoks dan solstis terkadang terjadi pada waktu dan posisi yang berbeda-beda dikarenakan adanya variasi nilai kemiringan ekuator langit terhadap bidang ekliptika.⁵⁶



Gambar 4. Titik simpul antara orbit Bulan dan orbit Bumi ⁵⁷

Lintasan orbit Bulan mengelilingi Bumi juga tidak sejajar dengan bujur ekliptika, melainkan memiliki kemiringan rata-rata sebesar $5,13^\circ$, yang menyebabkan adanya dua titik simpul perpotongan antara dua bidang orbit. Dinamakan simpul naik (*ascending node*) untuk titik perpotongan bidang orbit Bulan dengan bidang orbit Bumi dari Selatan ke Utara, dan dinamakan simpul turun (*descending node*) untuk titik perpotongan perpotongan dari Utara ke Selatan. Periode yang ditempuh antara *ascending node* ke *ascending node* berikutnya disebut periode draconic, dengan nilai rata-rata 27,21222 hari.⁵⁸

⁵⁶ N Sopwan, "Citra matahari ektrim utara dan ektrim selatan sebagai pembelajaran pergerakan matahari" (Seminar Nasional Fisika, Surabaya: Universitas Negeri Surabaya, 2018), 33.

⁵⁷ NASA, diakses 10 Maret 2023 https://suneearthday.nasa.gov/2004/2004images/VT_Activity3.pdf

⁵⁸ Muhammad Dimas Firdaus, "Mengenal Siklus-Siklus Bulan," OIF UMSU, diakses pada 5 Juni 2023, <https://oif.umsu.ac.id/2022/04/mengenal-siklus-siklus-bulan/>.

BAB III

DATA HASIL PERHITUNGAN VISIBILITAS HILAL SERTA POSISI PERIGEE DAN APOGEE BULAN

A. Metode Perhitungan Parameter Visibilitas Hilal dan Posisi Perigee–Apogee Bulan

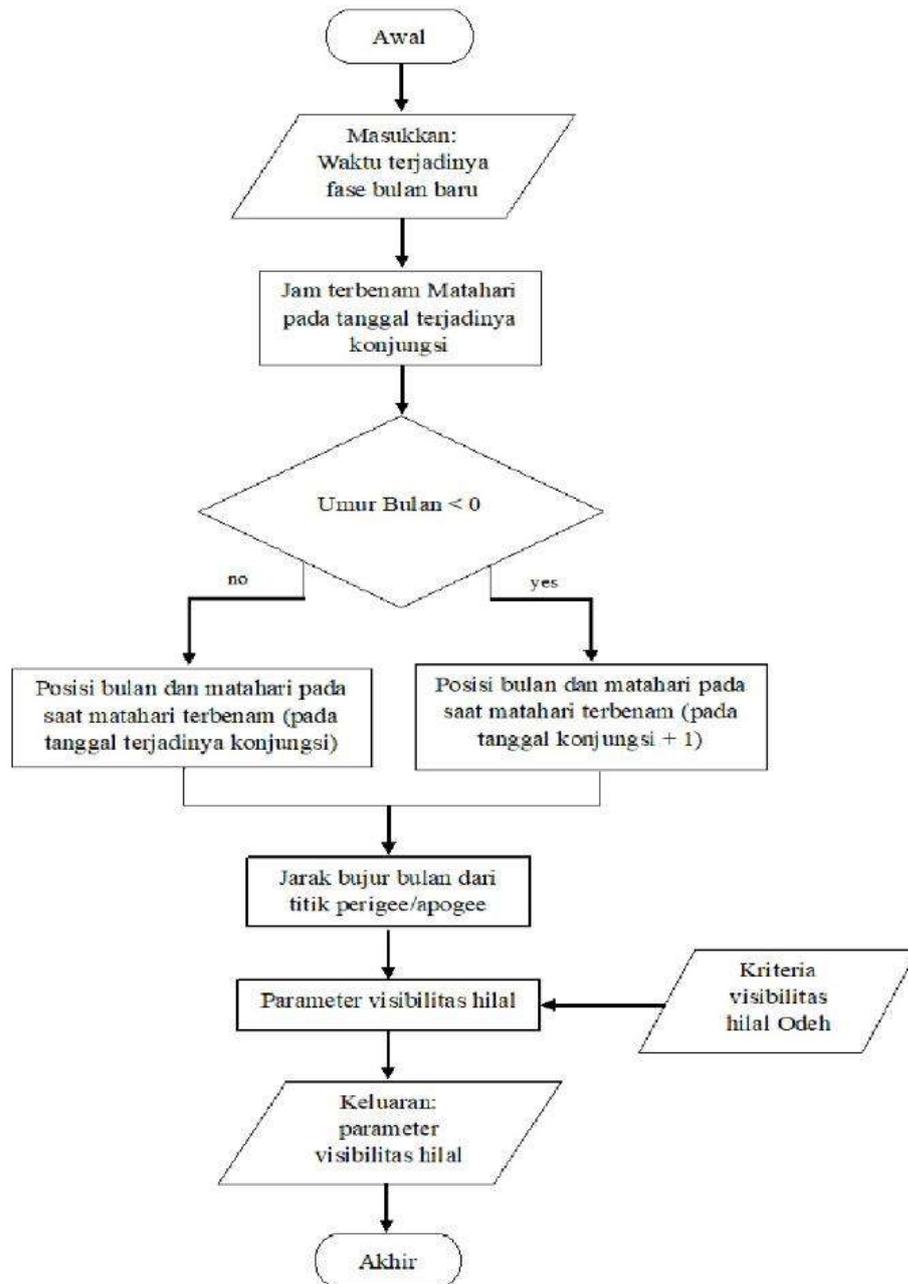
1. Input data perhitungan visibilitas hilal dan posisi perigee-apogee Bulan

Penelitian ini akan memprediksi kenampakan hilal dan pengaruh jarak posisi Bulan dari titik perigee. Data hilal diperoleh dengan menghitung parameter visibilitas hilal yang diturunkan dari posisi Bulan dan Matahari pada waktu terbenamnya Matahari, pada tanggal terjadinya fase Bulan Baru (Konjungsi/Ijtima') dan keesokan hari setelah tanggal terjadinya Bulan Baru (untuk umur Bulan negatif). Formulasi perhitungan diambil dari beberapa buku yakni *Astronomical Algorithms* (1998), *Planetary Program and Tables from –4000 to +2800* (1986), dan *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000* (1991).

Perhitungan dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Visual Basic 6.0* untuk lokasi Kota Surabaya dengan lintang tempat $-7^{\circ} 15'$, bujur tempat $112^{\circ} 45'$, dan tinggi tempat 10 mdpl. Perhitungan dilakukan dalam rentang waktu 1878 tahun yakni mulai 622 sampai 2500 Masehi, tahun 622 Masehi dipilih sebagai awal dari penanggalan Hijriyah. Dalam program perhitungan ini input awal berupa tahun dan nantinya akan dihitung waktu terjadinya fase bulan Baru setiap bulannya dalam tahun tersebut. Dari hasil perhitungan fase Bulan baru tersebut nantinya akan

dihitung untuk posisi Bulan-Matahari sehingga mendapatkan hasil perhitungan parameter visibilitas hilal dan jarak bujur perigee.

2. Proses perhitungan parameter visibilitas hilal dan posisi perigee-apogee Bulan



Gambar 5. Alur perhitungan parameter visibilitas hilal dan jarak posisi perigee dan apogee Bulan

Proses perhitungan parameter visibilitas hilal dan jarak bujur Bulan dari bujur perigee terdapat beberapa tahapan, dan untuk memudahkan dalam menggambarkan proses perhitungan dalam penelitian ini dibuatkan *flowchart*. Alur perhitungan dalam penelitian ini sebagaimana yang diperlihatkan pada gambar 3.1.

Perhitungan fase Bulan Baru dilakukan menggunakan data perhitungan dalam buku *Astronomical Algorithms* (1998) karya Jean Meeus, yang didasarkan pada teori ELP-2000/82 karya Chapront untuk perhitungan posisi Bulan dan teori VSOP87 karya Bretagnon dan Francou untuk perhitungan posisi Matahari. Dalam proses perhitungan fase Bulan Baru ini, waktu yang dihasilkan akan disajikan dalam *Julian Ephemeris Days (JDE)* berdasarkan *Terrestrial Dynamical Time (TDT)*. Satuan waktu *Terrestrial Dynamical Time (TDT)* harus diubah dalam satuan *Universal Time (UT)*. Waktu Universal merupakan waktu yang didasarkan pada rotasi Bumi. UT dibutuhkan sebagai penanda waktu dalam kehidupan sehari-hari dan untuk perhitungan astronomi yang melibatkan sudut jam lokal. Setelah itu kita juga perlu untuk mengoreksinya dalam waktu lokal sesuai lokasi pengamat berada. Berikut adalah rumus perhitungan fase Bulan baru:

- a. Menentukan bilangan k , untuk menghitung fase Bulan¹

$$k = (\text{tahun} - 2000) * 12.3685$$

- b. Menghitung bilangan abad Julian (T)²

¹ Jean Meeus, *Astronomical Algorithms* (Virginia: Willmann-Bell, Inc, 1998), 350

² Ibid

$$T = (k / 1236.85)$$

c. Menghitung rata-rata waktu fase Bulan dalam JDE ketika konjungsi³

$$\text{JDE} = 2451550.09766 + (29.530588861 * k) + (0.00015437 * T^2) - (0.00000015 * T^3) + (0.0000000073 * T^4)$$

d. Menghitung variabel koreksi fase Bulan:⁴

1) Rata-rata anomali Matahari (M)

$$M = 2.5534 + (29.1053567 * k) - (0.0000014 * T^2) - (0.00000011 * T^3)$$

2) Rata-rata anomali Bulan (M')

$$M' = 201.5643 + (385.81693528 * k) + (0.0107582 * T^2) + (0.00001238 * T^3) - (0.000000058 * T^4)$$

3) Lintang argumen Bulan (F)

$$F = 160.7108 + (390.67050284 * k) + (0.0016118 * T^2) + (0.00000227 * T^3) - (0.000000011 * T^4)$$

4) Bujur titik naik (*ascending node*) peredaran Bulan (Ω)

$$\Omega = 124.7746 - (1.56375588 * k) + (0.0020672 * T^2) + (0.00000215 * T^3)$$

Selanjutnya dari perhitungan di atas dapat dilakuakn perhitungan koreksi Bulan baru, yang terdiri dari 25 suku koreksi. Setelah itu melakukan perhitungan koreksi sudut argumen planet dengan 14 suku koreksi (A_1

³ Ibid, 349

⁴ Ibid, 350

sampai A_{14}). Kemudian menghitung total koreksi argumen planet dengan rumus yang dapat dilihat pada lampiran.⁵

- e. Menghitung JDE ketika konjungsi yang belum terkoreksi dengan koreksi Bulan baru (C_a) dan koreksi argumen planet (C_b)

$$\mathbf{JDE} = \mathbf{JDE}_{\text{(belum koreksi)}} + \mathbf{C}_a + \mathbf{C}_b$$

Untuk mengubah JDE fase Bulan Baru dari skala waktu dinamis ke waktu universal, harus diketahui perbedaan di antara dua skala waktu tersebut, parameter delta-T (ΔT) merupakan selisih aritmatika dalam detik antara waktu dinamis dan waktu universal. Nilai ΔT pada masa lalu disimpulkan dari catatan sejarah pengamatan Bulan, Matahari, dan planet yang tercatat dalam manuskrip Timur Tengah, Eropa, dan Cina.⁶ Terlepas dari presisi yang relatif rendah. Dalam penelitian ini perhitungan ΔT menggunakan ekspresi polinomial untuk delta-T (ΔT) dalam website NASA Eclipse oleh Fred Espenak. Rumus untuk menghitung nilai delta T (ΔT) adalah sebagai berikut:⁷

- a. Menghitung nilai bilangan tahun Julian (y)

$$\mathbf{y} = \mathbf{tahun} + \mathbf{(bulan - 0.5) / 12}$$

- b. Apabila nilai y sebelum -500 maka:

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

$$\mathbf{Dimana: u = (tahun - 1820) / 100}$$

⁵ Ibid, 351-352

⁶ L.V. Morrison and F.R. Stephenson, "Historical Values of the Earth's Clock Error ΔT and the Calculation of Eclipses," *Journal for the History of Astronomy* vol.35, no. 120 (2004), 329.

⁷ Espenak Fred and Jean Meeus, "Polynomial Expression for Delta-T (ΔT)," *NASA Eclipse*, accessed June 10, 2023, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/deltatpoly2004.html>.

- c. Apabila nilai y antara -500 hingga $+500$ maka:

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

Dimana: $u = y/100$

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

$$\Delta T = 1574.2 - 556.01 * u + 71.23472 * u^2 + 0.319781 * u^3 - 0.8503463 * u^4 - 0.005050998 * u^5 + 0.0083572073 * u^6$$

Dimana: $u = (y-1000)/100$

- e. Apabila nilai y antara $+1600$ hingga $+1700$ maka:

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

Dimana: $t = y-1600$

- f. Apabila nilai y antara $+1700$ hingga $+1800$ maka:

$$\Delta T = 8.83 + 0.1603 * t - 0.0059285 * t^2 + 0.00013336 * t^3 - t^4 / 1174000$$

Dimana: $t = y-1700$

- g. Apabila nilai y antara $+1800$ hingga $+1860$ maka:

$$\Delta T = 13.72 - 0.332447 * t + 0.0068612 * t^2 + 0.0041116 * t^3 - 0.00037436 * t^4 + 0.0000121272 * t^5 - 0.0000001699 * t^6 + 0.000000000875 * t^7$$

Dimana: $t = y-1800$

- h. Apabila nilai y antara $+1860$ hingga $+1900$ maka:

$$\Delta T = 7.62 + 0.5737 * t - 0.251754 * t^2 + 0.01680668 * t^3 - 0.0004473624 * t^4 + t^5 / 233174$$

Dimana: $t = y - 1860$

- i. Apabila nilai y antara +1900 hingga +1920 maka:

$$\Delta T = -2.79 + 1.494119 * t - 0.0598939 * t^2 + 0.0061966 * t^3 - 0.000197 * t^4$$

Dimana: $t = y - 1900$

- j. Apabila nilai y antara +1920 hingga 1941 maka:

$$\Delta T = 21.2 + 0.84493 * t - 0.0761 * t^2 + 0.0020936 * t^3$$

Dimana: $t = y - 1920$

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

$$\Delta T = 29.07 + 0.407 * t - t^2 / 233 + t^3 / 3547$$

Dimana: $t = y - 1950$

- l. Apabila nilai y antara +1961 hingga 1986 maka:

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

Dimana: $t = y - 1975$

- m. Apabila nilai y antara +1986 hingga +2005 maka:

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

Dimana: $t = y - 2000$

- n. Apabila nilai y antara +2005 hingga +2050 maka:

$$\Delta T = 62.92 + 0.32217 * t + 0.005589 * t^2 + c$$

Dimana: $t = y - 2000$

$$c = -0.000012932 * (y - 1955) ^ 2$$

- o. Apabila nilai y antara +1050 hingga +2150 maka:

$$\Delta T = -20 + 32 * ((y - 1820) / 100) ^ 2 - 0.5628 * (2150 - y) + c$$

$$\text{Dimana: } c = -0.000012932 * (y - 1955) ^ 2$$

- p. Apabila nilai y sesudah +2150 maka:

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

$$\text{Dimana: } c = -0.000012932 * (y - 1955) ^ 2$$

- q. Mencari nilai *Julian Day (JD)* dalam UT

$$\mathbf{JDUT = JDE - \Delta T}$$

Selanjutnya adalah mengkonversi *Julian Day (JD)* hasil perhitungan fase Bulan Baru dalam satuan tahun, bulan, tanggal, jam, dan menit. dikarenakan ada pergantian dari kalender Julian ke kalender Gregorian menjadikan kesulitan tersendiri ketika akan melakukan perbandingan terhadap fenomena astronomis yang terpaut jarak waktu yang cukup lama. Sehingga untuk mengatasi hal tersebut digunakan *Julian Day* dalam perhitungan astronomis. Dalam penelitian ini, perhitungan konversi *JD* ke satuan tahun, bulan, tanggal, jam, dan menit dilakukan menggunakan data perhitungan dalam buku *Astronomical Algorithms* (1998) karya Jean Meeus. Langkah-langkah perhitungan konversi *JD* adalah sebagai berikut:

- a. Menambahkan *JD* dengan $0,5^8$

$$\mathbf{JD_1 = JD + 0,5}$$

⁸ Meeus, *Astronomical Algorithms*, ..., 63.

- b. Menghitung nilai Z ⁹

$$Z = \text{INT}(\text{JD}_1)$$

- c. Menghitung nilai F ¹⁰

$$F = \text{JD}_1 - Z$$

- d. Menghitung nilai A dengan memperhatikan nilai Z ¹¹

Jika nilai $Z < 2299161$, maka $A = Z$

Jika nilai $Z \geq 2299161$, maka $AA = \text{INT}((Z - 1867216.25)/36524.25)$

$$A = Z + 1 + AA - \text{INT}(AA/4)$$

- e. Menghitung nilai B dengan:

$$B = A + 1524$$

- f. Menghitung nilai C dengan:

$$C = \text{INT}((B - 122,1)/365,25)$$

- g. Menghitung nilai D dengan:

$$D = \text{INT}(365,25 * C)$$

- h. Menghitung nilai E dengan:

$$E = \text{INT}((B - D)/30,6001)$$

- i. Menentukan tanggal (angka desimal di belakang koma pada tanggal menunjukkan waktu dalam jam, menit, dan detik)¹²

$$\text{Tanggal} = B - D - \text{INT}(30,6001 * E) + F$$

- j. Menentukan bulan dengan memperhatikan nilai E

Jika $E = 14$ atau 15 , maka Bulan = $E - 13$

⁹ Ibid

¹⁰ Ibid

¹¹ Ibid

¹² Ibid

Jika $E < 14$, maka Bulan = $E - 1$

- k. Menentukan tahun dengan memperhatikan nilai bulan

Jika Bulan = 1 atau 2, maka Tahun = $C - 4715$

Jika Bulan > 2 , maka Tahun = $C - 4716$

- l. Menentukan waktu dalam jam, menit, dan detik

Jam = $(\text{Tanggal} - \text{Int}(\text{Tanggal})) * 24$

Menit = $(\text{Jam} - \text{Int}(\text{Jam})) * 60$

Detik = $(\text{Menit} - \text{Int}(\text{Menit})) * 60$

Setelah itu langkah selanjutnya yaitu menghitung waktu terbenam Matahari pada tanggal terjadinya fase Bulan Baru. Dalam penelitian ini perhitungan waktu Matahari terbenam dihitung menggunakan data perhitungan posisi Matahari dalam buku *Planetary Program and Tables from -4000 to +2800* (1986) karya Pierre Bretagnon dan Jean-Louis Simon. Rumus perhitungan waktu terbenam matahari pada tanggal terjadinya fase Bulan baru adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung nilai U dari JDUT¹³

$$U = (\text{JDUT} - 2451545) / 3652500$$

- b. Menghitung koreksi nutasi A1 dan A2¹⁴

$$A1 = 124,9047993 - 193413,3629023 * U + 20,6264806 * U^2$$

$$A2 = 201,1081861 + 7200153,773645 * U + 5,729578 * U^2$$

- c. Perhitungan nutasi bujur ($\Delta\Psi$)¹⁵

¹³ Pierre Bretagnon and Jean-Louis Simon, *Planetary Programs and Tables from -4000 to +2800* (Virginia: Willmann-Bell, Inc, 1986), 5.

¹⁴ Ibid, 35.

¹⁵ Ibid.

$$\Delta\Psi = (-47784,6801139*\text{Sin}(A1)-3666,9298888 * \text{Sin}(A2))/ 10000000$$

d. Perhitungan kemiringan ekliptika (ϵ)¹⁶

$$\epsilon = 23,4392909 + (-13002589,6111399 * U - 4297,18346348117 * U^2 + 5553450,72508502 * U^3 - 142723,786767088 * U^4 + 693508,115226348 * U^5 + 25553,9176628347 * \text{Cos}(A1) + 1604.28182636631 * \text{Cos}(A2)) / 10000000$$

e. Menghitung nilai bujur rata-rata Matahari (λ_0) dengan 49 koreksi argumen ($\Delta\lambda_0$)¹⁷

$$\lambda_0 = 282.7771834 + 3600076.953744 * U + (\Delta\lambda_0 / 10000000)$$

Hasil λ_0 direduksi antara 0° sampai 360°

(Perhitungan koreksi argumen $\Delta\lambda_0$ dapat dilihat pada lampiran)

f. Menghitung koreksi aberasi Matahari ($\Delta\lambda_0$)¹⁸

$$\Delta\lambda_0 = (-56894,7090565 + 974,0282517 * \text{Cos}(177.6169165 + 3599901.8482161 * U)) / 10000000$$

g. Menghitung bujur tampak Matahari (λ_{0a})¹⁹

$$\lambda_{0a} = \lambda_0 + \Delta\Psi + \Delta\lambda_0$$

h. Perhitungan jarak Matahari (R_0) dalam satuan AU dengan 29 koreksi argumen (ΔR_0)²⁰

$$R_0 = 1.0001026 + ((\Delta R_0 / 10000000) * 0.0174533)$$

(Perhitungan koreksi argumen ΔR_0 dapat dilihat pada lampiran)

¹⁶ Ibid.

¹⁷ Ibid, 38.

¹⁸ Ibid, 34.

¹⁹ Ibid, 7.

²⁰ Ibid, 38

- i. Menghitung deklinasi Matahari²¹

$$\sin \delta_0 = \cos(\epsilon) * \sin(\theta) + \sin(\epsilon) * \cos(\theta) * \sin(\lambda_{0a})$$

- j. Perhitungan asensio rekta Matahari²²

$$\tan \alpha_0 = \sin(\lambda_{0a}) * \cos(\epsilon) - \tan(\theta) * \sin(\epsilon) / \cos(\lambda_{0a})$$

Hasil α_0 direduksi antara 0° sampai 360°

Dalam buku *Planetary Program and Tables from -4000 to +2800* ini tidak ada formulasi perhitungan *semidiameter* Matahari dan *equation of time* atau perata waktu yang digunakan untuk menghitung waktu Matahari terbenam. Sehingga dalam penelitian ini digunakan formulasi perhitungan *semidiameter* Matahari dan *equation of time* dari buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meeus.

- k. Perhitungan semidiameter geosentris Matahari²³

$$s_{do} = (959.63 / 3600) / R_0$$

- l. Menghitung *equation of time* atau perata waktu (e)²⁴

- a. menghitung bujur rata-rata Matahari

$$L_0 = 282.7771834 + 3600076.953744 * U + ((23113461.2302545 * \sin(270.5486082 + 92.8789223 * U)) / 10000000)$$

Hasil L_0 **direduksi** antara 0° sampai 360°

- b. *Equation of time* (e)

$$e = L_0 + \Delta\lambda_0 - \alpha + \Delta\Psi * \cos(\epsilon) / 15$$

²¹ Ibid, 7.

²² Ibid.

²³ Jean Meeus, *Astronomical*, ..., 389.

²⁴ Ibid, 183

Meskipun mengadopsi formulasi perhitungan *semidiameter* dan *equation of time* dalam buku *Astronomical Algorithms*, namun perhitungan data Matahari yang digunakan tetap dengan hasil yang diambil dalam buku *Planetary Program and Tables from -4000 to +2800* untuk memperoleh hasil *semidiameter* dan *equation of time*.

m. Menghitung ketinggian Matahari pada saat terbenam

$$h_o \text{ (saat terbenam)} = -(34 / 60 + sdo + 2.1 * \sqrt{tt}) / 60$$

tt = ketinggian lokasi pengamat (mdpl)

n. Menghitung sudut waktu (t)

$$t = \text{Acos}(-\text{Tan}(\text{LT}) * \text{Tan}(\delta_o) + \text{Sin}(h_o) / \text{Cos}(\phi) / \text{Cos}(\delta_o)) / 15$$

ϕ = Lintang tempat pengamat

o. Menghitung koreksi waktu daerah (KWD)

$$\text{KWD} = (\text{TZ} * 15 - \lambda) / 15$$

TZ = Time Zone

λ = Bujur tempat pengamat

p. Menghitung waktu terbenam Matahari

$$\text{Terbenam Matahari} = 12 - e + t + \text{KWD}$$

Untuk perhitungan posisi Bulan dan Matahari pada saat fase Bulan Baru pada waktu Matahari terbenam menggunakan *Julian Day (JD)* dengan memperhatikan umur Bulan, dalam penelitian ini penulis menghendaki untuk hasil visibilitas hilal yang memiliki umur bulan positif. Oleh karena itu untuk data hilal yang memiliki umur Bulan negatif akan ditambahkan satu hari dari tanggal terjadinya fase Bulan baru untuk mendapatkan nilai

umur Bulan yang positif. Rumus perhitungan konversi dari tanggal ke JD dan perhitungan umur Bulan adalah sebagai berikut:

Umur Bulan = waktu terbenam Matahari – waktu konjungsi

Perhitungan posisi Matahari dalam penelitian ini menggunakan data perhitungan dari buku *Planetary Program and Tables from –4000 to +2800* karya Pierre Bretagnon dan Jean–Louis Simon, sebagaimana yang digunakan untuk perhitungan waktu Matahari terbenam sebelumnya. Untuk perhitungan posisi Matahari dalam tata koordinat Horizontal digunakan perhitungan transformasi koordinat Ekuatorial geosentrik ke Horizontal yang terdapat dalam buku *Astronomical Algorithms*.

a. Menghitung tinggi geosentris Matahari

1) Menghitung waktu sideris lokal tampak (wsl)²⁵

$$\begin{aligned} \text{wsl} = & 280.46061837 + 360.98564736629 * (\text{JD}(\text{terbenam matahari}) - \\ & 2451545) + (0.000387933 * u^2) - (u^3 / 38710000) + \Delta\Psi \\ & * \text{Cos}(\epsilon) + \lambda \end{aligned}$$

Hasil wsl direduksi antara 0° sampai 360°

2) Menghitung sudut waktu Matahari (H)²⁶

$$\mathbf{H = wsl - \alpha_0}$$

Hasil H direduksi antara 0° sampai 360°

3) Tinggi geosentris Matahari (ho)²⁷

$$\mathbf{\text{Sin } ho = \text{Sin}(\phi) * \text{Sin}(\delta_0) + \text{Cos}(\phi) * \text{Cos}(\delta_0) * \text{Cos}(H)}$$

²⁵ Meeus, *Astronomical*, ..., 88.

²⁶ Ibid, 92.

²⁷ Ibid, 93.

b. Menghitung azimuth Matahari (Azo)²⁸

$$\mathbf{\tan Azo = \sin (H) / (\cos (H) * \sin (\phi) - \tan (\delta o) * \cos (H))}$$

Hasil Azo direduksi antara 0° sampai 360°

Hasil perhitungan tinggi geosentris Matahari perlu ditambahkan koreksi Paralaks untuk mengubah ketinggiannya menjadi perspektif toposentris. Paralaks merupakan beda sudut pandang antara dari titik pusat Bumi (geosentris) dan dari permukaan Bumi (toposentris).²⁹ Untuk perhitungan sudut ketinggian yang lebih teliti, harus diperhitungkan faktor refraksi atau pembiasan cahaya oleh atmosfer. Dalam penelitian ini digunakan formulasi perhitungan koreksi Refraksi Atmosfer dalam buku *Astronomical Algorithms*.

c. Menghitung tinggi toposentris Matahari (hto)

1) Menghitung horizontal paralaks Matahari (HPo)³⁰

$$\mathbf{\sin HPo = \sin (8.794 / 3600) / R_o}$$

2) Menghitung koreksi paralaks

$$\mathbf{\sin P = \sin (HPo) * \cos (ho)}$$

3) Tinggi toposentris Matahari (hto)

$$\mathbf{hto = ho - P}$$

d. Menghitung tinggi tampak matahari yang terkoreksi atmosfer (ho')³¹

Jika nilai hto > -(50 / 60), maka

²⁸ Ibid

²⁹ Abd. Salam Nawawi, *Ilmu Falak Praktis* (Surabaya: Imtiyaz, 2016), 172.

³⁰ Meeus, *Astronomical*, ..., 279

³¹ Ibid, 106

$$\text{Ref} = 1 / \tan ((\text{hto} + 7.31 / (\text{hto} + 4.4)) * \text{ATAN}(1) / 45) * 1010 / 1010$$

$$* 283 / (273 + 10)) + 0.0013515216737563) / 60$$

$$\text{ho}' = \text{hto} + \text{Ref}$$

Perhitungan posisi Bulan dan posisi Perigee Bulan menggunakan data perhitungan dari buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000* (1991) karya Michelle Chapront–Touzé dan Jean Chapront. Perhitungan dilakukan dengan presisi penuh sebagaimana tingkat presisi perhitungan dalam buku tersebut, berikut adalah rumus perhitungan posisi Bulan pada saat Matahari terbenam setelah terjadinya konjungsi.

- a. Menghitung nilai time-argument (t)³²

$$t = (\text{JD (terbenam matahari)} - 2451545) / 36525$$

- b. Menghitung koreksi aberasi bujur Bulan (ΔV)³³

$$\Delta V = -0.00019524 - 0.00001059 * \sin(225.0 + 477198.9 * t)$$

- c. Menghitung bujur geosentris Bulan (V) dengan 641 total koreksi bujur

$$\text{Bulan } (S_{v1}, S_{v2}, S_{v3}, S_{v4})^{34}$$

$$V = 218.31665 + 481267.88134 * t - 13.268 * 10^{-4} * t^2 + 1.856 * 10^{-6} * t^3 - 1.534 * 10^{-8} * t^4 + S_{v1} + 10^{-3} (S_{v2} + t * S_{v3} + 10^{-4} * t^2 * S_{v4}) + \Delta\Psi + \Delta V$$

Hasil V direduksi antara 0° sampai 360°

(Perhitungan koreksi bujur Bulan dapat dilihat pada lampiran)

³² Michelle Chapront-Touzé and Jean Chapront, *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000* (Virginia: Willmann-Bell, Inc, 1991), 8.

³³ Ibid, 16.

³⁴ Ibid, 10.

- d. Menghitung koreksi aberasi lintang Bulan (ΔU)³⁵

$$\Delta U = -0.0001754 * \text{Sin} (183.3 + 483202.0 * t)$$

- e. Menghitung lintang geosentris Bulan (U) dengan 328 total koreksi lintang Bulan ($S_{U1}, S_{U2}, S_{U3}, S_{U4}$)³⁶

$$U = S_{U1} + 0.001 (S_{U2} + t * S_{U3} + (0.0001 * t^2) * S_{U4} + \Delta U$$

(Perhitungan koreksi lintang Bulan dapat dilihat pada lampiran)

- f. Menghitung koreksi aberasi jarak Bulan (ΔR)³⁷

$$\Delta R = 0.0708 * \text{Cos} (225.0 + 477198.9 * t)$$

- g. Menghitung jarak Bulan (R) dengan 355 total koreksi jarak Bulan ($S_{R1}, S_{R2}, S_{R3}, S_{R4}$)³⁸

$$R = 385000.57 + S_{R1} + S_{R2} + (t * S_{R3}) + (0.0001 * t^2 * S_{R4})$$

(Perhitungan koreksi jarak Bumi-Bulan dapat dilihat pada lampiran)

Untuk perhitungan transformasi koordinat Ekuatorial geosentrik ke koordinat Horizontal juga digunakan rumus yang terdapat dalam buku *Astronomical Algorithms* sebagaimana yang digunakan dalam perhitungan posisi Matahari dalam koordinat Horizontal sebelumnya. Selain itu juga dihitung parameter nilai sudut elongasi Bulan–Matahari, DAz , dan *Lag time*. Berikut adalah rumus perhitungan elongasi Bulan–Matahari, Daz , dan

Lag Time:

³⁵ Ibid, 16.

³⁶ Ibid, 10.

³⁷ Ibid, 16.

³⁸ Ibid, 10

- a. Menghitung deklinasi Bulan (δ_b)³⁹

$$\delta_b = \arcsin (\cos(\epsilon) * \sin (U) + \sin(\epsilon) * \cos (U)) * \sin (V)$$

- b. Menghitung asensio rekta Bulan (α_b)⁴⁰

$$\alpha_b = \text{Atan2} (\cos (0) * \cos (V), -\sin (\epsilon) * \sin (U) + \cos (\epsilon) * \cos (U) * \sin (V))$$

Hasil α_b direduksi antara 0° sampai 360°

- c. Menghitung semidiameter Bulan (s_{db})⁴¹

$$s_{db} = \text{Atan}(1738.1 / R)$$

- d. Menghitung tinggi geosentris Bulan (t_b)

- 1) Menghitung sudut waktu bulan (H_b)

$$H_b = \text{wsl} - \alpha_b$$

Hasil H_b direduksi antara 0° sampai 360°

- 2) Tinggi geosentris Bulan (h_b)⁴²

$$\sin h_b = \sin(\phi) * \sin(\delta_b) + \cos(\phi) * \cos(\delta_b) * \cos(H_b)$$

- e. Menghitung azimuth Bulan (Az_b)⁴³

$$\tan Az_b = \sin(H_b) / (\cos(H_b) * \sin(\phi) - \tan(\delta_b) * \cos(H_b))$$

Hasil Az_b direduksi antara 0° sampai 360°

- f. Menghitung tinggi toposentris Matahari (h_{to})

- 1) Menghitung horizontal paralaks Bulan (HP_b)⁴⁴

$$\sin HP_b = \sin(6378.1366 / R)$$

³⁹ Ibid,17.

⁴⁰ Ibid

⁴¹ Meeus, *Astronomical*, ..., 391.

⁴² Ibid,93

⁴³ Ibid

⁴⁴ Ibid, 279.

2) Menghitung koreksi paralaks

$$\mathbf{Sin P = Sin (HP_b) * Cos (h_b)}$$

3) Tinggi toposentris Matahari (ht_b)

$$\mathbf{ht_b = h_b - P}$$

g. Menghitung tinggi tampak matahari yang terkoreksi atmosfer (h_b')⁴⁵

Jika nilai ht_b > -(50 / 60), maka

$$\mathbf{Ref = 1 / Tan ((ht_b + 7.31 / (ht_n + 4.4)) * ATAN(1) / 45) * 1010 / 1010} \\ \mathbf{* 283 / (273 + 10)) + 0.0013515216737563) / 60}$$

$$\mathbf{h_b' = ht_b + Ref}$$

h. Elongasi geosentris Bulan-Matahari (El)

$$\mathbf{Cos El = Sin (\delta_b) * Sin (\delta_o) + Cos (\delta_b) * Cos (\delta_o) * Cos (\alpha_b - \alpha_o)}$$

i. Elongasi toposentris Bulan-Matahari (El-tp)

$$\mathbf{Cos El-tp = Sin (ht_b) * Sin (hto) + Cos (ht_b) * Cos (hto) * Cos (Az_b - Az_o)}$$

Untuk mengetahui jarak posisi Bulan dari titik perigee dan titik apogee, dilakukan perhitungan bujur perigee Bulan dengan menggunakan data perhitungan dalam buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000*. Dalam buku ini terdapat dua metode perhitungan untuk mencari nilai bujur perigee, yaitu metode langsung (*direct method*) dan metode tidak langsung (*indirect method*). Penelitian ini menggunakan metode tidak langsung (*indirect method*) untuk perhitungan bujur perigee Bulan, dengan memperhitungkan semua suku koreksi (presisi penuh) sehingga didapatkan nilai bujur perigee yang paling presisi dari elemen orbit

⁴⁵ Ibid,106.

oskulasi Bulan. Metode perhitungan tidak langsung (*indirect method*) menurunkan elemen orbit oskulasi Bulan dari tabel bujur, lintang, dan jarak Bumi–Bulan yang terdapat dalam buku ini, dengan jumlah suku koreksi yang sama dengan perhitungan Bujur, Lintang, dan Jarak Bulan. Berikut adalah rumus perhitungan bujur perigee:

- a. Menghitung nilai V , U , R , V' , U' , dan R' . Untuk nilai V adalah bujur Bulan, U adalah lintang Bulan, dan R adalah jarak Bulan yang telah dihitung sebelumnya.⁴⁶

$$V' = 481267.881 - 0.0026536 * t + 0.000005568 * t^2 - 0.0000006136 * t^3 + S'_{v1} + (0.001 * (S'_{v2} + t * S'_{v3} + 0.0001 * t^2 * S'_{v4}))$$

(Perhitungan koreksi $S'_{v1} - S'_{v4}$ untuk perhitungan perigee dapat dilihat pada lampiran)

$$U' = S'_{u1} + 0.001 * (S'_{u2} + S'_{u3} * t + 0.0001 * t^2 * S'_{u4})$$

(Perhitungan koreksi $S'_{u1} - S'_{u4}$ untuk perhitungan perigee dapat dilihat dalam lampiran)

$$R' = S'_{r1} + S'_{r2} + t * S'_{r3} + 0.0001 * t^2 * S'_{r4}$$

(Perhitungan koreksi $S'_{r1} - S'_{r4}$ untuk perhitungan perigee dapat dilihat dalam lampiran)

- b. Menghitung nilai X , Y , Z , W , dan W' ⁴⁷

$$X = V' * \text{Cos}^2(U)$$

$$Y = U' * \text{Sin}(V) - V' * \text{Sin}(U) * \text{Cos}(U) * \text{Cos}(V)$$

⁴⁶ Chapront-Touzé and Chapront, *Lunar Tables*, 22.

⁴⁷ Ibid, 24

$$Z = U' \cos V + V' * \sin (U) * \cos (U) * \sin (V)$$

$$W = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$$

$$W' = (\pi / 180) * W$$

- c. Menghitung nilai γ dan Ω dengan persamaan⁴⁸

$$\gamma \cos \Omega = Z / \sqrt{2 * W^2 + 2 * X^2 * W}$$

$$\gamma \sin \Omega = Y / \sqrt{2 * W^2 + 2 * X^2 * W}$$

- d. Menghitung nilai X' , Y' , Z' , dan W'' ⁴⁹

$$X' = \cos (U) * \cos (V) - (\gamma \sin \Omega / \sqrt{1 - \gamma^2}) * \sin (U)$$

$$Y' = \cos (U) * \sin (V) + (\gamma \cos \Omega / \sqrt{1 - \gamma^2}) * \sin (U)$$

$$Z' = ((R^3 * W' ^ 2) / (4.0184172 * 10^{24})) - 1$$

$$W'' = (R' * R^2 * W') / (4.0184172 * 10^{24})$$

- e. Menghitung nilai bujur perigee (ϖ) melalui persamaan⁵⁰

$$e \cos \varpi = X' * Z' + Y' * W''$$

$$e \sin \varpi = Y' * Z' + X' * W''$$

Selanjutnya dihitung fungsi visibilitas hilal Odeh yang dinyatakan dengan V , untuk memprediksi visibilitas hilal yang kemungkinan dapat terlihat dengan mata telanjang maupun pengamatan dengan bantuan alat optik. Kriteria visibilitas hilal Odeh ini didasarkan pada dua parameter yakni *Arc of Vision (ARCV)* atau beda ketinggian Bulan–Matahari, dan lebar sabit

⁴⁸ Ibid

⁴⁹ Ibid

⁵⁰ Ibid

Bulan (W). Berikut adalah perhitungan parameter kriteria visibilitas hilal Odeh:⁵¹

- a. Menghitung nilai lebar sabit Bulan dalam menit busur (W)⁵²

$$W = 15 - (1 - \cos ARCL)$$

Dimana: ARCL = Elongasi toposentris Bulan-Matahari

- b. Menghitung nilai Beda tinggi toposentris Bulan dan Matahari (ARCV)

$$ARCV = h_{to} - h_{tb}$$

- c. Menghitung nilai parameter kriteria visibilitas hilal Odeh (V)⁵³

$$V = ARCV - (-0,1018 W^2 + 0,7319 W^3 - 6,3226 W + 7,1651)$$

Jika $V \geq 5,65 = \text{Zona A}$

Jika $2 \leq V < 5,65 = \text{Zona B}$

Jika $-0,96 \leq V < 2 = \text{Zona C}$

Jika $V < -0,96 = \text{Zona D}$

Nilai V akan memberikan klasifikasi kemungkinan hilal dapat terlihat dengan membaginya menjadi empat zona. Zona A merupakan visibilitas hilal yang dapat terlihat dengan mata telanjang. Zona B adalah visibilitas hilal yang dapat teramati dengan bantuan alat optik, namun memungkinkan terlihat dengan mata telanjang apabila kondisi atmosfer bersih pada saat pengamatan. Zona C adalah visibilitas hilal yang hanya dapat teramati menggunakan bantuan alat optik. Sedangkan zona D adalah

⁵¹ Mohammad Sh. Odeh, "New Criterion for Lunar Crescent Visibility," *Experimental Astronomy* vol.18, no. 1 (December 2004), 61.

⁵² BD Yallop, "A Method for Predicting the First Sighting of the New Crescent Moon," *NAO Technical Note*, no. 69 (September 22, 2004), 2.

⁵³ Odeh, "New Criterion, ..., 61.

visibilitas hilal yang tidak dapat dilihat baik menggunakan mata telanjang maupun dengan bantuan alat optik.

3. Output data hasil perhitungan parameter visibilitas hilal dan posisi perigee-apogee Bulan

Hasil perhitungan dalam penelitian ini memuat jarak bujur Bulan dari bujur perigee dan parameter visibilitas hilal yang diturunkan dari posisi Bulan dan Matahari. Adapun output dari hasil perhitungan ini antara lain adalah posisi Matahari dalam koordinat ekliptika (bujur Matahari) dan posisi Matahari dalam koordinat Ekuatorial geosentrik (deklinasi dan asensio rekta), selain itu juga posisi Matahari dalam koordinat Horizontal (azimut dan altitude atau ketinggian Matahari). Parameter posisi Bulan yang dihasilkan dalam penelitian ini antara lain adalah posisi Bulan dalam koordinat Ekliptika (lintang dan bujur Bulan), koordinat Ekuatorial geosentrik (deklinasi dan asensio rekta), dan koordinat Horizontal (azimut dan altitude atau ketinggian Bulan).

Parameter visibilitas hilal yang dihasilkan dalam perhitungan ini antara lain adalah tinggi toposentris Bulan, elongasi toposentris Bulan-Matahari, serta umur Bulan. Data hasil perhitungan parameter visibilitas hilal ini ditambahkan fungsi visibilitas hilal Odeh untuk membatasi data hilal yang kemungkinan dapat teramati dan tidak teramati dengan mata telanjang maupun dengan bantuan alat optik. Hal ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh jarak posisi perigee dan apogee Bulan terhadap visibilitas hilal. Selain itu data hasil perhitungan akan dianalisis

dengan kriteria visibilitas hilal Neo MABIMS, yang digunakan sebagai dasar pemerintah Indonesia dalam penetapan awal bulan Hijriyah.

B. Hasil Perhitungan Parameter Visibilitas Hilal dan Posisi Perigee–Apogee Bulan

Data hasil perhitungan visibilitas hilal dan jarak bujur Bulan dari bujur perigee dan apogee ketika Matahari terbenam pada saat fase Bulan baru dari tahun 622 sampai 2500 Masehi disajikan dalam bentuk tabel. Perhitungan dilakukan untuk lokasi Kota Surabaya, dengan lintang tempat $-7^{\circ} 15'$, bujur tempat $112^{\circ} 45'$, dan tinggi tempat 10 mdpl. Dari hasil perhitungan selama 1878 tahun diperoleh sebanyak total 23229 data lunasi bulan. Berikut sebagai contoh pada Tabel 3.1 disajikan tabel hasil perhitungan visibilitas hilal dalam rentang waktu 2020 – 2025 yang memuat tanggal terjadinya fase Bulan baru, waktu terbenam Matahari, umur Bulan, jarak bujur Bulan dari bujur perigee, tinggi toposentris Bulan, elongasi toposentris Bulan-Matahari, dan fungsi visibilitas hilal Odeh yang dinyatakan dengan V . Parameter visibilitas hilal yang dihasilkan bersifat lokal, yaitu nilai dari parameter visibilitas hilal tersebut bervariasi bergantung pada lokasi pengamatan. Untuk tabel seluruh data hasil perhitungan mulai tahun 622 sampai 2500 Masehi dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4. Contoh tabel data hasil perhitungan parameter visibilitas hilal dan jarak perigee Bulan pada tahun 2020-2025

Tanggal	Terbenam Matahari	Umur Bulan	Jarak Perigee	Tinggi Hilal	Elongasi	V
25-Jan-2020	17:55 WIB	13j 13m	126°28' 07"	05°07' 08"	06°00' 29"	-0.65

24-Feb-2020	17:51 WIB	19j 19m	159°59' 09"	08°12' 27"	09°08' 28"	3.15
24-Mar-2020	17:38 WIB	01j 10m	178°16' 54"	01°08' 33"	04°31' 37"	-4.81
23-Apr-2020	17:25 WIB	07j 59m	204°52' 27"	03°04' 30"	04°34' 36"	-2.74
23-Mei-2020	17:19 WIB	16j 40m	236°43' 55"	06°08' 07"	07°10' 49"	0.69
21-Jun-2020	17:22 WIB	03j 41m	265°41' 41"	-00°01' 20"	00°59' 07"	-6.32
21-Jul-2020	17:29 WIB	16j 56m	307°11' 17"	07°20' 29"	08°45' 03"	2.27
19-Ags-2020	17:30 WIB	07j 49m	327°29' 05"	03°23' 56"	05°35' 06"	-2.36
18-Sep-2020	17:26 WIB	23j 26m	357°40' 52"	12°36' 45"	13°35' 29"	8.93
17-Okt-2020	17:23 WIB	14j 52m	07°39' 45"	07°29' 18"	08°34' 35"	2.31
15-Nov-2020	17:28 WIB	05j 21m	16°13' 49"	01°15' 10"	02°52' 55"	-4.73
15-Des-2020	17:41 WIB	18j 24m	42°51' 32"	08°30' 44"	09°27' 25"	3.55
13-Jan-2021	17:53 WIB	05j 53m	57°31' 21"	02°08' 01"	03°37' 26"	-3.96
12-Feb-2021	17:54 WIB	15j 48m	95°57' 41"	07°30' 36"	08°27' 17"	2.27
13-Mar-2021	17:44 WIB	00j 23m	124°30' 13"	00°43' 20"	04°31' 16"	-5.11
12-Apr-2021	17:29 WIB	07j 58m	157°54' 35"	03°04' 30"	04°15' 15"	-2.9
12-Mei-2021	17:20 WIB	15j 20m	184°35' 03"	04°54' 05"	06°07' 17"	-0.72
11-Jun-2021	17:20 WIB	23j 27m	210°52' 57"	08°23' 55"	10°05' 15"	3.52
10-Jul-2021	17:27 WIB	09j 11m	233°48' 08"	02°28' 12"	04°56' 03"	-3.32
09-Ags-2021	17:30 WIB	20j 40m	274°41' 33"	09°26' 03"	10°46' 01"	4.78
07-Sep-2021	17:28 WIB	09j 36m	303°46' 45"	04°17' 36"	06°14' 45"	-1.31
07-Okt-2021	17:24 WIB	23j 19m	339°08' 46"	11°25' 12"	12°30' 29"	7.49
05-Nov-2021	17:25 WIB	13j 10m	351°38' 55"	05°44' 30"	06°44' 35"	0.22
04-Des-2021	17:35 WIB	02j 52m	00°18' 02"	-00°11' 44"	01°18' 31"	-6.46
03-Jan-2022	17:50 WIB	16j 17m	25°24' 35"	08°17' 00"	09°24' 47"	3.35
01-Feb-2022	17:55 WIB	05j 09m	35°28' 46"	02°55' 10"	04°58' 40"	-3.05
03-Mar-2022	17:48 WIB	17j 13m	67°35' 26"	08°21' 35"	09°16' 55"	3.31
01-Apr-2022	17:34 WIB	04j 10m	92°10' 54"	01°37' 17"	03°03' 20"	-4.55
01-Mei-2022	17:22 WIB	13j 54m	132°10' 24"	04°18' 29"	05°44' 34"	-1.48
31-Mei-2022	17:19 WIB	22j 49m	164°00' 14"	07°28' 34"	09°54' 29"	2.62

29-Jun-2022	17:24 WIB	07j 32m	181°27' 08"	01°18' 59"	04°42' 10"	-4.62
29-Jul-2022	17:30 WIB	16j 35m	208°09' 53"	06°21' 24"	08°25' 06"	1.22
27-Ags-2022	17:29 WIB	02j 12m	231°09' 25"	00°26' 01"	04°32' 59"	-5.56
26-Sep-2022	17:25 WIB	12j 31m	272°06' 28"	04°54' 12"	05°59' 04"	-0.76
26-Okt-2022	17:23 WIB	23j 34m	314°32' 57"	10°27' 32"	11°41' 42"	6.06
24-Nov-2022	17:31 WIB	11j 34m	333°20' 03"	04°20' 21"	05°58' 23"	-1.29
23-Des-2022	17:45 WIB	00j 28m	344°30' 05"	-01°07' 55"	03°48' 11"	-6.82
22-Jan-2023	17:55 WIB	14j 02m	09°59' 06"	07°43' 57"	08°51' 11"	2.63
20-Feb-2023	17:52 WIB	03j 46m	18°18' 26"	02°13' 15"	04°14' 38"	-3.79
22-Mar-2023	17:39 WIB	17j 16m	46°05' 09"	07°31' 28"	08°56' 35"	2.33
20-Apr-2023	17:26 WIB	06j 14m	63°10' 22"	01°00' 43"	02°28' 17"	-5.1
20-Mei-2023	17:19 WIB	18j 26m	102°40' 00"	05°41' 47"	08°54' 02"	0.6
18-Jun-2023	17:22 WIB	05j 45m	129°46' 34"	00°05' 47"	04°45' 57"	-5.71
18-Jul-2023	17:28 WIB	15j 56m	161°54' 39"	05°50' 33"	08°11' 02"	0.54
16-Ags-2023	17:30 WIB	00j 52m	179°33' 58"	-00°25' 27"	04°21' 56"	-6.41
15-Sep-2023	17:27 WIB	08j 47m	206°16' 47"	02°35' 55"	03°52' 23"	-3.3
15-Okt-2023	17:23 WIB	16j 28m	239°12' 18"	05°36' 59"	06°58' 19"	0.08
13-Nov-2023	17:27 WIB	01j 00m	269°55' 22"	-01°48' 12"	02°30' 09"	-6.3
13-Des-2023	17:40 WIB	11j 08m	310°38' 29"	04°18' 35"	06°43' 27"	-1.18
12-Jan-2024	17:53 WIB	22j 56m	343°46' 16"	12°04' 38"	13°05' 35"	8.27
10-Feb-2024	17:55 WIB	11j 56m	354°26' 50"	06°00' 24"	07°03' 03"	0.59
10-Mar-2024	17:45 WIB	01j 45m	02°42' 09"	-00°00' 35"	01°39' 20"	-6.16
09-Apr-2024	17:30 WIB	16j 09m	28°33' 54"	05°39' 13"	08°40' 52"	0.43
08-Mei-2024	17:20 WIB	06j 58m	40°36' 14"	00°26' 53"	04°36' 15"	-5.56
07-Jun-2024	17:20 WIB	21j 42m	74°36' 22"	08°07' 19"	11°44' 09"	3.86
06-Jul-2024	17:26 WIB	11j 29m	99°27' 20"	03°48' 07"	06°58' 09"	-1.69
05-Ags-2024	17:30 WIB	23j 17m	137°54' 05"	09°40' 21"	10°43' 09"	5.02
03-Sep-2024	17:28 WIB	08j 33m	159°03' 34"	02°29' 45"	03°27' 53"	-3.63
03-Okt-2024	17:24 WIB	15j 35m	185°15' 27"	04°34' 57"	06°16' 04"	-1.04

02-Nov-2024	17:24 WIB	21j 37m	211°58' 25"	07°14' 31"	09°45' 14"	2.29
01-Des-2024	17:34 WIB	04j 13m	237°00' 52"	00°03' 13"	04°46' 41"	-5.84
31-Des-2024	17:49 WIB	12j 22m	279°39' 33"	05°17' 36"	07°07' 35"	-0.14
30-Jan-2025	17:56 WIB	22j 20m	320°16' 08"	10°17' 49"	11°33' 55"	6.06
28-Feb-2025	17:49 WIB	10j 04m	336°16' 19"	03°37' 10"	04°53' 01"	-2.33
30-Mar-2025	17:36 WIB	23j 38m	03°33' 29"	08°36' 23"	13°21' 12"	5.04
28-Apr-2025	17:23 WIB	14j 52m	12°43' 45"	04°07' 36"	09°01' 55"	-0.93
27-Mei-2025	17:19 WIB	07j 17m	22°52' 31"	00°33' 27"	06°07' 01"	-5.09
26-Jun-2025	17:23 WIB	23j 52m	52°31' 26"	11°05' 03"	13°15' 15"	7.17
25-Jul-2025	17:29 WIB	15j 18m	70°23' 50"	06°34' 42"	07°50' 01"	1.17
23-Ags-2025	17:30 WIB	04j 24m	95°24' 39"	00°29' 47"	01°45' 07"	-5.6
22-Sep-2025	17:25 WIB	14j 31m	134°00' 30"	04°20' 24"	06°15' 14"	-1.42
22-Okt-2025	17:23 WIB	21j 58m	165°02' 21"	06°54' 31"	10°00' 36"	2.07
20-Nov-2025	17:29 WIB	03j 42m	182°40' 15"	-00°37' 39"	04°57' 59"	-6.54
20-Des-2025	17:43 WIB	09j 00m	210°21' 08"	02°58' 44"	05°35' 23"	-2.9

Data baris tanggal merupakan tanggal perhitungan visibilitas hilal pada waktu Matahari terbenam berdasarkan terjadinya fase Bulan baru. Tanggal bisa bernilai sama dengan tanggal terjadinya fase Bulan baru apabila memiliki umur Bulan positif. Apabila waktu terjadinya konjungsi lebih besar daripada waktu terbenamnya matahari pada tanggal terjadinya fase Bulan baru, maka akan dihitung visibilitas hilal untuk tanggal keesokan harinya, sehingga hasil perhitungan yang didapatkan merupakan data hilal yang memiliki umur Bulan positif.

Data baris terbenam Matahari merupakan waktu Matahari terbenam pada tanggal terjadinya fase Bulan baru untuk umur Bulan positif, dan waktu

Matahari terbenam untuk tanggal keesokan harinya dari tanggal fase Bulan baru untuk umur Bulan negatif. Waktu Matahari terbenam merupakan waktu dalam skala lokal, artinya setiap nilai dari waktu terbenam Matahari ini berbeda-beda tergantung terhadap lokasi pengamat. Data waktu terbenam Matahari ini merupakan waktu yang dijadikan acuan dalam perhitungan parameter visibilitas hilal dan jarak bujur perigee. Untuk hasil perhitungan pada tabel 3.1 waktu Matahari terbenam disajikan dalam waktu lokal WIB (GMT+7).

Data umur Bulan pada tabel 3.1 di atas merupakan data interval waktu antara waktu terjadinya fase Bulan baru yang ditandai dengan fenomena konjungsi dengan waktu Matahari terbenam pada waktu pengamatan. Satuan waktu yang digunakan pada data umur Bulan di atas adalah dalam jam, menit, dan detik. Umur Bulan bisa bernilai positif atau negatif, umur bulan bernilai positif apabila ijtima' terjadi sebelum waktu tebenam matahari sedangkan umur Bulan bernilai negatif jika ijtima' terjadi setelah tebenamnya matahari. Pada penelitian ini perhitungan dilakukan untuk data hilal yang memiliki umur Bulan positif. Apabila umur Bulan berniali negative maka akan dihitung di tanggal berikutnya untuk memperoleh data hilal yang memiliki umur Bulan positif.

Pada tabel 3.1 data jarak perigee merupakan jarak bujur Bulan dari perigee dalam bidang orbit Bulan pada waktu terbenamnya Matahari pada tanggal setelah terjadinya konjungsi yang disajikan dalam satuan derajat busur. Jarak perigee diperoleh dari perhitungan selisih antara bujur Bulan dengan bujur Perigee. Posisi Bulan Ketika berada di titik perigee ditunjukkan dengan jarak

bujur yang bernilai 0° dan 360° . Sedangkan posisi Bulan yang berada pada titik apogee ditunjukkan dengan jarak bujur yang bernilai 180° .

Data tinggi hilal yang disajikan pada tabel di atas merupakan data tinggi toposentris Bulan pada saat Matahari terbenam setelah terjadinya konjungsi. Tinggi toposentris Bulan didapatkan dari hasil perhitungan tinggi geosentris Bulan yang ditambahkan koreksi Paralaks. Paralaks adalah beda sudut lihat atau sudut pandang antara dari titik pusat Bumi dan dari permukaan Bumi. Tinggi toposentris mengasumsikan pengamat berada pada permukaan Bumi, bukan pada titik pusat Bumi sebagaimana tinggi geosentris. Data tinggi toposentris Bulan disajikan dalam satuan derajat busur. Ketinggian hilal dapat bernilai negatif apabila Bulan berada di bawah ufuk, dan bernilai positif apabila Bulan berada di atas ufuk.

Data Elongasi pada Tabel 3.1 adalah data elongasi toposentris Bulan-Matahari yang dihitung pada saat Matahari terbenam setelah terjadinya konjungsi. Data elongasi toposentris Bulan disajikan dalam satuan derajat busur. Elongasi merupakan jarak sudut antara pusat piringan Bulan dengan pusat Matahari yang terbentuk pada saat Matahari terbenam di langit. Nilai elongasi dipengaruhi oleh umur Bulan, semakin besar nilai umur Bulan semakin besar juga nilai elongasi Bulan dan Matahari yang dihasilkan. Dengan nilai elongasi yang besar akan membuat sabit Bulan yang terbentuk semakin besar juga.

Nilai V pada tabel 3.1 adalah fungsi visibilitas hilal Odeh yang mampu memprediksi kenampakan hilal yang terlihat menggunakan mata telanjang

atupun dengan menggunakan bantuan alat optik. Fungsi visibilitas hilal Odeh ini didasarkan pada dua parameter visibilitas hilal yaitu *Arc of Vision (ARCV)* atau beda ketinggian toposentris Bulan–Matahari, dan lebar sabit Bulan dalam satuan menit busur (W). Nilai visibilitas awal setiap zona sangat tergantung terhadap kondisi atmosfer, ketajaman penglihatan, pengalaman pengamat, serta tergantung posisi Bulan sabit.



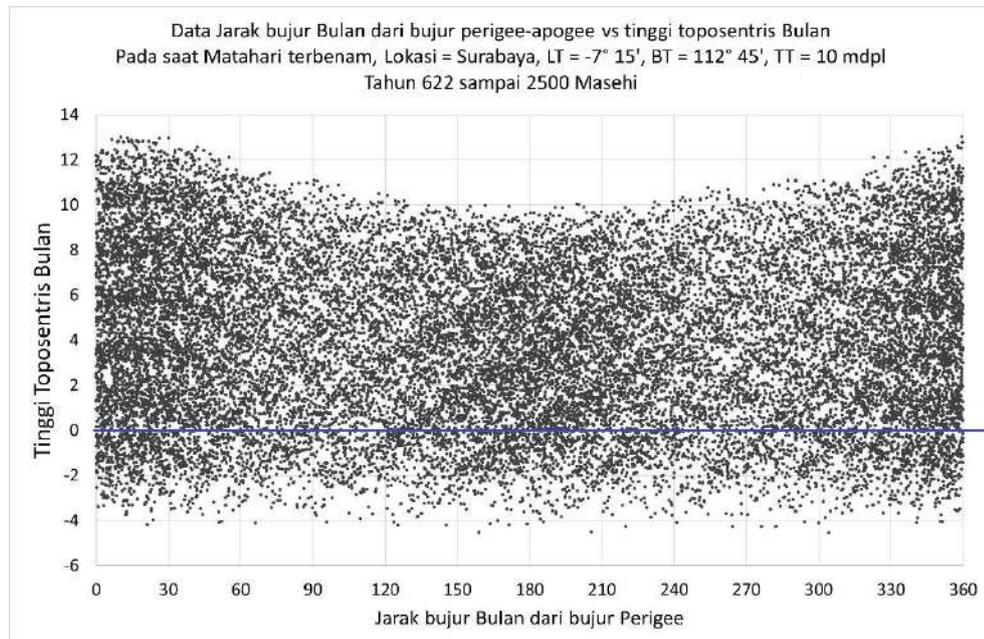
BAB IV
ANALISIS PENGARUH POSISI PERIGEE DAN APOGEE BULAN
TERHADAP VISIBILITAS HILAL

A. Pengaruh Posisi Perigee dan Apogee Bulan terhadap Parameter Visibilitas Hilal

Tabel seluruh data hasil perhitungan visibilitas hilal dan jarak bujur Bulan dari bujur perigee pada saat matahari terbenam setelah terjadinya konjungsi (umur Bulan > 0) mulai tahun 622 hingga 2500 Masehi untuk lokasi Kota Surabaya memiliki total sejumlah 23229 data lunasi Bulan. Data tersebut memiliki rentang nilai jarak bujur Bulan dari bujur perigee antara 0° sampai 360° . Data hilal yang berada pada jarak bujur Bulan dari bujur perigee sebesar 0° dan 360° didefinisikan sebagai hilal yang berada pada posisi perigee. Sedangkan data hilal yang berada pada jarak bujur Bulan dari bujur perigee sebesar 180° didefinisikan sebagai hilal yang berada pada posisi apogee.

Hasil perhitungan dalam rentang waktu selama 1878 (622 M–2500 M), mendapatkan nilai tinggi toposentris Bulan memiliki rentang nilai antara $-04^\circ 32' 12''$ sampai $13^\circ 00' 27''$. Data elongasi Bulan-Matahari tersebar antara 0° sampai 360° jarak bujur Bulan dari bujur perigee. Dari total 23229 seluruh data hasil perhitungan terdapat 19192 data hilal yang memiliki nilai altitude positif (berada di atas ufuk), sedangkan 4038 data sisanya memiliki altitude Bulan negatif (hilal di bawah ufuk). Data hilal yang berada di bawah ufuk merupakan data hilal yang memiliki umur Bulan antara 0 jam hingga 10 jam 50 menit.

Berikut pada Gambar 4.1 ditampilkan plot data tinggi toposentris Bulan dengan jarak posisi Bulan dari bujur perigee.

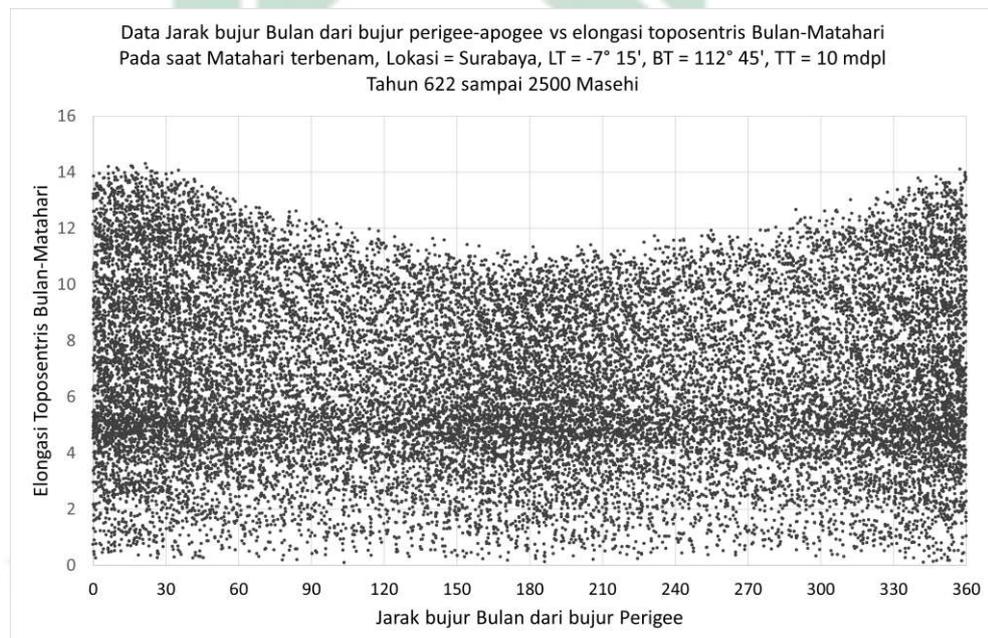


Gambar 6. Plot data tinggi toposentris Bulan dengan jarak bujur Bulan dari bujur perigee

Dari plot data tinggi toposentris Bulan dengan jarak posisi Bulan dari perigee, data hilal yang memiliki ketinggian positif (hilal di atas ufuk) merupakan data yang berada di atas garis batas berwarna biru. Data tinggi toposentris Bulan minimum sebesar $-04^{\circ} 32' 12''$ terjadi pada posisi Bulan $55^{\circ} 37' 26''$ dari bujur perigee. Sedangkan nilai tinggi toposentris Bulan maksimum sebesar $13^{\circ} 00' 27''$ terjadi ketika posisi Bulan berada pada jarak $00^{\circ} 25' 09''$ dari bujur perigee atau dapat dikatakan berada dekat dengan titik perigee.

Pada Gambar 4.1 dilihat adanya variasi nilai maksimum tinggi toposentris Bulan ketika berada dekat dengan posisi perigee dan berada dekat dengan posisi apogee. Titik puncak maksimum nilai tinggi toposentris Bulan

ketika berada dekat dengan titik perigee sekitar 13° , sedangkan titik puncak maksimum tinggi toposentris Bulan ketika berada di dekat titik apogee sekitar 9° . Data tinggi toposentris Bulan ketika Bulan berada pada jarak yang paling dekat sebesar $0^\circ 0' 02''$ dari titik perigee, memiliki tinggi toposentris sebesar $03^\circ 37' 59''$. Sedangkan data tinggi toposentris Bulan pada saat berada pada jarak yang paling dekat dengan titik apogee yaitu sebesar $0^\circ 01' 29''$ dari titik apogee, memiliki nilai tinggi toposentris sebesar $01^\circ 39' 10''$.



Gambar 7. Plot data elongasi toposentris Bulan-Matahari dengan jarak bujur perigee

Pada Gambar 4.2 disajikan plot data elongasi Bulan-Matahari pada saat Matahari terbenam setelah terjadinya fase Bulan baru dengan jarak bujur perigee. Data elongasi toposentris Bulan-Matahari pada plot di atas merupakan data elongasi untuk seluruh data hilal baik yang berada di atas ufuk (altitude hilal positif) maupun yang berada di bawah ufuk (altitude hilal negatif). Nilai

elongasi toposentris Bulan-Matahari memiliki rentang nilai antara $00^{\circ} 05' 28''$ sampai $14^{\circ} 18'$, yang tersebar pada $0^{\circ} - 360^{\circ}$ jarak bujur Bulan dari bujur perigee. Nilai elongasi toposentris Bulan-Matahari minimum adalah $00^{\circ} 05' 28''$, yang terjadi pada posisi Bulan berada pada jarak $103^{\circ} 30'$ dari bujur perigee. Data elongasi Bulan-Matahari maksimum sebesar $14^{\circ} 18'$, dengan posisi Bulan berada pada jarak $21^{\circ} 37' 30''$ dari bujur perigee.

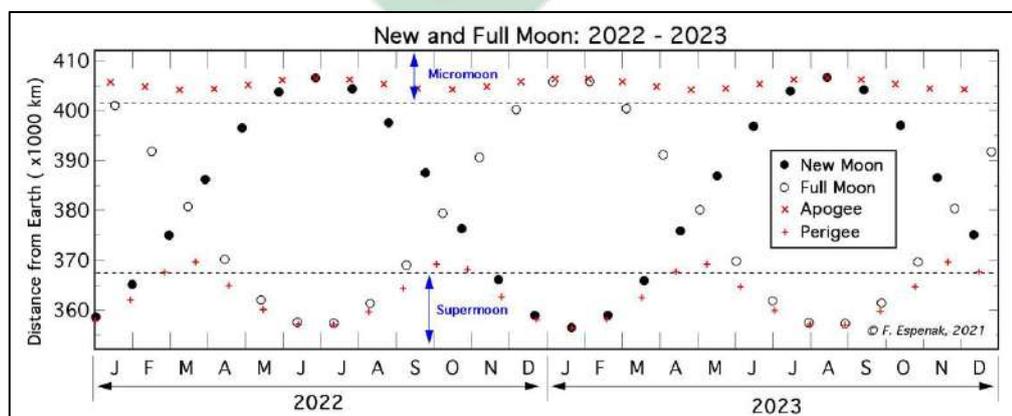
Plot data elongasi toposentris Bulan-Matahari dengan jarak bujur perigee juga memperlihatkan adanya variasi nilai maksimum elongasi Bulan-Matahari ketika berada dekat dengan titik perigee atau dekat dengan titik apogee. Titik puncak maksimum nilai elongasi Bulan-Matahari ketika di dekat titik perigee sekitar 14° , sedangkan titik puncak maksimum elongasi Bulan-Matahari ketika berada dekat titik apogee sekitar 11° . Nilai elongasi ketika Bulan berada pada jarak yang paling dekat dengan titik perigee yaitu $0^{\circ} 0' 02''$ dari titik perigee, memiliki nilai elongasi sebesar $09^{\circ} 46' 03''$. Nilai elongasi ketika Bulan berada pada jarak yang paling dekat dengan titik apogee yaitu sebesar $0^{\circ} 01' 29''$ dari titik apogee memiliki nilai elongasi sebesar $06^{\circ} 45' 08''$.

Jarak Bulan dari titik perigee dan titik apogee dapat bervariasi beberapa persen dikarenakan adanya gangguan gravitasi Matahari pada orbit eksentrik Bulan. Dalam kurun waktu 5000 tahun (2000 SM–3000 M), jarak perigee Bulan bervariasi dari 356,355–370,399 km, sementara jarak apogee Bulan bervariasi dari 404,042–406,725 km. Waktu yang ditempuh Bulan dari titik perigee ke titik perigee berikutnya dinamakan periode anomalistik. Panjang rata-rata Bulan anomali pada tahun 2000 adalah 27,55455 hari atau 27 hari 13 jam 18

Bulan 33 detik. Selama kurun waktu 5000 tahun (2000 SM-3000M), Bulan anomali terpendek adalah 24,629 hari, nilai ini 2,925 hari lebih pendek daripada rata-rata Bulan anomali di tahun 2000. Sementara Bulan anomali terpanjang adalah 28,565 hari atau 1,011 hari lebih panjang dari rata-rata.¹

Bulan baru di perigee (*new supermoon*) sering terjadi tiga atau bahkan lebih dalam setiap tahun. Kedekatan Bulan Baru dengan perigee tidak jarang terjadi. Bulan Baru yang paling dekat titik perigee(konjungsi terjadi beberapa jam setelah perigee) berulang dengan siklus 14 Bulan sinodis, karena 14 Bulan sinodis hampir sama dengan 15 Bulan anomalistik. Satu Bulan sinodis adalah waktu antara fase Bulan baru ke Bulan baru berikutnya, yang memiliki panjang rata-rata 29,53059 hari. Hubungan antara Bulan sinodik dan anomalistik dapat dilihat sebagai berikut:²

$$\begin{aligned} 14 \text{ Bulan sinodis} &= 14 \times 29,53059 \text{ hari} = 413,428 \text{ hari} \\ 15 \text{ Bulan anomali} &= 15 \times 27,55455 \text{ hari} = 413,318 \text{ hari} \end{aligned}$$



Gambar 8. Jarak Bulan baru dan purnama sehubungan dengan perigee pada tahun 2022 hingga 2023

¹ Espenak Freed, "Bulan Di Perigee Dan Apogee: 2001 Hingga 2100," accessed May 22, 2023, <http://www.astropixels.com/ephemeris/moon/moonperap2001.html>.

² Espenak Freed, "Bulan Baru Di Perigee (New Supermoon): 2001 Hingga 2100," accessed May 22, 2023, <http://www.astropixels.com/ephemeris/moon/newperigee2001.html>.

Gambar 4.3 merupakan hasil plot data jarak setiap Bulan baru dan Bulan purnama dengan jarak perigee dan apogee selama periode 2022 hingga 2023 yang dilakukan F. Espenak pada tahun 2021 yang dimuat pada *website* AstroPixels. Kejadian Bulan purnama di perigee akan memberikan kenampakan bulan purnama terlihat dari bumi lebih besar dibandingkan rata-rata atau yang biasa dikenal dengan fenomena *Supermoon*. Pada saat terjadinya fenomena *supermoon* ini bulan akan tampak membesar sekitar 14 – 15% dan akan tampak lebih terang sebesar 30% bagi pengamat di bumi. Meskipun sebenarnya bagi pengamat di bumi, perbesaran tersebut tidak dapat diamati perbedaannya dengan menggunakan mata telanjang tanpa bantuan alat optik. Bahkan jika bukan pengamat yang sering melakukan pengamatan bulan, perbedaan tersebut akan sulit untuk dikenali.³

Pada Gambar 4.3 juga dijelaskan jarak posisi perigee dan apogee Bulan pada saat terjadinya fase konjungsi. Data Bulan baru ditunjukkan oleh data lingkaran berwarna hitam, sedangkan data Bulan Purnama ditunjukkan oleh data dengan lingkaran warna putih. Dari gambar tersebut dijelaskan bahwa Bulan purnama di perigee (*full supermoon*) sering didahului atau diikuti dua minggu setelahnya oleh Bulan baru di apogee (*new micromoon*). Sebaliknya, Bulan purnama di apogee sering didahului atau diikuti dua minggu oleh Bulan baru di perigee. Hal ini terjadi karena garis apsis (sumbu antara perigee dan

³ Muhammad Himmatur Riza, “Fenomena Supermoon Dalam Perspektif Fiqh Dan Astronomi,” *ELFALAKY* vol.4, no. 1 (2020), 16.

apogee) Bulan kemudian mengarah ke Matahari.⁴ Berikut pada Tabel 4.1 disajikan tabel data hasil perhitungan parameter visibilitas hilal dan jarak bujur Bulan dari bujur perigee pada tahun 2022 hingga 2023.

Tabel 5. Data hasil perhitungan parameter visibilitas hilal dan jarak perigee tahun 2022-2023

Tanggal	Terbenam Matahari	Umur Bulan	Jarak Perigee	Tinggi Hilal	Elongasi	V
03-Jan-2022	17:50 WIB	16j 17m	25°24' 35"	08°17' 00"	09°24' 47"	3.35
01-Feb-2022	17:55 WIB	05j 09m	35°28' 46"	02°55' 10"	04°58' 40"	-3.05
03-Mar-2022	17:48 WIB	17j 13m	67°35' 26"	08°21' 35"	09°16' 55"	3.31
01-Apr-2022	17:34 WIB	04j 10m	92°10' 54"	01°37' 17"	03°03' 20"	-4.55
01-Mei-2022	17:22 WIB	13j 54m	132°10' 24"	04°18' 29"	05°44' 34"	-1.48
31-Mei-2022	17:19 WIB	22j 49m	164°00' 14"	07°28' 34"	09°54' 29"	2.62
29-Jun-2022	17:24 WIB	07j 32m	181°27' 08"	01°18' 59"	04°42' 10"	-4.62
29-Jul-2022	17:30 WIB	16j 35m	208°09' 53"	06°21' 24"	08°25' 06"	1.22
27-Ags-2022	17:29 WIB	02j 12m	231°09' 25"	00°26' 01"	04°32' 59"	-5.56
26-Sep-2022	17:25 WIB	12j 31m	272°06' 28"	04°54' 12"	05°59' 04"	-0.76
26-Okt-2022	17:23 WIB	23j 34m	314°32' 57"	10°27' 32"	11°41' 42"	6.06
24-Nov-2022	17:31 WIB	11j 34m	333°20' 03"	04°20' 21"	05°58' 23"	-1.29
23-Des-2022	17:45 WIB	00j 28m	344°30' 05"	-01°07' 55"	03°48' 11"	-6.82
22-Jan-2023	17:55 WIB	14j 02m	09°59' 06"	07°43' 57"	08°51' 11"	2.63
20-Feb-2023	17:52 WIB	03j 46m	18°18' 26"	02°13' 15"	04°14' 38"	-3.79
22-Mar-2023	17:39 WIB	17j 16m	46°05' 09"	07°31' 28"	08°56' 35"	2.33
20-Apr-2023	17:26 WIB	06j 14m	63°10' 22"	01°00' 43"	02°28' 17"	-5.1
20-Mei-2023	17:19 WIB	18j 26m	102°40' 00"	05°41' 47"	08°54' 02"	0.6
18-Jun-2023	17:22 WIB	05j 45m	129°46' 34"	00°05' 47"	04°45' 57"	-5.71

⁴ Ibid

18-Jul-2023	17:28 WIB	15j 56m	161°54' 39"	05°50' 33"	08°11' 02"	0.54
16-Ags-2023	17:30 WIB	00j 52m	179°33' 58"	-00°25' 27"	04°21' 56"	-6.41
15-Sep-2023	17:27 WIB	08j 47m	206°16' 47"	02°35' 55"	03°52' 23"	-3.3
15-Okt-2023	17:23 WIB	16j 28m	239°12' 18"	05°36' 59"	06°58' 19"	0.08
13-Nov-2023	17:27 WIB	01j 00m	269°55' 22"	-01°48' 12"	02°30' 09"	-6.3
13-Des-2023	17:40 WIB	11j 08m	310°38' 29"	04°18' 35"	06°43' 27"	-1.18

Dari Tabel 4.1 dalam periode 2022-2023 Bulan berada pada jarak terdekat dari perigee pada saat Matahari terbenam setelah terjadinya fase Bulan baru terjadi pada tanggal 22 Januari 2023. Posisi Bulan berada pada jarak $9^{\circ} 59' 06''$ dari titik perigee, dengan umur Bulan 14 jam 2 menit, tinggi Bulan toposentris sebesar $7^{\circ} 43' 57''$ dan elongasi toposentris sebesar $8^{\circ} 51' 11''$. Sedangkan Bulan berada pada jarak terdekat dari apogee terjadi pada tanggal 16 Agustus 2023. Pada saat itu Bulan berada pada jarak $0^{\circ} 26' 02''$ dari titik apogee, dengan umur Bulan 0 jam 52 menit, tinggi toposentris Bulan sebesar $-0^{\circ} 25' 27''$ dan elongasi sebesar $4^{\circ} 21' 56''$.

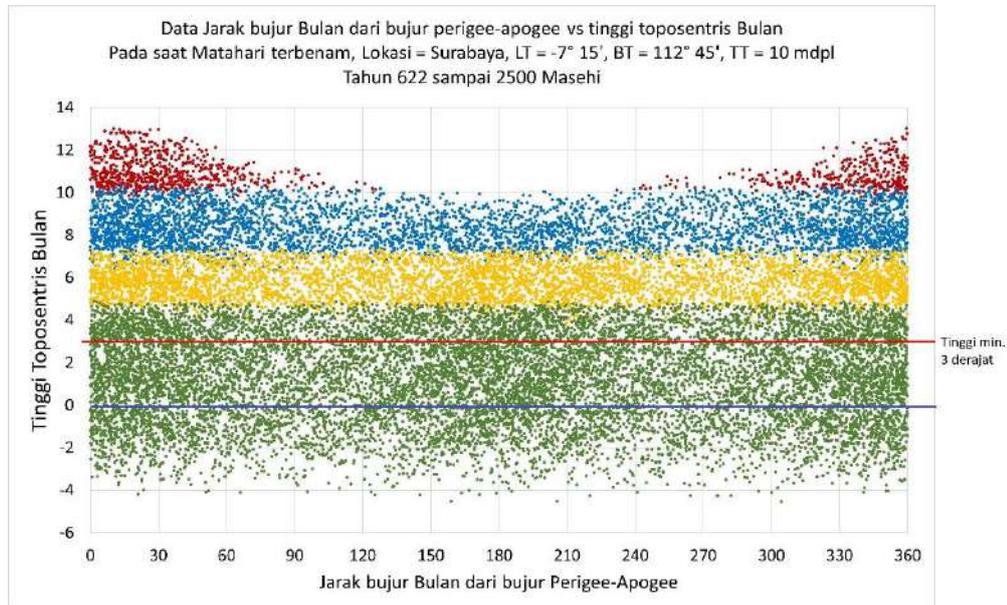
Berbeda dengan plot pada Gambar 4.3 yang menjelaskan jarak perigee atau apogee pada saat terjadinya konjungsi, pada Tabel 4.1 menjelaskan jarak perigee dan apogee pada saat Matahari terbenam setelah terjadinya konjungsi. Dari Gambar 4.3 dan Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa dari 25 data lunasi Bulan tahun 2022-2023 terdapat 7 data hilal yang berada pada jarak yang dekat dengan perigee (*new supermoon*) yang ditunjukkan data hilal nomor 1, 2, 12, 13, 14, 15 dan 16. Terdapat 6 data hilal yang berada pada jarak yang dekat dengan apogee (*new micromoon*) yang ditunjukkan data hilal nomor 6, 7, 8, 20, 21, dan 22.

Hilal tanggal 3 Januari 2022 dengan posisi Bulan berada dekat dengan perigee dibandingkan dengan hilal tanggal 29 Juli 2022 yang berada dekat dengan apogee. Kedua data hilal tersebut memiliki nilai umur Bulan yang hampir sama yakni 16 jam. Hilal tanggal 3 Januari 2022 memiliki nilai tinggi Bulan dan elongasi Bulan-Matahari lebih tinggi dari pada hilal pada tanggal 29 Juli 2022. Hilal tanggal 3 Januari dengan umur Bulan 16 jam 17 menit berada pada jarak $25^{\circ} 24' 36''$ dari perigee, memiliki nilai tinggi toposentris Bulan sebesar $8^{\circ} 16' 48''$ dan elongasi sebesar $9^{\circ} 24' 36''$. Sedangkan data hilal tanggal 29 Juli 2022 dengan umur Bulan 16 jam 35 menit berada pada jarak $28^{\circ} 09' 36''$ dari apogee, memiliki nilai tinggi toposentris Bulan sebesar $6^{\circ} 21' 36''$ dan elongasi sebesar $8^{\circ} 25' 12''$.

B. Analisis Pengaruh Perigee dan Apogee Bulan terhadap Parameter Visibilitas Hilal berdasarkan Fungsi Visibilitas Hilal Odeh dan Kriteria Neo MABIMS

Data hasil perhitungan visibilitas hilal dan jarak bujur Bulan dari bujur perigee disajikan dalam beberapa plot data parameter visibilitas hilal dengan ditambahkan perhitungan fungsi visibilitas hilal Odeh dan garis batas elongasi minimal 6,4 derajat dan garis batas tinggi minimal 3 derajat untuk membatasi data hilal yang memenuhi kriteria visibilitas hilal Neo MABIMS. Hal ini untuk membatasi data hilal yang diprediksi dapat terlihat atau diamati menurut kriteria visibilitas hilal Odeh dan Neo MABIMS. Berikut pada Gambar 4.4 disajikan Plot data tinggi toposentris Bulan dengan jarak bujur Bulan dari bujur perigee

yang ditambahkan fungsi visibilitas hilal Odeh dan garis batas minimal 3 derajat.



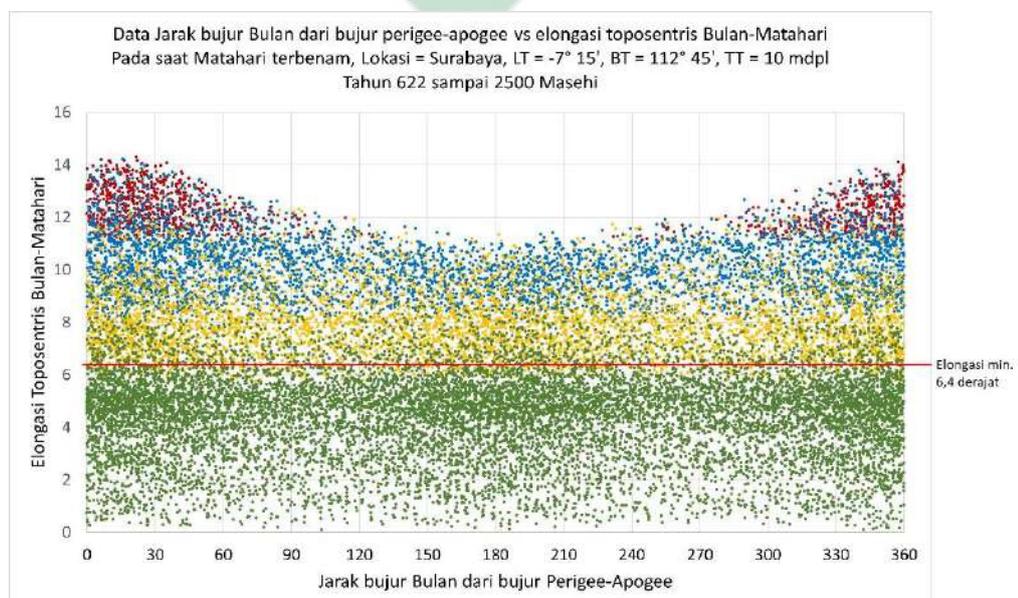
Gambar 9. Plot data tinggi toposentris Bulan dengan jarak bujur Bulan dari perigee yang ditambahkan batas kriteria Odeh dan Neo MABIMS

Pada Gambar 4.4 disajikan plot nilai tinggi toposentris Bulan dengan jarak bujur perigee dalam satuan derajat, yang telah ditambahkan fungsi visibilitas hilal Odeh yang ditunjukkan dengan perbedaan warna pada plot data hilal. Ditambahkan juga garis batas tinggi minimal 3 derajat untuk membatasi data hilal yang memenuhi kriteria Neo MABIMS. Plot data yang berada di atas garis berwarna biru menunjukkan data hilal yang berada di atas ufuk (ketinggian hilal positif), dan plot data yang berada di bawah garis berwarna biru merupakan data hilal yang berada di bawah ufuk (ketinggian hilal negatif).

Data yang berada di atas garis batas tinggi minimal 3 derajat (garis warna merah) menunjukkan data hilal yang telah memenuhi batas minimal tinggi hilal kriteria Neo MABIMS. Dari total 19192 data hilal yang berada di

atas ufuk terdapat 13357 data hilal yang memenuhi batas tinggi hilal kriteria Neo MABIMS. Sedangkan terdapat 5835 data hilal yang berada di atas ufuk namun masih belum memenuhi batas tinggi hilal kriteria Neo MABIMS (tinggi hilal 0 derajat hingga 2,9 derajat). Data hilal yang belum memenuhi batas tinggi hilal kriteria Neo MABIMS memiliki umur Bulan antara 1 menit hingga 19 jam.

Namun tidak semua data hilal yang berada di atas garis batas tinggi minimal 3 derajat telah memenuhi kriteria Neo MABIMS, selain tinggi minimal 3 derajat hilal harus memenuhi batas elongasi minimal 6,4 derajat untuk masuk dalam kriteria visibilitas hilal Neo MABIMS. Dari total 13357 data hilal yang berada di atas garis batas tinggi minimal 3 derajat, terdapat 2570 data hilal yang tidak memenuhi kriteria Neo MABIMS. Total terdapat 10787 data hilal selama periode 622 sampai 2500 Masehi yang termasuk dalam kriteria Neo MABIMS. Berikut pada Gambar 4.5 disajikan plot data elongasi toposentris Bulan-Matahari dengan jarak bujur perigee.



Gambar 10. Plot data elongasi toposentris Bulan-Matahari dengan jarak bujur Bulan dari perigee yang ditambahkan batas kriteria Odeh dan NEO MABIMS

Pada Gambar 4.5 disajikan plot nilai elongasi toposentris Bulan-Matahari dengan jarak bujur perigee dalam satuan derajat, yang telah ditambahkan fungsi visibilitas hilal Odeh yang ditunjukkan dengan perbedaan warna. Ditambahkan juga garis batas elongasi minimal 6,4 derajat untuk membatasi data hilal yang memenuhi batas minimal elongasi kriteria Neo MABIMS. Plot data yang ditampilkan merupakan data elongasi hilal hasil perhitungan sejak tahun 622 hingga 2500 Masehi, untuk kondisi hilal di atas ufuk dan di bawah ufuk. Gambar 4.5 menunjukkan bahwa dari total 23229 data hasil perhitungan terdapat 11485 data hilal yang berada di atas garis batas elongasi minimal 6,4 derajat, dan 11744 sisanya berada di bawah garis batas.

Klasifikasi data tinggi toposentris Bulan dan elongasi toposentris Bulan-Matahari berdasarkan kriteria visibilitas hilal Odeh dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.5. Data plot berwarna merah menunjukkan data visibilitas hilal yang masuk dalam klasifikasi zona A kriteria visibilitas hilal Odeh. Data tinggi Bulan toposentris yang masuk dalam klasifikasi zona A ini memiliki rentang tinggi Bulan antara $09^{\circ} 19' 54''$ hingga $10^{\circ} 14' 15''$. Data elongasi toposentris Bulan Matahari dalam zona ini memiliki rentang antara $11^{\circ} 06' 37''$ hingga $14^{\circ} 18'$. Data hilal yang masuk dalam klasifikasi zona diprediksi dapat teramati dengan mata telanjang secara mudah meskipun tanpa bantuan alat optik.

Data plot berwarna biru menunjukkan data visibilitas hilal yang termasuk dalam klasifikasi zona B. Data tinggi toposentris Bulan yang masuk dalam

klasifikasi zona B memiliki rentang antara $6^{\circ} 01' 28''$ hingga $10^{\circ} 18'$. Nilai elongasi toposentris Bulan-Matahari dalam zona ini memiliki rentang antara $8^{\circ} 12' 59''$ hingga $14^{\circ} 13' 13''$. Kondisi hilal dalam zona ini diprediksi dapat teramati dengan bantuan alat optik dan kemungkinan terlihat dengan mata telanjang apabila kondisi atmosfer sedang baik pada saat pengamatan.

Data plot berwarna kuning menunjukkan data visibilitas hilal yang termasuk dalam klasifikasi zona C. Dalam klasifikasi zona C, tinggi toposentris Bulan memiliki rentang antara $3^{\circ} 43' 45''$ hingga $7^{\circ} 26' 18''$. Sedangkan nilai elongasi toposentris Bulan-Matahari dalam zona ini memiliki rentang antara $5^{\circ} 45' 18''$. Kondisi hilal dalam zona ini diprediksi hanya dapat teramati dengan bantuan alat optik dengan kondisi cuaca dan atmosfer yang bagus pada saat pengamatan.

Data plot berwarna hijau menunjukkan tinggi toposentris Bulan yang masuk klasifikasi zona D. Nilai tinggi toposentris Bulan dalam klasifikasi zona ini memiliki rentang antara $-4^{\circ} 32' 12''$ hingga $4^{\circ} 55' 15''$. Nilai elongasi toposentris Bulan-Matahari dalam zona ini memiliki rentang antara $0^{\circ} 05' 52''$ hingga $10^{\circ} 13' 18''$. Data hilal dalam yang termasuk dalam zona D diprediksi tidak dapat teramati meskipun dengan bantuan alat optik.

Pada saat Bulan berada dekat dengan posisi perigee, nilai fungsi visibilitas hilal Odeh (V) memiliki rentang nilai antara -7,14 hingga 9,75. Sedangkan ketika Bulan berada dekat dengan posisi apogee, nilai V memiliki rentang nilai antara -7,15 sampai 5,28. Untuk klasifikasi hilal yang diprediksi dapat dengan mudah teramati menggunakan mata telanjang memiliki batas nilai

V sebesar 5,65, untuk nilai V yang berada di bawah batas nilai tersebut masuk klasifikasi zona berikutnya, dengan keadaan hilal diprediksi dapat terlihat dengan bantuan alat optik.

Dari plot tinggi Bulan dan elongasi Bulan-Matahari dengan jarak Bulan dari bujur perigee dapat dilihat bahwa data yang termasuk klasifikasi zona A (data berwarna merah) tidak ditemukan dalam rentang nilai bujur Bulan dari bujur perigee antara 130° hingga 230° . Hal ini berbeda jika dilihat data zona B, zona C, dan zona D yang tersebar pada seluruh nilai jarak Bulan dari bujur perigee. Data hilal yang berada dekat dengan apogee yakni pada nilai 180° bujur Bulan dari bujur perigee tidak ada yang masuk dalam klasifikasi zona A. Artinya ketika posisi Bulan berada dekat dengan titik apogee kemungkinan hilal tidak dapat diamati dengan mudah menggunakan mata telanjang.

Dari Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 penulis mengelompokkan data hilal yang berada dekat dengan posisi perigee dan data hilal yang dekat dengan posisi apogee. Penulis menggunakan rentang nilai jarak bujur Bulan dari bujur perigee antara $0^\circ - 5^\circ$ dan $355^\circ - 360^\circ$ untuk mengidentifikasi data hilal yang berada dekat dengan posisi perigee. Terdapat 1169 data hilal yang masuk dalam rentang jarak bujur perigee tersebut yang diklasifikasikan sebagai hilal yang berada dekat dengan titik perigee. Dari 1169 data hilal yang diidentifikasi sebagai hilal yang berada di dekat perigee, terdapat 986 data hilal yang berada di atas ufuk, sedangkan 183 data hilal sisanya berada di bawah ufuk. Dari 986 data hilal yang berada di atas ufuk, 603 data (61%) memenuhi kriteria visibilitas hilal Neo MABIMS. Untuk data hilal yang diidentifikasi berada dekat dengan

titik perigee dan telah memenuhi batas minimum kriteria Odeh dengan nilai V minimal $-0,96$ terdapat 582 data hilal yang diprediksi dapat diamati dengan mata telanjang ataupun dengan bantuan alat optik.

Sedangkan untuk mengidentifikasi data hilal yang berada pada posisi dekat dengan titik apogee digunakan nilai antara 175° hingga 185° jarak bujur Bulan dari bujur perigee. Terdapat 780 data hilal yang termasuk dalam klasifikasi hilal yang berada dekat dengan posisi apogee. Dari 779 data hilal yang diklasifikasikan sebagai hilal dekat apogee, terdapat 636 data hilal yang berada di atas ufuk, sedangkan 143 data hilal berada di bawah ufuk. Dari jumlah tersebut terdapat 300 (47%) data hilal yang memenuhi kriteria visibilitas hilal Neo MABIMS. Dan untuk data hilal yang diidentifikasi berada dekat dengan titik apogee serta telah memenuhi batas minimum kriteria Odeh, terdapat 289 data hilal yang diprediksi dapat diamati dengan mata telanjang ataupun dengan bantuan alat optik.

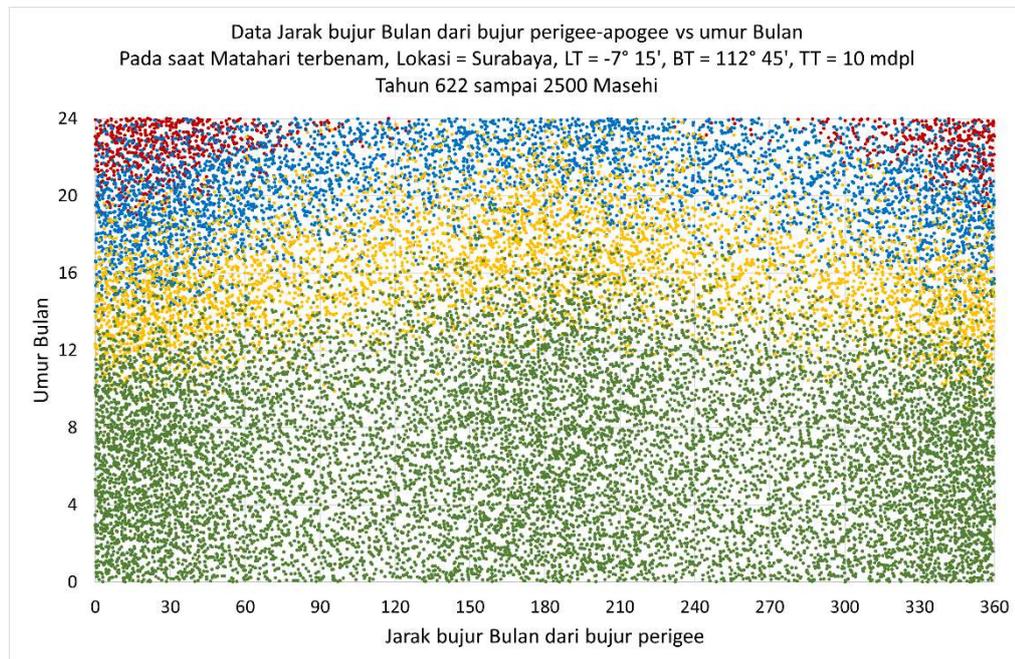
Data tinggi toposentris Bulan yang termasuk dalam klasifikasi hilal yang berada di dekat perigee memiliki rentang antara $-3^\circ 34' 26''$ hingga $13^\circ 0' 27''$. Nilai elongasi toposentris Bulan-Matahari untuk hilal yang berada dekat dengan perigee memiliki rentang antara $0^\circ 09' 25''$ hingga $14^\circ 06' 12''$. Sedangkan data tinggi toposentris Bulan yang termasuk klasifikasi hilal yang berada dekat dengan titik apogee memiliki rentang antara $-4^\circ 09' 30''$ hingga $9^\circ 37' 28''$. Dan rentang nilai elongasi pada data hilal yang berada dekat dengan apogee adalah antara $0^\circ 14' 23''$ hingga $11^\circ 20' 07''$.

Dari Gambar 4.4 dan Gambar 4.5 plot data tinggi toposentris Bulan dan elongasi toposentris Bulan-Matahari dengan jarak bujur perigee, dapat dilihat terdapat data hilal yang berada di atas garis batas tinggi minimum 3 derajat dan garis batas elongasi minimum 6,4 derajat, namun plot data hilal tersebut berwarna hijau, yang menunjukkan klasifikasi visibilitas hilal Odeh dalam zona D. Keadaan hilal dalam kategori zona ini diprediksi tidak dapat diamati meskipun dengan bantuan alat optik. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat data hilal yang berada di atas garis batas kriteria Neo MABIMS namun menurut visibilitas hilal Odeh memprediksi bahwa hilal tidak dapat teramati.

Dari total 10787 data hilal yang memenuhi kriteria Neo MABIMS, terdapat 996 data hilal yang menurut kriteria Odeh dipredksi tidak dapat dilihat meskipun dengan bantuan alat optik. Data tersebut memiliki rentang tinggi toposentris Bulan antara $3^{\circ} 00' 08''$ hingga $4^{\circ} 47' 18''$, dan nilai elongasi Bulan-Matahari antara $6^{\circ} 24' 06''$ hingga $10^{\circ} 13' 08''$. Dengan adanya kasus hilal yang masih sulit untuk di amati secara visual, memungkinkan adanya perbedaan penetapan awal Bulan bagi para penganut mazhab rukyatul hilal

Selain parameter tinggi hilal dan elongasi dapat juga digunakan parameter umur Bulan untuk menganalisis pengaruh posisi perigee dan apogee. Umur Bulan digunakan sebagai salah satu parameter kriteria visibilitas hilal MABIMS yang lama, dengan umur Bulan minimal 8 jam. Umur Bulan diperoleh dari hasil perhitungan interval waktu antara waktu terjadinya fase Bulan baru atau konjungsi dengan waktu terbenam Matahari pada saat pengamatan hilal. Dalam penelitian ini digunakan perhitungan data hilal yang

memiliki umur Bulan positif. Umur Bulan bernilai positif apabila konjungsi terjadi sebelum waktu terbenam Matahari, sedangkan umur Bulan negatif apabila konjungsi terjadi setelah Matahari terbenam. Berikut pada Gambar 4.6 disajikan plot data umur Bulan dengan jarak bujur Bulan dari bujur perigee.



Gambar 11. Plot data umur Bulan dengan jarak bujur Bulan dari bujur Perigee berdasarkan fungsi visibilitas hilal Odeh

Dari data hasil plot umur Bulan dengan jarak bujur perigee, data hilal yang berada pada klasifikasi zona A kriteria visibilitas hilal Odeh memiliki rentang umur Bulan antara 19 jam hingga 24 jam. Data hilal yang masuk dalam klasifikasi zona B memiliki rentang nilai umur Bulan antara 13 jam hingga 24 jam. Data hilal yang termasuk dalam klasifikasi zona C memiliki rentang nilai umur Bulan antara 8 jam 43 menit hingga 23 jam 57 menit. Sedangkan data hilal yang berada pada klasifikasi zona D memiliki rentang nilai umur Bulan antara 0 jam hingga 20 jam 37 menit.

Dari uraian tersebut dapat diketahui bahwa data hilal dalam klasifikasi zona C yang merupakan batas minimum zona hilal dapat teramati dengan bantuan alat optik menurut kriteria visibilitas hilal Odeh, menunjukkan nilai umur Bulan minimum sebesar 8 jam. Nilai umur Bulan ini yang digunakan dalam kriteria MABIMS lama sebelum menggunakan kriteria yang terbaru dengan menghapuskan parameter nilai umur Bulan dalam kriteria visibilitas hilal Neo MABIMS. Menurut Odeh parameter umur Bulan tidak terkait dengan kecerahan intrinsiknya, misalnya hilal dengan umur Bulan 10 jam yang berada di ekliptika akan mempunyai kecerahan yang hampir sama dengan hilal 0 jam yang berjarak 5 derajat dari ekliptika.⁵

Jika dilihat pada Gambar 4.6 plot data umur Bulan dengan jarak bujur perigee, nilai umur Bulan ketika Bulan berada dekat dengan posisi apogee memiliki nilai maksimum umur Bulan yang lebih besar dibandingkan ketika Bulan berada dekat dari posisi perigee. Dapat dilihat pola data umur Bulan yang lebih besar ketika berada pada jarak bujur perigee sekitar 180° (apogee), daripada data umur Bulan ketika berada pada nilai jarak bujur perigee 0° dan 360° . Selisih antara nilai maksimum umur Bulan pada saat Bulan berada di perigee dengan posisi Bulan berada di apogee adalah 5 jam.

Adanya variasi nilai umur Bulan ketika berada di perigee dan di apogee dikarenakan kecepatan rata-rata perubahan bujur ekliptika Bulan dan Matahari bervariasi. Memiliki nilai minimum pada saat Bulan berada di apogee dan

⁵ Mohammad Sh. Odeh, "New Criterion for Lunar Crescent Visibility," *Experimental Astronomy* vol.18, no. 1 (December 2004), 41.

Matahari berada di aphelion. Nilai maksimum ketika posisi Bulan berada di perigee dan Matahari berada di perihelion. Periode lunasi Bulan akan lebih lama dari pada rata-rata ketika Bulan di apogee atau Matahari di aphelion, Bulan memerlukan waktu yang lebih panjang ketika Bulan berada di apogee, sehingga umur Bulan pada saat Bulan di apogee lebih besar daripada ketika Bulan berada di perigee.⁶



⁶ Sopwan, Umur bulan,..., 27.

BAB V PENUTUP

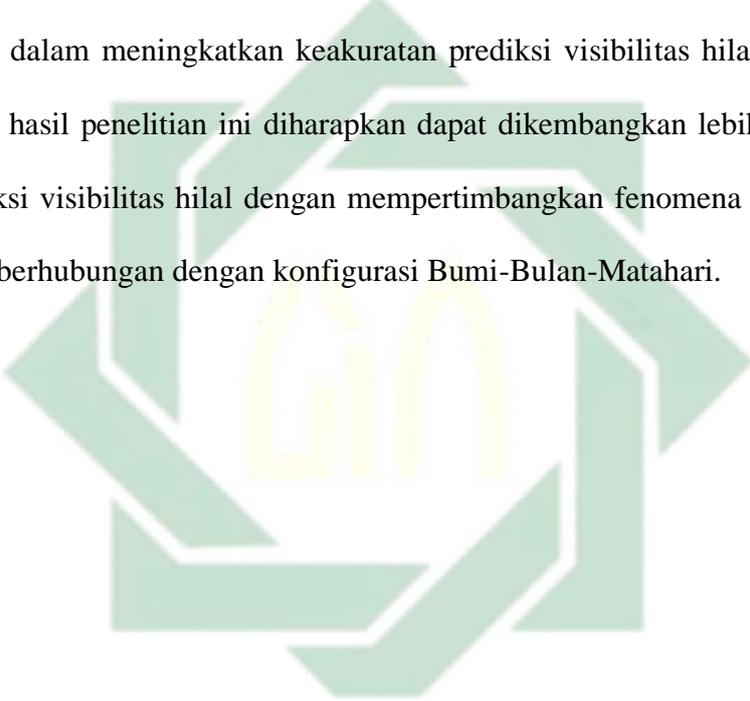
A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah penulis jelaskan pada bab-bab sebelumnya, kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Perhitungan posisi perigee dan apogee Bulan menggunakan formulasi perhitungan *indirect method* yang terdapat dalam buku *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000* karya Michelle Chapront-Touze dan Jean Chapront. Perhitungan *indirect method* menurunkan elemen orbit oskulasi Bulan dari tabel bujur, lintang, dan jarak Bumi–Bulan, dengan suku koreksi berjumlah 641 koreksi bujur Bulan, 328 koreksi lintang bulan, dan 355 koreksi jarak Bulan
2. Hasil analisis pengaruh jarak bujur Bulan dari bujur perigee terhadap visibilitas hilal berdasarkan fungsi visibilitas hilal Odeh dan kriteria Neo MABIMS didapatkan adanya variasi nilai maksimum parameter visibilitas hilal ketika posisi Bulan berada dekat dengan perigee dan dekat dengan apogee. Nilai maksimum tinggi Bulan dan elongasi Bulan-Matahari lebih tinggi ketika posisi Bulan berada didekat perigee daripada ketika didekat apogee. Sebaliknya, nilai maksimum umur Bulan ketika berada di apogee memiliki nilai umur Bulan yang lebih besar dibandingkan ketika Bulan berada di perigee. Berdasarkan kriteria visibilitas hilal Odeh, data hilal ketika Bulan berada pada posisi dekat dengan apogee diprediksi tidak dapat diamati dengan menggunakan mata telanjang

B. Saran

Adapun saran dari penulis terkait hasil penelitian ini pertama, diharapkan dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam perumusan kriteria visibilitas hilal. Kajian tentang pengaruh posisi perigee dan apogee merupakan usaha dalam meningkatkan keakuratan prediksi visibilitas hilal. Saran kedua yaitu, hasil penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut terkait prediksi visibilitas hilal dengan mempertimbangkan fenomena astronomis lain yang berhubungan dengan konfigurasi Bumi-Bulan-Matahari.



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A

DAFTAR PUSTAKA

- Arkanuddin, Mutoha, and Muh Ma'rufin Sudiby. "Kriteria Visibilitas Hilal Rukyatul Hilal Indonesia (Rhi) (Konsep, Kriteria, Dan Implementasi)." *Jurnal Al-Marshad* vol.1, no. 1 (2015).
- Azhari, Susiknan. *Ensiklopedi Hisab Rukyat*. Cet. II. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2008.
- Baturbutar, Marisi. *Pengantar Metodologi Penelitian: Pendekatan Multidisipliner*. Bandung: CV. Media Sains Indonesia, 2022.
- Bretagnon, Pierre, and Jean-Louis Simon. *Planetary Programs and Tables from -4000 to +2800*. Virginia: Willmann-Bell, Inc, 1986.
- Chapront-Touzé, Michelle, and Jean Chapront. *Lunar Tables and Programs from 4000 B.C. to A.D. 8000*. Virginia: Willmann-Bell, Inc, 1991.
- Djamaluddin, Thomas. *Astronomi Memberi Solusi Penyatuan Ummat*. Jakarta: Lembaga Antariksa dan Penerbangan Nasional (LAPAN), 2011.
- . "Bismillah, Indonesia Menerapkan Kriteria Baru MABIMS." Last modified February 23, 2022. Accessed May 21, 2023. <https://tdjamaluddin.wordpress.com/2022/02/23/bismillah-indonesia-menerapkan-kriteria-baru-mabims/>.
- . "Hakikat Hilal Dan Aplikasinya Pada Pembuatan Kalender." Wordpress, November 6, 2012. Accessed May 9, 2023. <https://tdjamaluddin.wordpress.com/2012/11/06/hakikat-hilal-dan-aplikasinya-pada-pembuatan-kalender/>.
- Fatoohi, Louay J, F. Richard Stephenson, and Shetha S. Al-Dargazelli. "The Babylonian First Visibility of the Lunar Crescent: Data and Criterion." *Science History Publication Ltd* (1999).
- . "The Danjon Limit of First Visibility of the Lunar Crescent." *The Obsevatory* vol.118 (1998).
- Firdaus, Muhammad Dimas. "Mengenal Siklus-Siklus Bulan." *OIF UMSU*. Accessed June 5, 2023. <https://oif.umsu.ac.id/2022/04/mengenal-siklus-siklus-bulan/>.
- Freed, Espenak. "Bulan Baru Di Perigee (New Supermoon): 2001 Hingga 2100." diakses 22 Mei 2023. <http://www.astropixels.com/ephemeris/moon/newperigee2001.html>.
- . "Bulan Di Perigee Dan Apogee: 2001 Hingga 2100." Accessed May 22, 2023. <http://www.astropixels.com/ephemeris/moon/moonperap2001.html>.
- Freed, Espenak, and Jean Meeus. "Polynomial Expression for Delta-T (ΔT)." *NASA Eclipse*. Accessed June 10, 2023. <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEhelp/deltatpoly2004.html>.

- Gainau, Maryam B. *Pengantar Metode Penelitian*. Yogyakarta: PT Kanisius, 2021.
- Glasse, Cyril. *Ensiklopedi Islam Ringkas, Cet. II, Terj. Ghufron A. Mas'adi, The Concise Encyclopaedia of Islam*. Jakarta: Raja Grafindo Persada, 1999.
- Hockey, Thomas. "The Biographical Encyclopedia of Astronomers." *Springer Reference*. Last modified 2007. Accessed May 12, 2023. https://islamsci.mcgill.ca/RASI/BEA/Yaqub_ibn_Tariq_BEA.htm.
- Ilyas, Mohammad. "Lunar Crescent Visibility Criterion and Islamic Calendar." *Royal Astronomical Society* vol.35, no. 4 (1994).
- Iswanuddin. "Fase-Fase Bulan Dan Jarak Bumi-Bulan Pada Tahun 2019." *Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika*. Accessed June 5, 2023. <https://www.bmkg.go.id/berita/?p=fase-fase-bulan-dan-jarak-bumi-bulan-pada-tahun-2019&tag=hilal-gerhana&lang=ID>.
- Khazin, Muhyiddin. *Kamus Ilmu Falak*. Yogyakarta: Buana Pustaka, 2005.
- Majelis Tarjih dan Tajdid Pimpinan Pusat Muhammadiyah. *Pedoman Hisab Muhammadiyah*. Yogyakarta: Majelis Tarjih dan Tajdid PP Muhammadiyah, 2009.
- Maratus, Nuril Faridah. "Implementasi Neo Visibilitas Hilal MABIMS Di Indonesia." *Ahkam* vol.10, no. 2 (November 2022).
- Meeus, Jean. *Astronomical Algorithms*. Virginia: Willmann-Bell, Inc, 1998.
- Moleong, Lexy J. *Metode Penelitian Kualitatif*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya, 2013.
- Morrison, L.V., and F.R. Stephenson. "Historical Values of the Earth's Clock Error ΔT and the Calculation of Eclipses." *Journal for the History of Astronomy* vol.35, no. 120 (2004).
- Mukarrom, Akh. *Ilmu Falak Dasar-Dasar Hisab Praktis*. Sidoarjo: Grafika Media, 2012.
- Munir, Badrul. "Faktor Atmosfer dalam Visibilitas Hilal Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG)." Universitas Islam Negeri Walisongo, 2019.
- Sunearthday nasa. Accessed Mar 10, 2023. https://sunearthday.nasa.gov/2004/2004images/VT_Activity3.pdf
- Nawawi, Abd. Salam. *Ilmu Falak Praktis*. Surabaya: Imtiyaz, 2016.
- Odeh, Mohammad Sh. "New Criterion for Lunar Crescent Visibility." *Experimental Astronomy* vol.18, no. 1 (December 2004).
- Qulub, Siti Tatmainul. "Pendekatan Politik sebagai Strategi Unifikasi Kalender Hijriyah Sejalan dengan Kalender Masehi." *Jurnal Bimas Islam* vol.10, no. 3 (2017).

- Rahmadi. *Pengantar Metodologi Penelitian*. Banjarmasin: Antasari Press, 2011.
- Raisal, Abu Yazid, Hariyadi Putraga, Muhammad Hidayat, and Rizkiyan Hadi. "Posisi Matahari Pada Saat Ekuinoks, Summer Solstice, Dan Winter Solstice Di Observatorium Ilmu Falak Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara." *Jurnal Riset dan Kajian Pendidikan Fisika* vol.7, no. 1 (April 2020).
- Riza, Muhammad Himmatur. "Fenomena Supermoon Dalam Perspektif Fiqh Dan Astronomi." *ELFALAKY* vol.4, no. 1 (2020).
- Satria, Mayo Rizky. "Pengaruh Kecerlangan Langit Terhadap Visibilitas Hilal." Universitas Islam Negeri Walisongo, 2018.
- Sciencythoughts. Accessed mar 10, 2023. <http://sciencythoughts.blogspot.com/2023/01/the-earth-approaches-perihelion.html>
- Sopwan, N. "Citra matahari ektrim utara dan ektrim selatan sebagai pembelajaran pergerakan matahari." Surabaya: Universitas Negeri Surabaya, 2018.
- Sopwan, Novi. "Umur bulan sebagai parameter visibilitas hilal." In *Seminar Nasional Fisika*. Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Surabaya, 2019.
- Sopwan, Novi, and Moedji Raharto. "Distribusi periode sinodis bulan dalam penanggalan masehi." In *Seminar Nasional Fisika 5.0*, 2019.
- . "Karakteristik Parameter Posisi Hilal Elongasi dan Tinggi Bulan Saat Matahari Terbenam di Pelabuhan Ratu Jawa Barat." In *Seminar Pendidikan IPA*. Vol. vol.2. Pascasarjana Universitas Negeri Malang, 2017.
- . "Model Awal Visibilitas Hilal Metonik." In *Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains*. Institut Teknologi Bandung, 2017.
- . "Perbandingan Sebaran Posisi Hilal Saat Matahari Terbenam di Kota Jayapura, Pontianak, Pelabuhan Ratu, dan Banda Aceh." In *Simposium Nasional Inovasi dan Pembelajaran Sains*. Institut Teknologi Bandung, 2019.
- Sopwan, Novi, Moedji Raharto, Budi Dermawan, and Dhani Herdiwijaya. "The Width Progress of the Thin Lunar Crescent After Conjunction Closed to the Perihelion and Aphelion Passage of the Earth." In *International Conference on Mathematics and Natural Science*. Bandung: Institut Teknologi Bandung, 2008.
- Sudibyoy, Muh. Ma'rufin. "OBSERVASI HILĀL DI INDONESIA DAN SIGNIFIKANSINYA DALAM PEMBENTUKAN KRITERIA VISIBILITAS HILĀL." *Al-Ahkam* vol.24, no. 1 (April 23, 2014).
- Suhadirman. "Kriteria Visibilitas Hilal Dalam Penentuan Awal Bulan Kamariah Di Indonesia." *Jurnal Khatulistiwa: Journal Of Islamic Studies* vol.3, no. 1 (2013).
- Wikimedia. Accessed Mar 10,2023 https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Equinoxes-solstice_EN.svg

Yallop, BD. "A Method for Predicting the First Sighting of the New Crescent Moon." *NAO Technical Note*, no. 69 (September 22, 2004).

Yamani, Avivah. "Supermoon? Bulan Purnama Perigee!" *Langitselatan*, March 23, 2013. Accessed March 10, 2023. <https://langitselatan.com/2013/06/23/supermoon-bulan-purnama-perigee/>.

Zaman, Qomarus. "Memahami Makna Hilal Menurut Tafsir Al-Qur'an Dan Sains." *Universum* vol.9, no. 1 (2015)



UIN SUNAN AMPEL
S U R A B A Y A