

KULMINASI BULAN SEBAGAI ACUAN TITIK KOORDINAT UNTUK PENENTUAN ARAH KIBLAT

Muhammad Farid Azmi¹

mfaridazmi95@gmail.com

Abstrak

Titik koordinat merupakan komponen penting dalam perhitungan ilmu falak. Salah satu metode untuk mencari titik koordinat adalah dengan memanfaatkan kulminasi Bulan. Metode ini masih banyak yang belum mengetahui, oleh karena itu penulis mencoba mengkaji metode tersebut, dengan membuktikan tingkat akurasi terhadap perhitungan arah kiblat. Teknik analisis yang dipakai penulis adalah teknik *deskriptif analitik matematis*, menggambarkan teori dan metode kulminasi Bulan secara matematis dan juga menggunakan analisis komparatif dengan membandingkan hasil perhitungan arah kiblat. Hasil temuan dari penelitian ini adalah akurasi metode kulminasi Bulan mendekati dengan metode modern (GPS dan *Google Earth*) dan dapat digunakan untuk keperluan perhitungan Arah kiblat. Hasil pengukuran titik koordinat menggunakan acuan kulminasi Bulan jika diimplementasikan dalam perhitungan azimuth kiblat, jarak simpangnya memiliki nilai yang cukup rendah, sekitar 280,06 m hingga 7,87 km dari pengukuran GPS. Nilai ini masih sangat jauh dari batas toleransi arah kiblat sebesar 45 km. Dari pembuktian tersebut, titik koordinat menggunakan metode kulminasi Bulan dapat dijadikan acuan data yang cukup akurat dalam perhitungan arah kiblat.

Kata Kunci: Arah Kiblat, Titik Koordinat, Kulminasi Bulan.

A. PENDAHULUAN

Dalam kajian ilmu falak, titik koordinat sangat urgen sebagai data pendukung untuk mempresentasikan lokasi tempat pengamat. Sebagian besar perhitungan ilmu falak pasti membutuhkan data ini untuk memulai perhitungan, seperti hisab arah kiblat, hisab awal waktu shalat, hisab posisi Matahari-Bulan, hisab waktu kontak gerhana dan sebagainya. Data titik koordinat ini dapat dicari melalui berbagai metode, setidaknya ada tiga

¹ Institut Agama Islam Negeri Pekalongan

metode yang familiar digunakan, yakni metode tongkat *istiwa*² memanfaatkan fenomena kulminasi Matahari³, metode aplikasi *Google Earth (GE)*⁴ dan metode instrumen *Global Positioning System (GPS)*.⁵

Telaah mengenai penentuan koordinat menggunakan tiga metode tersebut pernah dilakukan oleh Anisah Budiwati dalam artikel berjudul “*Tongkat Istiwa, Global Positioning System (GPS) Dan Google Earth Untuk Menentukan Titik Koordinat Bumi Dan Aplikasinya Dalam Penentuan Arah Kiblat*”.⁶ Titik perbedaan penelitian tersebut dengan penelitian yang dilakukan penulis saat ini adalah metode yang digunakan berbeda, dengan berbasis Bulan sebagai obyek utama pengamatan. Di samping itu metode kulminasi Bulan ini juga masih jarang diketahui khalayak umum. Bahkan hampir tidak pernah tersentuh sama sekali, dikarenakan sedikit referensi yang membahas secara terperinci, baik berupa buku, makalah, jurnal, atau kajian-kajian penelitian.

Atas dasar tersebut, penulis mencoba memberikan penjabaran terkait metode ini, sekaligus membuktikan akurasi sebagai bentuk pengembangan metode klasik sebelumnya, yakni metode tongkat *istiwa*. Penelitian ini dilakukan untuk dijadikan sebuah khazanah keilmuan baru,

² Tongkat *istiwa*’ adalah tongkat yang ditancapkan tegak lurus pada bidang datar di tempat yang tidak terhalang apapun untuk menghasilkan bayangan dari cahaya Matahari, tongkat semacam ini dikenal dengan nama Gnomon, lihat Susiknan Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, (Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2005), hlm. 80.

³ Kulminasi adalah kedudukan Matahari ketika titik pusatnya tepat berada di meridian, sehingga pada saat itu bayang-bayang akan membujur tepat menurut arah utara-selatan, lihat Jamil, *Ilmu Falak Teori & Praktik Arah Qiblat, Awal Waktu dan Awal Tahun Hisab Kontemporer*, (Jakarta: Amzah, 2009), hlm. 33.

⁴ Google Earth merupakan sebuah program *globe virtual* yang menampilkan peta bumi dari superimposisi kumpulan-kumpulan gambar pemetaan satelit, fotografi udara dan globe GIS 3D. Lihat https://id.wikipedia.org/wiki/Google_Earth.

⁵ GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem radio navigasi menggunakan satelit yang dapat menentukan posisi, kecepatan tiga dimensi serta informasi waktu secara teliti dan kontinyu di seluruh dunia. Lihat Hasanuddin Z. Abidin, *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*, (Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2000), hlm. 268.

⁶ Anisah Budiwati, *Tongkat Istiwa, Global Positioning System (GPS) dan Google Earth Untuk Menentukan Titik Koordinat Bumi dan Aplikasinya dalam Penentuan Arah Kiblat*, *Jurnal Al-Ahkam UIN Walisongo*, Vol 26, No.1, April 2016, hlm. 65.

sekaligus alternatif dalam penentuan titik koordinat Bumi di malam hari sebagai acuan untuk perhitungan arah kiblat.

B. PEMBAHASAN

1. *Lunar Time* (Waktu Bulan)

Manusia menggunakan waktu Matahari untuk mendefinisikan masa secara spesifik dalam kegiatan mereka sehari-hari. Secara garis besar, waktu Matahari standar yang digunakan di seluruh dunia adalah *Local Civil Time* atau waktu daerah atau *Local Standart Time*. Waktu ini mengacu pada peredaran Matahari harian di mana sehari-semalam selalu terhitung 24 jam. Dalam pembahasan ini, penulis menggunakan sebuah teori waktu yang dinamakan *Lunar Time* (waktu Bulan). Sistem *Lunar Time* digunakan untuk mengetahui titik koordinat dengan memanfaatkan kulminasi Bulan. Khususnya untuk penentuan bujur tempat.

Sama halnya dengan Matahari, ada dua jenis *Lunar Time* yang diadopsi dari waktu Matahari, yaitu *Apparent Lunar Time* (Waktu Bulan Hakiki) dan *Mean Lunar Time* (Waktu Bulan Pertengahan). *Apparent Lunar Time* (ALT) ialah sebuah waktu yang mendasarkan pada peredaran Bulan sebenarnya. Menganggap bahwa ketika Bulan terbit di ufuk timur, waktu Bulan ditetapkan pukul 06:00:00, kemudian saat berkulminasi atas atau ketika berpotongan dengan lingkaran meridian, waktu Bulan ditetapkan pukul 12:00:00, sedangkan ketika Bulan terbenam waktu menunjukkan pukul 18:00:00. Oleh karena pengukuran waktu didasarkan atas kedudukan Bulan sebenarnya, maka masing-masing tempat secara otomatis mempunyai waktu hakiki sendiri menurut letak meridiannya masing-masing.⁷

Jika referensi waktu bulan hakiki ini dihitung dari meridian kota Greenwich, maka di sebut *Greenwich Apparent Lunar Time* (GALT). Begitu juga ketika waktu bulan hakiki ini dihitung dari meridian lokal suatu tempat, maka disebut dengan *Local Apparent Lunar Time* (LALT). Nilai *Local*

⁷ Departemen Agama RI, *Almanak Hisab Rukyat*, (Jakarta: Proyek Pembinaan Badan Peradilan Agama Islam, 1981), hlm. 162.

Apparent Lunar Time bergantung pada nilai sudut waktu Bulan (*hour angle*), yang akan selalu menunjukkan nilai 0° ketika Bulan berkulminasi pukul 12:00:00. Sudut waktu Bulan biasa disimbolkan dengan tanda t_{ζ} , adalah jarak Bulan dari titik kulminasi diukur sepanjang lintasan harian. Sudut waktu Bulan akan bernilai negatif (-) jika berada di sebelah timur meridian atau sering disebut *qabla zawāl* dan akan bernilai positif jika berada di sebelah Barat atau disebut *ba'da zawāl*.⁸

Nilai sudut waktu Bulan dapat diperoleh dari persamaan rumus berikut dengan merujuk data Ephemeris Hisab Rukyat Kemenag RI, meliputi data sudut waktu Matahari (t_0), *Apparent Right Ascension* Matahari (α_0) dan *Apparent Right Ascension* Bulan (α_{ζ}). Dihitung memakai formula berikut:⁹

$$t_{\zeta} = t_0 + \alpha_0 - \alpha_{\zeta}$$

Dalam sehari-semalam *Apparent Lunar Time* tidak menempuh waktu tepat 24 jam lamanya, melainkan dapat kurang atau lebih besar dari nilai tersebut. Perlu adanya penyeimbangan waktu untuk menyamakan panjang hari seperti pada waktu Matahari yang mempunyai panjang sehari-semalam 24 jam. Maka muncullah jenis waktu Bulan yang dinamakan *Mean Lunar Time* atau waktu pertengahan Bulan. Mengenai waktu ini, perlu dipahami juga tentang istilah perata waktu Bulan. Jika *Apparent Lunar Time* dikoreksi dengan perata waktu Bulan (*Equation of Lunar Time*), maka akan dihasilkan nilai *Mean Lunar Time*. Jadi hubungan antara *Local Mean Lunar Time* (LMLT) dan *Local Apparent Lunar Time* (LALT), dapat dirumuskan:¹⁰

$$LALT = 12 + t_{\zeta} / 15$$

$$LMLT = LALT - EoLT$$

Seperti halnya waktu Matahari, waktu Bulan juga dapat diubah menjadi waktu standar dengan perimbangan waktu Greenwich (GMT). Waktu ini disebut dengan waktu daerah atau *Local Civil Lunar Time* (LCLT). LCLT

⁸ Departemen Agama RI, *Pedoman Penentuan Jadwal Waktu Shalat Sepanjang Masa*, (Jakarta: Direktorat Jenderal Pembinaan Kelembagaan Agama Islam, 1995), hlm. 35.

⁹ A. Jamil, *Ilmu Falak Teori & Aplikasi*, hlm 147. Lihat juga Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*, (Semarang: Pustaka Rizki Putra, 2012), hlm. 100.

¹⁰ Abdur Rachim, *Ilmu Falak*, (Yogyakarta: Liberty, 1983), hlm. 42.

merupakan sebuah istilah waktu yang sudah terkoreksi dengan selisih bujur daerah dan bujur tempat pengamat, bukan merupakan waktu yang benar-benar dipakai dalam kegiatan sipil. Dinamai demikian, semata-mata karena formula waktu ini mengadopsi dari *Local Civil Time* dalam basis waktu Matahari. *Local Civil Lunar Time* dihitung dengan mengetahui terlebih dahulu koreksi waktu daerah (KWD).¹¹

$$\text{LCLT atau WLD} = \text{LMLT} + \text{KWD}$$

$$\text{KWD} = (\text{Bujur Daerah} - \text{Bujur Tempat}) / 15$$

$$\text{LCLT atau WLD} = 12 + t / 15 - \text{EoLT} + \text{Zona Waktu} - \text{Bujur Tempat} / 15$$

Dari ketiga teori waktu inilah penulis membuat formulasi perhitungan titik koordinat memanfaatkan fenomena kulminasi Bulan.

2. Equation of Lunar Time (Perata Waktu Bulan)

Satuan waktu alami adalah perputaran bumi, yang merupakan perjalanan harian Matahari. Pada waktu Bulan, definisi ini diubah bukan lagi menggunakan Matahari melainkan menggunakan obyek Bulan. Satu hari dalam waktu Bulan lamanya adalah antara kulminasi Bulan dengan kulminasi Bulan berikutnya, tenggang waktu ini disebut hari lunar. Sistem waktu berdasarkan unit ini disebut waktu Bulan hakiki. Dengan sistem ini, lokasi pada meridian tertentu selalu memiliki pembacaan waktu yang sama.

Perbandingan waktu Bulan hakiki dengan waktu Bulan pertengahan menunjukkan bahwa hari lunar memiliki panjang yang tidak konstan. Oleh karena itu, waktu lunar yang disebut *Mean Lunar Time* umumnya digunakan untuk menyelaraskan revolusi Bulan dan rotasi Bumi. Ini didasarkan pada sebuah unit yang didefinisikan sebagai rata-rata hari lunar. *Mean lunar time* telah diperbaiki sedemikian rupa sehingga tidak terlalu menyimpang dari *Apparent Lunar Time*. Penyimpangan antara waktu Bulan hakiki (*Apparent Lunar Time*) dan waktu Bulan pertengahan (*Mean Lunar Time*) dinamakan *Equation of Lunar Time*. Formulanya adalah sebagai berikut.

¹¹ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, (Yogyakarta: UGM Jurusan Fisika, 2012), hlm 78. Lihat juga Arwin Juli Rakhmadi Butar-Butar, *Pengantar Ilmu Falak*, (Depok: Rajawali Press, 2018), hlm. 41.

$$\text{Equation of Lunar Time (EoLT)} = \text{Apparent Lunar Time} - \text{Mean Lunar Time}.^{12}$$

Pada kontek ini *Equation of Lunar Time* berarti adanya selisih antara waktu Bulan pertengahan dengan waktu Bulan hakiki. Di sini, yang dimaksud dengan waktu Bulan adalah waktu lokal menurut pengamat di suatu tempat ketika Bulan mencapai transit. Jika diartikan secara harfiah, *Equation of Lunar Time* berarti persamaan atau perata waktu Bulan. Dalam astronomi, kata "*equation*" sering merujuk pada adanya koreksi atau selisih antara nilai rata-rata suatu variabel dengan nilai sesungguhnya.¹³

Pada buku *Astronomical Algorithms*, Jean Meeus merumuskan formula *Equation of Time* (waktu Matahari) dengan satuan derajat sebagai berikut :¹⁴

$$\text{EoT} = L_0 - 0,0057183 - \alpha + \Delta\psi \cos \varepsilon$$

Dalam formula tersebut, L_0 adalah bujur rata-rata ekliptika Matahari, α adalah *Apparent Right Ascension* Matahari, $\Delta\psi$ adalah *nutasi longitude* dan Epsilon adalah kemiringan sumbu rotasi bumi. Meskipun rumus tersebut sangat akurat, namun masih belum praktis karena banyak variabel yang harus dicari, terutama dalam menghitung *nutasi longitude*.

Oleh karena itu, ada definisi lain yang lebih praktis mengenai *equation of time*, disebutkan dalam buku *The History and Practice of Ancient Astronomy*, bahwa *Equation of Time* adalah nilai selisih yang dihasilkan dari data *Apparent Right Ascension* Matahari (α_0) dengan bujur rata-rata ekliptika Matahari (L_0). Dari definisi ini, *Equation of Time* dirumuskan dengan formula berikut :¹⁵

$$\text{EoT} = (L_0 - \alpha_0) / 15$$

Formula terakhir ini yang dipakai untuk menghitung *Equation of Lunar Time*, dengan menggeser bujur rata-rata Matahari menjadi bujur rata-rata

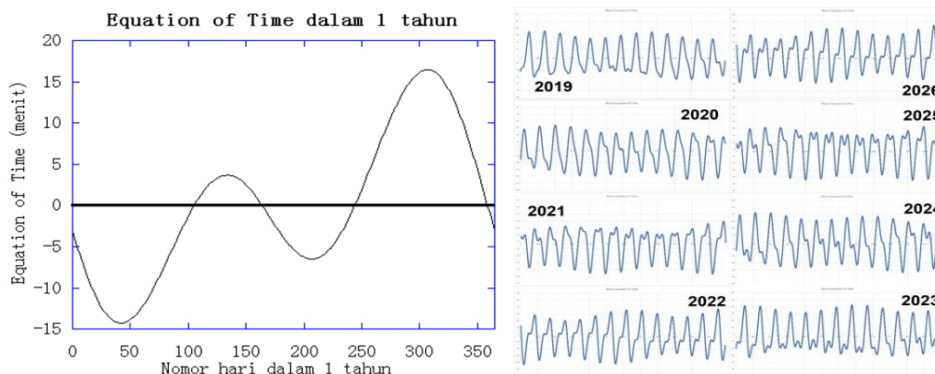
¹² M. Muller, "Equation Of Time-Problem In Astronomy", *Paper International Competition First Step to Nobel Prize in Physics, Acta Physia Polonica A* 88, S-49, 1995, hlm. 2.

¹³ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, hlm. 75.

¹⁴ Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, (Virginia: Willmann-Bell, 1991), hlm. 171.

¹⁵ James Evans, *The History and Practice of Ancient Astronomy*, (New York: Oxford University Press, 1998), hlm. 243.

Bulan dan *Apparent Right Ascension* Matahari menjadi *Apparent Right Ascension* Bulan sehingga dapat menghasilkan perata waktu Bulan (*Equation of Lunar Time*). Setiap tahunnya (satu tahun masehi) nilai *equation of lunar time* selalu berbeda, tidak membentuk sebuah pola yang kembali terulang di tahun berikutnya. Sangat berbeda dengan data *Equation of Time* yang bisa dikatakan selalu sama atau kembali ke pola semula pada setiap tahunnya.



Gambar 1: Pola *Equation of Time* dalam satu Tahun dan *Equation of Lunar Time* dari 2019 hingga 2026.

3. Waktu Kulminasi Bulan (Transit Bulan)

Bulan bergerak mengitari Bumi mulai dari terbit di ufuk timur, transit di *altitude* tertinggi dan terbenam di ufuk barat. Yang dimaksud dengan transit di sini adalah fenomena saat Bulan berada tepat di garis meridian (memotong lingkaran meridian tempat pengamat). Transit tidak cukup dipahami sebagai posisi Bulan saat berada di zenit, yang mana zenit merupakan titik tertinggi di angkasa berada persis di atas kepala pengamat.¹⁶ Ini pemahaman yang harus diluruskan, karena tidak setiap hari posisi benda langit akan selalu menyentuh titik zenit. Hanya yang memiliki deklinasi sama dengan lintang tempat saja yang dipastikan menyentuh titik zenit ketika transit.

Jadi, secara mudah dapat dikatakan, setiap benda langit yang menyentuh titik zenit suatu tempat, maka benda langit tersebut sedang mengalami transit, akan tetapi tidak berlaku sebaliknya, setiap benda langit yang sedang transit

¹⁶ Muhammad Hadi Bashori, *Pengantar Ilmu Falak*, (Jakarta: Pustaka Al-Kautsar, 2015), hlm. 74.

(menyentuh meridian) tidak selamanya berada tepat di titik zenit pengamat. Matahari memiliki pancaran cahaya sendiri untuk menyinari Bumi, sehingga ketika Matahari memotong lingkaran meridian selalu terjadi pada siang hari, oleh karena itu lingkaran meridian yang dilewati Matahari dapat disebut sebagai *Khaṭṭu niṣfu al-nahār* (garis setengah busur siang).

Hal ini akan berbeda dengan benda langit selain Matahari, misalkan Bulan. Bulan tidak selalu melintasi lingkaran meridian pada saat malam hari, ada kalanya ia melintas di siang hari, ada kalanya pula di malam hari, oleh karenanya lingkaran meridian yang dilewati Bulan saat transit tidak selalu disebut *Khaṭṭu niṣfu al-laīl* melainkan bisa juga disebut sebagai *Khaṭṭu niṣfu al-nahār*. Penamaan ini tergantung pada saat apa Bulan mengalami transit, apakah siang atau malam hari. Transit Bulan juga tidak selamanya bisa diamati secara kasat mata, ada beberapa hari fase Bulan nampak sangat tipis sehingga mustahil teramati di siang hari.

Prinsip utama fenomena transit ialah setiap benda langit akan memiliki *hour angle* (sudut waktu) sama dengan 0° . Sementara, azimutnya saat transit menurut suatu tempat pengamatan tertentu bisa bernilai 0° atau 180° . Jika ketika transit benda langit terletak di belahan langit utara, atau tepat di titik pada garis yang menghubungkan titik zenit dengan titik arah utara, nilai azimut benda langit tersebut sama dengan 0° . Sementara jika terletak di belahan langit selatan, atau tepat di titik pada garis yang menghubungkan titik zenit dengan titik arah selatan, nilai azimutnya sama dengan 180° .¹⁷

Pada saat benda langit mengalami transit inilah panjang suatu bayangan akan mencapai nilai minimum (panjang bayangan terpendek). Gerak bayangan ketika menjelang transit dan setelah transit memiliki perbedaan yang mendasar. Sebelum transit bayangan akan cenderung memendek dan mendekati garis utara-selatan, sedangkan setelah transit bayangan sedikit demi sedikit akan memanjang dan menjauhi garis utara-selatan.

¹⁷ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, hlm. 75-76.

Setiap hari Bulan terlambat terbit sekitar 50 menit dari hari sebelumnya, sehingga transit Bulan juga mengalami keterlambatan yang sama, inilah alasan mengapa transit Bulan menyebar secara merata 24 jam di setiap waktu, artinya di satu kesempatan transit Bulan bisa terjadi pukul nol sekian menit (waktu standar), kemudian hari berikutnya terjadi pukul satu sekian menit dan seterusnya hingga kembali lagi ke pukul nol sekian menit. Bahkan ada satu kali kesempatan Bulan tidak mengalami transit dalam sehari semalam, yakni pada tanggal sekitar fase Bulan purnama. Hal ini juga merupakan akibat dari keterlambatan terbit Bulan tersebut.

Jika menggunakan waktu Matahari, transit Bulan terjadi pada waktu yang bervariasi. Berbeda halnya jika pemodelannya menggunakan waktu Bulan hakiki atau *Local Apparent Lunar Time* (LALT), transit Bulan selalu didefinisikan pukul 12:00:00 LALT. Tanpa melihat siang atau malam, Bulan selalu dianggap transit pukul 12 tepat waktu Bulan hakiki. Dari waktu Bulan hakiki inilah kemudian dapat dikonversikan menjadi waktu daerah atau *Local Civil Solar Time* untuk mendeteksi nilai bujur suatu tempat.

4. Algoritma Perhitungan Titik Koordinat

Proses perhitungan koordinat dilakukan dengan mengambil data-data observasi lapangan meliputi dua data yakni nilai sudut zenit Bulan dan waktu kulminasi Bulan. Lintang tempat pengamatan diketahui melalui pengolahan data sudut zenit Bulan (Z_c) dan deklinasi Bulan (δ_c) ketika terjadi transit. Sama persis formula yang sering dipakai untuk menghitung lintang tempat menggunakan kulminasi Matahari, terlebih dahulu data deklinasi Bulan diinterpolasi sebelum akhirnya digunakan untuk menghitung lintang tempat. Berikut adalah algoritma perhitungan lintang tempat secara utuh:

a. Formula Interpolasi Deklinasi Bulan (δ_c)

$$\delta_c = \delta_{c1} - (\delta_{c1} - \delta_{c2}) \times C / I$$

b. Formula Lintang Tempat (ϕ_x):

- 1) Bila posisi Bulan berada di sebelah utara zenit (bayangan gnomon ke selatan), maka $\phi_x = \delta_c - Z_c$.

- 2) Bila posisi Bulan berada di sebelah selatan zenit (bayangan gnomon ke utara), maka $\phi_x = \delta_c + Z_c$.

Kemudian data bujur tempat pengamatan diketahui dari data waktu kulminasi Bulan dalam *Local Civil Time*. Data ephemeris yang harus disiapkan hanya data *apparent right ascension* Bulan, lalu menghitung komponen L0 dan L'. Nilai L' dicari dengan formula :¹⁸

$$L' = 218,3164591 + 481267,88134236 \times T - 0,0013268 \times T^2 + T^3 / 538841 - T^4 / 65194000$$

Sedangkan nilai L0 dicari dengan formula ini :¹⁹

$$L0 = 280,4664567 + 360007,6982779 \times (T / 10) + 0,03032028 \times (T / 10)^2 + (T / 10)^3 / 49931 - (T / 10)^4 / 15299 - (T / 10)^5 / 1988000$$

Maka algoritma perhitungan bujur tempat dapat ditempuh dengan formula-formula berikut :

- a. Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Bulan (α_c)

$$\alpha_c = \alpha_1 - (\alpha_1 - \alpha_2) \times C / I$$

- b. Formula *Local Civil Lunar Time* (LCLT)

$$LCLT = WD + \frac{L0 - L'}{15}$$

- c. Formula *Equation of Lunar Time* (EoLT)

$$EoLT = (L' - \alpha_c) / 15$$

- d. Formula *Meridian Pass* Bulan (MP_c)

$$MP_c = 12 - EoLT$$

- e. Formula Bujur Tempat (λ)

$$\lambda = 15 \times (MP_c - LCLT + \text{Zona Waktu})$$

Selain algoritma di atas, ada algoritma lain yang dapat digunakan. Kali ini murni diambil dari data ephemeris tanpa menghitung nilai L0 dan L'. Data-datanya adalah *apparent right ascension* Matahari, *equation of time* dan *apparent right ascension* Bulan. Adapun algorimanya adalah sebagai berikut:

- a. Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Matahari (α_o)

$$\alpha_o = \alpha_1 - (\alpha_1 - \alpha_2) \times C / I$$

¹⁸ Jean Meuss, *Astronomical Algorithms*, bab 45, hlm. 308.

¹⁹ Jean Meuss, *Astronomical Algorithms*, bab 27, hlm. 171.

- b. Formula Interpolasi *Equation of Time* (EoT)

$$\text{EoT} = \text{EoT}_1 - (\text{EoT}_1 - \text{EoT}_2) \times C / I$$
- c. Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Bulan (α_c)

$$\alpha_c = \alpha_1 - (\alpha_1 - \alpha_2) \times C / I$$
- d. Formula Sudut Waktu Matahari (t_o)

$$t_o = \alpha_c - \alpha_o$$
- e. Formula Meridian Pass Matahari (MP)

$$\text{MP} = 12 - \text{EoT}$$
- f. Formula Bujur Tempat (λ)

$$\lambda = 15 \times (\text{MP} - \text{WD} + t_o / 15 + \text{Zona Waktu})$$

5. Analisis Akurasi Metode Kulminasi Bulan sebagai acuan Titik Koordinat untuk Penentuan Arah Kiblat

Analisis yang dilakukan penulis adalah dengan melakukan observasi secara langsung sebanyak delapan kali di dua tempat yang berbeda. Hasil pengamatan kemudian dibandingkan pada beberapa metode lain seperti tongkat istiwa (kulminasi Matahari), *Global Positioning System* (GPS) dan aplikasi *Google Earth*. Berikut adalah rangkuman deviasi dari pembanding metode tersebut :

Tabel 1. Nilai Deviasi Sudut Koordinat.

Pembanding	Deviasi (Selisih Sudut)
Tongkat Istiwa' (Kulminasi Matahari)	$\Delta\phi = 0^\circ 2' 55,17'' \text{ s.d } 0^\circ 9' 56,84''$ $\Delta\lambda = 0^\circ 0' 24,84'' \text{ s.d } 0^\circ 13' 59,77''$
GPS	$\Delta\phi = 0^\circ 0' 5,64'' \text{ s.d } 0^\circ 5' 19,22''$ $\Delta\lambda = 0^\circ 0' 13,94'' \text{ s.d } 0^\circ 9' 20,47''$
<i>Google Earth</i>	$\Delta\phi = 0^\circ 0' 5,66'' \text{ s.d } 0^\circ 5' 19,41''$ $\Delta\lambda = 0^\circ 0' 13,85'' \text{ s.d } 0^\circ 9' 20,38''$

Untuk mengetahui deviasi dalam besaran jarak, penulis menggunakan rumus :²⁰

$$s = \frac{l}{2\pi r} \times 360^\circ$$

$$l = \frac{s \cdot 2\pi r}{360^\circ}$$

²⁰ Slamet Hambali, *ilmu Falak 1 Penentuan Awal Waktu Shalat & Arah Kiblat Seluruh Dunia*, (Semarang: Pascasarjana IAIN Walisongo, 2011), hlm 182.

Jarak deviasi masing-masing pembanding adalah sebagai berikut :

Tabel 2. Nilai Deviasi Jarak Koordinat.

Pembanding	Deviasi (Selisih Jarak)
Tongkat Istiwa'	$\Delta\phi = 5,36 \text{ km s.d } 18,26 \text{ km}$
(Kulminasi Matahari)	$\Delta\lambda = 759,8 \text{ m s.d } 25,69 \text{ km}$
GPS	$\Delta\phi = 172,5 \text{ m s.d } 9,76 \text{ km}$
	$\Delta\lambda = 426,4 \text{ m s.d } 17,14 \text{ km}$
Google Earth	$\Delta\phi = 173,1 \text{ m s.d } 9,77 \text{ km}$
	$\Delta\lambda = 423,7 \text{ m s.d } 17,14 \text{ km}$

Hasil ini membuktikan bahwa metode penentuan titik koordinat menggunakan kulminasi Bulan cukup mendekati hasil pengukuran instrumen modern, yakni GPS dan aplikasi *Google Earth*.

Kemudian penulis mengolah data koordinat hasil praktik di atas untuk diketahui sudut kiblatnya lalu dibandingkan dengan sudut kiblat dari titik koordinat GPS. Perhitungan kiblat menggunakan referensi koordinat Kakbah = $21^{\circ} 25' 21,04'' \text{ LU}$, $39^{\circ} 49' 34,33'' \text{ BT}$.

Berikut hasil pengolahan data praktik di lokasi pertama dengan pembanding GPS ($6^{\circ} 59' 19,3'' \text{ LS}$, $110^{\circ} 19' 24,3'' \text{ BT}$, azimuth kiblat = $294^{\circ} 31' 26,21''$) :

Tabel 3. Nilai Deviasi Arah Kiblat di Lokasi Pertama (Musolatorium At-Taqie).

Tanggal Pengukuran Koordinat	Koordinat Hasil Metode Kulminasi Bulan	Azimuth Kiblat	Sudut Simpang	Jarak Simpang
18 Mei 2019 M /	$6^{\circ} 54' 56,46'' \text{ LS}$	$294^{\circ} 28' 10,23''$	$3' 15,98''$	7,87 km
14 Ramadan 1440 H	$110^{\circ} 28' 44,77'' \text{ BT}$			
20 Mei 2019 M /	$6^{\circ} 59' 41,52'' \text{ LS}$	$294^{\circ} 31' 35,82''$	$0' 9,61''$	386,08 m
15 Ramadan 1440 H	$110^{\circ} 19' 6,92'' \text{ BT}$			
21 Mei 2019 M /	$6^{\circ} 59' 13,66'' \text{ LS}$	$294^{\circ} 30' 52,59''$	$0' 33,62''$	1,35 km
16 Ramadan 1440 H	$110^{\circ} 21' 41,8'' \text{ BT}$			
22 Mei 2019 M /	$6^{\circ} 58' 54,62'' \text{ LS}$	$294^{\circ} 29' 22,01''$	$2' 4,20''$	4,99 km
17 Ramadan 1440 H	$110^{\circ} 27' 49,24'' \text{ BT}$			
23 Mei 2019 M /	$7^{\circ} 0' 18,46'' \text{ LS}$	$294^{\circ} 31' 58,58''$	$0' 32,37''$	1,3 km
18 Ramadan 1440 H	$110^{\circ} 18' 9,17'' \text{ BT}$			

Kemudian data berikut merupakan hasil praktik di lokasi kedua dengan pembanding GPS ($6^{\circ} 59' 42,6'' \text{ LS}$, $110^{\circ} 19' 55,9'' \text{ BT}$, azimuth kiblat = $294^{\circ} 31' 24,6''$):

Tabel 4. Nilai Deviasi Arah Kiblat di Lokasi Kedua (Pon- Pes Al-Ma'rufiyah).

Tanggal Pengukuran Koordinat	Koordinat Hasil Metode Kulminasi Bulan	Azimut Kiblat	Sudut Simpang	Jarak Simpang
19 Juni 2019 M / 15 Syawal 1440 H	6° 54' 23,38"LS 110° 14' 45,03" BT	294° 31' 17,63"	0' 6,97"	280,06 m
21 Juni 2019 M / 17 Syawal 1440 H	6° 57' 12,24"LS 110° 20' 51,53" BT	294° 30' 34,15"	0' 50,45"	2,03 km
22 Juni 2019 M / 18 Syawal 1440 H	6° 58' 54,04"LS 110° 20' 9,84" BT	294° 31' 9,25"	0' 15,35"	616,77 m

Tabel-tabel di atas menunjukkan bahwa deviasi arah kiblat menggunakan titik koordinat kulminasi Bulan dan GPS masih memiliki selisih perbedaan dalam satuan menit hingga 3' 15,98" atau setara 7,87 km. Meskipun demikian, hasil perhitungan yang lain menunjukkan data yang relatif sama (hanya selisih detik) dengan nilai terkecil 0° 0' 6,97" atau setara 280,06 m. Nilai ini masih sangat jauh dari batas toleransi arah kiblat, yang mana menurut M. Ma'rufin Sidibyو toleransi arah kiblat memiliki nilai penyimpangan sebesar 45 km dihitung melingkar dari titik pusat Kakbah (radius wilayah toleransi kiblat ini seluas 2 x 45 km).²¹ Artinya hasil arah kiblat dari koordinat metode kulminasi Bulan ini, dapat dijadikan landasan untuk penentuan arah kiblat, baik dalam perhitungan maupun praktik lapangan secara langsung.

C. PENUTUP

Hasil pengukuran titik koordinat menggunakan acuan kulminasi Bulan jika diimplementasikan dalam perhitungan azimuth kiblat, jarak simpangnya memiliki nilai yang cukup rendah, sekitar 280,06 m hingga 7,87 km dari pengukuran GPS. Nilai ini masih sangat jauh dari batas toleransi arah kiblat sebesar 45 km. Dari pembuktian tersebut, dapat disimpulkan bahwa titik koordinat menggunakan metode kulminasi Bulan dapat dijadikan acuan data yang cukup akurat dalam perhitungan arah kiblat.

²¹ Muh Ma'rufin Sudibyو, *Sang Nabi Pun Berputar Arah Kiblat dan Tata Cara Pengukurannya*, (Solo: PT Tiga Serangkai, 2011), hlm 84-85.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z. (2007). *Penentuan posisi dengan GPS dan aplikasinya*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Ahmad, I. (2012). *Ilmu Falak Praktis*. Semarang: PT Pustaka Rizki Putra.
- Anugraha, R. (2012). *Mekanika Benda Langit*. Yogyakarta: Fisika UGM.
- Azhari, S. (2005). *Ensiklopedi hisab rukyat*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Bashori, M. H. (2015). *Pengantar Ilmu Falak: Pedoman Lengkap Tentang Teori dan Praktik Hisab, Arah Kiblat, Waktu Salat, Awal Bulan Qamariah & Gerhana*. Jakarta: Pustaka Al Kautsar.
- Budiwati, A. (2016). Tongkat istiwa ‘, global positioning system (gps) dan google earth untuk menentukan titik koordinat bumi dan aplikasinya dalam penentuan arah kiblat. *Al-Ahkam*, 26(1), 65-92.
- Butar-Butar, A. J. R. (2018). *Pengantar Ilmu Falak*. Depok: Rajawali Press.
- Evans, J. (1998). *The history and practice of ancient astronomy*. New York: Oxford University Press.
- Hambali, S. (2011). *Ilmu Falak 1: Penentuan Awal Waktu Shalat & Arah Kiblat Seluruh Dunia*. Semarang: Program Pascasarjana IAIN Walisongo.
- Jamil, A., & Zirsis, A. (2009). *Ilmu falak: teori & aplikasi: arah qiblat, awal waktu, dan awal tahun: hisab kontemporer*. Jakarta: Amzah.
- Meeus, J. (1991). Book-Review-Astronomical Formulae for Calculators-ED. 3. *Journal for the History of Astronomy*, 22, 241.
- Müller, M. (1995). Equation of time-problem in astronomy. *ACTA PHYSICA POLONICA SERIES A*, 88, S-49.
- Penulis. (tt). Google Earth. https://id.wikipedia.org/wiki/Google_Earth
- Rachim, A. (1983). *Ilmu Falak*. Yogyakarta: Liberty.
- Sudibyo, M. R. (2011). *Sang Nabipun Berputar: Arah Kiblat dan Tatacara Pengukurannya*. Solo: Tinta Media.
- Tim Penyusun. (1981). *Almanak Hisab Rukyat*, Jakarta: Pembinaan Badan Peradilan Agama Islam Departemen Agama RI.
- Tim Penyusun. (1995). *Pedoman Penentuan Jadwal Waktu Shalat Sepanjang Masa*, Jakarta: Direktorat Jenderal Pembinaan Kelembagaan Agama Islam Departemen Agama RI.