

REFORMULASI ZIJ AL-KASHI PERSIA SEBAGAI HISAB AWAL BULAN KAMARIAH

Abd. Kohar

Sekolah Tinggi Ilmu Dakwah Mustafa Ibrahim Al-Ishlahuddiny

Abdulkohar@stidmustafaibrahim.ac.id

Abstract

Al-kashi was a Persian astronomer who was nicknamed the second Ptolemy. The important work is zij named zij khaqani. This Zij has a deficiency in terms of the epoch or reference calculation in 851 Persia or November 16, 1481 M. This Zij has the potential to be developed so that it can be used as the initial reckoning of the lunar month. This research was conducted by Qualitative methods. Techniques for collecting data using literature. The problem the author wants to know is 1). What is the zij al-Kashi compilation algorithm? 2) How to reformulate zij al-Kashi as the initial reckoning of the Kamariyah Month? 3) how is the accuracy of Zij al-Kashi post reformulation as the initial reckoning of the month of Kamariyah? This research produces first, zij al-kashi uses Ptolemy's theory to correct the movement of celestial bodies. Al-kashi still considers the movement of celestial bodies in the form of circles instead of ellipses. Second, Reformulation is carried out by renewing the epoch, the dating system, correction for six months of movement disorders. Third, Contemporary reckoning in this case is used by Jean Meeus. Accuracy tests were carried out in critical years for the initial determination of ramdahan, Syawal Dzulhijjah. These years are 1427, 1428, 1432, and 1439. 14 The difference in the height of the modified zij al-Kashi hilal with contemporary reckoning is at intervals of 3-11 minutes of arc. The smallest difference is 3 minutes of arc and at most 11 minutes of arc.

Keywords : Zij, Al-Kashi, Reformulation, Development, Motion of Sun and Moon, The Calculation of The Beginning Hijri Calender.

A. Pendahuluan

Al-Kashi merupakan ilmuan populer di Persia pada abad ke-14. Dia mendapat julukan sebagai Ptolomeus ke dua. Pada awalnya dia berprofesi sebagai dokter mengikuti jejak ayahnya namun karena dia sangat tertarik pada bidang

Astronomi, al-kashi terus menerus melakukan pengamatan benda langit yang selanjutnya dia membuat zij yang bernama *zij khaqani*.¹

Tradisi membuat zij (tabel astronomi) menjadi trend populer pada masa itu, sehingga para astronom muslim masing-masing memiliki tabel astronomi berdasarkan hasil pengamatan mereka. Seperti *Zij al-khawarizmi* dari al-Khawarizmi, *Zij ash-Shaby* : al-Battani, *Zij al-Hakimy al-Kabir* dari Ibn Yunus, *Zij al-Jadid* dari Ibn Syathir dan masih banyak lagi karya-karya zij astronom muslim abad pertengahan.² Namun ada yang unik dari zij al-Kashi pada instrumen *Thabaq al-Manatiq* yakni zij tersebut dipakai untuk mendapatkan bujur ekliptika Matahari, Bulan dan lintang ekliptika Bulan diproses dengan cara mekanis. Mekanis artinya *true position* atau bujur ekliptika sebenarnya dicari melalui instrumen.³

Penelitian pada instrumen ini telah dilakukan oleh E.S. Kennedy dengan judul *A Fifteenth-Century Planetary Computer: al-Kashi's "Tabaq al-Manatiq" I Motion of the Sun and Moon in Longitude*⁴ dan seri lanjutan dari penelitiannya yakni *A Fifteenth-Century Planetary Computer: al-Kashi's "Tabaq al-Manatiq" II Longitudes, Distances and Equations of the Planet*.⁵ Fokus penelitian ini yakni terletak pada instrumen dan tidak melakukan pengembangan pada zij di instrumen tersebut.

Dengan kata lain, zij al-kashi pada instrument *thabaq al-manatiq* ini hanya digunakan untuk mencari posisi rata-rata dari benda langit yang selanjutnya diolah menggunakan instrumen *thabaq al-manatiq*. Padahal data pergerakan harian benda langit pada zij ini sudah hampir mendekati data modern. yakni pergerakan harian

¹E.S. Kennedy, *On The Contents and Significance of the khaqani Zij By Jamshid Ghiyath al-Din n al-Kashi*, Islamic Mathematics and Astronomy Volume 84, 1998, hlm. 4.

²Arwin Juli Rakhmadi Butar-Butar, *Khazanah Astronomi Islam Abad Pertengahan*, Purwokerto: UMP Press, 2016, hlm. 436-447.

³E.S. Kennedy, *The Planetarium Equatorium of Jamshid Ghiyath al-Din al-Kashi*, New Jersey : 1960, hlm. 65-67.

⁴Lihat E.S. Kennedy, *A Fifteenth-Century Planetary Computer: al-Kashi's "Tabaq al-Manatiq" I Motion of the Sun and Moon in Longitude* dalam Chicago Journals: History of Science Society Vol. 41, No. 2 (Juli 1950). hlm. 180-183.

⁵Lihat E.S. Kennedy, *A Fifteenth-Century Planetary Computer: al-Kashi's "Tabaq al-Manatiq" II Longitudes, Distances and Equations of the Planet* dalam Chicago Journals: History of Science Society Vol. 43, No. 1 (April 1952). hlm. 42-50.

Matahari sebesar $0^{\circ} 59' 8.33''$ dan pergerakan rata-rata harian Bulan $13^{\circ} 11'$ kemudian pergerakan anomalnya sebesar $13^{\circ} 4'$.⁶

Gambar 1. Tabel astronomi atau zij al-Kashi pada instrumen Thabaq al-Manatiq⁷

The image shows a rectangular table with approximately 10 columns and many rows of handwritten text in Arabic script. The text is densely packed and appears to be a technical or astronomical table, likely containing celestial data as mentioned in the caption. The handwriting is in a historical style, and the table is organized into distinct columns, some of which may represent different astronomical parameters or calculations.

Data pergerakan harian sudah tepat namun diolah menggunakan instrumen merupakan bagian yang masih belum tuntas dalam model zij ini. Zij ini berpotensi untuk dikembangkan agar dapat digunakan di masa sekarang.

Dalam penentuan awal bulan kamariah, data pertama kali yang harus bernilai benar adalah nilai-nilai pergerakan harian Bulan dan Matahari. selanjutnya dilakukan koreksi dengan berbagai model. Zij ini perlu dikembangkan agar koreksi tidak terletak pada alatnya melaikan dapat dicari dengan menggunakan tabel dan beberapa rumus astronomi Bola agar mendapatkan hasil hisab awal bulan kamarian dengan keakurasian yang cukup memadai.

Fokus permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah Permasalahan yang penulis angkat yakni 1). Bagaimana algoritma penyusunan zij al-Kashi? 2). Bagaimana reformulasi zij al-Kashi sebagai hisab awal Bulan

⁶E.S. Kennedy, *The Planetarium Equatorium...*, hlm. 67 lihat juga Jamshid Ghiyat al-Din al-Kashi, *Nuzhat al-Hadaiq*, tt. hlm. 259.

⁷lihat Jamshid Ghiyat al-Din al-Kashi, *Nuzhat al-Hadaiq*, tt. hlm. 259.

kamariyah? 3). bagaimana akurasi zij al-Kashi pasca reformulasi sebagai hisab awal Bulan Kamariyah?

B. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode *research and development*. Pendekatan yang peneliti gunakan adalah pendekatan *library research*. Penelitian ini berusaha untuk menghitung ulang (rekomputasi zij) dan mengembangkan zij al-kashi dalam instrumen *thabaq al-Manatiq* agar dapat dipakai untuk menentukan awal Bulan Kamariah. Pengembangan ini dilakukan berdasarkan kaca mata teori pergerakan Bulan dan Matahari Modern sehingga hasil yang diharapkan nantinya dapat mendekati hisab kontemporer.

C. Hasil dan Pembahasan

1. Hasil Penelitian

Penelitian ini menghasilkan *pertama*, zij al-kashi menggunakan teori Ptolomeus untuk mengoreksi pergerakan benda langit. Al-kashi masih menganggap pergerakan benda langit berbentuk lingkaran bukan ellips. *Kedua*, Reformulasi dilakukan dengan memperbaharui epoch, sistem penanggalan, koreksi untuk gangguan pergerakan bulan ada enam yakni *Major inequality*, *Evection*, *Variation*, *Annual inequality*, *Reduction to ecliptic*, dan *parallactic inequality* kemudian matahari satu yakni *equation of center*. *Ketiga*, Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan Zij Termodifikasi dengan Jean Meeus. Hasil Uji Akurasi tersebut cukup mendekati dengan data ketinggian hilal hisab Jean Meeus. Uji akurasi dilakukan pada tahun-tahun kritis untuk penentuan awal ramdahan, Syawal Dzulhijjah. Tahun-tahun tersebut yakni 1427, 1428, 1432, dan 1439. Selisih ketinggian hilal zij al-Kashi termodifikasi dengan hisab kontemporer berada pada interval 3-11 menit busur. Selisih paling kecil yakni 3 menit busur dan paling besar 11 menit busur.

2. Pembahasan

a. Biografi Intelektual Al-Kashi

Kashi adalah salah satu ilmuwan paling ulung dan paling produktif di Observatorium Samarkand. Observatorium ini merupakan salah satu lembaga ilmiah yang terkemuka pada abad ke-15. Kashi lahir di kota Kashan bagian Iran

utara dan dia telah lama menyukai bidang Astronomi. Profesi awalnya menjadi seorang Dokter (sebagaimana ia menyebutkan pada akhir *Risala dar sharh-i alat-i rasd*), ia menyebutkan dalam *Zijnya* bahwa ia hidup dalam kemiskinan di berbagai kota di Iran tengah, sebagian besar di kota kelahirannya.⁸

Kashi pertama kali menemukan perlindungan di Herat istana Shah Rukh yang dijuluki *putra Timur* sekaligus merupakan ayah dari Ulugh Beg. Pada 2 Juni 1406 M, Kashi kembali ke kota kelahirannya Kashan dan menyaksikan gerhana Bulan, seperti yang ia lakukan pada 1407 dan juga pada tahun 1416 saat itu ia menyajikan bukunya *Nuzha*. Antara tahun 1417 dan 1419, Kashi diundang ke Samarkand oleh Ulugh Beg.⁹

Sekitar tahun 1420, al-Kashi melakukan perjalanan panjang ke bagian utara Samarkand, dimana disana dia bergabung dengan kelompok saintis di kediaman pangeran. Di bawah sponsor Ulugh Beg, Kashi akhirnya mendapatkan posisi yang aman dan terhormat menjadi kolaborator dan konsultan sang pangeran. Pada bagian pendahuluan *zij* Ulugh Beg, al-Kashi mendapatkan pujian.¹⁰

Ketika observatorium didirikan pada tahun 1420, al-Kashi mengambil bagian dalam konstruksi, struktural, dan ketentuannya untuk persiapan *zij* Ulugh Beg. Pada masa ini, ia juga melakukan perjalanan dengan rombongan pengiring ke Bukhara, sebagaimana yang ia sebutkan dalam surat-surat kepada ayahnya. Al-Kashi juga merupakan seorang ulama terkemuka yang terkait dengan staf terpelajarnya Ulugh Beg, dia menghabiskan sisa hidupnya sebagai ilmuwan terkemuka di Samarkand, dimana dia meninggal dengan meninggalkan pengamatan yang tidak lengkap yang diperlukan untuk *zij* Ulugh Beg.¹¹

⁸Thomas Hockey, *Biographical Encyclopedia of Astronomer*, New york : Springer, 2007, hlm. 613.

⁹Maya Mitkova, *al-Kashi Doubbed as Second Ptolemy*, dalam Arab Times tanggal 22 November 2013 hari Jumat, hlm. 12.

¹⁰*Ibid.*

¹¹*Ibid.*

Pencapaian luar biasa al-Kashi di bidang astronomi yakni menghitung nilai $\sin 1^\circ$ dengan ketelitian benar sampai desimal ke 18.¹² Kemudian menghitung nilai π dengan ketelitian benar sampai desimal ke 16 yang pada waktu itu susah untuk dilakukan.¹³

Ketika tinggal di Kashan, al-Kashi menulis dua risalah kecil tentang astronomi. Yang pertama bernama *Sullam al-Sama'* atau dikenal juga dengan *Risala Kamaliyya*, yang membahas tentang ukuran dan jarak benda langit. Risalah ini selesai ditulis pada 1 Maret 1407, tulisan ini didedikasikan kepada seorang wazir yang bernama Kamal al-Din Mahmud dan disimpan dalam beberapa salinan.¹⁴ Risalah yang kedua bernama *Mukhtasar dar 'Ilm-I hayat*, sebuah ringkasan tentang astronomi yang ditulis pada 1410/1411 untuk sultan Iskandar, kemungkinan ia merupakan keponakan Syah Rukh dan sepupu Ulugh Beg. Risalah ini disimpan dalam dua manuskrip Persia di London dan Yazd.¹⁵

Dalam bidang matematika al-Kashi memiliki karya besar diantaranya *Miftah al-Hisab* (kunci aritmatik) dan *al-risalah al-Muhitiyya* (a treatise on circumference). *Miftah al-Hisab* membahas tentang perhitungan aritmatik untuk menentukan nilai desimal, menghitung volume, luas, dan dimensi bangun ruang dan beberapa solusi matematis untuk keperluan astronomi.¹⁶ Sedangkan *al-risalah al-Muhitiyya* membahas tentang geometri lingkaran dalam hal penentuan busur, quadrant dan termasuk menentukan nilai π .¹⁷

Pada tahun 1413/1414 M, Kashi menyelesaikan *Zijnya* yang bernama *Zij-I Khaqani*, yang dipersembahkan untuk Shah Rukh karena dia tinggal di Herat maupun untuk Ulugh Beg karena dalam *Zij-I Khaqani* menyebutkan bahwa dia

¹²Lihat Asger Aaboe, *Al-kashi Iteration Method for the determination of $\sin 1^\circ$* .

¹³Lihat Jan P. Hogendijk, *al-Kashi Determination of π to 16 decimals in an old manuscript*, Germany : Strauss GmbH, 2009, hlm. 79.

¹⁴Thomas Hockey, *Biographical...*, hlm. 613.

¹⁵*Ibid.*

¹⁶Mohammad K. Azarian, *Miftah al-Hesab: A Summary* dalam Missouri Journal of Mathematical Science Volume 12 no 2 Spring 2000, hlm. 75.

¹⁷Mohammad K. Azarian, *Al-Risala al-Muhitiyya: A Summary* dalam Missouri Journal of Mathematical Science Volume 22 no 2 Spring 2010, hlm. 70.

tidak dapat menyelesaikan pekerjaannya tanpa dukungan dari pangeran. Zij al-Kashi disimpan dalam beberapa salinan berbahasa Persia, disusun dalam enam risalah dan dimulai dengan pengantar penghormatannya kepada Nasir al-Din al-Tusi. Tetapi al-Kashi juga mengungkapkan ketidakpuasannya terhadap Zij Tusi atau dikenal dengan *Zij Ilkhani* yang diusulkan untuk diperbaiki.¹⁸

Pada tanggal 10 Februari tahun 1416, Al-Kashi menyelesaikan tulisan dalam bidang instrument astronomi yang berjudul *Nuzhat al-Hada'iq fi kayfiyya san'a al-ala al-musamma bi tabaq al-manatiq*. Dalam karya ini, al-Kashi mendeskripsikan dua instrument yang dia sebut dengan *Thabaq al-Manatiq* atau *Plate of Heaven* dan *Plate of Conjunction*. Versi yang pertama dari risalah ini selesai di Kashan pada 10 Februari 1416 yang sekarang disimpan dalam sebuah manuskrip Arab di London. Versi yang kedua telah direvisi di Samarkand pada juni 1426. Risalah ini hanya diketahui dalam edisi *lithographic* dari beberapa karya al-Kashi, kemudian di cetak di Tehran 1888/1889.¹⁹

b. Tinjauan Umum Instrumen *Thabaq Al-Manatiq*

Instrumen *thabaq al-manatiq* merupakan jenis instrument dari bidang datar yang berisi *plotting* untuk memecahkan permasalahan dalam teori pergerakan planet ptolomeus secara grafis. Penentuan posisi rata-rata dari zij kemudian mencari posisi sebenarnya (true position) menggunakan instrumen. Instrumen ini terdiri dari empat bagian yakni bidang (*plate*), cincin atau lingkaran terluar (*the ring*), *alidade*, dan penggaris (*ruler*).²⁰

The plate atau bidang adalah sebuah bidang datar yang berbentuk lingkaran seperti bidang dari sebuah astrolabe. Alat ini dibuat dengan diameter ukuran satu cubit (*dhera*, kurang lebih 29.5 inci) atau bisa juga berdiameter dua atau tiga cubit. Di bagian pusat bidang terdapat lubang yang dibuat sebagai poros *alidade*. pada permukaan bidang ini juga terdapat lingkaran zodiak dan garis yang dibuat secara

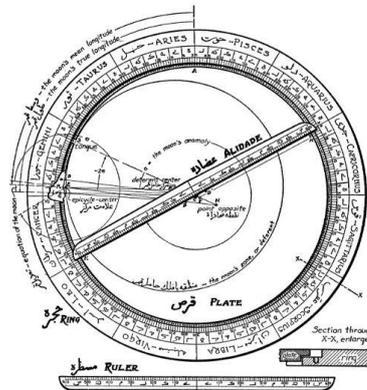
¹⁸Thomas Hockey, *Biographical...*, hlm. 614.

¹⁹Michael J. Bradley, *The Age of Genius 1300 to 1800*, New York : Chelsea House, 2006, hlm. 5.

²⁰E.S. Kennedy, A Fifteenth-Century Planetary Computer: al-Kashi's "Tabaq al-Manatiq" I. Motion of the Sun and Moon in Longitude dalam *Chicago Journals History of Science Society* Vol. 41. No. 2 (July. 1950), hlm. 180.

permanen. Tanda dan garis pada bidang ini berhubungan satu sama lain untuk menyelesaikan permasalahan antara satu dengan lainnya.²¹

Gambar 2. Bidang *thabaq al-manatiq*



Bagian kedua dari instrument *thabaq al-manatiq* yakni *the ring* atau lingkaran terluar yang berisi 12 tanda zodiak dan pembagiannya dalam derajat. *Ring* atau cincin terluar ini sama dengan lingkaran terluar yang mengelilingi bidang permukaan astrolabe. Pada bagian dalam lingkaran ini terdapat lubang kecil. Lubang ini memiliki radius yang sama dengan jarak titik pusat bidang datar ke lubang tersebut sepanjang lingkaran ini.²²

Alidade (*alidade*) yang terdapat dalam alat ini sama dengan alidade yang dipakai dalam astrolabe. Titik tengah alidade atau porosnya berada pada titik pusat bidang instrument. Panjang alidada ini diatur berukuran enam puluh dari titik pusat bidang datar. Enam puluh ini kemudian dibagi ke dalam sexagesimal.²³

Penggaris (*the ruler*) yang dimaksud merupakan sebuah tepi yang lurus memiliki panjang sama dengan panjang alidada. Fungsi utama dari penggaris ini adalah untuk memberikan arah dari alidade ke sembarang titik di bidang permukaan instrument. Sebagai contoh penentuan garis pada bidang yang paralel ke tepi alidade. untuk mendapatkan posisi paralel seperti itu, pembuat instrumen ini mengarahkan agar penggaris ditempatkan sedemikian rupa sehingga ujungnya

²¹E.S. Kennedy, *A Fifteenth-Century...*, hlm. 181.

²²E.S. Kennedy, *A Fifteenth-Century...*, hlm. 182.

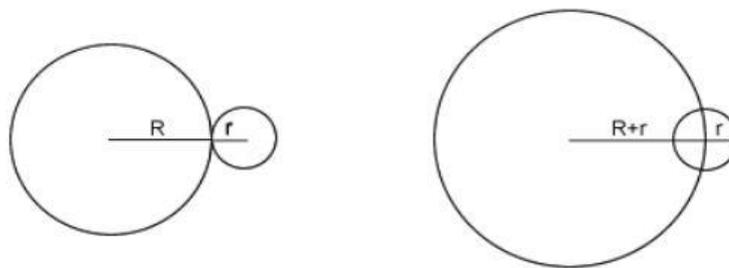
²³*Ibid.*

melewati titik yang dimaksud. Sehingga, kedua busur dari *ring* berptongan di kedua sisi antara alidade dan penggaris menjadi sama.²⁴

Instrument *thabaq al-manatiq* secara prinsip dibuat berdasarkan teori Ptolomeus yakni lingkaran Epicyle, Equant, dan deferent. Dampak dari penggunaan teori ini adalah data ephemeris yang dihasilkan juga tentunya akan memiliki keakurasian tertentu.²⁵

Lingkaran epicycle dan deferent merupakan dua istilah yang dipakai dalam Matematika. Lingkaran epicycle berarti lingkaran kecil di busur lingkaran deferent. Sedangkan lingkaran deferent merupakan lingkaran besar.²⁶

Gambar 3. Lingkaran dengan jari-jari (R) adalah lingkaran deferent dan lingkaran jari-jari (r) adalah lingkaran epicycle.



Dua lingkaran ini dapat membentuk bangun geometri yang beragam. Bangunan geometri yang terbentuk tergantung dari jari- lingkaran epicycle dan deferent, kecepatan putaran (*angular motion*) dan arah putaran.²⁷

Sebelum ditemukannya orbit benda langit yang berbentuk elips, astronomer menggunakan lingkaran epicycle dan deferent untuk menjelaskan konfigurasi alam

²⁴*Ibid.*

²⁵E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 183.

²⁶Precious Andrew, *The Mathematics of the epicycloid : a historical journey with a modern perspective*, Thesis Master of Science Mathematics The University of New Mexico Agustus 2009, hlm. 1.

²⁷*Ibid.*

semesta. Dengan dua lingkaran ini juga, astronomer mampu menjelaskan gerak retrograde benda langit beserta fenomenanya.²⁸

Penggunaan teori epicycle dan deferent pertama kali dipakai oleh Apollos pada abad ketiga (3) SM. Kemudian dilanjutkan oleh Hipparchus pada abad kedua (2) SM yang berhasil menghitung bujur apogee benda langit. Selanjutnya masa keemasan dari teori ini mengalami puncaknya pada era Ptolomeus dan bertahan hampir 1400 tahun.²⁹

c. *Zij Al-kashi dalam Instrumen Thabaq al-Manatiq*

Tradisi astronom Muslim pada abad pertengahan yakni memproduksi tabel astronomis (*Zij*) untuk Matahari, Bulan, Bintang dan Planet-planet. Termasuk salah satu ilmuwan tersebut adalah Jamshid Ghiyath ad-din al-Kashi. Al-Kashi membuat tabel astronomi (*Zij*) bernama *Zij Khaqani*. *Zij* ini berusaha untuk mengoreksi *Zij* Nasiruddin at-Tusi yang bernama *Zij Ilkhani*. *Zij* ini berisi pergerakan rata-rata Matahari Bulan dan Planet-planet dalam sistem tata surya.³⁰

Instrumen *Thabaq al-Manatiq* disebut juga dengan instrumen *equatora*. Instrumen ini disebut *equatoria* karena untuk menghitung posisi rata-rata dari Matahari, Bulan dan Planet-planet melalui tabel astronomi (*Zij*) dan untuk mencari posisi sebenarnya dari Matahari, Bulan dan Planet dilakukan secara mekanis pada instrumen tersebut dengan beberapa perhitungan matematis yang rumit.³¹

²⁸ Precious Andrew, *The Mathematics...*, hlm. 11.

²⁹ Precious Andrew, *The Mathematics...*, hlm. 18.

³⁰ E.S. Kennedy, *On The Contents and Significance of the khaqani Zij By Jamshid Ghiyath al-Din n al-Kashi*, *Islamic Mathematics and Astronomy Volume 84*, 1998, hlm. 4.

³¹ Olaf Pederson, review the book *the planetary equatorium of jamshid ghiyath al-din al-kashi with translation and commentary by E.S. Kennedy* dalam *journal of the American Oriental Society*, Vol. 83, No. 3 (Aug. – Sep., 1963), hlm. 365.

Gambar 3. Zij pada instrument *Thabaq al-Manatiq*³²

The image shows a highly detailed astronomical table (Zij) from the Thabaq al-Manatiq instrument. It consists of a grid of approximately 15 columns and 30 rows. The columns are headed with Arabic terms, likely representing celestial coordinates and planetary positions. The rows contain dense Arabic script and numbers, representing the calculated values for various celestial bodies over time. The table is organized into several distinct sections, each with its own set of headers, indicating different astronomical data series.

Zij yang terdapat pada instrument *thabaq al-manatiq* merupakan bagian dari *Zij Khaqani*. *Zij* yang terdapat dalam instrumen ini terdiri atas beberapa komponen yakni :

1) Basis Penanggalan

Penanggalan yang dipakai dalam *zij al-Kashi* mengacu kepada sistem *Solar Calender*. Penanggalan yang dipakai dalam *zij* ini berdasarkan kalender Persia. Satu tahun dalam kalender Persia berumur 365 hari. jumlah bulan dalam satu tahun 12 bulan. Umur tiap-tiap bulan 30 hari dan ada tambahan 5 hari.³³

Zij al-kashi ini terdiri dari tahun yang dijadikan *epoch*, kelebihan tahun, Bulan, hari, jam. Sepuluh baris yang pertama merupakan nilai dari bujur ekliptika atau anomali rata-rata pada tahun 851, 852, 853, 854, 855, 856, 857, 858, 859, 860. Tahun yang dijadikan epoch dalam *zij* ini adalah 851 yang bertepatan dengan tanggal 16 November 1481 M.³⁴

³²Lihat Jamshid Ghiyath al-Din al-Kashi, *Nuzhat al-Hadaiq*, tt. Hlm. 259.

³³E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium of Jamshid Ghiyath al-Din al-Kashi*, Princeton : Princeton University Press, 1960, hlm. 185.

³⁴E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 185

Pemilihan tahun 851 menjadi epoch dalam zij ini didasarkan atas tahun pertama penobatan yang mulia (Bayazid II) berdaulat di kursi pemerintahan.³⁵

Baris selanjutnya dari tabel al-kashi merupakan nilai pergerakan rata-rata bujur atau anomali pada panjang waktu tertentu. Sepuluh baris kedua berisi tahun 10 sampai dengan seratus, interval yang dipakai 10 tahun. Kemudian baris selanjutnya dari 100-1000, interval yang dipakai 100 tahun.³⁶

Baris selanjutnya dari *zij* ini yakni interval waktu pergerakan bujur atau anomali dalam satu bulan penanggalan Persia. Durasi satu bulan dalam penanggalan ini adalah 30 hari. nama-nama bulan dalam penanggalan Persia yakni .³⁷

No	Nama Bulan	No	Nama Bulan
1	Farvardin	7	Mehr
2	Ordibehesht	8	Aban
3	Xordad	9	Azar
4	Tir	10	Dey
5	Mordad	11	Bahman
6	Shahrivar	12	Esfand

Karena panjang tahun yang dipakai dalam zij ini adalah 365 hari. Maka setelah pencantuman tahun-tahun tertentu kemudian nilai pergerakan dalam satu bulan dan pada bagian baris terakhir berisi kekurangan 5 hari dalam satu tahun kemudian pergerakan harian dengan interval satu hari dan sepuluh hari. Pergerakan harian ini dari 1 sampai dengan 10 dan dari 10 sampai 20. Baris terakhir berisi pergerakan dalam satu jam.³⁸

Bilangan yang ada pada *zij* ini memakai aturan penomoran tanda zodiak, derajat, dan menit. Markas dalam pembuatan zij ini mengacu kepada kota konstantinopel dengan

³⁵E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 81.

³⁶E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 67.

³⁷Nachum Dershowitz dan Edward M. Reingold, *Calendrical Calculation*, New York : Cambridge University Press, 2008, hlm. 218.

³⁸E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 185

bujur 60.³⁹ Berbeda dengan kondisi sekarang setelah ditetapkan bujur 0° berada pada Greenwich dan bujur konstantinopel berada pada koordinat 28° 58' 33.66" BT.⁴⁰

2) Variabel Matahari

Pergerakan Matahari yang digunakan dalam *Zij* ini mengacu kepada pergerakan rata-rata hariannya. Pergerakan rata-rata hariannya yakni 0° 59' 8.33"'.⁴¹

Tabel 1. Nilai pergerakan Matahari berdasarkan tahun Persia

Tahunan					
tahun	Mean	Apogee	tahun	Mean	Apogee
851	8 ^b 4, 22	3 ^b 1, 59	60	11 ^b 15,40	0 ^b 0, 51
852	8 ^b 4, 7	3 ^b 2, 0	70	11 ^b 13,17	0 ^b 1, 0
853	8 ^b 3, 53	3 ^b 2, 1	80	11 ^b 10,53	0 ^b 1, 9
854	8 ^b 3 39	3 ^b 2, 2	90	11 ^b 8,30	0 ^b 1, 17
855	8 ^b 3, 42	3 ^b 2, 3	100	11 ^b 6, 6	0 ^b 1, 26
856	8 ^b 3, 10	3 ^b 2, 3	200	10 ^b 12,13	0 ^b 2, 51
857	8 ^b 2, 56	3 ^b 2, 4	300	9 ^b 18,20	0 ^b 4, 17
858	8 ^b 2, 41	3 ^b 2, 5	400	8 ^b 24,27	0 ^b 5, 43
859	8 ^b 2, 27	3 ^b 2, 6	500	8 ^b 0,34	0 ^b 7, 9
860	8 ^b 2, 13	3 ^b 2, 6	600	7 ^b 6, 41	0 ^b 8, 34
10	11 ^b 27,37	0 ^b 0, 9	700	6 ^b 12,47	0 ^b 10, 0
20	11 ^b 25,13	0 ^b 0, 17	800	5 ^b 18,54	0 ^b 11, 26
30	11 ^b 22,50	0 ^b 0 26	900	4 ^b 25, 1	0 ^b 12, 51
40	11 ^b 20,26	0 ^b 0, 34	1000	4 ^b 1, 8	0 ^b 14, 17
50	11 ^b 18, 3	0 ^b 0, 43			

Tabel 2. Nilai pergerakan Matahari berdasarkan Bulan Persia

BULANAN			
No	Bulan	Mean	Apogee
1	Farvardin	0 ^b 0, 0	0 ^b 0, 0
2	Ordibehesht	0 ^b 29, 34	0 ^b 0, 0
3	Xordad	1 ^b 29, 8	0 ^b 0, 0
4	Tir	2 ^b 28, 42	0 ^b 0, 0
5	Mordad	3 ^b 28, 17	0 ^b 0, 0
6	Shahrivar	4 ^b 27, 51	0 ^b 0, 0
7	Mehr	5 ^b 27, 52	0 ^b 0, 0
8	Aban	6 ^b 26, 59	0 ^b 0, 1
9	Azar	7 ^b 26, 33	0 ^b 0, 1
10	Dey	8 ^b 26, 7	0 ^b 0, 1
11	Bahman	9 ^b 25, 42	0 ^b 0, 1
12	Esfad	10 ^b 25, 16	0 ^b 0, 1
	Lima Hari	11 ^b 24, 50	0 ^b 0, 1

³⁹E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 186.

⁴⁰Lihat <https://latitude.to/to/articles-by-country/tr/turkey/247/constantinopel.html> diakses pada tanggal 10 Juni 2019 hari Selasa jam 15.14 WIB

⁴¹Nilai ini didapatkan dari 360/365.2425. Mean position atau posisi rata-rata di istilahkan dalam *zij* dengan *wasat* dan *aopge* di istilahkan dengan *Auj*. Lihat Lihat Jamshid Ghiyat al-Din al-Kashi, *Nuzhat al-Hadaiq*, tt. Hlm. 259.

Tabel 3. Nilai pergerakan Matahari berdasarkan harian Persia

HARIAN		
Tanggal Persia	Mean	Apogee
1	0 ^b 0, 0	0 ^b 0, 0
2	0 ^b 0, 59	0 ^b 0, 0
3	0 ^b 1, 58	0 ^b 0, 0
4	0 ^b 2, 57	0 ^b 0, 0
5	0 ^b 3, 57	0 ^b 0, 0
6	0 ^b 4, 56	0 ^b 0, 0
7	0 ^b 5, 55	0 ^b 0, 0
8	0 ^b 6, 54	0 ^b 0, 0
9	0 ^b 7, 53	0 ^b 0, 0
10	0 ^b 8, 52	0 ^b 0, 0
10	0 ^b 9, 51	0 ^b 0, 0
20	0 ^b 19, 43	0 ^b 0, 0
JAM		
Satu jam	0 ^b 0, 2	0 ^b 0, 0

3) Variabel Bulan

Pergerakan Bulan yang digunakan dalam Zij ini adalah pergerakan *sideris*, *anomalistik*, dan *longitude of ascending node*.⁴²

Pergerakan sideris Bulan atau *Sidereal Month* merupakan pergerakan Bulan yang diukur dari titik refrensinya berupa bintang jauh atau dengan kata lain *fixed star to fixed star*. Durasi satu bulan sideris yakni 27.32166 atau 27 hari 7 Jam 43 Menit 12 detik. Sehingga pergerakan hariannya yakni $360/27.32166$ sama dengan $13^{\circ} 10' 34.89''$.⁴³

Pergerakan anomalistik Bulan atau *Anomalistic Month* yakni pergerakan Bulan yang diukur dari titik refrensi *Perige* atau durasi dari titik perige ke perige lagi. Durasi satu Bulan anomalistik yakni 27.55455 atau 27 hari 13 jam 18 menit 33 detik. Sehingga pergerakan hariannya yakni $360/27.55455$ sama dengan $13^{\circ} 3' 53.97''$.⁴⁴

Tabel 4. Zij al-kashi Pergerakan Bulan dalam tahunan

TAHUNAN			
Tahun	Mean	Anomali	Ω
851	6 ^b 1, 49	3 ^b 28, 46	9 ^b 24, 4
852	10 ^b 11, 12	6 ^b 27, 29	10 ^b 13, 24
853	2 ^b 20, 35	9 ^b 26, 12	11 ^b 2, 43
854	6 ^b 29, 58	0 ^b 24, 55	11 ^b 22, 3

⁴²Dalam zij al-Kashi pergerakan sideris Bulan di istilahkan dengan wasat, lalu pergerakan anomalistik di istilahkan dengan khasah dan longitude of ascending node di istilahkan dengan *al-uqdah*. Lihat Jamshid Ghiyat al-Din al-Kashi, *Nuzhat al-Hadaiq*, tt. hlm. 259.

⁴³Ralph B. Roncoli, *Lunar Constants and Models Document*, California : California institute Jet Propulsion Laboratory, 2005, hlm. 9.

⁴⁴*Ibid.*

855	11 ^b 9, 20	3 ^b 23, 38	0 ^b 11, 23
856	3 ^b 18, 44	6 ^b 22, 22	1 ^b 0, 43
857	7 ^b 28, 7	9 ^b 21, 5	1 ^b 20, 2
858	0 ^b 7, 30	0 ^b 19, 49	2 ^b 9, 22
859	4 ^b 16, 53	3 ^b 18, 31	2 ^b 28, 42
860	8 ^b 26, 16	6 ^b 17, 14	3 ^b 18, 1
10	7 ^b 3, 51	5 ^b 17, 11	6 ^b 13, 17
20	2 ^b 7, 4 (2)	11 ^b 4, 23	0 ^b 26, 35
30	9 ^b 11, 33	4 ^b 21, 34	7 ^b 9, 52
40	4 ^b 15, 24	10 ^b 8, 46	1 ^b 23, 9
50	11 ^b 19, 15	3 ^b 25, 57	8 ^b 6, 26
60	6 ^b 23, 4	9 ^b 13, 9	2 ^b 19, 43
70	1 ^b 26, 58	3 ^b 0, 20	9 ^b 3, 0
80	9 ^b 0, 49	8 ^b 17, 32	3 ^b 16, 17
90	4 ^b 4, 40	2 ^b 4, 43	9 ^b 29, 35
100	11 ^b 8, 31	7 ^b 21, 55	4 ^b 12, 52
200	10 ^b 17, 1	3 ^b 13, 49	8 ^b 25, 43
300	9 ^b 25, 32	11 ^b 5, 44	1 ^b 8, 35
400	9 ^b 4, 3	6 ^b 27, 38	5 ^b 21, 27
500	8 ^b 11, 34	2 ^b 19, 33	10 ^b 4, 19
600	7 ^b 21, 5	10 ^b 11, 28	2 ^b 17, 10
700	6 ^b 29, 35	6 ^b 3, 22	7 ^b 0, 2
800	6 ^b 8, 6	1 ^b 25, 17	11 ^b 12, 54
900	5 ^b 16, 37	9 ^b 17, 12	3 ^b 25, 46
1000	4 ^b 25, 7	5 ^b 9, 6	8 ^b 8, 37

Tabel 5. Pergerakan Bulan dalam hitungan bulan Persia.

BULANAN				
No	Bulan	Mean	Anomali	Ω
1	Farvardin	0 ^b 0, 0	0 ^b 0, 0	0 ^b 0, 0
2	Ordibehesht	1 ^b 5, 18	1 ^b 1, 57	0 ^b 1, 35
3	Xordad	2 ^b 10, 35	2 ^b 3, 54	0 ^b 3, 11
4	Tir	3 ^b 15, 53	3 ^b 5, 51	0 ^b 4, 46
5	Mordad	4 ^b 21, 10	4 ^b 4, 48	0 ^b 6, 21
6	Shahrivar	5 ^b 26, 27	5 ^b 9, 45	0 ^b 7, 57
7	Mehr	7 ^b 1, 45	6 ^b 11, 42	0 ^b 9, 32
8	Aban	8 ^b 7, 3	7 ^b 13, 39	0 ^b 11, 30
9	Azar	9 ^b 12, 20	8 ^b 15, 36	0 ^b 12, 42
10	Dey	10 ^b 17, 36	9 ^b 17, 33	0 ^b 14, 18
11	Bahman	11 ^b 22, 35	10 ^b 19, 30	0 ^b 15, 53
12	Esfand	0 ^b 28, 13	11 ^b 21, 27	0 ^b 17, 18
	Lima hari	2 ^b 3, 30	0 ^b 23, 24	0 ^b 19, 4

Tabel 6. Pergerakan Bulan dalam harian dan jam

Harian			
Tanggal	Mean	Anomali	Ω
1	0 ^b 0, 0	0 ^b 0, 0	0 ^b 0, 0
2	0 ^b 13, 11	0 ^b 13, 4	0 ^b 0, 3
3	0 ^b 26, 21	0 ^b 26, 8	0 ^b 0, 6
4	1 ^b 9, 32	1 ^b 9, 12	0 ^b 0, 10
5	1 ^b 22, 42	1 ^b 22, 16	0 ^b 0, 13
6	2 ^b 5, 53	2 ^b 5, 19	0 ^b 0, 16
7	2 ^b 19, 3	2 ^b 18, 23	0 ^b 0, 19
8	3 ^b 2, 14	3 ^b 1, 27	0 ^b 0, 22
9	3 ^b 15, 25	3 ^b 14, 31	0 ^b 0, 25
10	3 ^b 28, 35	3 ^b 27, 35	0 ^b 0, 29
10 (Puluhan)	4 ^b 11, 46	4 ^b 10, 39	0 ^b 0, 32
20	8 ^b 23, 32	8 ^b 21, 58	0 ^b 1, 4
JAM			

Jam	Mean	Anomali	Ω
Satu jam	0 ^b 0, 33	0 ^b 0, 33	0 ^b 0, 0

4) Variabel Planet

Planet dalam zij ini berisi superior Planet dan inferior Planet.

5) Tinjauan Umum dalam pembuatan Zij al-kashi

Secara umum zij al-Kashi dalam instrumen ini dibuat berdasarkan perkalian pergerakan harian Bulan maupun Matahari dengan lama hari dalam satu tahun dan bilangan tahun. Sebagai contoh untuk tahun 10 dalam penentuan posisi Matahari, nilai mean atau *wasath* dihitung dengan cara $10 \times 365 \times 0^\circ 59' 8.33''$. Hasil perkalian ini merupakan nilai *wasath* atau mean untuk tahun ke 10. Tahun ke 10 bernilai $357^\circ 36' 55.45''$ sedangkan dalam zij ditulis $11b 27^\circ 37'$.

Langkah ini digunakan juga untuk menghitung wasat, khasah, al-uqdah dari data Bulan pada zij ini. Untuk tahun-tahun 851-860 merupakan tahun yang berisi nilai *true position* atau nilai sebenarnya dari tahun tersebut setelah dikoreksi. Kemudian perlu dicatat juga tahun 851 penanggalan ini sama dengan 16 November 1481 M, untuk nilai pergerakan rata-rata pada tahun tersebut terdapat kekeliruan sebesar 10° .⁴⁵

6) Cara mengoperasikan Zij

Sebagaimana penjeleasan diatas bahwa zij ini berfungsi untuk menentukan posisi rata-rata dari Matahari, Bulan, dan Planet-planet. Langkah-langkah menggunakan zij tersebut adalah sebagai berikut :⁴⁶

- a. Tentukan waktu yang dicari dalam kalender Persia
- b. Jika tahun yang dicari adalah tahun-tahun yang tertulis secara eksplisit di tabel (*Zij*), ambillah tahun tersebut secara tepat pada tabel tersebut.
- c. Jika tahun yang dicari tersebut adalah sebelum atau sesudah dari tahun-tahun yang ada di tabel, maka ambillah tahun pada 10 baris pertama dan jumlahkan dengan kelebihan tahun pada tabel sesuai dengan jumlah tahun yang dicari.

⁴⁵Selisih ini didapatkan dari membandingkan nilai bujur ekliptika sebenarnya pada zij ini dengan perhitungan Jean Meeus.

⁴⁶E.S. Kennedy, *The Planetary Equatorium...*, hlm. 81-85.

- d. Setelah mendapatkan tahun yang dicari, selanjutnya carilah bulan dan hari pada tabel (*Zij*). Kemudian tambahkan nilai pada bulan dan hari tersebut ke nilai pada tahun yang telah di dapatkan sebelumnya, sehingga posisi rata-rata benda langit didapatkan dari penjumlahan tahun, bulan dan hari. nilai yang di dapatkan ini mengacu pada siang hari di Konstantinopel yang menjadi markas *Zij* (bujur Konstantinopel yakni 60°).
- e. Kemudian apabila diinginkan pada garis bujur selain konstantinopel (60°), maka carilah selisih (jumlah) antara garis bujur yang diinginkan dengan bujur Konstantinopel (jika bujur konstantinopel lebih besar maka nilai bujur konstantinopel dikurangi dengan nilai bujur tujuan dan jika bujur tujuan lebih besar maka bujur tujuan dikurangi dengan nilai bujur konstantinopel). Nilai selisih ini dijadikan berbentuk jam dan menit (dibagi dengan 15), kemudian dikalikan dengan nilai pergerakan selama satu jam. Dan meningkat dengan produk hasil gerakan rata-rata untuk siang hari dari bujur 60 jika garis bujur yang diinginkan lebih sedikit dan menguranginya jika lebih.
- f. kemudian jika diinginkan pada waktu selain siang, tentukan jam dan menit yang berlalu setelah siang atau waktu yang tersisa sampai siang, nilai tersebut dikalikan dengan gerakan rata-rata dalam satu jam. Kemudian hasilnya ditambahkan ke nilai point (e) jika waktu tersebut setelah tengah hari dan dikurangi ke nilai point (e) jika sebelum tengah hari. hasilnya akan menjadi nilai rata-rata pada waktu yang diinginkan.
- g. Nilai rata-rata Matahari adalah persis dengan nilai rata-rata dua *inferior planet* dan sama dengan nilai rata-rata anomali dari masing-masing *superior Planet*. Nilai rata-rata Matahari ini juga sama dengan nilai anomali majmuk (*compound anomaly*) superior planet. Kemudian karena nilai rata-rata Matahari tersebut persis sama dengan nilai rata-rata *inferior planet*, kita belum memasukkan nilai rata-rata bujur mereka dalam tabel (*Zij*) dan sebagai gantinya kita telah menulis nilai anomali majemuk (*compound anomaly*) mereka.⁴⁷

⁴⁷ *Ibid.*

Rekomputasi Zij al-Kashi Versi Modern berbasis Julian Day dan Epoch J2000

Rekomputasi zij al-Kashi berarti menghitung ulang dan memodifikasi tabel astronomi yang terdapat dalam instrumen ini. Modifikasi ini disebabkan karena beberapa kelemahan zij al-Kashi yakni terletak dari epoch yang dipakai, basis penanggalan, dan koreksi dari rata-rata ke nilai sesungguhnya menggunakan geometri sederhana. Tiga hal ini akan diperbaiki dengan menggunakan basis penanggalan Julian day, epoch J2000 (epoch terbaru) dan koreksi-koreksi berdasarkan pergerakan bulan dalam teori astronomi modern.

1. Pengembangan model *zij* pada instrumen *thabaq al-manatiq* berbasis Epoch J2000

a. Zij untuk Mencari Posisi Matahari (*true ecliptic longitude*)

Dalam teori VSOP-87⁴⁸ untuk penentuan posisi Matahari terdapat ribuan suku koreksi untuk mengkoreksikan posisi rata-rata Matahari begitu juga dengan Jean Meeus dengan ratusan suku koreksi yang merupakan reduksi atau pemangkasan dari VSOP-87, namun dalam hal ini penulis menggunakan satu koreksi yakni koreksi *equation of center*.

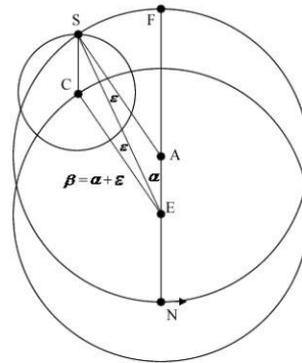
Equation of center sebenarnya sudah dipakai untuk mencari posisi Matahari sejak masa Yunani Kuno. Hipparchus dan Ptolomeus menggunakan istilah *prostaphaeresis* sebagai *equation of center*, meskipun astronom pada zaman ini memahami geometri dari pergerakan Planet tidaklah sama.⁴⁹ Pada masa ini orbit pergerakan benda langit dipahami sepenuhnya berbentuk lingkaran. Sehingga hal ini membuat nilai *prostaphaeresis* atau *equation of center* kurang akurat.⁵⁰

⁴⁸VSOP-87 merupakan algoritma untuk menghitung posisi Matahari dengan ketelitian sangat tinggi dengan ketelitian 0.01'' detik busur. Suku koreksi untuk penentuan posisi Bumi yakni 2425 komponen periodik. VSOP merupakan singkatan dari *Variations Seculaires des Orbites Planetaires*. Lihat Jean Meeus, *astronomical algorithm*, Virginia: Willmann-Bell, 1991, hlm. 123.

⁴⁹Jhon Narrien, *An Historical Account of the origin and Progress of Astronomy*, London : Baldwin, 1833, hlm. 230-231.

⁵⁰Douglas W. MacDougal, *Newton's Gravity*, New York: Springer, 2012, hlm. 59.

Gambar 4. Geometri teori Pergerakan Matahari Ptolomeus. Sudut ε disebut *prostaphaeresis* dan sudut α merupakan posisi Matahari dilihat dari Bumi.



Dalam terminologi Modern, *Equation of center* merupakan perbedaan sudut antara posisi sebenarnya benda langit pada orbit ellips dengan posisi pada orbit lingkaran dengan periode yang sama. Dengan kata lain, persamaan *equation of center* didefinisikan sebagai perbedaan true anomaly (V) dikurangi anomali rata-rata (M) dinotasikan ($V - M$) dan biasanya dinyatakan dengan fungsi mean anomaly (M) dan orbital eccentricity (e).⁵¹

Istilah *equation* secara spesifik digunakan oleh Kepler dengan makna kuantitas variabel yang ditentukan dari perhitungan dengan cara menambahkan atau mengurangi dari nilai pergerakan rata-rata untuk mendapatkan pergerakan sebenarnya. Istilah *equation of center* memiliki makna yang mirip dengan *equation of time*.⁵²

Pada kasus eksentrisitas yang kecil, posisi sebenarnya benda langit dapat secara langsung ditemukan hanya dengan mengetahui nilai *equation of center*,

⁵¹David A vallado, *Fundamentals of Astrodynamics and Applications*, United States: Microcosm Press, 2001, hlm. 82.

⁵²David A vallado, *Fundamentals...*, hlm.

metode ini dapat dibidang cukup akurat⁵³ walaupun diistilahkan oleh Jean Meeus dengan *Low Accuracy*.⁵⁴

1) Zij Mencari Posisi Rata-Rata Matahari

Pembuatan zij untuk mencari posisi rata-rata Matahari didasarkan pada pergerakan harian dan anomali rata-rata Matahari. Pergerakan harian Matahari sebesar 0.98564735 atau 0°59'8.33" dan pergerakan anomali rata-rata 0.98560025 atau 0°59'8.16".⁵⁵

Nilai untuk pergerakan harian dan anomaly Matahari diatas merupakan data orbit elemen Kepler untuk Matahari untuk epoch J2000 (12:00 UT, 1 Januari, 2000 yang berkoresponden dengan T0= 2451545.0 JD). Elemen-elemen ini akan optimal untuk digunakan pada rentang waktu 1800 sampai 2050.⁵⁶Zij untuk mencari posisi rata-rata Matahari terdapat pada **Lampiran 1a**⁵⁷.

2) Koreksi *Equation of Center*

Tabel koreksi equation of center pada **Lampiran 1b**⁵⁸.

3) Mencari bujur ekliptika Matahari (*True Ecliptic Longitude of Sun*)

Untuk menentukan bujur ekliptika sebenarnya dengan metode ini digunakan rumus :

$$\lambda = \check{\gamma} + q \text{ (Persamaan 1)}$$

Keterangan :

λ = bujur ekliptika Matahari sebenarnya (true ecliptic longitude of Sun)

$\check{\gamma}$ = bujur rata-rata ekliptika Matahari didapatkan dari **lampiran 1a**.

q = equation of center didapatkan dari **lampiran 1b**.

b. Zij untuk mencari Posisi Bulan

Pergerakan Bulan secara prinsip ditentukan oleh dua benda langit yakni Bumi dan Matahari. Walaupun jarak Bulan ke Bumi lebih dekat dari Bulan ke Matahari tetapi orbit dari Bulan mengelilingi Bumi lebih kuat dipengaruhi oleh

⁵³Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta: UGM, 2012, hlm. 68.

⁵⁴Jean Meeus, *astronomical algorithm*, Virginia: Willmann-Bell, 1991, hlm. 151.

⁵⁵Lihat Jet Propulsion Laboratory (NASA), <http://ssd.jpl.nasa.gov/> diakses pada hari sabtu 18 Mei 2019 pukul 20.00 WIB.

⁵⁶*Ibid.*

⁵⁷https://drive.google.com/file/d/1U_nPBEmZLFxqTMyRu5LYaG-oOG1UFju3/view?usp=sharing

⁵⁸https://drive.google.com/file/d/1U_nPBEmZLFxqTMyRu5LYaG-oOG1UFju3/view?usp=sharing

gravitasi Matahari. Hal ini disebabkan karena Massa Matahari jauh lebih besar dari Massa Bumi, sehingga gaya tarik (gravitasi) Matahari lebih besar ke Bulan dari pada Bumi.⁵⁹

Bulan memiliki bentuk orbit ellips dengan eksentrisitas sebesar $e = 0.055$ dan inklinasi sebesar 5.1° . Periode orbit Bulan dari perige ke perige (disebut anomalistik Bulan) sekitar 27.55 hari. Periode anomalistik Bulan kurang dua (2) hari antara fase bulan baru ke bulan baru selanjutnya yang disebut bulan sinodis dengan durasi 29.53 hari.⁶⁰

Karena Pengaruh gravitasi Matahari yang besar, pergerakannya yang cepat relatif dilihat dari Bumi dan nilai eksentrisitas Bulan yang cukup besar, maka suku koreksi untuk menentukan posisi Bulan dengan ketelitian sangat akurat sampai ribuan suku koreksi untuk algoritma ELP-2000⁶¹ dan ratusan suku koreksi untuk algoritma Jean Meeus⁶².

Namun untuk melakukan rekomputasi modern Zij al-kashi, penulis menggunakan enam gerakan utama Bulan yakni *major inequality*, *evection*, *variation*, *annual inequality*, *reduction to the ecliptic*, dan *parallactic inequality*.⁶³ Enam suku koreksi ini merupakan model sederhana dari teori pergerakan Bulan modern dan dikembangkan oleh Ernest W. Brown.⁶⁴

1) Zij Untuk Mencari Posisi Rata-rata Bulan

Dalam rangka menentukan bujur dan lintang sebenarnya dari Bulan, diperlukan beberapa parameter atau komponen yakni pergerakan rata-rata Bulan, anomali rata-rata Bulan, dan rata-rata *argument of latitude moon*.

⁵⁹Oliver Motenbruck, *Astronomy on the Personal Computer*, New York: Springer, 2000, hlm. 151.

⁶⁰Oliver Motenbruck, *Astronomy...*, hlm. 151.

⁶¹ELP-2000 merupakan singkatan dari *Ephemerides Lunaires Parisiennes* yang mendeskripsikan teori peredaran Bulan baru dan menjabarkan keakuratan perhitungannya. Lihat Jean Meeus, *astronomical algorithm...*, hlm. 260.

⁶²Jean Meeus, *Astronomical Algorithm*, hlm. 309.

⁶³Lihat Jhon Couch Adams, *Lectures on The Lunar Theory*, London : Cambridge University Press, 1900, hlm. 18-40.

⁶⁴Lihat Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langi*, hlm. 99.

Zij al-Kashi menggunakan beberapa komponen yakni pergerakan rata-rata Bulan, anomali rata-rata Bulan, dan *longitude of ascending node*. Antara komponen untuk zij terbaru dan zij al-Kashi lama terdapat hanya satu perbedaan komponen yakni pemakaian *argument of latitude*. Sebenarnya antara zij terbaru dan lama tidak ada perbedaan secara prinsip, karena dari *longitude of ascending node* dapat ditentukan nilai *argument of latitude moon*. persamaan yang digunakan yakni :⁶⁵

$$F = L - \Omega \text{ (persamaan 2)}$$

Keterangan :

F = *argument of latitude moon*

L = pergerakan rata-rata Bulan

Ω = *longitude of ascending node*

Untuk memproduksi komponen yang dibutuhkan, terlebih dahulu dibutuhkan data pergerakan satu bulan anomalistik, sidereal, dan drakonik. Satu bulan anomalistik (perige ke perige) berdurasi 27.55455 atau 27 hari 13 jam 18 menit 33 detik, kemudian satu bulan sideris (fixed star to fixed star) berdurasi 27.32166 atau 27 hari 7 jam 43 menit 12 detik dan satu bulan drakonik (*node to node*) berdurasi 27.21222 atau 27 hari 5 jam 5 menit 36 detik.⁶⁶ Tabel untuk mencari posisi rata-rata Bulan dapat dilihat pada **Lampiran 2**⁶⁷.

2) Model koreksi pergerakan Bulan

Pengembangan zij pada instrumen thabaq al-manatiq dilakukan berdasarkan lima gerakan bulan yang utama yakni :

a) *Major inequality* atau Bentuk orbit Bulan

Koreksi yang pertama *major inequality* tidak berhubungan dengan pengaruh Matahari, tetapi semata-mata disebabkan karena bentuk orbit bulan yang ellips. Karena eksentrisitas orbit Bulan, bulan bervariasi hingga 6.3° dari posisi rata-rata. Persamaan *major inequality* mengikuti persamaan *equation of center* dari orbit planet.⁶⁸

⁶⁵Richard Fitzpatrick, *A Modern Almagest*, Austin : University Of Texas, 2004, hlm. 91.

⁶⁶Ralph B. Roncoli, *Lunar Constants and Models Document*, California : California institute Jet Propulsion Laboratory, 2005, hlm. 9.

⁶⁷https://drive.google.com/file/d/1U_nPBEmZLFxqTMyRu5LYaG-oOG1UFju3/view?usp=sharing

⁶⁸ Oliver Motenbruck, *Astronomy...*, hlm. 152.

Nilai dari *major inequality* ditentukan dari nilai anomali Bulan. Anomali Bulan mewakili percepatan Bulan ketika jaraknya dari Bumi berkurang saat bergerak ke arah perigee dan kemudian melambat saat jaraknya dari Bumi meningkat saat bergerak menuju apogee. Ketidaksamaan elips ini merupakan gangguan pergerakan Bulan yang paling besar. Nilai ini dapat dilihat dari tabel pada **lampiran 3a**⁶⁹.

b) *Evection* atau Eveksi

Evection atau eveksi merupakan ketidaksetaraan terbesar yang dihasilkan oleh gangguan Matahari dalam revolusi Bulan mengelilingi Bumi selama satu Bulan. Gangguan Eveksi pada pergerakan Bulan sudah ditemukan pada zaman terlebih dahulu oleh Ptolomeus yang disebut dengan anomaly kedua Bulan.

Eveksi ini menyebabkan garis bujur ekliptika Bulan bervariasi sekitar 1.274° (derajat) dengan periode sekitar 31.8 hari. *Evection* pada longitude dinyatakan dengan persamaan $+4586.45'' \sin(2D - M')$. Dimana D merupakan elongasi rata-rata Bulan dari Matahari dan M' merupakan anomali rata-rata Bulan. Nilai koreksi eveksi dapat dilihat dari tabel pada **lampiran 3b**⁷⁰.

c) *Variation* atau Variasi

Variasi Bulan adalah salah satu gangguan utama dalam gerakan Bulan. Variasi ini ditemukan oleh Tycho Brahe yang memperhatikan ketika gerhana gerhana Bulan terjadi pada Desember 1590, kecepatan gerak Bulan yang tampak di sepanjang orbitnya terlihat di latar belakang bintang lebih cepat dari yang diperkirakan. Di sisi lain, pada saat kuartal pertama dan terakhir, kecepatannya lebih lambat dari yang diharapkan.⁷¹

Variasi merupakan percepatan Bulan ketika mendekati bulan baru dan bulan purnama dan melambat ketika mendekati kuartal pertama dan terakhir. Variasi ini disebabkan oleh gaya tarik Matahari dan salah satu efeknya adalah mengubah orbit Bulan dengan cara yang praktis berbentuk elips. Dengan pusat elips ditempati oleh

⁶⁹https://drive.google.com/file/d/1U_nPBEmZLFxqTMyRu5LYaG-oOG1UFju3/view?usp=sharing

⁷⁰https://drive.google.com/file/d/1U_nPBEmZLFxqTMyRu5LYaG-oOG1UFju3/view?usp=sharing

⁷¹*Ibid.*

Bumi dan sumbu utama tegak lurus terhadap garis yang ditarik antara bumi dan Matahari. penjelasan gravitasinya dengan estimasi kuantitatif pertama kali diberikan oleh Newton.⁷²

Variasi memiliki periode setengah bulan sinodis dan menyebabkan bujur ekliptika Bulan bervariasi hampir dua pertiga derajat, lebih tepatnya dengan $+2370''$ sin (2D), dimana D adalah elongasi rata-rata Bulan dari Matahari.⁷³ nilai untuk koreksi variasi dapat dilihat pada **lampiran 3c**⁷⁴.

d) *Annual inequality* atau Persamaan tahunan

Persamaan tahunan ditemukan oleh Tycho Brahe, secara kualitatif dijelaskan oleh Newton dalam hal bahwa orbit Bulan menjadi sedikit diperluas dalam ukuran dan lebih lama dalam periode ketika Bumi berada pada perihelion yang paling dekat dengan Matahari pada awal Januari karena efek gangguan Matahari paling besar waktu ini. kemudian sedikit berkontraksi dalam ukuran dan lebih pendek pada periode ketika Matahari paling jauh di awal Juli, sehingga efek gangguannya lebih lemah.⁷⁵

Oleh karena itu, nilai untuk gangguan *annual inequality* pada Bulan ditentukan dari nilai anomali rata-rata Matahari. nilainya dapat dilihat pada **lampiran 3d**⁷⁶.

e) *Reduction to ecliptic* atau Kemiringan orbit Bulan

Reduksi ke ekliptik merupakan efek geometris dari pengekspresian gerak Bulan dalam garis bujur di bidang ekliptika, meskipun gerakannya benar-benar terjadi di bidang orbit bulan dengan kemiringan sekitar 5 derajat.⁷⁷

Pada abad ke-18, gangguan posisi Bulan pada garis bujur menggunakan sekitar 25-30 suku koreksi dengan trigonometri. Namun pada abad ke-19 dan ke-

⁷²Jhon Couch Adams, *Lectures on The Lunar Theory...*, hlm. 42.

⁷³*Ibid.*

⁷⁴https://drive.google.com/file/d/1U_nPBEmZLFxqTMyRu5LYaG-oOG1UFju3/view?usp=sharing

⁷⁵ Oliver Motenbruck, *Astronomy...*, hlm. 153.

⁷⁶https://drive.google.com/file/d/1U_nPBEmZLFxqTMyRu5LYaG-oOG1UFju3/view?usp=sharing

⁷⁷Jhon Couch Adams, *Lectures on The Lunar Theory...*, hlm. 44.

20 menghasilkan rumusan teori yang sangat berbeda, sehingga istilah-istilah trigonometri sebelumnya tidak berlaku. Jumlah suku koreksi yang diperlukan untuk menentukan posisi Bulan yang dicari pada awal abad kedua puluh adalah lebih dari 1400 koreksi dan jumlah suku koreksi yang diperlukan untuk meniru akurasi integrasi numerik modern berdasarkan pengamatan rentang laser ada dalam puluhan ribu. Sebenarnya tidak ada batasan untuk peningkatan jumlah persyaratan yang dibutuhkan karena persyaratan akurasi meningkat. Nilai untuk koreksi ini dapat dilihat pada **lampiran 3e**⁷⁸.

f) *Paralactic inequality* atau Ketidaksamaan paralaks

Ketidaksamaan paralaks pertama kali ditemukan oleh Newton, membuat gangguan variasi (yang ditemukan Tycho Brahe) sedikit asimetris sebagai akibat dari jarak terbatas dan paralaks Matahari yang tidak bernilai nol. Efek dari ketidaksamaan paralaks adalah Bulan sedikit tertinggal di kuartal pertama dan sedikit di depan pada kuartal terakhir.⁷⁹

Komponen untuk mendapatkan nilai ketidaksamaan paralaks adalah elongasi rata-rata Bulan dari Matahari. Persamaannya adalah $-125'' \times \sin(D)$.⁸⁰

3) Mencari *true ecliptic longitude of Moon*

Metode untuk mencari nilai true ecliptic longitude of Moon yakni dengan persamaan :

$$L = L_{rata-rata} + q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + 3.5/60 \text{ (Persamaan 3)}$$

Keterangan :

L	bujur ekliptika Bulan sebenarnya
$L_{rata-rata}$	bujur ekliptika rata-rata Bulan yang diperoleh melalui lampiran 2 .
q_1	koreksi <i>Major Inequality</i>
q_2 terkoreksi	koreksi <i>Evection</i>
q_3	koreksi <i>Variation</i> dan <i>Parallactic inequality</i>

⁷⁸https://drive.google.com/file/d/1U_nPBEmZLFxqTMyRu5LYaG-oOG1UFju3/view?usp=sharing

⁷⁹Oliver Motenbruck, *Astronomy...*, hlm. 153

⁸⁰*Ibid.*

q_4 terkoreksi	koreksi <i>reduction to ecliptic</i>
q_5	koreksi <i>annual inequality</i>

Q2 yang didapatkan dari tabel merupakan nilai rata-rata yang perlu ditambahkan dengan persamaan dibawah ini :

$$226 * \sin (2D-M-M') - 158 * \sin (M-M') + Q2$$

Kemudian nilai q4 yang didapatkan dari tabel juga perlu ditambahkan dengan persamaan :

$$197 * \sin(2*(D-M')) + 83 * \sin(M' - 2*(F)) - 95 * \sin(D + 2*(F)) + q4$$

4) Mencari *true Ecliptic latitude of the moon*

Untuk mencari true ecliptic latitude of the moon atau lintang ekliptika sebenarnya dari Bulan menggunakan persamaan :

$$\sin \beta = \sin 5.1^\circ * \sin F \text{ (persamaan 4)}$$

Keterangan :

β = lintang ekliptika Bulan sebenarnya

5.1° = inklinasi Bulan terbesar

F = *argument of latitude the moon* sebenarnya didapatkan dengan cara $F + q1 + q2 + q3 + q4 + q5$.

Metode Hisab Awal Bulan Kamariah Dengan *Zij Al-Kashi Termodifikasi/ Modern*

1) Menghitung tanggal ijtimak UT dengan persamaan dibawah ini :

$$JD = \text{Int} (\text{Tahun tam} * 354.36666667 + \text{umur bulan} - 1 + 1948438.5)$$

(Persamaan 5)

Persamaan 5 menghasilkan JD tanggal ijtimak yang bersesuaian untuk bujur 0 atau Greenwich. Untuk mengkonversi ke waktu daerah tertentu maka diperlukan perhtungan selisih bujur ekliptika Bulan dan Matahari dibagi dengan kecepatan pergerakan bulan harian (persamaan). Umur bulan yang dipakai adalah bulan ke-2 =30, bulan ke-3 =59, Bulan ke-4 = 89, bulan ke-5 = 118, bulan ke-6 =148, bulan ke-7 = 177,

bulan ke-8 = 207, bulan ke-9 = 236, bulan ke-10 = 266, bulan ke-11 = 295, bulan ke-12 = 325, bulan ke-1 = 354.

2) Menghitung waktu Terbenam Matahari di tempat lokasi perhitungan.
Langkahnya sebagai berikut :

- a. Hitung JD untuk tanggal yang dicari dengan lampiran konversi JD.
- b. Hitung selisih JD (ΔT) tanggal tersebut dengan JD2000
- c. Lihat nilai selisih ini pada lampiran 1a.
- d. Lampiran satu berisi ΔT tanpa desimal. Untuk mendapatkan nilai desimalnya, kalikan dengan nilai pergerakan harian.
- e. Hitung bujur ekliptika sebenarnya dengan persamaan 1. Equation of center diambil dari nilai anomali Matahari.

f. Hitung ketinggian Matahari saat ghurub

$$h = (0.0293334 * SQRT(ketinggian) + 0.266667 + 0.566667)$$

(Persamaan 6)

g. Hitung deklinasi Matahari

$$\sin \delta = \sin \lambda * \sin 23.439257$$

(Persamaan 7)

h. Hitung sudut waktu Matahari

$$\cos t = \sin h / \cos \delta - \tan \lambda * \tan \delta \text{ (persamaan 8)}$$

i. Waktu ghurub

$$12 + t/15 - \text{equation of time} + (Bt^d - Bt^x) / 15. \text{ (Persamaan 9)}$$

3) Menentukan bujur ekliptika Matahari dan Bulan beserta lintang ekliptika Bulan sebenarnya pada waktu ghurub.

- a. Menghitung bujur ekliptika Matahari saat tertentu, caranya sama dengan pada saat menghitung waktu ghurub.
- b. Menghitung bujur ekliptika Bulan yakni *pertama*, dengan menghitung selisih JD tanggal dicari dengan JD2000. Lihat nilai selisih pada **lampiran 2a** untuk mendapatkan posisi Rata-rata. *Kedua*, hitung nilai bujur ekliptika sebenarnya dari Bulan dengan **persamaan 3**. q_1 diambil dari nilai anomali Bulan. q_2 diambil dari nilai $2D - M'$ (D selisih Bujur ekliptika Bulan dan Matahari sedangkan M' yakni anomali Bulan). q_3 diambil dari nilai D. q_4

diambil dari nilai $2F$ (F yakni **argument of latitude moon**). q_5 diambil dari nilai anomali Matahari. $q_1 - q_5$ dilihat pada **lampiran 3a-3e**. ketiga, menghitung lintang ekliptika Bulan dengan persamaan 4.

4) Menghitung selisih bujur ekliptika Matahari sebenarnya dengan bujur ekliptika Bulan sebenarnya

5) Menghitung kecepatan elongasi harian

Rumus yang digunakan untuk menghitung kecepatan elongasi harian yakni:

$$V = 12.190749 + 1.434006 * \cos(M) + 0.280135 * \cos(2 * D) + 0.251632 * \cos(2 * D - M) \text{ (Persamaan 9)}$$

6) Menghitung waktu Ijtimak

Menghitung waktu ijtimak dengan persamaan :

$$\text{Waktu Ijtimak} = \text{Waktu ghurub} + \text{selisih bujur/ kecepatan elongasi}$$

(Persamaan 10)

7) Menghitung LST (Local Sidereal Time Matahari)

$$\text{LST Matahari} = \alpha \text{ (Aksensioekta)} + t \text{ (Sudut waktu)}$$

8) Menghitung aksensioekta dan Deklinasi Bulan dengan transformasi Koordinat ekliptika ke ekuator

Aksensioekta Bulan dicari dengan rumus :

$$\tan(\alpha) = (\sin(\lambda) * \cos(\epsilon) - \tan(\beta) * \sin(\epsilon)) / \cos(\lambda) \text{ (Persamaan 11)}$$

Deklinasi Bulan dicari dengan persamaan :

$$\sin(\delta) = \sin(\beta) \cos(\epsilon) + \sin(\lambda) \cos(\beta) \sin(\epsilon). \text{ (Persamaan 12)}$$

9) Menghitung sudut waktu Hilal saat ghurub dengan persamaan LST: Persamaan LST yakni:

$$\text{LST Matahari} = \text{LST Bulan}$$

Sehingga :

$$t_{\text{hilal}} = \alpha_{\text{matahari}} + t_{\text{matahari ghurub}} - \alpha_{\text{Bulan}} \text{ (Persamaan 13)}$$

10) Menghitung Tinggi Hilal dan Azimuth hilal

Tinggi hilal dicari dengan rumus :

$$\sin h = \sin(Lt) \sin(\delta) + \cos(Lt) \cos(\delta) \cos(t) \text{ (Persamaan 14)}$$

Azimuth Bulan dicari dengan rumus :

$$\cotan A = \tan \delta \cos Lt : \sin t - \sin Lt : \tan t. \text{ (Persamaan 15)}$$

Akurasi Zij al-Kashi Termodifikasi/ Modern

Uji akurasi dilakukan dengan cara komparasi dengan kitab *hakiki bi tahkik* dan kontemporer. Kitab yang dipilih untuk mewakili hisab hakiki bi tahkik adalah kitab Nurul Anwar karena model koreksinya memiliki kemiripan dengan zij al-kashi termodifikasi.⁸¹ Kesamaan ini dapat dilihat dari karakter koreksi dari masing-masing dalil, semisal yakni :

- a. Dalil awal dicari dari nilai anomali Bulan
- b. Dalil kedua dicari dari nilai elongasi
- c. Dalil ketiga dicari dari nilai anomali Matahari
- d. Dalil keempat dicari dari nilai argument of latitude
- e. Dalil kelima dicari dari hasil pengurangan (elongasi dikali dua dikurangi anomali Bulan)

Sedangkan hisab kontemporer diwakili oleh Jean Meeus karena algoritma yang dipakai merupakan reduksi dari teori ELP-2000 dan VSOP-87.

Selain persamaan diatas antara model terdapat beberapa perbedaan yakni:

- a. Basis penanggalan yang dipakai adalah Julian Day
- b. Epoch acuan J2000
- c. Model perhitungan Ijtimak
- d. Model perhitungan untuk data ephemeris Bulan⁸²
1. Uji akurasi *zij thabaq al-manatiq* termodifikasi dengan hisab *hakiki bi tahkik*⁸³ dan kontemporer

⁸¹Lihat Ahmad Fauzan, *Melacak Algoritma Hisab Awal Bulan Kamariah dalam kitab Nurul Anwar*, dalam Jurnal Penelitian Vol. 11, No. 1, Mei 2014. hlm. 75-92.

⁸²Ephemeris Bulan Merupakan Data yang berisi tentang Koordinat Bulan, Baik Koordinat Eklptika, Ekuator dan Horizon. Lihat Irfan Anwar dan Mahyudin Latuconsina, *Studi Komparasi Kriteria Awal Bulan Kamariah Kalender Fazilet dan Kriteria Mabims*, dalam Jurnal El-Falaky Vo. 7 No. 1 (2023) hlm. 130.

⁸³Hisab Hakiki bi Tahkik merupakan perhitungan Posisi Hilal berdasarkan Data Astronomis dan menggunakan ilmu ukur Segitiga Bola. Lihat Anugrah Reskiani dan Rahman Subhan, *Analisis Visibilitas Hilal Sebagai Acuan Penentuan Awal Bulan Kamariah*, dalam Jurnal El-Falaky Vol. 6. No. 1 (2022), hlm. 100.

Uji akurasi ini dilakukan pada tahun-tahun kritis. Disebut tahun-tahun kritis karena pada tahun-tahun ini ada hisab yang memiliki ketinggian hilal negatif dan positif. Ada juga yang telah menentukan sudah wujud diatas ufuk dan *imkan ar-rukyah*. Inilah mengapa pada tahun-tahun ini ketinggian hilal dianggap kritis.

a. Hasil perhitungan awal bulan ramadhan 1427 H/2006 M

Hasil	Zij al-Kashi modern	Nurul anwar	Jean Meeus
Waktu Ijtimak	22 September 2006.	23 September 2006	22 September 2006.
	18.39.7 WIB	18.45 WIB	18.45.2 WIB
Tinggi hilal	-1°41'06''	08° 32'	-1°43'36''
Ghurub	17.35.10		

b. Hasil perhitungan awal Bulan syawal 1427/ 2006

Hasil	Zij al-Kashi modern	Nurul anwar	Jean Meeus
Waktu Ijtimak	22 Oktober 2006	22 Oktober 2006	22 Oktober 2006
	12.10.39	121.09 WIB	12.14.03 WIB
Tinggi hilal	0°36'3''	0°58'	0°33'23'
Ghurub	17.32:35		

c. Hasil perhitungan awal bulan ramadhan 1428 H/2007

Hasil	Zij al-Kashi modern	Nurul anwar	Jean Meeus
Waktu Ijtimak	11 September 2007	13 September 2007	11 September 2007
	19.45.28	19.36 WIB	19.44.16 WIB
Tinggi hilal	-2°23'17''	8°41'	-2°21'21''
Ghurub	17.32.02		

d. Hasil perhitungan awal bulan syawal 1428 H/2007 M

Hasil	Zij al-Kashi modern	Nurul anwar	Jean Meeus
Waktu Ijtimak	11 Oktober 2007	11 Oktober 2007	11 Oktober 2007

	12.03.12 WIB	11.52 WIB	12.00.04 WIB
Tinggi hilal	0°22'30''	0°55'	0°22'19'
Ghurub	17.32.49		

e. Hasil perhitungan awal Bulan Syawwal 1432 H/ 2011 M

Hasil	Zij al-Kashi modern	Nurul anwar	Jean Meeus
Waktu Ijtimak	29 Agustus 2011	29 Agustus 2011	29 Agustus 2011
	10.04.53 WIB	9.57 WIB	10.04.03 WIB
Tinggi hilal	1°46'22'		1°51'53'
Ghurub	17.38.58		

f. Hasil perhitungan awal bulan Dzulhijjah 1439 H/2018 M

Hasil	Zij al-Kashi modern	Nurul anwar	Jean Meeus
Waktu Ijtimak	11 Agustus 2018	11 Agustus 2018	11 Agustus 2018
	17.15.52	16.57.37	16.57.37
Tinggi hilal	-0°39'02''	-0°46'	-0°27'59''
Ghurub	17.40.15		

Hasil dari komparasi ini terlihat bahwa zij al-kashi termodifikasi untuk penentuan waktu ijtimak berselisih dengan hisab kontemporer berselisih menit dan untuk ketinggian hilal juga berselisih menit. jika dibandingkan dengan hisab *hakiki bi tahkik* model nurul anwar pada pada tahun-tahun tertentu nilai zij al-kashi termodifikasi lebih unggul untuk waktu ijtimak dan ketinggian hilal. Namun secara pasti bahwa ketinggian hilal berdasarkan model zij al-Kashi termodifikasi selalu berada dekat dengan nilai hisab kontemporer. Dalam arti nilai ketinggian hilal hisab zij al-Kashi termodifikasi tidak pernah berbeda antara batas ketinggian hilal antara dibawah atau diatas ufuk. Sehingga, Zij al-kashi termodifikasi secara umum dapat dipakai sebagai salah satu alternatif dalam menghitung posisi hilal untuk penentuan awal bulan kamariah.

D. Kesimpulan

Zij al-kashi pada instrumen *Thabaq al-Manatiq* secara umum sudah memasukkan nilai pergerakan Bulan dan Matahari harian yang mendekati data

modern. Zij ini berbasis kepada penanggalan Persia dan diolah secara mekanis dengan instrument *Thabaq al-Manatiq*. Zij ini memiliki nilai posisi Bulan dan Matahari yang sebenarnya pada tahun 851-860 penanggalan Persia.

Epoch pembuatan zij ini adalah tahun 851 Persia atau 16 November 1481 M. Posisi Bulan dan Matahari pada tahun ini merupakan nilai sebenarnya. Penulis membandingkan nilai sebenarnya untuk posisi Bulan dan Matahari pada tanggal tersebut dan menemukan selisih sampai pada derajat busur, setelah membandingkan dengan posisi Matahari dan Bulan hisab Jean Meeus.

Penulis mengembangkan zij ini berdasarkan konsep pembuatan zij pada awalnya yakni dalam hal mencari posisi rata-rata pergerakan benda langit dengan cara mengalikan dengan selisih tahun yang dicari. Kemudian data-data pergerakan harian Bulan dan Matahari yang sudah medekatai kontemporer.

Pengembangan yang dilakukan penulis yakni basis penanggalan yang dipakai adalah Julian day, nilai pergerakan harian Bulan dan Matahari dan model koreksi untuk Bulan dan Matahari menggunakan tabel berdasarkan gangguan-gangguan utama dalam pergerakan Bulan dan Matahari. gangguan-gangguan utama dalam pergerakan Bulan yakni *Major inequality, Evection, Variation, Reduction to ecliptic, annual inequality* dan *Parallactic inequality* kemudian Matahari menggunakan koreksi *equation of center*. Setelah mengadopsi teori ini, zij al-kashi termodifikasi memiliki keakurasian yang cukup akurat jika dibandingkan dengan hisab kontemporer Jean Meeus. Selisih untuk jam ijtimak pada satuan menit dan tinggi hilal pada satuan menit. Secara umum ketinggian hilal yang dihasilkan menggunakan zij al-Kashi termodifikasi tidak pernah berselisih antara positif dan negatif, bahkan selisih dengan hisab kontemporer Jean Meeus tidak lebih dari 12 menit. Selisih ini disebabkan karena suku koreksi pada Jean Meeus lebih banyak dan tidak hanya mengacu pada lima gangguan pada gerakan Bulan diatas. Jika dibandingkan dengan hisab *hakiki bi tahkik* zij al-Kashi termodifikasi memiliki keunggulan pada ketinggian hilal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adams, Jhon, Couch *Lectures on The Lunar Theory*, London : Cambridge University Press, 1900.
- Andrew, Precious, *The Mathematics of the epicycloid : a historical journey with a modern perspective*, Thesis Master of Science Mathematics The University of New Mexico Agustus 2009.
- Anugraha, Rinto, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta: UGM, 2012.
- Azhari, Susiknan, *Hisab dan Rukyat*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2007.
- _____, *Ilmu Falak Teori dan Praktek*, Yogyakarta : Suara Muhammadiyah, 2004.
- _____, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2012.
- _____, *Selayang Pandang Hisab Rukyah*, Jakarta: BIMAS Islam, 2004.
- Badan Hisab dan Ru'yah Departemen Agama, *Almanak Hisab Rukyah*, Jakarta : Proyek Pembinaan Badan Peradilan Agama Islam, 2010.
- Bradley, Michael J., *The Age of Genius 1300 to 1800*, New York : Chelsea House, 2006.
- Dershowitz, Nachum, *Calendrical Calculation*, New York : Cambridge University Press, 2008.
- Depag RI, *Pedoman Perhitungan Awal*.
- Fitzpatrick, Richard, *A Modern Almagest*, Austin : University Of Texas, 2004.
- Hockey, Thomas, *Biographical Encyclopedia of Astronomer*, New york : Springer, 2007.
- Izzudin, Ahmad, *Fiqih Hisab Rukyat*, Jakarta: Erlangga, 2007.
- Jamshid Ghiyath al-Din al-Kashi, *Nuzhat al-Hadaiq, tt*.
- Juli Rakhmadi Butar-Butar, Arwin, *Khazanah Astronomi Islam Abad Pertengahan*, Purwokerto: UMP Press, 2016.
- Kennedy, Edwart Stewart, *The Planetarium Equatorium of Jamshid Ghiyath al-Din al-Kashi*, New Jersey : 1960.
- MacDougal, Douglas W., *Newton's Gravity*, New York: Springer, 2012.
- Masroeri, A. Ghazalie, *Pedoman Rukyah*, Lajnah Falakiyah PBNU, 2006.
- Meeus, Jean, astronomical algorithm, Virginia: Willmann-Bell, 1991.

- Motenbruck, Oliver, *Astronomy on the Personal Computer*, New York: Springer, 2000, hlm. 151.
- Nashirudin, Muhammad, *Kalender Hijriah Universal*, Semarang : El-Wafa, 2013.
- Narrien, Jhon, *An Historical Account of the origin and Progress of Astronomy*, London : Baldwin, 1833.
- Roncoli, Ralph B., *Lunar Constants and Models Document*, California : California institute Jet Propulsion Laboratory, 2005.
- Sabiq, Fairuz, *Telaah Metodologi Penetapan Awal Bulan Kamariah di Indonesia*, Tesis Pascasarjana IAIN Walisongo Semarang, 2007.
- Sadiq, Sriyatin, *Makalah Pelatihan dan Pendalaman Ilmu Falak*, Pascasarjana IAIN Walisongo Semarang tanggal 10-11 januari 2009.
- Shadiq, Sriyatin, *Perkembangan Hisab Rukyat dan Penetapan Awal Bulan Qamariyah dalam Menuju Kesatuan Hari Raya*, Surabaya: Bina Ilmu, 1995.
- Vallado, David A., *Fundamentals of Astrodynamics and Applications*, United States: Microcosm Press, 2001.
- **Jurnal**
- Aaboe, Asger, *Al-kashi Iteration Method for the determination of $\sin 1^\circ$* .
- Anugrah Reskiani dan Rahman Subhan, *Analisis Visibilitas Hilal Sebagai Acuan Penentuan Awal Bulan Kamariah*, dalam Jurnal El-Falaky Vol. 6. No. 1 (2022).
- Azarian, Mohammad K., *Al-Risala al-Muhitiyya: A Summary* dalam Missouri Journal of Mathematical Science Volume 22 no 2 Spring 2010.
- _____, *Meftah al-Hesab: A Summary* dalam Missouri Journal of Mathematical Science Volume 12 no 2 Spring 2000.
- Bagheri, Muhammad. *A Newly Found Letter of Al-Kashi on Scientific Life in Samarkand alam*, Artikel No. HM962145 dalam Jurnal Historia Matematica volume 24 tahun 1997.
- Irfan Anwar dan Mahyudin Latuconsina, *Studi Komparasi Kriteria Awal Bulan Kamariah Kalender Fazilet dan Kriteria Mabims*, dalam Jurnal El-Falaky Vo. 7 No. 1 (2023).
- Kennedy, Edwart Stewart, *On The Contents and Significance of the khaqani Zij By Jamshid Ghiyath al-Din n al-Kashi*, Islamic Mathematics and Astronomy Volume 84, 1998.
- _____, *A Fifteenth-Century Planetary Computer: al-Kashi's "Tabaq al-Manatiq" I Motion of the Sun and Moon in Longitude* dalam Chicago Journals: History of Science Society Vol. 41, No. 2 (Juli 1950).

_____, *A Fifteenth-Century Planetary Computer: al-Kashi's "Tabaq al-Manatiq" II Longitudes, Distances and Equations of the Planet* dalam *Chicago Journals: History of Science Society* Vol. 43, No. 1 (April 1952).

Jan P. Hogendijk, *al-Kashi Determination of π to 16 decimals in an old manuscript*, Germany : Strauss GmbH, 2009.

Mitkova, Maya, *al-Kashi Doubbed as Second Ptolemy*, dalam *Arab Times* tanggal 22 November 2013 hari Jumat.

Pederson, Olaf, review the book *the planetary equatorium of jamshid ghiyath al-din al-kashi with translation and commentary by E.S. Kennedy* dalam *journal of the American Oriental Society*, Vol. 83, No. 3 (Aug. – Sep., 1963).

- **Website**

<https://latitude.to/to/articles-bycountry/tr/turkey/247/constantinopol.html> diakses pada tanggal 10 Juni 2019 hari Selasa jam 15.14 WIB

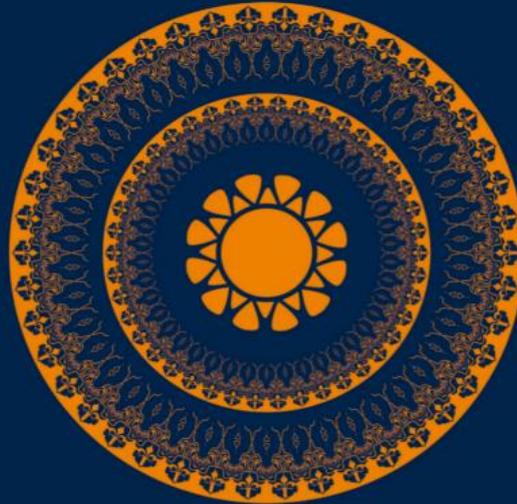
Jet Propulsion Laboratory (NASA), <http://ssd.jpl.nasa.gov/> diakses pada hari sabtu 18 Mei 2019 pukul 20.00 WIB.

JURNAL

E-ISSN 2722-8401 / P-ISSN 2549-7812
Volume 7 Nomor 2 Tahun 2023 M / 1445 H

الفلك Elfalaky

Jurnal Ilmu Falak



GOOGLE MAPS: MAQASHID SYARIAH STUDY ON HOW TO
DETERMINE THE DIRECTION OF CONTEMPORARY QIBLA

Hendri, Zainul Arifin, Muhammad Ulin Nuha

RANCANG BANGUN RUBU' MUJAYYAB SEBAGAI INSTRUMEN FALAK KLASIK

Akhmad Nadirin, Edy Setyawan, Akhmad Faiz Wiguna, M. Syaogi Nahwandi

REVITALISASI SERTA BATASAN TOLERANSI SKEWNESS
ARAH KIBLAT DALAM IBADAH MENURUT SYAFI'YAH

Khoirul Anwar

STUDI ANALISIS AL-MUROBBA' DALAM PENENTUAN AWAL WAKTU SHALAT ASHAR

Nur Fajriani, Fiqhi Ikhsan Anwari

ANALISIS KOMPARASI NILAI KONTRAS MICHELSON PADA
PENGAMATAN HILAL BERBASIS OPEN COMPUTER VISION

Adi Damanhuri

REFORMULASI ZIJ AL-KASHI PERSIA SEBAGAI HISAB AWAL BULAN KAMARIAH

Abd. Kohar

NEO QUADRATUM GEOMETRICUM:

Inovasi Instrumen Falak Klasik George Von Peurbach

'Alamul Yaqin

KALENDER ROWOT SASAK

"Akulturasi Budaya Islam, Budaya Jawa Dan Budaya Sasak"

Arino Bem Sado, Muhammad Awaludin, Muhammad Haikla Rivaldi

IMPLEMENTASI PENANGGALAN DAYAK WEHEA DALAM
KEGIATAN ADAT DI KAMPUNG DAYAK MUARA WAHAU

Nur Robaniyah, Maulidatun Nur Azizah

STRATEGI MANAJEMEN SUMBER DAYA MANUSIA BERBASIS INTELLIGENCE,
ENLIGHTENMENT, DAN ACHIEVEMENT DI ERA INDUSTRI 4.0 PADA PRODI ILMU FALAK

Fahmiah Akilah, Fathur Rahman Basir

ARAH MATA ANGIN PADA RUMAH BUGIS DAN IMPLIKASINYA
TERHADAP KURIKULUM ILMU FALAK

Sabriadi HR, Nurul Wakia, Nur Fatimah Azzahrah



PROGRAM STUDI ILMU FALAK
FAKULTAS SYARIAH DAN HUKUM
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI ALAUDDIN MAKASSAR