

**KULMINASI BULAN SEBAGAI ACUAN TITIK
KOORDINAT BUMI UNTUK PENENTUAN ARAH
KIBLAT**

TESIS

**Diajukan Untuk Memenuhi Sebagian Syarat Guna Memperoleh
Gelar Magister Dalam Ilmu Falak**



Oleh :

MUHAMMAD FARID AZMI

1702048002

**PROGRAM MAGISTER ILMU FALAK
FAKULTAS SYARIAH DAN HUKUM
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2019**

MOTTO

الشَّمْسُ وَالْقَمَرُ بِحُسْبَانٍ

“Matahari dan bulan beredar menurut perhitungan”

(QS : al-Rahmān : 5)

PERSEMBAHAN

Tesis ini saya persembahkan untuk :

Abahku & Ibuku tercinta

H. Zainul Arifin, S.Pd.I, & Chilyatus Saihat

Beliau berdua adalah motivator terbesar penulis dalam menyelesaikan pendidikan S2 di UIN Walisongo Semarang.

Adik-Adikku tersayang

Ziyan Nihlatul Millah, Faishol Abdul Aziz dan Zuhul Al-Fayyadh

Merekalah alasan penulis untuk senantiasa berusaha menjadi teladan dan contoh yang baik sebagai seorang kakak.

Keluarga Besar Pon-Pes Al-Fakhriyyah Lasem

Keluarga yang selalu menjadi inspirasi penulis untuk menjadi insan sukses yang membanggakan.

Para Guru Besar Penulis

Guru-guru mulya yang telah mencurahkan segala ilmunya tanpa pamrih, terutama kepada Dr. H. Ahmad Izzuddin, M.Ag, semoga senantiasa diberikan kesehatan dan keberkahan dalam hidup beliau.

Keluarga Besar Pon-Pes Life Skill Daarun Najaah

Keluarga kedua penulis yang mengajarkan makna kehidupan bermasyarakat guna meraup bekal berharga untuk hidup mandiri kelak.

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Lengkap : **Muhammad Farid Azmi**

NIM : 1702048002

Program Studi : S2 Ilmu Falak

menyatakan bahwa tesis yang berjudul :

KULMINASI BULAN SEBAGAI ACUAN TITIK KOORDINAT BUMI UNTUK PENENTUAN ARAH KIBLAT

secara keseluruhan adalah hasil penelitian / karya saya sendiri, kecuali bagian tertentu yang dirujuk sumbernya.

Semarang, 12 Juli 2019
Pembuat Pernyataan



Muhammad Farid Azmi
NIM: 1702048002



**KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SYARI'AH DAN HUKUM**

Jln. Walisongo 3-5, Semarang 50185, Indonesia, Telp.-Fax: +62 24 761445,
Email: pascasarjana@walisongo.ac.id, Website: <http://pasca.walisongo.ac.id/>

PENGESAHAN TESIS

Tesis yang ditulis oleh:

Nama Lengkap : **Muhammad Farid Azmi**

NIM : 1702048002

Judul : **KULMINASI BULAN SEBAGAI ACUAN TITIK KOORDINAT
BUMI UNTUK PENENTUAN ARAH KIBLAT.**

Telah dilakukan revisi sesuai saran dalam Sidang Ujian Tesis pada tanggal 22 Juli 2019 dan layak dijadikan syarat untuk memperoleh Gelar Magister dalam bidang Ilmu Falak.

Disahkan oleh :

Nama Lengkap Dan Jabatan

tanggal

Tanda tangan

Dr. H. Ahmad Izzuddin, M.Ag
Ketua Majelis

29/7-2019

Dr. H. Mahsun, M.Ag
Sekertaris Majelis

25/7-2019

Dr. H. Agus Nurhadi, M.A.
Penguji 1

29/7/19

Drs. KH. Slamet Hambali, M.SI
Penguji 2

29/7/2019

NOTA DINAS

Semarang, 9 Juli 2019

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

Assalamu'alaikum wr. wb.

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

Nama : Muhammad Farid Azmi
NIM : 1702048002
Program Studi : Magister Ilmu Falak
Judul : Kulminasi Bulan Sebagai Acuan Titik Koordinat Bumi
Untuk Penentuan Arah Kiblat.

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

Wasaalamu 'alaikum wr. wb.

Pembimbing I



Dr. H. Akhmad Arif Junaidi, M. Ag
NIP. 19701208 199603 1 002

NOTA DINAS

Semarang, 12 Juli 2019

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

Assalamu'alaikum wr. wb.

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

Nama : Muhammad Farid Azmi
NIM : 1702048002
Program Studi : Magister Ilmu Falak
Judul : Kulminasi Bulan Sebagai Acuan Titik Koordinat Bumi
Untuk Penentuan Arah Kiblat.

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

Wasaalamu 'alaikum wr. wb.

Pembimbing II



Dr. H. Ahmad Izzuddin, M.Ag.

NIP. 19720512 199903 1 003

ABSTRAK

Titik koordinat merupakan data yang sangat urgen dalam hal kajian perhitungan ilmu falak. Dianggap demikian karena data ini merupakan acuan utama markaz perhitungan dilakukan, sehingga selalu digunakan pada hampir semua perhitungan ilmu falak, seperti hisab arah kiblat, awal waktu shalat, awal bulan Kamariah dan waktu Gerhana. Ada beberapa metode untuk mendapatkan titik koordinat suatu tempat di permukaan Bumi, seperti menggunakan Tongkat Istiwa', menggunakan aplikasi *Google Earth* dan *Global Positioning System* (GPS). Selain ketiga metode tersebut, ada metode alternatif lain yang dapat digunakan, yaitu metode penentuan titik koordinat dengan acuan kulminasi Bulan. Metode ini belum pernah tersentuh sama sekali mengingat formula yang dipakai merupakan hasil pemikiran penulis sendiri, mengadopsi formula yang sudah ada sebelumnya. Oleh karena itu, penulis tertarik dan merasa perlu menelitinya untuk membuktikan sekaligus menelisik kontruksi formula, tingkat akurasi dan implementasinya pada salah satu kajian perhitungan ilmu falak, yakni hisab arah kiblat, sebagai gambaran awal apakah metode ini benar-benar bisa digunakan acuan penentuan titik koordinat atau tidak. Berlandaskan hal tersebut, peneliti memilih dua rumusan masalah : 1) Bagaimana analisis metode penentuan titik koordinat Bumi dengan acuan kulminasi Bulan. 2) Bagaimana analisis tingkat akurasi metode penentuan titik koordinat Bumi dengan acuan kulminasi Bulan serta implementasinya terhadap arah kiblat. Jenis penelitian ini adalah penelitian kuantitatif dan eksperimen. Peneliti menggunakan teknik pengumpulan data berupa observasi dan dokumentasi. Data yang telah peneliti kumpulkan diolah secara deskriptif analitik matematis dan juga dianalisis secara komparatif terhadap hasil praktik metode lainnya. Kemudian ditarik kesimpulan tingkat akurasi dan implementasinya terhadap arah kiblat.

Kajian ini menghasilkan temuan bahwa metode penentuan titik koordinat dengan acuan kulminasi Bulan merupakan metode penggeseran dari metode kulminasi Matahari (Tongkat Istiwa'). Formulasi perhitungan lintang tempatnya menggunakan rumus yang sama dengan metode kulminasi Matahari, hanya digeser pada data Bulan saja. Sedangkan untuk formulasi perhitungan bujur tempat menggunakan sistem acuan waktu Bulan yang disebut dengan *Local Apparent Lunar Time*, di mana ketika Bulan berpotongan dengan

meridian setempat selalu dihitung pukul 12 tepat. Metode ini menghasilkan lintang tempat bersifat geosentrik dan mempunyai tenggang waktu praktik yang terbatas hanya pada tanggal 9 hingga tanggal 20 bulan hijriyah. Kemudian hasil pengukuran titik koordinatnya menunjukkan nilai deviasi yang relatif kecil. Deviasi untuk lintang bernilai kisaran 5,64” hingga 5’ 19,22” dan untuk bujur tempat deviasinya antara 13,94” hingga 9’ 20,47”. Tak hanya itu, jika diimplementasikan dalam perhitungan azimuth kiblat, hasil sudut simpangnya terhadap GPS mencapai nilai yang rendah yakni 6,97” hingga 3’ 15,98”, nilai ini sangat jauh dari batas toleransi arah kiblat. Sehingga hal ini membuktikan bahwa metode kulminasi Bulan dapat digunakan sebagai landasan pengambilan data titik koordinat untuk penentuan arah kiblat atau bahkan untuk penentuan lainnya berkaitan dengan kajian perhitungan ilmu falak dan astronomi.

Kata Kunci : *Titik Koordinat Bumi, Kulminasi Bulan, Penentuan Arah Kiblat.*

ABSTRACT

The point of the coordinates is the data urgent in study calculations of Islamic astronomy. Considered so because this data is the main reference of location. So it always used almost all calculation of Islamic astronomy, like the direction of qibla, beginning of prayer time, beginning of qamariah and time of eclipse. There are any method to get the point of the coordinates of a place on the surface of the earth, like using Google Earth and Global Positioning System (GPS), In addition to these three method there are any other alternative methods that can be used, that is determination of the point coordinate with the culmination of the moon. This method never been touched, cause this formula the result of thinking by author, adope from the formula that has been there before. Therefore, author interesting to do this research and feel need to examine to prove and probe the construction of formula, the accuracy and implementation one of study calculation of Islamic astronomy, namely calculation direction of qibla as a picture of the beginning of whether this method can actually used reference to the determination of the point coordinate or not. Based on this, the research choose two formulation of the problem : 1) How analysis of the determination of the earth with reference point with culmination of moon. 2) How the level of accuracy method determining the coordinates of the earth its implementation the direction of qibla. The kind of this research is quantitative and experimental research. Researches use data collection techniques of observation and documentation. The data that researchers have collected are processed by descriptive analytic mathematic and also analyzed comparatively against the results of the practice of the other method. Then drawn a conclusion the level of accuracy and its implementation against the direction of the qibla.

This study produced findings that method determining point of coordinate with reference the culmination of moon. Is the method of shifting from the culmination method of the sun (Istiwa' Stick). Formulation the calculation of the latitude of the place use same formula with method of culmination of sun, just shifted in the data of moon. As for formulation calculation of the longitude of the place using system reference time of the moon, its called Local Apparent Lunar Time, where when the moon intersect with the local meridian always counted 12 o'clock. This method produced latitude are geocentric and have grace

period of practices limited only on the 9th to 20th hijri month. Then the results of the measurement of point coordinates shows the value of the deviation in relative small. Deviations for latitude are in range of 5,64” to 5’ 19,22” and for longitude of the place the deviations between 13,49” to 9’ 20,47”. Not only that, if implemented in calculations azimuth of qibla, the result of the angle deviation to GPS reaches a low value 6,97” to 3’ 15,98”, this value is very far from the tolerance limit of the Qibla direction. It proved that method culmination of moon can be used as the foundation retrieval of data coordinates of determining direction qibla or even for other determinations relating to astronomy.

Keywords: The Point Coordinate of Earth, Culmination of the Moon, Direction of Qibla.

خلاصة البحث

نقطة التنسيق هي من البيانات المهمة للغاية في الدراسة الفلكية، نظرًا لأن هذه البيانات تصبح مرجعا رئيسيا في الحسابات الفلكية حيث يتم استخدامها في أكثر الحسابات الفلكية، مثل حساب تعيين سمت القبلة وأوقات الصلوات وأوائل الشهور القمرية والكسوفين. هناك عدة طرق للحصول على إحداثيات أي مكان على سطح الأرض، مثل استخدام عصا استواء وجوجل الأرض (Google Earth) و GPS. وبالإضافة إلى هذه الطرق الثلاث، هناك طريقة بديلة يمكن استخدامها، وهي طريقة تعيين نقطة التنسيق بواسطة غاية ارتفاع القمر. وهذه الطريقة لم يتطرق قبل نظرا إلى أن الصيغة المستخدمة هي نتيجة أفكار الباحث نفسه من خلال الاعتماد على الصيغة الموجودة. وهذا الذي يجلب نظر المؤلف للبحث في تلك الصيغة ودقتها وطريقة استخدامها في إحدى الحسابات الفلكية وهي تعيين سمت القبلة كالمراجع الأول في تعيين نقطة التنسيق. بناء على ذلك الحال، اختار الباحث صيغتين للمشكلة وهما كيف يتم تحليل طريقة تحديد نقاط إحداثيات الأرض باستخدام ذروة القمر وكيف تحليل دقة طريقة تحديد نقاط إحداثيات الأرض باستخدام غاية ارتفاع للقمر وتطبيقه لاتجاه القبلة. يجري هذا البحث مقداريا وتجريبيا. وأما البيانات فجمعها الباحث على طريقة شكل الملاحظات والتوثيق. ثم بحثه الباحث تحليليا وصفا رياضيا وقارنه بنتائج الطرق الأخرى. ثم استخلصه على دقته وتنفيذه للاتجاه القبلة.

ويحصل من هذا البحث أن طريقة تحديد الإحداثيات باستخدام غاية ارتفاع القمر هي وسيلة للتحويل من طريقة غاية ارتفاع الشمس. فإن صيغة عرض البلد المستخدمة هي الصيغة المستخدمة في طريقة غاية ارتفاع الشمس إلا أن هناك يغير إلى البيانات للقمر. وأما الصيغة لمعرفة طول البلد يستخدم نظام القمر المرجعي المسمي بـ *Local Apparent Lunar Time* حيث عندما يتقاطع القمر مع خط الطول المحلي يتم حسابه في الساعة ١٢ تماما. ينتج عن هذه الطريقة أن يكون خط العرض للمكان مركزا للأرض وله فترة ممارسة محدودة فقط من التاسع إلى العشرين من شهر التقويم الإسلامي. ثم تظهر نتائج قياسات الإحداثيات قيمة انحراف صغيرة نسبياً.

تتراوح انحرافات خطوط العرض عن "٥,٦٤ إلى "٥' ١٩,٢٢ وبالنسبة لخط الطول ، يتراوح مكان الانحراف بين "١٣,٩٤ و "٩' ٢٠,٤٧. ليس ذلك فحسب، إذا تم تطبيقه في حساب سمت القبلة، فإن نتيجة تقاطع زاوية GPS تصل أيضًا إلى قيمة منخفضة تبلغ "٦,٩٧ إلى "٣' ١٥,٩٨. وهذا يدل على أنه يمكن استخدام طريقة غاية ارتفاع القمر كالمراجع لأخذ بيانات الإحداثيات لتحديد اتجاه القبلة أو حتى بالنسبة للقرارات الأخرى المتعلقة بعلم الفلك.

الكلمات الرئيسية: نقاط تنسيق الأرض وغاية ارتفاع القمر واتجاه القبلة.

TRANSLITERASI ARAB

Penulisan transliterasi huruf-huruf Arab Latin dalam tesis ini berpedoman pada SKB Menteri Agama dan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan R.I Nomor: 158/1987 dan Nomor: 0543 b/ U/ 1987.

Penyimpangan penulisan kata sandang (al-) disengaja secara konsisten agar sesuai teks Arabnya.

ا	Tak berlambang	ط	ṭ
ب	b	ظ	ẓ
ت	t	ع	‘
ث	ṣ	غ	g
ج	J	ف	f
ح	ḥ	ق	q
خ	kh	ك	k
د	d	ل	l
ذ	ẓ	م	m
ر	r	ن	n
ز	z	و	w
س	s	ه	h
ش	Sy	ء	’
ص	ṣ	ي	y
ض	ḍ		

Bacaan Panjang :

ā = a panjang

ī = i panjang

ū = u panjang

Bacaan Diftong:

au = أو

ai = أي

iy = إي

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT. atas segala limpahan rahmat, hidayah dan inayah-Nya Sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul : **Kulminasi Bulan Sebagai Acuan Titik Koordinat Bumi Untuk Penentuan Arah Kiblat**, dengan baik tanpa banyak kendala yang berarti. Shalawat dan salam senantiasa penulis sanjungkan kepada Nabi Muhammad SAW beserta keluarganya, sahabat-sahabatnya dan para pengikutnya yang telah membawa islam dan mengembangkannya hingga sekarang ini.

Penulis menyadari bahwa terselesaikannya Tesis ini bukanlah hasil jerih payah penulis secara pribadi. Tetapi semua itu merupakan wujud akumulasi dari usaha dan bantuan, pertolongan serta doa dari berbagai pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tesis ini. Oleh karena itu, penulis sampaikan banyak terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ayahanda dan Ibunda tercinta, H. Zainul Arifin, S.Pd.I dan Chilyatus Saihat, yang senantiasa memanjatkan do'a dalam mengiringi setiap langkah demi tercapainya cita-cita mulia penulis.
2. Rektor UIN Walisongo Semarang, Prof. Dr. H. Muhibbin, M.Ag yang telah memberikan kesempatan penulis untuk belajar di pascasarjana UIN Walisongo Semarang.
3. Direktur pascasarjana UIN Walisongo, Prof. Dr. H. Ahmad Rofiq, M.A. yang juga telah memberikan semangat pembelajaran ilmu falak di kampus.

4. Dr. H. Akhmad Arif Junaidi, M.Ag selaku pembimbing I, atas bimbingan dan pengarahan yang diberikan dengan sabar dan tulus ikhlas.
5. Dr. H. Ahmad Izzuddin, M.Ag, selaku Kaprodi S2 Ilmu Falak sekaligus pembimbing II, yang disela-sela kesibukannya senantiasa mengarahkan, membimbing dan memotivasi penulis dengan penuh semangat, kesabaran dan ketulusan hati.
6. Dosen inspirator ilmu falak, Drs. H. Slamet Hambali, M.S.I dan Dr. H. Ahmad Izzuddin, M.Ag yang selalu memberikan teladan bagi muridnya serta menyemangati penulis agar senantiasa mengembangkan dan membumikan ilmu falak di Indonesia.
7. Seluruh dosen pascasarjana yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang senantiasa memberikan dorongan, bantuan dan motivasi.
8. Saudara Andi Pangerang ST, yang membantu penulis memecahkan formula-formula perhitungan dalam pembuatan tesis ini.
9. Saudara Moh. Syahrul Munir SH., yang berkenan membantu penulis dalam pelaksanaan praktik lapangan.
10. Teman-teman seperjuanganku di Pondok Pesantren Life Skill Daarun Najaah, yang senantiasa memberikan dukungan untuk selalu semangat menulis tesis ini.
11. Teman-teman kuliah pascasarjana prodi ilmu falak yang selalu memberikan semangat dan motivasi selama masa perkuliahan hingga akhir penelitian ini.
12. Segala pihak yang membantu dalam penulisan tesis ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Akhir kata penulis berharap semoga tesis ini dapat bermanfaat khususnya bagi diri pribadi penulis dan umumnya bagi kita semua. Amin, *Yā Rabbal ‘ālamīn*.

Semarang, 12 Juli 2019

Penulis

A handwritten signature in black ink, consisting of several fluid, connected strokes that form a stylized representation of the author's name.

Muhammad Farid Azmi
NIM.1702048002

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
MOTTO	ii
PERSEMBAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
PENGESAHAN TESIS	v
NOTA PEMBIMBING.....	vi
ABSTRAK.....	viii
TRANSLITERASI.....	xiv
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xviii
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR GAMBAR	xxii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	8
C. Tujuan Penelitian	8
D. Manfaat Penelitian	8
E. Kerangka Teori	9
F. Kajian Pustaka.....	9
G. Metode Penelitian	11
H. Sistematika Penulisan	15
BAB II. TINJAUAN UMUM SISTEM KOORDINAT DAN SISTEM WAKTU	17
A. Sistem Koordinat.....	17
1. Definisi Sistem Koordinat.....	17

2.	Klasifikasi Sistem Koordinat	21
3.	Urgensi Titik Koordinat dalam Perhitungan dan Praktik Arah Kiblat	35
4.	Metode Penentuan Titik Koordinat Bumi	40
B.	Sistem Waktu	53
1.	Definisi Sistem Waktu	53
2.	Klasifikasi Waktu.....	55
BAB III : METODE PENENTUAN TITIK KOORDINAT BUMI		
 DENGAN ACUAN KULMINASI BULAN.....		
A.	Bulan dan Pergerakannya.....	70
1.	Gerak Hakiki Bulan	71
2.	Gerak Semu Bulan	75
B.	<i>Lunar Time</i>	80
1.	Definisi dan Klasifikasi <i>Lunar Time</i>	80
2.	Perata Waktu Bulan	84
C.	Waktu Kulminasi Bulan (Transit Bulan)	91
D.	Penentuan Titik Koordinat Bumi Dengan AcuanKulminasi Bulan.....	95
1.	Instrumen Praktik	95
2.	Prosedur Praktik	102
3.	Algoritma Perhitungan	108
BAB IV: ANALISIS METODE DAN AKURASI PENENTUAN		
 TITIK KOORDINAT BUMI DENGAN ACUAN		
 KULMINASI BULAN SERTA IMPLEMENTASINYA		
 TERHADAP ARAH KIBLAT		
		112

A. Analisis Metode Penentuan Titik Koordinat Bumi dengan Acuan Kulminasi Bulan	112
1. Analisis Hambatan Praktik Penentuan Titik Koordinat Bumi dengan Acuan Kulminasi Bulan	112
2. Analisis Formula Perhitungan Lintang dan Bujur Tempat	117
B. Analisis Tingkat Akurasi Metode Penentuan Titik Koordinat Bumi dengan Acuan Kulminasi Bulan.....	129
C. Analisis Implementasi Hasil Titik Koordinat Terhadap Arah Kiblat.....	154
BAB V : PENUTUP	159
A. Kesimpulan	159
B. Rekomendasi	160
C. Penutup.....	160
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	
RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 : Klasifikasi Sistem Waktu	56
Tabel 3.1 : Jadwal Transit Bulan di Semarang Juni 2019	94
Tabel 4.1 : Jadwal Transit Bulan di Semarang Juli 2019	115
Tabel 4.2 : Formula <i>Solar Time</i> dan <i>Lunar Time</i>	124
Tabel 4.3 : Nilai Deviasi Sudut Titik Koordinat Hasil Praktik.....	153
Tabel 4.4 : Nilai Deviasi Jarak Titik Koordinat Hasil Praktik.....	153
Tabel 4.5 : Nilai Deviasi Arah Kiblat Hasil Praktik 1	155
Tabel 4.6 : Nilai Deviasi Arah Kiblat Hasil Praktik 2	156

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : Koordinat Kartesian dua dimensi x,y	19
Gambar 2.2 : Koordinat Polar.....	19
Gambar 2.3 : Koordinat Kartesian Tiga Dimensi x, y, z.....	20
Gambar 2.4 : Koordinat Bola Tiga Dimensi r, Alpha, Beta.	21
Gambar 2.5 : Klasifikasi Sistem Koordinat.....	22
Gambar 2.6 : Sistem Koordinat Geografik.....	23
Gambar 2.7 : Sistem Koordinat Geosentrik.....	25
Gambar 2.8 : Lintang Geosentrik.	26
Gambar 2.9 : Sistem Koordinat Toposentrik.....	27
Gambar 2.10 : Sistem Koordinat Horizon	29
Gambar 2.11 : Sistem Koordinat Asensio Rekta.....	30
Gambar 2.12 : Sistem Koordinat Sudut Waktu	31
Gambar 2.13 : Koordinat Ekliptika	32
Gambar 2.14 : Koordinat Ekliptika & Ekuator.....	33
Gambar 2.15 : Bidang Ekliptika & Bidang Ekuator.....	33
Gambar 2.16 : Elemen Orbit Kepler.....	34
Gambar 2.17 : Trigonometri Kiblat.....	36
Gambar 2.18 : Tongkat Istiwa'	41
Gambar 2.19 : Lintang dan Kutub Langit.....	42
Gambar 2.20 : Lintang Tempat dan Deklinasi.....	43
Gambar 2.21 : Menentukan Titik Koordinat dengan Peta.....	49
Gambar 2.22 : Kursor Menunjukkan Koordinat Tempat.....	50
Gambar 2.23 : Jendela Penanda Tempat.....	51
Gambar 2.24 : Arah Kiblat dengan <i>Google Earth</i>	52

Gambar 2.25 : Beberapa Jenis Waktu Bintang.....	58
Gambar 2.26 : Beberapa Jenis Waktu Matahari	63
Gambar 3.1 : Satu Bulan Sideris dan Sinodis.....	73
Gambar 3.2 : Orbit Bulan dan Bumi mengelilingi Matahari	75
Gambar 3.3 : Fase-Fase Bulan.....	77
Gambar 3.4 : Pola <i>Equation of Time</i> dalam satu Tahun	87
Gambar 3.5 : <i>Equation of Lunar Time</i> dari 2019 hingga 2026.....	87
Gambar 3.6 : Theodolite.....	95
Gambar 3.7 : Sistem Lensa Teleskop di Theodolite.....	96
Gambar 3.8 : Waterpass	100
Gambar 3.9 : Tampilan Website jam.bmkg.go.id.....	101
Gambar 3.10 : Penentuan Utara-Selatan Sejati.....	104
Gambar 4.1 : Sudut Zenit Dalam Tongkat Istiwa'	118
Gambar 4.2 : Segitiga Siku-Siku.	118
Gambar 4.3 : Sudut Zenit Dalam Theodolite.....	120
Gambar 4.4 : Perbandingan Sistem Koordinat	121
Gambar 4.5 : Koordinat Musolatorium At-Taqie dengan GPS	130
Gambar 4.6 : Koord Musolatorium At-Taqie dgn <i>Google Earth</i>	137
Gambar 4.7 : Koordinat Pon-Pes Al-Ma'rufiyah dengan GPS.....	146
Gambar 4.8 : Koord Pon-Pes Al-Ma'rufiyah dgn <i>Google Earth</i>	148

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Titik koordinat merupakan komponen penting untuk mengetahui segala hal mengenai kajian perhitungan ilmu falak, biasanya yang berkaitan dengan waktu dan posisi benda langit di suatu tempat pengamatan. Dikatakan demikian karena data titik koordinat berguna sebagai pedoman awal dalam melakukan berbagai perhitungan, seperti perhitungan arah kiblat, awal waktu shalat, posisi Matahari-Bulan dalam rangka rukyatulhلال, perhitungan gerhana dan sebagainya.

Seperti dalam penentuan arah kiblat, pembahasan yang paling dasar mengarah pada masalah posisi atau letak tempat yang akan dihitung dan diukur arah kiblatnya. Sehingga data utama yang harus diketahui untuk menghitung arah kiblat ialah data titik koordinat, baik koordinat tempat yang akan diukur maupun koordinat kakkah itu sendiri.¹ Tanpa adanya acuan titik koordinat, sangat tidak mungkin menentukan arah kiblat tempat tersebut.

Demikian juga dalam perhitungan awal waktu shalat, sangat bergantung pada posisi Matahari dari suatu tempat di permukaan Bumi. Artinya data titik koordinat dibutuhkan untuk menghitung kapan Matahari akan menempati posisi-posisi sesuai dengan nas-nas

¹ Slamet Hambali, *Ilmu Falak 1 Penentuan Awal Waktu Shalat & Arah Kiblat Seluruh Dunia*, (Semarang :Pascasarjana, 2011), hlm 181.

waktu shalat.² Titik koordinat Bumi akan mempengaruhi kewajiban pelaksanaan awal waktu shalat sesuai dengan letak tempat orang itu berada. Bahkan data bujur tempat dapat dijadikan acuan dalam pembagian zona waktu dan penentuan *international date line*³ (garis tanggal internasional) untuk mengetahui tanggal atau hari apa yang berlaku di tempat tersebut.

Kemudian dalam pembuatan kalender kamariah yang merupakan kalender peradaban dunia⁴. Pada perhitungan awal bulan kamariah (hijriah) tidak lain ialah menentukan kedudukan hilal saat terbenam Matahari menggunakan satuan derajat⁵ diukur di suatu lokasi pengamatan, oleh karena itu data koordinat pengamat di permukaan Bumi menjadi sangat penting untuk mengetahui kedudukan Bulan tersebut.

Begitu pula perhitungan gerhana, baik gerhana Matahari maupun Bulan, dibutuhkan titik koordinat Bumi guna diketahui

² Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*, (Semarang : Pustaka Rizki Putra, 2012), hlm 79

³ *International date line* berposisi pada meridian 180° dari kota Greenwich, lebih tepatnya melintasi samudra pasifik. Bagi orang yang melewati garis tersebut maka perlu mengubah tanggal meskipun waktu lokal menunjukkan waktu yang sama. Lihat Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak*, (Yogyakarta : Buana Pustaka, 2005), hlm 25.

⁴ Dikatakan kalender peradaban karena hampir setiap peradaban telah memanfaatkan kalender kamariyah ini di kurun waktu berbeda bahkan hingga sekarang masih banyak yang terus menggunakannya. Lihat Mohammad Ilyas, *New Moon's Visibility and International Islamic Calender for American Region 1407 H-1421H*, (Malaysia : Falak Centre Building ,University of Science Malaysia, 1995), hlm 12.

⁵ Kemenag RI, *Almanak Hisab Rukyat*, (Jakarta : Dirjen Bimas Islam Kemenag RI, 2010), hlm 147.

daerah mana saja yang dapat melihat gerhana⁶, di samping itu juga untuk menghitung waktu dan posisi gerhana secara rinci pada suatu tempat pengamatan. Dari berbagai kajian yang telah dijabarkan tersebut, jelas menunjukkan bahwa data titik koordinat Bumi sangat penting sebagai data acuan *markaz*⁷ perhitungan.

Untuk mendapatkan data titik koordinat Bumi ditempuh dengan berbagai metode⁸. Ada tiga metode yang paling umum digunakan, yakni metode penentuan koordinat dengan Tongkat Istiwa⁹ memanfaatkan fenomena kulminasi Matahari¹⁰ di meridian, metode penentuan koordinat dengan aplikasi online *Google Earth* dan ada juga yang secara langsung mendapatkan data koordinat dari satelit

⁶ David King, *Astronomy in the Service of Islam* (London : Variorum,1984), hlm 88.

⁷ Markaz ialah suatu tempat yang dijadikan pedoman dalam perhitungan. Lihat Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak*, hlm 53.

⁸ Metode secara harfiah berarti cara, dalam pemakaian yang umum, metode diartikan sebagai suatu cara atau prosedur yang dipakai untuk mencapai tujuan tertentu. Sehubungan dengan upaya ilmiah, maka metode menyangkut masalah cara kerja untuk dapat memahami objek yang menjadi sasaran ilmu bersangkutan. Lihat M. Sobry Sutikno, *Belajar dan Pembelajaran*, (Lombok : Holistica, 2013), hlm 83-85.

⁹ Tongkat Istiwa' merupakan 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.

¹⁰ Kulminasi artinya puncak tertinggi; tingkatan tertinggi; titik tertinggi, lihat WJS Poerwadarminta, *Kamus Umum Bahasa Indonesia*, (Jakarta :Balai Pustaka, 2007), hlm 631. Kedudukan Matahari ketika titik pusatnya tepat berada di meridian, sehingga pada saat itu bayang-bayang akan membujur tepat menurut arah utara-selatan, lihat A. Jamil, *Ilmu Falak Teori & Praktik Arah Qiblat, Awal Waktu dan Awal Tahun Hisab Kontemporer*, (Jakarta :Amzah 2009), hlm 33

dengan alat *Global Positioning System (GPS)*.¹¹ Semua ini dapat dikatakan metode karena memiliki prosedur praktik yang tersusun secara sistematis dengan tujuan yang jelas, dalam hal ini yakni untuk menentukan titik koordinat Bumi.

Metode penentuan titik koordinat Bumi menggunakan kulminasi Matahari (Tongkat Istiwa') merupakan satu-satunya metode klasik yang dulu sering digunakan masyarakat dengan mengamati pergerakan Matahari. Dalam praktiknya, metode ini hanya dapat dilakukan pada siang hari dan tidak bisa dilakukan pada malam hari. Sedangkan metode penentuan titik koordinat Bumi menggunakan GPS dan *Google Earth*, adalah metode modern yang baru muncul setelah ditemukannya sistem satelit navigasi¹². Dua metode ini memanfaatkan sinyal satelit untuk menentukan titik koordinat suatu tempat di permukaan Bumi.

Selain tiga metode yang telah diketahui secara umum, ada metode lain yang tidak begitu familiar. Di Indonesia sendiri metode ini sangat jarang atau bahkan belum tersentuh sama sekali, yaitu metode penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan. Sangat sedikit referensi membahas mengenai metode ini secara perinci, baik berupa buku, makalah, jurnal, ataupun kajian-kajian penelitian khusus sekalipun.

¹¹ Anisah Budiwati, *Kajian Tongkat Istiwa' Dalam Penentuan Titik Koordinat Bumi*, (Tesis, UIN Walisongo Semarang, 2013), hlm 42.

¹² Untuk lebih jelas terkait sistem satelit navigasi dapat melihat Hasanuddin Abidin, *Geodesi Satelit*, (Jakarta : PT. Pradnya Paramita,2001), hlm 8-9.

Penelitian terkait penentuan koordinat Bumi dengan acuan kulminasi Bulan pernah dilakukan oleh Francis Baily¹³. Ia menentukan perbedaan garis bujur antara dua titik di permukaan Bumi dengan memanfaatkan fenomena kulminasi Bulan sebagai bentuk koreksi dari empat metode yang sudah ada sebelumnya. Empat metode tersebut memiliki acuan masing-masing, ada yang menggunakan acuan gerhana satelit Jupiter, gerhana Bulan, gerhana Matahari dan okultasi¹⁴ bintang tetap.¹⁵

Dalam penelitiannya, Baily menghitung perbedaan meridian dari tiga tempat pengamatan yang berbeda, yakni di Paramatta (Australia), Paris (Prancis) dan Manheim (Virginia). Baily tidak menghitung nilai koordinat lintang dan bujur dari tiga tempat pengamatan itu, melainkan penelitian ini sebatas mengetahui selisih garis bujur dari tiga titik pengamatan yang berbeda. Jelas penelitian yang dilakukan penulis sangat berbeda dengan penelitian Baily, penulis meneliti fenomena kulminasi Bulan untuk mendapatkan data

¹³ Astronom terkenal asal Newbury, Berks. Penemu fenomena gerhana yang disebut "Baily's beads", ditemukan saat mengamati gerhana Matahari annular pada 15 Mei 1836. Untuk lebih jelasnya dapat melihat NASA Astrophysics Data System, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, NASA : Vol. 4, Issue 2, 9 Des 1836, hlm 15-16.

¹⁴ Fenomena Okultasi, yaitu arah pandang ke bintang atau sumber cahaya di langit dengan diameter sudut yang lebih kecil dan lebih jauh ditutup oleh benda langit dengan diameter sudut yang lebih besar. Misalnya Okultasi bintang oleh asteroid atau bulan, Okultasi asteroid oleh bulan, lihat Tim Penyusun Naskah IDI Hukum, *Islam untuk Disiplin Ilmu Astronomi; Buku Dasar Pendidikan Agama Islam pada Perguruan Tinggi Umum Jurusan/Program Studi Astronomi*, (Jakarta : Departemen Agama RI, 2000), hlm 77-78.

¹⁵ Francis Baily, *On The New Method Of Determining The Longitude by The Culmination of The Moon And Stars*, (London : Ricard Toylor, 1824), hlm 2.

titik koordinat Bumi, baik data lintang maupun data bujur suatu tempat tertentu.

Astronom lain bernama D.A. Pio menawarkan sebuah metode untuk mengetahui *longitude* (bujur tempat) menggunakan acuan kulminasi Bulan, sebagaimana yang telah dipaparkan dalam jurnalnya pada tahun 1899.¹⁶ Metode perhitungan bujur tempat versi Pio menggunakan empat kali pengambilan data waktu, yakni sebelum dan sesudah terjadinya kulminasi. Acuan kulminasinya pun tidak murni menggunakan Bulan, melainkan juga mengacu pada Matahari. Meskipun Matahari hanya sebagai obyek acuan pembantu, namun tanpa menggunakan Matahari, penentuan bujur tempat versi Pio ini tidak mungkin dilakukan, sehingga algoritma Pio tidak benar-benar murni menggunakan acuan kulminasi Bulan.

Untuk itu penulis menawarkan metode lain yang murni dihasilkan dari observasi Bulan saat di meridian. Metode ini adalah metode baru yang mana belum pernah ada sama sekali yang menelitinya. Formulasi perhitungannya ditemukan dari penggeseran formula metode klasik beracuan kulminasi Matahari (Tongkat Istiwa'), kemudian dihubungkan dengan beberapa formula dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meuss,¹⁷ hingga akhirnya

¹⁶ D.A. Pio, "Longitude from Moon Culminations", *NASA Royal Astronomical Society*, 1899, hlm 513.

¹⁷ Formula ini tersebar dalam beberapa bab di dalam buku *Astronomical Algorithms* karya Jean Meuss, penulis mengambil formula yang dibutuhkan saja untuk membuat algoritma formula yang utuh. Jean Meuss adalah seorang astronom asal Belgia lulusan Universitas Louvain (Leuven), buku-buku karyanya telah banyak diakui dan banyak dijadikan rujukan oleh astronom amatir maupun profesional, karena metodenya yang jelas dan mudah

memunculkan algoritma perhitungan baru untuk menghitung titik koordinat Bumi menggunakan kulminasi Bulan.

Metode ini sangat jauh berbeda dengan dua metode yang ditawarkan Baily dan Pio. Pengambilan data dalam metode ini dilakukan hanya sekali saja, berfokus pada saat terjadinya kulminasi Bulan. Tidak seperti metode Pio yang pengambilan datanya dilakukan hingga empat kali observasi. Begitu pula terkait tempat praktik, metode ini berfokus pada satu tempat saja, yakni tempat yang akan dicari data koordinatnya. Berbeda dengan metode Baily yang harus melakukan observasi di dua atau tiga tempat yang posisinya berjauhan satu sama lain. Jadi dengan metode yang ditawarkan penulis ini, penentuan titik koordinat Bumi meliputi data lintang dan bujur tempat akan lebih praktis dan mudah dilakukan, dibanding dua metode tersebut (metode Baily dan Pio).

Di samping itu, metode ini sama sekali belum ada yang pernah mengkaji secara mendalam hingga pada teori, aplikasi dan akurasi. Atas landasan tersebut, penulis tertarik meneliti metode ini sebagai bentuk pengembangan dari metode klasik sebelumnya. Penelitian ini sangat penting dilakukan mengingat dapat dijadikan sebagai khazanah baru, sekaligus alternatif dalam penentuan titik koordinat Bumi di malam hari. Di samping itu juga dapat dijadikan landasan penentuan data titik koordinat Bumi yang merupakan data acuan penting untuk berbagai perhitungan ilmu falak, khususnya dalam perhitungan arah kiblat. Beranjak dari hal-hal tersebut,

dipahami. Lihat Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, (Virginia : Willmann-Bell, 1991).

penulis melakukan penelitian tesis dengan mengangkat judul *“Kulminasi Bulan Sebagai Acuan Titik Koordinat Bumi Untuk Penentuan Arah Kiblat”*.

B. Rumusan Masalah

Penulis mengambil dua rumusan masalah agar tidak terlalu melebar dan dapat lebih spesifik dalam pembahasan pokok permasalahan, yaitu:

1. Bagaimana analisis metode penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan?
2. Bagaimana analisis tingkat akurasi metode penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan serta implementasinya terhadap arah kiblat?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan yang dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui dan memahami teori dan aplikasi penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan.
2. Mengetahui dan memahami tingkat akurasi metode penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan serta implementasinya terhadap arah kiblat.

D. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khazanah dalam keilmuan falak tentang penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan.
2. Memberikan gambaran mengenai teori dan aplikasi penentuan titik koordinat Bumi menggunakan kulminasi Bulan.

3. Memberikan penjelasan terkait tingkat akurasi metode penentuan titik koordinat Bumi menggunakan kulminasi Bulan serta implementasinya terhadap arah kiblat.

E. Kerangka Teori

Penelitian ini menggunakan dua teori ilmiah sebagai penunjang penelitian, dua teori tersebut dapat dipahami sebagai berikut :

1. Teori sistem koordinat. Kajian yang menjelaskan tentang posisi (letak) suatu benda atau titik yang diukur dari beberapa referensi tertentu. Dalam penelitian, teori ini digunakan untuk menjabarkan secara umum prinsip titik koordinat Bumi, fenomena kulminasi Bulan sekaligus asal muasal formulasi penentuan lintang tempat menggunakan acuan kulminasi Bulan.
2. Teori tentang waktu. Teori waktu yang dipakai pada penelitian ini adalah teori mengenai *equation of time* (perata waktu). *Equation of time* disebut juga *astronomical equation* ialah koreksi waktu untuk menyamakan waktu rata-rata dengan waktu sebenarnya diukur dari Matahari ataupun bintang-bintang.¹⁸ Teori ini dipakai untuk menganalisis asal mula formulasi penentuan bujur tempat pengamatan menggunakan acuan kulminasi Bulan.

F. Kajian Pustaka

Selama ini masih belum ada pembahasan mengenai penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan, yang ada

¹⁸ Julian Barbour, "The Nature of Time", *Esai the Foundational Questions Institute* , 20 Mar 2009, hlm 3, diakses 9 januari 2019 pukul 10:50 WIB, arXiv:0903.3489v1 [gr-qc].

ialah penelitian terkait penentuan titik koordinat Bumi menggunakan instrumen falak berbasis kulminasi Matahari dan juga berbasis data satelit.

Di antara penelitian terkait dengan penentuan titik koordinat Bumi ialah tesis Anisah Budiwati tahun 2013 berjudul “*Kajian Tongkat Istiwa’ Dalam Penentuan Titik Koordinat Bumi (Perbandingan dengan GPS (Global Positioning System) dan Google Earth)*”. Disebutkan bahwa antara Tongkat Istiwa’, GPS dan *Google Earth* mempunyai landasan teori yang berbeda. Tongkat Istiwa’ menggunakan kaidah trigonometri bola, dimana dasar perhitungannya bereferensikan pada lingkaran besar (*great circle*) dengan memanfaatkan fenomena kulminasi Matahari, sedangkan GPS dan *Google Earth* menggunakan kaidah bentuk Bumi elipsoid, yang mana sumber datanya berasal dari kumpulan foto citra satelit.¹⁹

Selanjutnya penelitian tentang penentuan koordinat menggunakan GPS oleh Sri Rezki Artini pada tahun 2014, berjudul “*Penentuan Koordinat Stasiun GNSS CORS GMUI dengan Kombinasi Titik Ikat GPS Global dan Regional*”. Hasil penelitian ini adalah perolehan nilai koordinat kartesian 3D dari stasiun GNSS CORS GMUI pada tahun 2012 menggunakan kombinasi titik ikat

¹⁹ Anisah Budiwati, *Kajian Tongkat Istiwa’ Dalam Penentuan Titik Koordinat Bumi (Perbandingan dengan GPS (Global Positioning System) dan Google Earth)*, hlm 147.

global dan regional. Perolehan data deviasi tersebut cukup kecil, hanya dalam fraksi centimeter saja.²⁰

Penelitian tentang “*Penentuan Koordinat Geodetik Titik BM Pasut Jawa Dari Data Pengamatan GPS*” yang dilakukan oleh Herry Risdianto pada tahun 2014. Dalam penelitian ini dilakukan pencarian terhadap nilai ketelitian dari data yang diperoleh GPS. Data tersebut meliputi tiga hal, yakni data lintang tempat, bujur tempat dan tinggi elipsoid. Dikatakan bahwa titik pengamatan yang memiliki ketelitian tinggi elipsoid paling baik adalah Sunda Kelapa, dengan tingkat ketelitian sebesar 9,7 cm, sedangkan titik pengamatan yang memiliki ketelitian tinggi elipsoid paling rendah adalah Prigi, dengan tingkat ketelitian sebesar 12 cm.²¹

Atas pelacakan penelitian-penelitian tersebut, belum ada satupun penelitian yang fokus meneliti tentang penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan, sehingga penelitian ini berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya.

G. Metodologi Penelitian

1. Jenis Penelitian

Penelitian tesis ini merupakan penelitian kuantitatif dengan menggunakan format terstruktur dimana datanya berbentuk

²⁰ Sri Rezki Artini, “Penentuan Koordinat Stasiun GNSS CORS GMU1 dengan Kombinasi Titik Ikat GPS Global dan Regional”, *Pilar : Jurnal Teknik Sipil*, Vol 10, No.1, Maret 2014, hlm 37.

²¹ Herry Risdianto, “Penentuan Koordinat Geodetik Titik BM Pasut Jawa Dari Data Pengamatan GPS”, *Teknik UIGM : Jurnal Tekno Global*, Vol.III, No.1,Des 2014, hlm 21.

sesuatu yang dapat dihitung atau berbentuk angka-angka.²² Dalam hal ini, peneliti berusaha menggali lebih dalam tentang fenomena kulminasi Bulan sebagai acuan titik koordinat Bumi, menjabarkan seberapa tinggi tingkat akurasinya serta menjelaskan implementasinya terhadap perhitungan arah kiblat dengan menggunakan angka-angka yang didapat dari observasi Bulan secara langsung.

Data numerik yang dihitung dan dicari dalam penelitian ini adalah berupa data deviasi perbandingan antara metode penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan terhadap tiga metode lain yang telah ada sebelumnya, yakni menggunakan Tongkat Istiwa' (Kulminasi Matahari), *Google Earth* dan *Global Positioning System* (GPS) sekaligus data deviasi arah kiblat dengan pembanding instrumen GPS.

Penelitian ini juga merupakan penelitian eksperimen²³, dengan melakukan percobaan berulang-ulang untuk mencari tahu apakah metode ini dapat dijadikan acuan yang layak dalam penentuan titik koordinat Bumi, khususnya implementasinya terhadap perhitungan arah kiblat. Penjabaran penulis mengenai metode ini bersifat deskriptif dengan menggambarkan secara

²² Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, (Bandung: Alfabeta, 2011), hlm 7.

²³ Penelitian Eksperimen ialah penelitian dilakukan terhadap variabel yang data-datanya belum ada sebelumnya untuk diamati/diukur dampaknya. Dalam penelitian ini, peneliti hanya melakukan percobaan berulang-ulang terhadap obyek penelitian, kemudian diamati dampaknya terhadap arah kiblat. Lihat Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, hlm 11.

sistematis, faktual dan akurat²⁴ tentang metode penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan. Berusaha menuturkan data-data yang didapat dari pengamatan, dalam rangka mengetahui seberapa tinggi tingkat akurasi metode tersebut serta bagaimana implementasinya terhadap arah kiblat.

2. Sumber Data

Sumber penelitian ini meliputi dua sumber, yakni sumber primer yang diperoleh dari hasil observasi (pengamatan). Observasi dilakukan dengan cara mempraktikkan metode penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan. Hasil pengamatan dibandingkan dengan metode lainnya, meliputi metode kulminasi Matahari (Tongkat Istiwa'), aplikasi *Google Earth* dan alat *Global Positioning System* (GPS), kemudian peneliti memperhatikan nilai deviasi dari masing-masing metode tersebut agar dapat diketahui tingkatan akurasi dari semua metode, sekaligus mengungkapkan faktor-faktor apa saja yang menjadi penyebab perbedaan deviasi itu.

Sumber kedua ialah sumber sekunder yang diambil dari dokumentasi literatur-literatur terkait sistem koordinat dan sistem waktu, seperti buku *Geodesi Satelit, Sistem Acuan Geodetik: Dari BigBang sampai Kerangka Acuannya, Astronomical Algorithms, The History and Practice of Ancient Astronomy*, begitu pula jurnal-jurnal yang terkait hal tersebut.

²⁴ Lihat Sumadi Suryabrata, *Metodologi Penelitian*, (Jakarta : Rajawali Press, 2013), hlm 75.

3. Metode Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilakukan dengan teknik observasi dan dokumentasi. Kegiatan observasi berguna untuk mengambil data praktik lapangan berbagai metode penentuan titik koordinat Bumi, khususnya metode dengan acuan kulminasi Bulan, agar dapat diketahui cara pengaplikasian, deviasi dan tingkatan akurasi. Selanjutnya teknik dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan berbagai literatur-literatur yang ada²⁵ terkait titik koordinat Bumi dan fenomena kulminasi Bulan secara umum. Begitu juga referensi tentang penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan secara khusus.

Mengenai instrumen yang digunakan untuk pelaksanaan penelitian, peneliti menggunakan tiga instrumen utama, yakni Tongkat Istiwa', Theodolite, penunjuk waktu akurat. Tongkat Istiwa' digunakan untuk mengetahui secara pasti kapan kulminasi Bulan terjadi, Theodolite digunakan untuk mengukur sudut zenit Bulan saat kulminasi, sedangkan penunjuk waktu digunakan untuk mengetahui waktu saat terjadinya kulminasi Bulan.

4. Metode Analisis

Setelah data-data dikumpulkan, kemudian dianalisis menggunakan teknik *deskriptif analitik matematis*, yakni analisis dengan cara menggambarkan teori dan metode

²⁵ Lihat Moh. Nazir, *Metode Penelitian*, cet 3, (Jakarta : Ghalia Indonesia, 1988), hlm 213.

penentuan koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan dengan perhitungan matematis.²⁶ Analisis seperti ini diharapkan dapat memberikan data perhitungan metode tersebut secara spesifik.

Di samping itu juga menggunakan analisis komparatif, membandingkan hasil praktik lapangan dengan hasil praktik dari metode kulminasi Matahari (Tongkat Istiwa'), aplikasi *Google Earth* dan alat *Global Positioning System (GPS)*, supaya dapat memperoleh deviasi dari berbagai metode serta menelusuri tingkat akurasi metode kulminasi Bulan dalam memperoleh data titik koordinat Bumi.

H. Sistematika Penulisan

Secara garis besar penulisan penelitian ini terbagi dalam 5 (lima) bab yang di dalamnya terdiri atas sub-sub pembahasan, sebagaimana berikut ini :

Bab I mencakup pendahuluan, terdiri dari latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, kerangka teori, kajian pustaka, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

Bab II membahas tentang tinjauan umum mengenai sistem koordinat dan sistem waktu. Dalam bab ini ada dua subjudul besar. Subbab pertama, sistem koordinat meliputi pengertian sistem koordinat, klasifikasi sistem koordinat, urgensi titik koordinat dalam perhitungan dan praktik arah kiblat serta metode penentuan titik

²⁶ Analisis matematis ditekankan pada uraian mengenai formula dan algoritma penentuan titik koordinat menggunakan kulminasi Bulan.

koordinat Bumi. Subbab kedua ialah tentang sistem waktu meliputi definisi sistem waktu dan klasifikasinya.

Bab III membahas secara spesifik mengenai metode penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan. Di dalam bab ini ada empat sub judul, yaitu Bulan dan pergerakannya, *lunar time*, waktu kulminasi Bulan dan penentuan titik koordinat Bumi dengan acuan kulminasi Bulan.

Bab IV membahas analisis metode dan akurasi penentuan titik koordinat Bumi dengan acuan kulminasi Bulan serta implementasinya terhadap arah kiblat. Terdiri dari tiga sub judul, yakni analisis metode penentuan titik koordinat Bumi dengan acuan kulminasi Bulan, analisis tingkat akurasi metode penentuan titik koordinat Bumi dengan acuan kulminasi Bulan serta analisis implementasi hasil koordinat terhadap arah kiblat.

Bab V merupakan penutup dari penelitian yang terdiri dari kesimpulan, rekomendasi dan saran-saran.

BAB II

TINJAUAN UMUM SISTEM KOORDINAT DAN SISTEM WAKTU

A. Sistem Koordinat

1. Definisi Sistem Koordinat

Ketika membahas posisi suatu titik dalam ruangan, posisi tersebut bisa dinyatakan secara kuantitatif maupun kualitatif. Secara kuantitatif posisi suatu titik dinyatakan dengan koordinat, baik dalam ruang apapun (1D, 2D, 3D dan 4D). Perlu diingat sebuah koordinat tidak hanya memberikan deskripsi kuantitatif tentang posisi, melainkan juga pergerakan (trayektori) suatu titik jikalau semisal titik itu bergerak. Supaya tetap dalam konsistensi dan dapat dijadikan sebuah standarisasi, perlu adanya sistem untuk menyatakan koordinat. Sistem ini disebut sistem referensi koordinat atau sering dinamakan sebagai sistem koordinat. Realisasi secara umum dari sistem ini disebut kerangka referensi koordinat.¹

Sistem koordinat adalah sekumpulan aturan yang menentukan bagaimana koordinat-koordinat yang bersangkutan merepresentasikan unsur-unsur titik-titiknya. Aturan ini biasanya mencakup definisi titik mula perhitungan koordinat serta berbagai sumbu koordinat yang digunakan untuk mengukur jarak dan sudut agar menghasilkan sebuah koordinat

¹ Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit*, (Jakarta : PT Pradnya Paramita, 2001), hlm 15.

tertentu.² Sedangkan kerangka referensi koordinat digunakan sebagai realisasi praktik dari sistem referensi. Semua itu dimaksudkan untuk pendeskripsian secara kuantitatif posisi dan pergerakan titik yang diukur, baik di permukaan bumi (kerangka terestris) maupun di luar Bumi (kerangka selesial atau ekstra-terestris).³

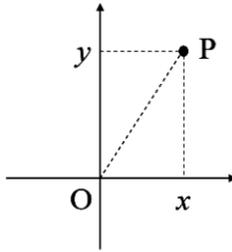
Sistem koordinat dapat merepresentasikan posisi titik dalam sebuah ruang, baik dalam dua dimensi maupun tiga dimensi. Sistem koordinat 2D dan 3D inilah yang sering disebut sebagai sistem koordinat kartesian yang merupakan sistem koordinat paling dasar atau sederhana. Sistem koordinat kartesian sangat berguna untuk menggambarkan gerak benda dalam arah garis lurus. Akan tetapi kadang-kadang sistem koordinat ini kurang tepat bila digunakan untuk sebuah benda yang bergerak melengkung atau melingkar.⁴

Berbicara mengenai ruang dua dimensi, sistem koordinat kartesian memiliki pusat di titik O dan memiliki dua sumbu koordinat yang saling tegak lurus satu sama lain, yaitu sumbu x dan y. Sumbu x dan sumbu y terletak pada bidang kertas yang membentuk sudut 90 derajat satu sama lain.

² Eddy Prahasta, *Sistem Informasi Geografis*, (Bandung: BI-Obses, 2009), hlm 239

³ Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit*, hlm 15.

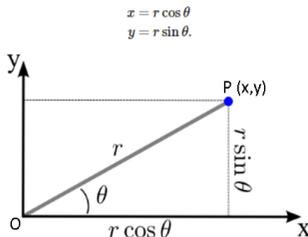
⁴ Yosaphat Sumardi, *Mekanika*, (Tangerang : Universitas Terbuka, 2007), hlm 21.



Gambar 2.1 : Koordinat Kartesian dua dimensi x, y (Rinto Anugraha)

Pada gambar 2.1 titik P dinyatakan dalam koordinat x dan y, dimana dua sumbu itu dihitung menggunakan referensi yang sama, yakni titik O. Jarak diukur sepanjang garis paralel dengan satu sumbu yang memanjang ke sumbu lainnya. Jika pengukuran sejajar dengan sumbu x, maka itu disebut koordinat x dan jika pengukurannya sejajar dengan sumbu y, maka disebut koordinat y.⁵

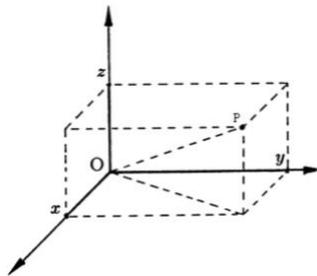
Adapula sistem koordinat lain dalam ruang dua dimensi, yakni sistem koordinat Polar, sistem ini lebih tepat untuk menggambarkan gerak melingkar pada suatu bidang.



Gambar 2.2 : Koordinat Polar (www.id.wikipedia.org.)

⁵ Jan Van Sickle, *Basic GIS Coordinates*, (Washington DC : CRC Press, 2004), hlm 2.

Ada sistem yang lebih rinci lagi dalam pendefinisian sebuah titik, yakni sistem koordinat ruang tiga dimensi. Jika komponen sumbu dalam koordinat kartesian dua dimensi ditambah satu sumbu lagi, maka dapat diperluas menjadi kartesian tiga dimensi dengan masih memiliki pusat di titik O dan tidak hanya mempunyai sumbu x dan y saja, melainkan juga sumbu z.⁶



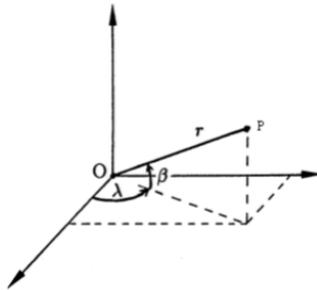
Gambar 2.3 : Koordinat Kartesian Tiga Dimensi x, y, z (Rinto Anugraha)

Koordinat kartesian tiga dimensi (x, y, z) bisa diubah menjadi koordinat bola (*Spherical Coordinate*) tiga dimensi $(r, \text{Alpha}, \text{Beta})$. Koordinat kartesian tiga dimensi, seluruh koordinat $(x, y$ dan $z)$ berdimensi panjang, sedangkan dalam koordinat bola, terdapat satu koordinat yang berdimensi panjang (yaitu r) dan dua koordinat lain berdimensi sudut (yaitu Alpha dan Beta).⁷ Jadi jelas sudah bahwa sistem koordinat bola

⁶ Ramadoni Syahputra, *Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik*, (Yogyakarta : LP3M UMY, 2017), hlm 7.

⁷ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, (Yogyakarta :UGM Jurusan Fisika, 2012), hlm 48-49

menggunakan prinsip yang sama dengan sistem koordinat polar dalam ruang tiga dimensi.



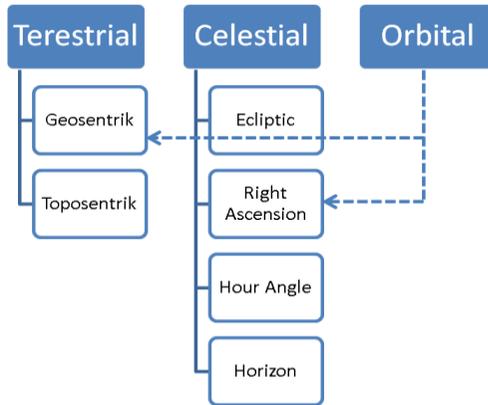
Gambar 2.4 : Koordinat Bola Tiga Dimensi r , Alpha, Beta
(Rinto Anugraha)

2. Klasifikasi Sistem Koordinat.

Posisi suatu titik biasanya dinyatakan dengan sebuah koordinat (baik dalam dua dimensi atau tiga dimensi) yang mengacu pada sistem koordinat tertentu. Sistem-sistem koordinat dapat didefinisikan sesuai dengan parameter-parameter berikut ini :

- Lokasi titik asal (titik nol) dari sistem koordinat : Geosentrik (di pusat Bumi), Toposentrik (di permukaan Bumi) dan Heliosentrik (di pusat Matahari).
- Orientasi dari sumbu-sumbu koordinat : Terikat Bumi (*Earth-Fixed*) dan Terikat Langit (*Space-Fixed*)
- Besaran koordinat (kartesian, *curvilinier*) yang digunakan untuk mendefinisikan posisi suatu titik dalam sistem koordinat tersebut : Jarak (kartesian), sudut dan jarak (geodetik).

Dengan memakai parameter tersebut, sistem koordinat dapat diklasifikasikan lebih lanjut tergantung pada parameter apa yang digunakan, sehingga dikenallah beberapa jenis sistem koordinat berikut :



Gambar 2.5 : Klasifikasi Sistem Koordinat (Penulis)

Tiga kelompok sistem koordinat tersebut dijelaskan sebagai berikut :⁸

a. Sistem Koordinat Terrestrial

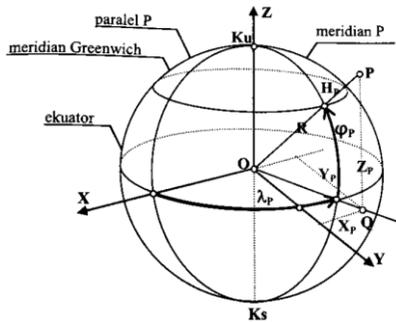
Sistem koordinat terrestrial adalah sistem koordinat didasarkan pada Bumi yang tetap, di mana sistem ini selalu berputar bersama dengan Bumi. Sistem ini meliputi sistem koordinat geografik dan geodetik.⁹ Dalam keperluan global, sistem koordinat ini digunakan untuk memudahkan komunikasi, penyamaan persepsi serta menghindari proses

⁸ Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit*, hlm 29.

⁹ E.J. Krakiwsky dan D.E Wells, *Coordinate System in Geodesy*, (Canada : Departement of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick Fredericton, 1971), hlm 1.

konversi atau bahkan tranformasi. Sistem ini mencakup area data koordinat bujur, lintang dan tinggi di seluruh permukaan Bumi.

Pemodelan bentuk Bumi yang digunakan dalam sistem ini bisa berbentuk elipsoid ataupun bola (globe). Apabila model elipsoid diterapkan, maka disebut sistem koordinat geodetik. Kemudian jika model bola yang dipakai, maka dinamakan sistem koordinat geografik. Model inilah yang lebih dikenal secara umum.¹⁰



Gambar 2.6 : Sistem Koordinat Geografik (Fahrurrazi)

Dalam gambar 2.6. menampilkan posisi suatu titik (P) pada sistem koordinat geografik dengan komponen koordinat (ϕ_p , λ_p , h_p) dan kartesian (X_p , Y_p , Z_p). Acuan yang dipakai untuk mendefinisikan titik P ialah ekuator, meridian dan bidang permukaan bola Bumi.

¹⁰ Fahrurrazi, *Sistem Acuan Geodetik : dari Bigbang sampai Kerangka Acuan Terrestrial*, (Yogyakarta : Gadjah Mada University Press, 2011), hlm 68-69.

Adanya acuan tersebut, dapat merepresentasikan posisi spasial suatu titik di permukaan Bumi secara pasti melalui tiga komponen utama, yaitu menggunakan data lintang (ϕ), bujur (λ) dan ketinggian h (tinggi di atas elipsoid).

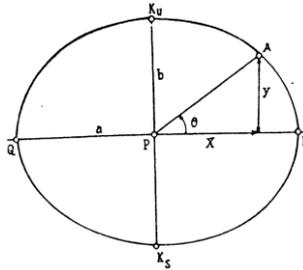
Lintang (ϕ) suatu titik ialah jarak busur meridian diukur mulai dari ekuator ke arah kutub utara (positif) atau ke arah kutub selatan (negatif) sampai ke proyeksi titik yang bersangkutan pada permukaan bola Bumi acuan. Harga lintang geografik berkisar 0° sampai 90° . Dalam gambar di atas lintang geografik untuk titik P ditunjukkan oleh sudut POQ. Data lintang dapat dipakai untuk menentukan posisi titik di bidang meridian setempat. Posisi titik itu sendiri ditentukan oleh sudut yang dihitung dari bidang meridian menuju ke titik referensi tertentu yang dipilih secara acak di Bumi.¹¹

Bujur (λ) ialah sudut yang dibentuk oleh bidang referensi yang melalui meridian utama ($\lambda=0$) dengan bidang meridian yang melalui titik bersangkutan (titik lokal yang diamati). Jarak busur ini diukur mulai dari meridian Greenwich ke arah timur (positif) atau ke arah barat (negatif) hingga meridian yang melalui titik bersangkutan. Harga bujur berkisar 0° sampai 180° baik bujur timur maupun bujur barat. Dalam gambar di atas lintang geografik untuk titik P ditunjukkan oleh sudut XOQ.

¹¹ Edgar Woolard, *Spherical Astronomy*, (New York : Academic Press, 1966), hlm 33-35.

Gambar 2.7. : Sistem Koordinat Geosentrik
(Hasanuddin)

Pada sistem koordinat geosentrik, bila bidang meridian setempat ditarik garis lurus yang menghubungkan titik tempat dengan titik pusat Bumi, maka garis itu membentuk sudut ϑ dengan sumbu besar meridian elips. Sudut inilah yang dinamakan lintang geosentrik.¹⁴



Gambar 2.8 : Lintang Geosentrik (Soetomo W.)

Sistem koordinat geosentrik memiliki ciri-ciri spesifik sebagai berikut :

- Titik origin (titik nol) berada pada titik pusat Bumi.
- Kutub primer disejajarkan dengan poros rotasi bumi dan bidang primer yang tegak lurus terhadap kutub ini disebut bidang ekuatorial.
- Sumbu primer adalah persimpangan antara bidang ekuator dan bidang meridian kota Greenwich.

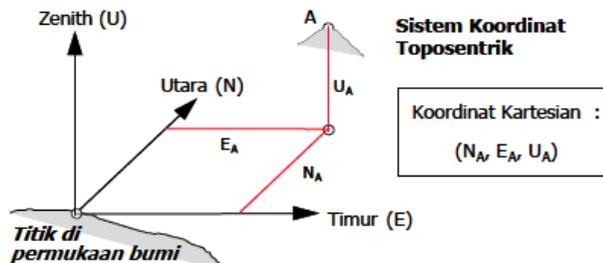
¹⁴ Soetomo Wongsotjitro, *Ilmu Geodesi Tinggi 1*, (Yogyakarta : Yayasan Kanisius, 1981), hlm 41.

- Sistem perputarannya adalah sistem perputaran tangan kanan.¹⁵

2) Sistem Koordinat Toposentrik

Sistem koordinat toposentrik merupakan sistem penentuan suatu posisi dilandaskan pada titik origin (titik nol) yang diambil dari permukaan Bumi. Sistem ini biasanya dinyatakan dalam koordinat kartesian (N_A , E_A , U_A), dengan beberapa ciri-ciri sebagai berikut :

- Titik origin (titik nol) berada di permukaan Bumi.
- Bidang primer adalah bidang tangensial ke permukaan Bumi pada suatu titik tertentu.
- Sumbu primer adalah titik utara yaitu persimpangan atau perpotongan antara bidang tangensial dengan bidang yang memuat kutub rotasi utara bumi.
- Sistem perputarannya adalah sistem perputaran tangan kiri.¹⁶



Gambar 2.9 : Sistem Koordinat Toposentrik (Hasanuddin)

4. ¹⁵ E.J. Krakiwsky dan D.E Wells, *Coordinate System in Geodesy*, hlm

5. ¹⁶ E.J. Krakiwsky dan D.E Wells, *Coordinate System in Geodesy*, hlm

b. Sistem Koordinat Selestial

Sistem koordinat selestial merupakan perpanjangan dari sistem koordinat terestrial, yang mana menjadikan Bumi sebagai pusat sistem sekaligus dihitung sebagai sebuah titik (bukan piringan). Katulistiwa Bumi diteruskan menjadi katulistiwa langit atau ekuator langit. Referensinya adalah titik awal Aries (γ , *first point of Aries*) yang berada di perpotongan garis ekuator langit dengan garis ekliptika langit.¹⁷ Ada empat macam sistem koordinat selestial, yaitu:

1) Sistem Koordinat Horizontal

Komponen dalam sistem koordinat horizon dinyatakan dengan azimut (A) dan tinggi (h) atau azimut (A) dan sudut zenit (z). Azimut adalah sudut yang dibentuk oleh garis penghubung titik pusat dengan titik utara dan garis penghubung titik pusat dengan proyeksi bintang sepanjang lingkaran horizon, dihitung searah jarum jam (bernilai antara 0° sampai 360°).¹⁸ Definisi tersebut dapat dipahami bahwa azimut titik timur adalah 90° , titik selatan 180° , titik barat 270° dan titik utara 360° .

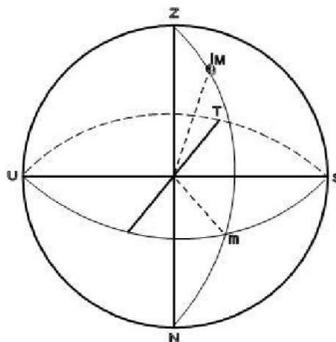
Tinggi benda langit didefinisikan sebagai busur pada lingkaran vertikal yang diukur dari titik perpotongan antara lingkaran horizon dengan lingkaran

¹⁷ Baharuddin Zainal, *Ilmu Falak*, (Malaysia : Dawama, 2004), hlm 18.

¹⁸ Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak Menyimak Proses Pembuatan Alam Semesta*, (Yogyakarta: Bismillah Publisher, 2012), hlm 299.

vertikal ke arah objek benda langit tersebut. Pengukuran tinggi dihitung positif ke arah zenit dan sebaliknya, dihitung negatif ke arah nadir. Sedangkan sudut zenit atau jarak zenit merupakan jarak atau busur sepanjang lingkaran vertikal dihitung dari zenit menuju benda langit yang bersangkutan. Dari uraian tersebut dapat diturunkan rumus :

$$Z + h = 90^\circ, Z = 90^\circ - h \text{ dan } h = 90^\circ - Z$$



Gambar 2.10 : Sistem Koordinat Horizon (Susiknan Azhari)

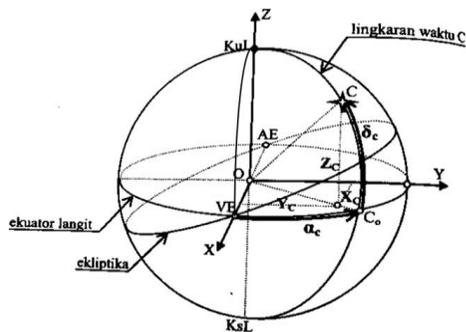
Pada gambar 2.10, ZMm ialah lingkaran vertikal yang melalui bintang M , sedangkan $UTSm$ merupakan azimuth bintang M . Tinggi benda langit M adalah busur $m-M$ dan jarak zenit ditunjukkan oleh busur $Z-M$.¹⁹

¹⁹ Susiknan Azhari, *Ilmu Falak Teori dan Praktik*, (Yogyakarta : Lazuardi, 2001), hlm 28-30.

2) Sistem Koordinat Asensio Rekta (Katulistiwa /Ekuator)

Sistem koordinat asensio rekta tidak terikat oleh kedudukan lintang geografik titik pengamatan, murni melihat posisi benda langit diukur dari titik Aries dan bidang ekuator. Sedangkan unsur-unsur yang diukur adalah asensio rekta (α) dan deklinasi (δ) benda langit. Asensio rekta merupakan jarak busur ekuator langit diukur mulai titik Aries (titik perpotongan ekuator dan ekliptika) hingga titik proyeksi benda langit sepanjang garis ekuator. Harga asensio rekta berkisar 0° (0 jam) hingga 360° (24 jam).

Deklinasi (δ) ialah jarak busur lingkaran waktu yang melalui benda langit, diukur dari ekuator langit ke arah KuL (positif) atau ke arah KsL (negatif) sampai benda langit yang dihitung. Harga deklinasi berkisar 0° sampai $+90^\circ$ untuk benda langit di belahan utara dan 0° sampai -90° untuk benda langit belahan selatan.²⁰

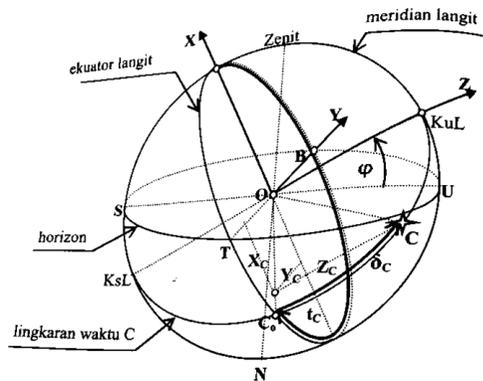


²⁰ Fahrurrazi, *Sistem Acuan Geodetik : dari Bigbang sampai Kerangka Acuan Terrestrial*, hlm 96

Gambar 2.11 : Sistem Koordinat Asensio Rekta
(Fahrurrazi)

3) Sistem Koordinat Sudut Waktu

Posisi benda langit dalam sistem koordinat ini ditentukan dari dua data, yakni Sudut waktu dan deklinasi. Jika suatu bintang sedang berada di meridian, maka lingkaran waktu dengan meridian berhimpit, namun jika tidak berada di meridian, maka lingkaran waktu dengan meridian membentuk sebuah sudut. Sudut inilah yang sering disebut sebagai sudut waktu, biasa dilambangkan dengan huruf t . Perhitungannya dimulai dari meridian atas dan berakhir di meridian bawah. Di belahan barat sudut waktu bernilai positif (+) sedangkan di belahan timur sudut waktu negatif (-).²¹

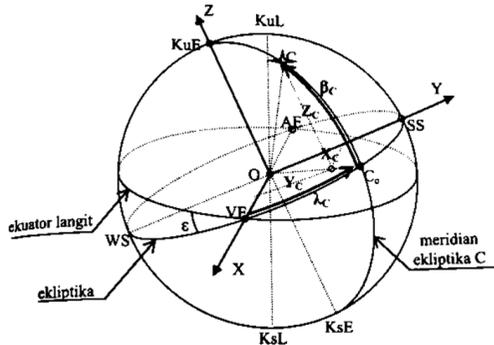


Gambar 2.12: Sistem Koordinat Sudut Waktu
(Fahrurrazi).

²¹ Slamet Hambali, *Ilmu Falak 1 : Penentuan Awal Waktu Shalat & Arah Kiblat Seluruh Dunia*, (Semarang : Program Pascasarjana IAIN Walisongo Semarang, 2011), hlm 63

4) Sistem Koordinat Ekliptika

Bidang yang merupakan orbit Bumi mengelilingi Matahari disebut bidang ekliptika. Planet-planet lain di tata surya juga bergerak dalam orbit yang dekat dengan bidang ini. Ketika memperhitungkan objek-objek di tata surya maka sangat mudah dilakukan jika dilihat posisinya dari bidang ekliptika, cara perhitungan seperti ini dilandasi dari penggunaan sistem koordinat ekliptika. Sistem koordinat ini menggunakan *vernal equinox* sebagai arah rujukannya.

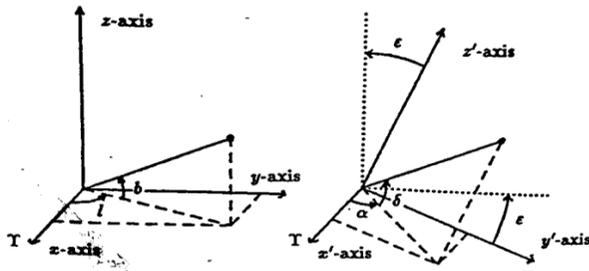


Gambar 2.13 : Koordinat Ekliptika (Fahrurrazi)

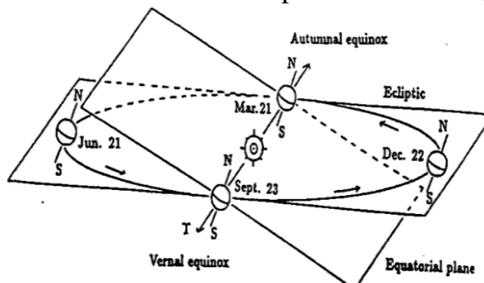
Jika melihat gambar di atas, bujur ekliptika (λ) didefinisikan sebagai sudut yang dihitung dari titik C_0 menuju ke titik VE (γ), sedangkan lintang ekliptika (β), sudut yang terhitung dari titik C_0 ke titik C. Nilai β positif jika planet berada di utara ekliptika dan bernilai negatif jika di selatannya.

Koordinat ekliptika dan koordinat ekuator mempunyai perbedaan dalam bidang referensi dari

mana keduanya diukur. Dalam koordinat ekliptika, bidang x dan y adalah bidang orbit bumi mengelilingi Matahari (ekliptika), sedangkan dalam koordinat ekuator, bidang referensi tegak lurus terhadap poros bumi, sejajar dengan bidang ekuator bumi. Sumbu x-x' merupakan perpotongan antara dua bidang yang biasa digunakan di kedua sistem dan didefinisikan sebagai arah *vernal equinox* atau titik mula Aries (γ). Arah ini tegak lurus terhadap kutub utara ekliptika (sumbu z) dan ke kutub utara langit (sumbu z'). Sudut ϵ antara ekliptika dan ekuator bernilai sekitar $23,5^\circ$ ²²



Gambar 2.14 : Koordinat Ekliptika & Ekuator (Oliver)

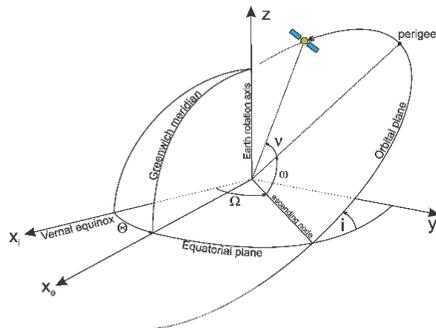


Gambar 2.15 : Bidang Ekliptika & Bidang Ekuator (Oliver).

²² Oliver Montenbruck and Thomas Pflieger, *Astronomy on the Personal Computer*, (Berlin : Springer-Verlag, 1994), hlm 13-14.

c. Sistem Koordinat Orbital.

Sistem koordinat orbital biasa digunakan untuk menentukan koordinat satelit yang mengorbit di sekitar Bumi. Koordinat ini tidak membicarakan mengenai efek gerak rotasi Bumi, melainkan membahas tentang orbit benda-benda langit yang mengelilingi Bumi. Bidang orbital tetap terpaku pada sistem langit artinya sistem orbital dan sistem langit memiliki titik origin yang sama yaitu berpusat pada gravitasi bumi (titik pusat Bumi).



Gambar 2.16 : Elemen Orbit Kepler (KJ Villianueva).

Sistem koordinat orbital memiliki beberapa spesifikasi sebagaimana berikut :²³

- Titik origin (titik nol) berada pada titik pusat gravitasi Bumi
- Bidang primer adalah bidang elips orbital, dan kutub primer (sumbu z) tegak lurus terhadap bidang primer ini.

²³ K.J. Villianueva, *Pengantar ke dalam Astronomi Geodesi*, (Bandung: Departemen Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITB, 1978), hlm 96-98.

- Sumbu primer (sumbu x) adalah garis *apsides*.
- Sistem perputaran sumbu Y adalah sistem perputaran tangan kanan.

3. Urgensi Titik Koordinat dalam Perhitungan dan Praktik Arah Kiblat.

Titik koordinat dalam penentuan arah kiblat sangatlah penting sebagai titik acuan awal perhitungan tempat yang diukur. Tanpa menggunakan acuan koordinat arah kiblat tidak mungkin dapat diketahui secara akurat. Data ini digunakan baik dalam menghitung azimuth kiblat maupun menghitung azimuth Matahari guna praktik penentuan arah kiblat menggunakan posisi Matahari setiap saat.

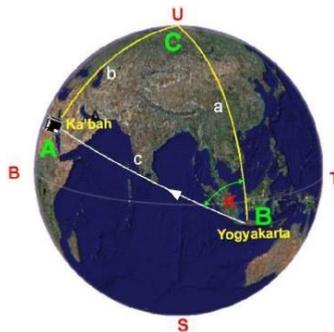
Penentuan azimuth kiblat ini memerlukan data koordinat dari dua tempat, yakni koordinat tempat yang ingin dicari azimuth kiblatnya dan koordinat Kakbah sebagai titik pusat kiblat berada, koordinat tempat mencakup dua data, yaitu data lintang dan bujur tempat. Mengingat setiap tempat yang diukur berada di permukaan bola Bumi, maka perhitungan arah kiblat dilakukan dengan ilmu ukur segitiga bola (*spherical Trigonometri*). Di mana ada tiga titik yang diperlukan untuk kepentingan tersebut:²⁴

- (1) Titik A, merupakan titik koordinat Kakbah (lintang dan bujur kakbah).

²⁴ Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak Dalam Teori dan Praktik*, (Yogyakarta : Buana Pustaka, 2004), hlm 54

- (2) Titik B adalah titik lokasi yang akan dihitung arah kiblatnya. Titik inilah yang disebut dengan titik koordinat tempat.
- (3) Titik C, terletak di titik poros Bumi di kutub utara. Kutub utara dijadikan patokan untuk permulaan dihitungnya nilai azimut. Hal demikian ini sesuai dengan prinsip azimut yang mana selalu dihitung dari utara sejati (poros Bumi utara) searah jarum jam.

Ketiga titik tersebut harus dihubungkan menggunakan garis lengkung yang melewati lingkaran besar sehingga membentuk sebuah segitiga bola ABC.



Gambar 2.17 : Trigonometri Kiblat
(www.jasasurveypemetaan.com)

Pada gambar 2.17 menunjukkan arah kiblat kota B, di mana titik A adalah Kakbah. Garis kiblat kota B ditunjukkan oleh garis B-A, garis itu merupakan busur lingkaran besar yang melewati kedua tempat tersebut. Jika posisi kota B dinyatakan dengan ϕ_B untuk lintang tempat dan λ_B untuk bujur tempat dan titik Kakbah dinyatakan dengan ϕ_K untuk lintang Kakbah dan λ_K untuk bujur Kakbah, maka sisi $AC = 90^\circ - \phi_K$ dan sisi $BC =$

$90^\circ - \varphi_B$. Sudut C juga dapat diketahui dengan menghitung selisih antara λ_B dan λ_K ($\lambda_B - \lambda_K$). Dengan catatan, bujur tempat di sebelah timur Greenwich dinyatakan negatif dan sebaliknya, bujur tempat di sebelah baratnya dinyatakan positif. Dengan demikian, sudut C bernilai positif untuk tempat B yang terletak di sebelah barat Kakbah dan negatif untuk B yang berada di sebelah timur Kakbah.²⁵

Formula azimuth kiblat dilandasi dari dua rumus dasar trigonometri bola, rumus itu ialah rumus cosinus dan sinus. Dalam rumus dasar cosinus untuk sisi diungkapkan dengan formula :²⁶

$$\cos a = \cos b \cdot \cos c + \sin b \cdot \sin c \cdot \cos A \text{ (persamaan 1)}$$

$$\cos b = \cos a \cdot \cos c + \sin a \cdot \sin c \cdot \cos B \text{ (persamaan 2)}$$

$$\cos c = \cos a \cdot \cos b + \sin a \cdot \sin b \cdot \cos C \text{ (persamaan 3)}$$

Masing-masing persamaan menjelaskan hubungan antara ketiga sisi dengan sudut dalam segitiga bola ABC.

Kemudian rumus dasar sinus diungkapkan dalam formula :²⁷

$$\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c} \text{ (persamaan 4)}$$

²⁵ Ahmad Izzuddin, *Kajian Terhadap Metode-Metode Penentuan Arah Kiblat dan Akurasinya*, (Jakarta : Kemenag RI, 2012), hlm 100-103

²⁶ W.M. Smart, *Textbook on Spherical Astronomy*, (Sydney : Cambridge University Press, 1980), hlm 7

²⁷ W.M. Smart, *Textbook on Spherical Astronomy*, hlm 10

Rumus sinus tersebut kemudian digabungkan dengan tiga persamaan di atas (1,2 dan 3). Jika $\cos c$ pada persamaan 3 dimasukkan ke dalam persamaan 2, maka menghasilkan :

$$\cos b = \cos a (\cos a \cdot \cos b + \sin a \sin b \cos C) + \sin a \sin c \cos B,$$

atau

$$\sin^2 a \cdot \cos b = \cos a \sin a \sin b \cos C + \sin a \sin c \cos B$$

Kedua ruas dibagi dengan $\sin a \cdot \sin b$, persamaan tersebut menjadi :

$$\sin a \cdot \cotan b = \cos a \cdot \cos C + \frac{\sin c}{\sin b} \cdot \cos B$$

Rumus sinus persamaan 4 dapat dipakai untuk mengganti $\frac{\sin c}{\sin b}$ oleh $\frac{\sin C}{\sin B}$, sehingga menjadi :

$$\cos a \cos C = \sin a \cdot \cotan b - \sin C \cdot \cotan B \text{ (persamaan 5)}$$

Dari persamaan 5 ini dapat diturunkan rumus kiblat sebagai berikut :

$$\cos (90^\circ - \phi_B) \cdot \cos C = \sin (90^\circ - \phi_B) \cdot \cotan (90^\circ - \phi_K) - \sin C \cdot \cotan B,$$

atau

$$\sin \phi_B \cdot \cos (\lambda_B - \lambda_K) = \cos \phi_B \cdot \tan \phi_K - \sin (\lambda_B - \lambda_K) \cdot \cotan B$$

Sehingga sudut B (sudut arah kiblat) dapat dicari menggunakan formula berikut :

$$\cotan B = \frac{\cos \phi_B \cdot \tan \phi_K - \sin \phi_B \cdot \cos (\lambda_B - \lambda_K)}{\sin (\lambda_B - \lambda_K)}$$

$$\cotan B = \frac{\cos \phi_B \cdot \tan \phi_K}{\sin (\lambda_B - \lambda_K)} - \frac{\sin \phi_B \cdot \cos (\lambda_B - \lambda_K)}{\sin (\lambda_B - \lambda_K)},$$

sehingga menjadi

$$\cotan B = \cos \phi_B \cdot \tan \phi_K \cdot \operatorname{cosec} (\lambda_B - \lambda_K) - \sin \phi_B \cdot \cotan (\lambda_B - \lambda_K)$$

Persamaan ini yang sering digunakan untuk menghitung sudut kiblat kota B dari arah utara ke barat (di daerah Indonesia). Formula yang sama juga digunakan untuk menghitung posisi Matahari setiap saat, namun dengan *input* yang berbeda. Data-data *input* meliputi deklinasi Matahari dan sudut waktu Matahari, sehingga formula azimuth Matahari menjadi seperti berikut :

$$\text{Cotan Azma} = \cos \phi_B \cdot \tan \delta_o \cdot \text{cosec } t - \sin \phi_B \cdot \cotan t$$

di mana :

$$t = (\text{WD} + e - (\text{BD} - \lambda_B) / 15 - 12) \times 15$$

WD ialah waktu daerah. Di Indonesia waktu daerah meliputi tiga zona waktu, Waktu Indonesia Barat (WIB), Waktu Indonesia Tengah (WITA) dan Waktu Indonesia Timur (WIT). Adapun Bujur daerah untuk WIB = 105°, WITA = 120° dan WIT = 135°. Jika sudut waktu negative maka harus diubah positif (diambil nilai mutlaknya).²⁸

Dari penjabaran perhitungan azimuth kiblat dan perhitungan azimuth Matahari dalam praktik penentuan arah kiblat, dengan demikian sudah sangat jelas bahwa titik koordinat tempat sangat urgen untuk penentuan arah kiblat. Semua perhitungan tersebut dimulai dari data koordinat tempat yang diinput dalam formula-formula tertentu, sehingga arah kiblat dapat diketahui secara spesifik dan akurat.

²⁸ Slamet Hambali, *Ilmu Falak Arah Kiblat Setiap Saat*, (Yogyakarta : Pustaka Ilmu Yogyakarta, 2013), hlm 65.

4. Metode Penentuan Titik Koordinat Bumi

Menurut penulis, penentuan koordinat suatu titik di permukaan Bumi bila dilihat dari cara pengambilan datanya dapat dibagi menjadi dua macam yaitu pengambilan data secara langsung dan tidak langsung. Pengambilan secara langsung dapat dilakukan dengan mengamati gejala alam atau obyek acuan yang berada di tempat penelitian, hasil pengamatan secara otomatis menjadi data titik koordinat tempat praktik. Metode yang termasuk dalam jenis ini adalah metode penentuan koordinat dengan tongkat istiwa dan *Global Positioning System* (GPS).

Sedangkan pengambilan data tidak langsung dilakukan dengan memanfaatkan alat bantu peta atau aplikasi sejenisnya. Pengamat tidak harus berada di tempat praktik secara langsung, pengamat juga dapat melakukannya dimanapun dan kapanpun ia berada. Metode yang termasuk jenis ini adalah metode penentuan koordinat menggunakan peta dan aplikasi *Google Earth*.

a. Tongkat Istiwa’.

Tongkat Istiwa’ atau yang sering orang Jawa kenal sebagai bencet²⁹, dalam bahasa Inggris disebut *Sundial*, merupakan alat penunjuk waktu menggunakan bantuan bayangan sinar Matahari.³⁰ Dalam bahasa Arab, Tongkat

²⁹ Ma’shum Ali, *Tibyanul Miqāt fi al-ma’rifat al-auqāt wa al-qibla*, (Kediri : Madrasah Salafiyah Al-Falah, t.th), hlm 1-2.

³⁰ John M Echols dan Hasan Shadily, *Kamus Inggris Indonesia*, cet XXV, (Jakarta : Gramedia, 2003) , hlm 586

Istiwa' disebut sebagai *al-sā'ah al-syamsiyyah* atau *Mizwalla*.³¹ Alat ini juga biasa digunakan sebagai alat peraga untuk menjelaskan adanya rotasi Bumi, terutama dalam bahasan gerak semu harian Matahari dan perbedaan waktu di berbagai tempat.³²



Gambar 2.18 : Tongkat Istiwa'

(www.astronomyandyou.blogspot.com)

Tongkat Istiwa' terdiri dari bidang dial dan sebuah tongkat yang harus didirikan tegak lurus di atas permukaan dial yang datar, ini bersesuaian dengan makna kata *al-istiwa'* yang berarti keadaan lurus.³³ Meskipun demikian, banyak penyebutan lain untuk Tongkat Istiwa' sendiri, semisal di abad pertengahan penamaan *sundial* horizon sering disebut sebagai *rukhamah* (marmer atau kelereng) atau *basitha* (datar), kemudian *sundial* vertikal sering disebut

³¹ Atabik Ali dan Ahmad Zuhdi Mundhor, *Kamus Kontemporer Arab Indonesia*, (Yogyakarta : Multi Karya Grafika, 2004), hlm 1036 dan 1073.

³² Muhammad Maftuh cs, *Bencet Alat Peraga IPA Untuk Memahami Keterkaitan Rotasi Bumi dengan Jam Istiwa'*, (Semarang : Unnes Science Education Journal, Vol1 No. 1, 2012), hlm 39.

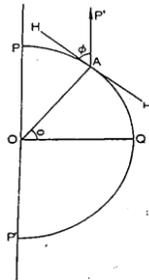
³³ Warson Munawir, *al-Munawir Kamus Arab-Indonesia*, (Surabaya : Pustaka Progressif, 1997), hlm 354.

dengan *munkharifa* (miring atau condong).³⁴ Ada juga jenis *sundial* yang bidang dialnya disesuaikan dengan lingkaran meridian, yaitu *sundial* ekuatorial.

Tongkat Istiwa' dapat digunakan dalam berbagai hal, seperti untuk menentukan waktu semu lokal, menentukan arah mata angin, mengetahui ketinggian Matahari, mengetahui arah kiblat, termasuk untuk mengetahui saat terjadinya kulminasi Matahari.³⁵ Titik koordinat Bumi dapat ditentukan dari fenomena kulminasi Matahari menggunakan Tongkat Istiwa' dengan cara berikut :

1) Menentukan Lintang Tempat

Untuk memahami secara singkat mengenai penentuan lintang tempat dengan alat bantu Tongkat Istiwa' ini, perlu melihat gambar di bawah.



Gambar 2.19 : Lintang dan Kutub Langit (Rene R.J. Rohr)

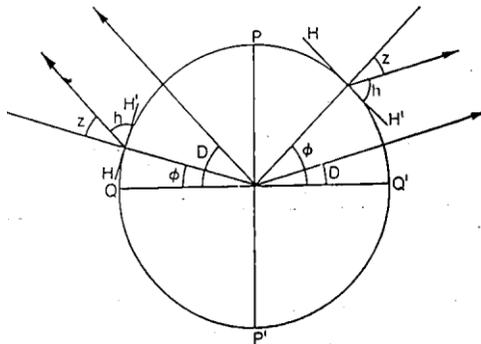
Gambar 2.20 menunjukkan garis lintang suatu tempat sama dengan ketinggian kutub langit di atas meridian. Garis OQ adalah jari-jari Bumi di ekuator,

³⁴ David A. King, *Astronomy in The Service of Islam*, hlm 1.

³⁵ Ahmad Syifa'ul Anam, *Perangkat Rukyat Non Optik*, (Semarang : CV. Karya Abadi Jaya, 2015), hlm 187-189

sedangkan garis HH' adalah cakrawala pengamat. Jika AP' ditarik sejajar dengan PP' , maka sudut HAP' dan AOQ adalah sama besarnya, karena sisi-sisinya saling tegak lurus. Oleh karena itu, dimungkinkan untuk memperoleh nilai garis lintang, cukup dengan mengukur ketinggian bintang kutub di atas cakrawala.

Cara seperti ini banyak sekali kekurangannya, sehingga dicarilah prosedur lain yang paling tepat yaitu dengan mengukur ketinggian bintang yang deklinasinya (δ) diketahui pada saat Matahari transit di meridian. Dengan formula $\varphi = \delta + z$ untuk bintang di sisi kanan (saat bintang berada di sebelah selatan tempat pengamatan), atau $\varphi = \delta - z$ untuk bintang di sisi kiri (saat bintang di sebelah utara). Data z adalah jarak puncak $90 - h$ dari bintang dan h adalah ketinggiannya di atas cakrawala.



Gambar 2.20 : Lintang Tempat dan Deklinasi (Rene R.J Rohr)

Prosedur awal yang perlu dilakukan yaitu menentukan garis utara-selatan terlebih dahulu dengan

cara melacaknya di bidang dial melalui pusat kaki gnomon. Tepat tengah hari, bayangan gnomon akan mencapai panjang minimum menyentuh garis ini. Ketika bayangan minimum terjadi, dilakukan perhitungan ketinggian Matahari (h), dimana m menjadi panjang bayangan saat itu dan λ sebagai tinggi gnomon, sehingga dari dua data tersebut ketinggian Matahari dapat dihitung menggunakan formula $\tan h = \lambda / m$.

Ketinggian Matahari akan dikurangkan 90 untuk mengetahui jarak zenit matahari (Z). Dari Almanak Nautika atau Ephemeris, data deklinasi matahari (δ) saat pengamatan dapat diambil untuk menentukan lintang tempat. Salah satu formula di atas dapat digunakan tergantung kondisi Matahari berada.³⁶

2) Menentukan Bujur Tempat.

Secara mudah inti dari penentuan bujur tempat adalah menghitung selisih waktu transit Matahari di Greenwich dengan waktu transit di tempat pengamatan. Penentuan garis bujur antara dua titik A dan B, ketika dinyatakan dalam jam, menit dan detik, sama dengan waktu yang berlalu antara transit bintang yang sama melalui garis bujur A dan B. Jika waktu transit bintang melalui meridian Greenwich sudah diketahui, maka

³⁶ Rene R.J. Rohr, *Sundials History, Theory and Practice*, (New York : Dover Publications, 1970), hlm 39-40

garis bujur lokasi sama dengan perbedaan antara waktu ini dengan waktu transit melalui meridian lokal.

Langkah-langkah berikut dapat dilakukan untuk mendapatkan garis bujur suatu tempat pengamatan :³⁷

- (1) Mengurangi atau menambahkan waktu legal dengan *Greenwich Mean Time* (GMT) tergantung pada zona waktunya. Jika *daylight saving time* digunakan, maka jam musim panas harus dikurangi waktu legal. Sisanya menjadi GMT.
- (2) Tambahkan atau kurangkan *equation of time* dengan waktu yang dihasilkan pada poin pertama, maka waktu Greenwich sebenarnya di meridian 0° sudah dapat diketahui. Ambil waktu yang ditunjukkan oleh jam, kemudian tambahkan atau kurangkan waktu tersebut dengan *equation of time* untuk mencari *mean time* di meridian 0°.
- (3) Baca waktu yang ditampilkan oleh jam saat transit Matahari di meridian, saat itu adalah tengah hari yang ditunjukkan dalam waktu lokal hakiki.
- (4) Kurangkan waktu tersebut dengan 12, hasilnya adalah selisih bujur dalam bentuk jam, menit dan detik, kemudian diubah menjadi derajat, menit, detik dengan menambahkan zona waktu dan mengalikannya dengan 15.

³⁷ Rene R.J. Rohr, *Sundials History, Theory and Practice*, hlm 42-43.

b. Global Positioning System

GPS (*Global Positioning System*) adalah sistem radio navigasi dan penentuan posisi menggunakan satelit. Nama formalnya adalah NAVSTAR GPS (*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*). Sistem yang dapat digunakan oleh banyak orang sekaligus dalam segala cuaca, didesain untuk memberikan posisi dan kecepatan tiga dimensi yang teliti, dan juga informasi mengenai waktu secara kontinyu di seluruh dunia.³⁸

Sistem GPS merupakan sistem penentuan posisi berbasis satelit, sekaligus merupakan tonggak revolusi bidang pengukuran posisi dan navigasi. Satelit GPS pertama kali diluncurkan pada Februari tahun 1973 dengan berat 2000 pounds, berbentuk panel surya tenaga baterai sepanjang 17 feet, dan hanya memiliki *Power Transmitter* 50 watt.³⁹ Satelit yang mengitari bumi pada orbitnya ini terdiri dari 24 susunan satelit, dengan 21 satelit aktif dan 3 buah satelit sebagai cadangan yang membentuk segmen ruang angkasa. Dengan susunan orbit tersebut, maka satelit GPS bisa diterima di seluruh permukaan bumi menampilkan penampakan empat sampai delapan buah satelit. GPS dapat

³⁸ Hasanuddin Z. Abidin, *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*, (Jakarta : PT Pradnya Paramita, 2000), hlm 268

³⁹ Pustaka Nasional : Katalog Dalam Terbitan, *Tehnik Hidup di Alam Terbuka*,(Bandung : Truenorth, 2011), hlm 39.

memberikan informasi posisi dan waktu dengan ketelitian sangat tinggi.⁴⁰

Dalam penentuan titik koordinat menggunakan GPS, prosedur atau langkah-langkah yang harus dilakukan adalah sebagai berikut :⁴¹

- (1) Carilah tempat yang terbuka dengan pandangan yang luas agar sinyal dari satelit tidak terhalang oleh benda-benda di sekitar.
- (2) Hidupkan *receiver* GPS dengan menekan dan menahan tombol power pada sisi kanan hingga keluar tampilan.
- (3) Tekan dan lepaskan tombol *power* satu kali untuk mengatur kecerahan layar, melihat jam dan tanggal, status baterai dan sinyal. Jam dan tanggal pada *receiver* GPS adalah jam yang akurat. Lalu tekan bagian tengah *joystick*.
- (4) Gerakkan *joystick* ke atas atau ke bawah hingga menemukan menu “satelit”. Pilih menu tersebut dengan menekan tombol tengah pada *joystick*.
- (5) Tunggu hingga *receiver* GPS mendapatkan sinyal paling banyak dan radius akurasi meter paling sedikit (semakin sedikit radiusnya semakin akurat hasilnya).

⁴⁰ P. Daly, “Navstar GPS and GLONASS : Global Satellite Navigation System”, *Electronics & Communication Engineering Journal*, Vol 5, No. 6, Desember 1993, hlm 351. Doi : 10.1049/ecej:19930069.

⁴¹ Siti Tatmainul Qulub, *Ilmu Falak dari Sejarah ke Teori dan Aplikasi*, (Depok : PT RajaGrafindo Persada, 2017), hlm 259.

Kemudian tunggu hingga keluar data lintang dan bujur pada bagian atas kiri layar *receiver* GPS.

(6) Untuk kembali ke menu utama tekan tombol *back*.

c. Peta

Peta adalah suatu cara untuk merepresentasikan gambaran permukaan Bumi (lokasi, obyek Bumi) dengan nyata pada permukaan 2D (berupa kertas atau layar monitor) yang diperkecil dalam skala tertentu dan dapat dilihat dari atas serta di dalamnya memuat berbagai informasi tentang wilayah tersebut. Peta biasa digunakan untuk menunjukkan posisi atau lokasi relatif (letak suatu tempat terhadap tempat yang lain) di permukaan Bumi juga dapat memberikan segala informasi penting terkait penggambaran di permukaan Bumi.⁴²

Untuk menentukan suatu koordinat dalam sebuah peta, dapat dilakukan sesuai langkah-langkah berikut ini :⁴³

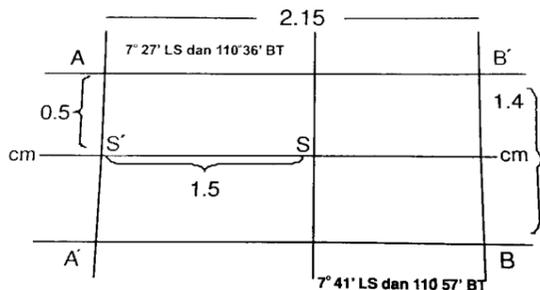
- (1) Tentukan koordinat dua tempat terdekat dari tempat yang akan dicari koordinatnya (S) sebagai patokan awal perhitungan.
- (2) Ukur jarak antara titik A dan titik B', kemudian hitung pula selisih bujur titik A dan B.
- (3) Ketahui jarak dari titik S ke titik S', lalu hitung selisih bujur A-S dengan menggunakan rumus = jarak S-S'/

⁴² Arif Basofi, *Jenis-Jenis dan Fungsi Peta*, (PENS 2013), <http://ariv.lecturer.pens.ac.id/G.I.S/01-Teori/M04.%20Jenis%20&%20Fungsi%20Peta.pdf>, diakses pada 16 Juni 2019 pukul 11:43.

⁴³ Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*, , hlm 32.

jarak A-B' x selisih bujur A-B. Bujur tempat S dapat diketahui dengan cara menambahkan bujur A dan selisih bujur A-S.

- (4) Ukur jarak antara titik A dan titik A', kemudian hitung juga selisih lintang dari titik A dan B.
- (5) Ukur pula jarak A-S', dilanjut dengan menghitung selisih lintang A-S menggunakan rumus = jarak A-S' / jarak A-A' x selisih lintang titik A dan B. Maka lintang tempat dapat diketahui dengan menambahkan lintang A dan selisih lintang A-S.



Gambar 2.21 : Menentukan Titik Koordinat dengan Peta (A. Izzuddin)

d. Aplikasi *Google Earth*

Aplikasi *Google Earth* merupakan aplikasi berbasis citra satelit yang diambil dari superimposisi gambar yang dikumpulkan dari pemetaan satelit, fotografi udara dan globe GIS 3D. Aplikasi yang dikembangkan oleh Keyhole, inc (sebuah perusahaan yang diambil alih Google) sebelumnya sempat dikenal sebagai *Earth Viewer*,

kemudian diganti nama menjadi *Google Earth* di tahun 2005. Kini aplikasi *Google Earth* tersedia dalam versi komputer yang dapat dijalankan melalui Microsoft Windows 2000, Microsoft Windows XP, Windows Vista, Mac OS X 10.3.9, Linux, FreeBSD, bahkan Android.⁴⁴ Penggunaannya pun sangat mudah, cukup instal di komputer melalui situs website resmi Google Earth <https://www.google.co.id/intl/id/earth/download/gep/agree.html>.

Kemudian cara menentukan titik koordinat di dalam aplikasi ini sangat mudah. Ada dua cara yang dapat dilakukan, yaitu :

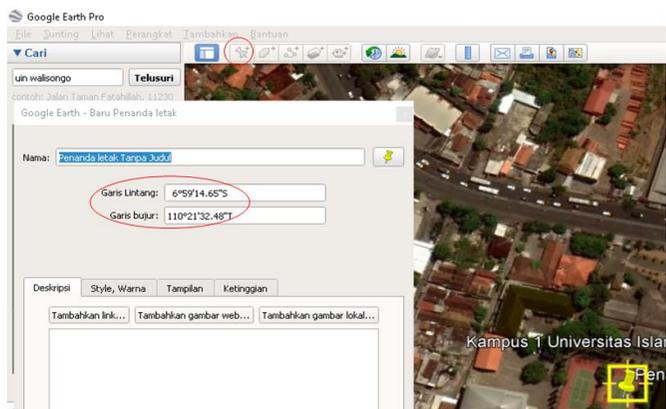
- (1) Dengan mengarahkan kursor secara manual ke titik tempat yang ingin diketahui koordinatnya. Secara otomatis di sisi bawah kanan gambar akan muncul data koordinat tempat yang ditunjukkan kursor.



⁴⁴ https://id.wikipedia.org/wiki/Google_Earth, diakses tanggal 3 Juli 2019 pukul 12:23 WIB

Gambar 2.22 : Kursor Menunjukkan Koordinat Tempat (Google Earth)

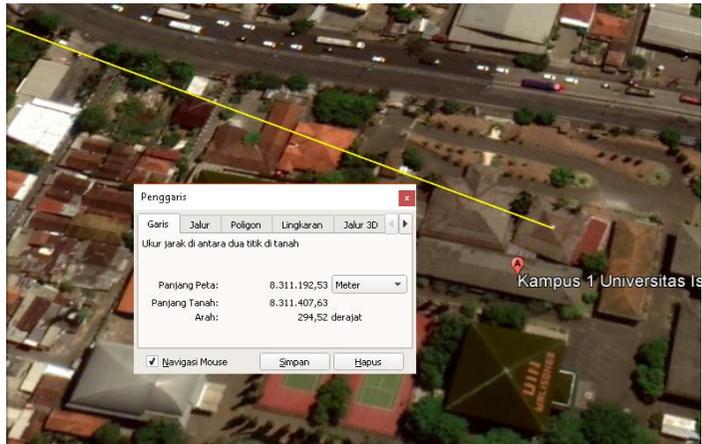
- (2) Dengan mengeklik tool tanda letak  maka akan muncul jendela penanda letak di sisi kiri layar, kemudian geser pin ke tempat yang dikehendaki. Setelah pin sudah benar-benar menunjuk ke tempat yang diinginkan, dalam jendela tadi akan ditampilkan garis lintang dan garis bujur lokasi tersebut.



Gambar 2.23 : Jendela Penanda Tempat (Google Earth)

Google earth juga dapat dimanfaatkan untuk mengetahui arah kiblat dengan menggunakan tool penggaris  pada bagian atas tampilan layar. Caranya icon tersebut diklik, maka akan muncul jendela penggaris. Tekan klik pada tempat yang akan diketahui arah kiblatnya lalu hubungkan dengan menarik dan memanjangkan kursor sampai pada posisi kakkah berada. Setelah terhubung, di jendela tersebut diperlihatkan garis yang menunjukkan arah kiblat tempat tersebut. Tak hanya itu saja, jarak tempat hingga ke kakkah

dalam satuan jarak yang bisa dirubah juga ditampilkan di jendela penggaris sekaligus informasi azimuth kiblat tempat yang dicari.⁴⁵



Gambar 2.24 : Arah Kiblat dengan *Google Earth*

Peneliti membandingkan metode kulminasi Bulan dengan ketiga metode di atas kecuali peta. Peta tidak dibandingkan karena hasil koordinatnya tidak spesifik pada suatu tempat, sehingga dapat dipastikan akurasi sangat rendah. Di samping itu, pencarian tempat praktik di dalam peta tidak mungkin dilakukan, sebab gambar pada peta tidak merupakan citra langsung dari permukaan Bumi. Apalagi koordinat suatu kota di peta biasanya berlaku umum untuk seluruh tempat dalam wilayah kota tersebut.

⁴⁵ Ahmad Izzuddin, *Kajian Terhadap Metode-Metode Penentuan Arah Kiblat dan Akurasi*, hlm 86.

B. Sistem Waktu

1. Definisi Sistem Waktu

Sebelum mengetahui apa itu sistem waktu, perlu dipahami terlebih dahulu apa definisi waktu itu sendiri. Waktu adalah bentangan masa yang tak berujung. Definisi waktu akan sulit dipahami kecuali jika dipenggal-penggal menjadi satuan-satuan masa yang terbatas. Pemenggalan waktu ini dilakukan oleh manusia berdasarkan siklus pergerakan Bumi, Bulan, Matahari bahkan atom sekalipun yang mana berlangsung teratur, bersiklus dan eksak.⁴⁶

Sistem waktu didefinisikan agar dapat menghubungkan ukuran waktu yang biasa digunakan (tahun, bulan, hari, jam, menit, detik) dengan fenomena fisik maupun geometrik yang diamati. Dalam ilmu geodesi satelit, sistem waktu digunakan juga dalam keperluan penentuan jarak ke satelit, penentuan orbit satelit serta studi rotasi Bumi dan parameter-parameter orientasi Bumi lainnya.⁴⁷ Namun di luar itu semua, terkait penelitian ini sistem waktu digunakan untuk memahami asal mula rumus penentuan bujur tempat dapat diketahui, di mana teori waktu ini berkaitan erat dengan data *Equation of Time* yang menjadi komponen utama untuk menentukan bujur tempat memanfaatkan kulminasi Bulan.

⁴⁶ Abd. Salam Nawawi, *Ilmu Falak Cara Praktis Menghitung Waktu Salat, Arah Kiblat dan Awal Bulan*, (Sidoarjo : Aqaba, 2010), hlm 18 a

⁴⁷ Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit*, hlm 51.

Sistem waktu umumnya dikaitkan dengan fenomena alam yang terjadi secara berulang dan periodik dalam interval waktu yang sama atau seragam (*uniform*). Jadi konsep dasar adanya waktu sangat berkaitan erat dengan terjadinya suatu peristiwa. Setelah menilik urutan yang pasti terjadinya dua peristiwa secara tidak bersamaan (*non-simultan*), maka akan memunculkan adanya selang interval diantara dua kejadian itu. Siang dan malam merupakan fenomena *non-simultan* berulang yang paling sering terjadi sehingga dengan demikian dua fenomena ini dapat menunjukkan interval waktu.⁴⁸

Ada dua istilah yang perlu diingat dalam sistem waktu, yakni *epoch* (kala / saat) dan interval (selang waktu). *Epoch* mendefinisikan secara presisi waktu kejadian suatu fenomena atau pengamatan. Sedangkan selang waktu (interval) adalah durasi waktu yang terlewati antara dua *epoch*. Untuk menyatakan selang waktu harus menggunakan skala waktu dengan satuan tertentu, sedangkan untuk penyusunan suatu skala waktu perlu adanya suatu fenomena (peristiwa) yang dapat diamati, di mana fenomena ini berlangsung secara berulang-ulang dengan periode konstan dan dapat dihitung atau diukur. Periode-periode itu menjadi dasar untuk menentukan satuan skala seperti detik, menit, jam, hari, tahun dan lain sebagainya.⁴⁹

⁴⁸ Mohammad Ilyas, *Astronomy of Islamic Times for The Twenty-first Century*, (Kuala Lumpur: AS Noordeen, 1999), hlm 10.

⁴⁹ K.J. Vilianueva, *Pengantar ke dalam Astronomi Geodesi*, hlm 64.

2. Klasifikasi Sistem Waktu

Secara umum ada tiga sistem waktu yang digunakan dalam astronomi dan geodesi satelit. Klasifikasi ini didasarkan pada fenomena-fenomena yang dipakai untuk menentukan skala waktu. Sistem-sistem waktu itu adalah sebagai berikut :⁵⁰

- Waktu bintang (*sidereal time*) dan waktu Matahari (*universal / solar time*), berdasarkan fenomena rotasi Bumi harian.
- Waktu dinamik, berdasarkan fenomena pergerakan benda-benda langit (*celestial bodies*) dalam sistem Matahari.
- Waktu atom, berdasarkan fenomena osilasi elektromagnetik yang dikontrol atau dihasilkan oleh transisi kuantum dari suatu atom.

Ketiga klasifikasi ini merupakan sistem waktu secara garis besar di mana memiliki berbagai jenis waktu yang biasa dipakai dalam beberapa keilmuan. Lebih jelasnya dapat melihat tabel di bawah ini :

Proses Periodik	Jenis	Klasifikasi
Rotasi Bumi	- Universal Time (UT) - Greenwich Sideral Time (GST)	- Sistem W. Matahari - Sistem W. Bintang
Revolusi Bumi	- Ephemeris Time (ET) - Terrestrial D. Time (TDT) - Barycentric D. Time (TDB) - Geosentric Coord. Time (TCG)	- Sistem W. Dinamik - Sistem W. Dinamik - Sistem W. Dinamik - Sistem W. Dinamik

⁵⁰ H. Moritz and I.I. Mueller, *Earth Rotation, Theory and Observation*, (New York : Ungar, 1987), hlm 617

	- Barycentric Coord. Time (TCB)	- Sistem W. Dinamik
Osilasi Atom	- Internat. Atomic Time (IAT) - UT Coordinated (UTC) - GPS Time	- Sistem W. Atom - Sistem W. Atom - Sistem W. Atom

Tabel 2.1 : Klasifikasi Sistem Waktu.

Adanya fenomena alam membentuk sebuah sistem dan skala waktu tersendiri, sehingga banyak sekali jenis waktu dan skala waktu yang sering dipakai pada saat ini.

a. Waktu Bintang.

Waktu bintang (*sidereal time*) merupakan jenis waktu yang didasarkan pada peredaran semu harian bintang-bintang. Satu hari sideris didefinisikan sebagai rentang waktu ketika sebuah bintang kembali ke posisinya semula pada saat ketika memulai pengukuran (dapat menggunakan bintang manapun, akan tetapi bintang tersebut tidak persis berada pada sumbu rotasi Bumi). Pengamat akan menemukan bahwa satu hari sideris lebih pendek sekitar 4 menit dari satu hari surya, yakni 23 jam 56 menit 4,099 detik (menurut waktu Matahari pertengahan / *solar mean time*), maka waktu inilah yang merupakan rentang waktu bintang-bintang beredar dalam satu kali putaran.

Gerakan harian bintang-bintang di langit relatif terhadap rotasi bumi sehingga bisa disamakan dengan gerak harian *vernal equinox*. Umumnya posisi benda-benda astronomi dinyatakan dengan asensio rekta dan deklinasi, yakni pengukuran sudut relatif terhadap *vernal equinox* sepanjang bidang ekuator langit. Dengan jam sideris pengamat bisa

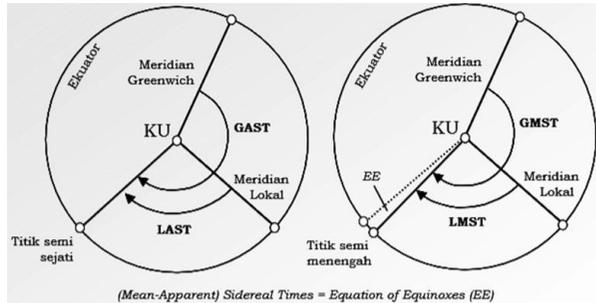
memilih kapan dan apa saja benda-benda yang hendak diamati. Sebagai contoh, suatu benda astronomi akan memotong di meridian pengamat bila asensio rekta benda langit itu sama dengan jam sideris lokal.⁵¹

Secara kuantitatif, *epoch* waktu bintang adalah sudut waktu (*hour angle*) dan titik semi (*vernal equinox / aries*).⁵² Sudut waktu yang dihitung dari titik semi sejati di mana dipengaruhi oleh presisi dan nutasi, dinamakan waktu bintang sejati (*Apparent Sideral Time, AST*). Bila referensinya dihitung dari meridian Greenwich maka dinamakan GAST (*Greenwich Apparent Sideral Time*). Kemudian sudut waktu dari titik semi pertengahan yang masih dipengaruhi oleh fenomena presisi dinamakan waktu bintang menengah (*Mean Sideral Time, MST*). Jika referensinya Greenwich maka disebut GMST (*Greenwich Mean Sideral Time*), sama halnya jika referensinya adalah meridian setempat dinamakan LMST (*Local Mean Sideral Time*). Sedangkan selisih antara waktu bintang sejati dan

⁵¹ Bate, Roger R. Cs, *Fundamentals of Astrodynamics*, (New York : Dover Publications, 1971), hlm 12

⁵² Dalam perjalanan semu Matahari dari selatan ke utara tentu akan menyebrang lingkaran ekuator, titik penyeberangan itu disebut titik Aries. Karena sudut waktu bintang berbeda satu sama lain, maka para astronom menentukan waktu bintang berdasarkan besar sudut waktu titik Aries. Lihat Sriyatin Shadiq, *Ilmu Falak 1* , (Surabaya : Fakultas Syari'ah Universitas Muhammadiyah Surabaya, 1994), hlm 44.

waktu bintang pertengahan dinamakan Equation of Equinoxes (EE).⁵³



Gambar 2.25 : Beberapa Jenis Waktu Bintang (Hasanuddin Z. Abidin)

Dapat ditarik sebuah hubungan antara empat waktu tersebut, yakni sebagai berikut :

$$LMST - GMST = LAST - GAST = \lambda / 15$$

$$EE = GAST - GMST = LAST - LMST = \Delta\psi \cos(\epsilon + \Delta\epsilon)$$

$$GAST = GMST + EE \text{ atau } LAST = LMST + EE$$

Di mana λ adalah bujur tempat dari meridian lokal, sedangkan $\Delta\psi$ adalah nutasi dalam bujur ekliptika. ϵ ialah kemiringan ekliptika rata-rata dan $\Delta\epsilon$ ialah nutasi dalam kemiringan ekliptika.

Ada sebuah hubungan antara waktu sideris dengan kedudukan benda langit X di suatu meridian lokal. Hubungan tersebut terungkap dalam formula :

$$LAST = (t_x + \alpha_x) / 15$$

⁵³ Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit*, hlm 53.

Pada formula di atas, t_x dan α_x masing-masing ialah sudut waktu benda langit X pada meridian lokal dan *apparent right ascension* benda langit X. Jika demikian, saat benda langit X berkulminasi di meridian lokal, maka $t_x = 0$, sehingga $LAST = \alpha_x$.⁵⁴

b. Waktu Matahari

Seperti halnya waktu Sideris, waktu yang ditunjukkan di pembahasan ini adalah titik waktu dalam rentang satu hari Matahari yang berawal dan berakhir pada pukul 00:00:00 / 24:00:00 menggunakan skala waktu Matahari. Definisi titik waktu pada sistem ini didasarkan pada sudut waktu Matahari, di mana pukul 00:00:00 waktu Matahari dihitung saat kulminasi atasnya, yakni saat sudut waktu Matahari bernilai nol pada meridian lokal.⁵⁵

Satu hari solar didefinisikan sebagai rentang waktu ketika Matahari kembali ke posisinya semula pada saat memulai pengukuran. Lamanya satu hari surya didefinisikan sebagai 24 jam, sebagaimana umumnya digunakan setiap hari. Sebenarnya peredaran Matahari bukanlah merupakan dasar pengukuran waktu yang sempurna. Hal itu disebabkan oleh karena orbit Matahari tidak benar-benar rata, artinya kadang-kadang agak cepat dan kadang-kadang agak lambat. Oleh karena itu rentang waktu di antara dua kali Matahari berkulminasi ada kalanya tidak tepat 24 jam lamanya, suatu

⁵⁴ Fahrurrazi, *Sistem Acuan Geodetik*, hlm 129.

⁵⁵ Fahrurrazi, *Sistem Acuan Geodetik*, hlm 130.

hari lebih dari 24 jam dan pada hari yang lain bisa saja kurang dari 24 jam.

Untuk mengetahui cepat dan lambatnya perjalanan Matahari hakiki, para astronom menciptakan bandingannya, yaitu sebuah waktu Matahari hayalan yang orbitnya sungguh rata, dengan pengertian bahwa rentang waktu diantara dua kali kedudukan yang sama, misalnya dua kali berkulminasi lamanya senantiasa 24 jam. Matahari hayalan itu dinamakan Matahari pertengahan dan waktu yang ditunjukkannya disebut *Mean Solar Time* atau waktu pertengahan dalam bahasa arab disebut waktu *wasati*. Waktu yang ditunjukkan oleh Matahari hakiki dinamakan waktu surya hakiki setempat (*Apparent Solar Time*), disebut juga waktu hakiki setempat atau waktu istiwa' setempat (WIS).⁵⁶

Jadi dapat ditarik kesimpulan bahwa waktu Matahari dibedakan menjadi dua jenis, yakni waktu Matahari sejati (*apparent solar time*) dan waktu Matahari pertengahan (*mean solar time*).

1) Waktu Matahari sejati (*Apparent Solar Time*).

Dalam satu zona waktu, semua tempat mempunyai waktu yang sama, walaupun lokasinya berbeda. Namun jika menilik kedudukan Matahari dengan waktu yang sama maka kedudukan Matahari akan selalu berbeda di lokasi berbeda pula. Oleh karena itu, untuk menentukan

⁵⁶ Abdur Rachim, *Ilmu Falak*, (Yogyakarta: Liberty, 1983), hlm. 41.

kedudukan atau ketinggian Matahari pada suatu waktu di tempat tertentu digunakanlah sistem waktu Matahari sejati / hakiki (*Apparent Solar Time*) atau ada pula yang menyebut waktu Matahari mutlak (*Absolute Solar Time*) yang dapat disingkat menjadi AST.⁵⁷

Waktu Matahari sejati / hakiki adalah waktu yang didasarkan pada peredaran Matahari sebenarnya yaitu saat Matahari berada di titik kulminasi atas selalu ditetapkan pukul 12:00 siang. Waktu hakiki ini ditetapkan dengan acuan Matahari memotong lingkaran meridian suatu tempat, oleh sebab itu setiap daerah yang berada di barat dan timur memiliki waktu hakiki yang berbeda-beda.

Pada saat Matahari mencapai titik kulminasi atas (12:00:00) sudut waktu selalu sama dengan 0° . dengan demikian, perubahan sudut waktu akan menentukan perubahan waktu hakiki. Jika sudut waktu besarnya $+30^\circ$, maka sudut waktu hakiki menunjukkan pukul 14:00:00 dan ketika sudut waktu besarnya -45° , maka waktu hakiki menunjukkan pukul 09:00:00 dan seterusnya.⁵⁸

Jika referensi AST dihitung dari meridian lokal, maka disebut sebagai LAT (*Local Apparent Solar*

⁵⁷ HM. Dimsiki Hadi, *Sains Untuk Kesempurnaan Ibadah*, (Yogyakarta : Prima Pustaka, 2009), hlm 30.

⁵⁸ Slamet Hambali, *Ilmu Falak I*, (Semarang : Pasca Sarjana IAIN Walisongo, 2011), hlm 81.

Time). Hubungan LAT dengan sudut waktu benda langit X (t_x) pada meridian lokal dapat dipahami dengan formula :⁵⁹

$$LAT = 12 + t_x / 15$$

Formula lain juga dapat ditemukan untuk menjelaskan hubungan antara LAT dan LAST (*Local Apparent Sidereal Time* / waktu bintang lokal) yakni $LAT = LAST - \alpha_0 - 12$ jam. Dimana α_0 ialah nilai *apparent right ascension* Matahari.⁶⁰

2) Waktu Matahari Pertengahan (*Mean Solar Time*)

Rotasi Bumi pada sumbunya dan revolusi Bumi mengelilingi Matahari, keduanya tidak seragam. Rotasi Bumi mengalami perlambatan dan tidak teratur, begitu pula dengan revolusi Bumi pada lingkaran ekliptika juga tidak seragam. Karena pergerakan Matahari sejati pada lingkaran ekliptika ini tidak seragam, maka pergerakan Matahari sejati kurang ideal untuk digunakan sebagai acuan sistem waktu, perlu adanya pergerakan Matahari menengah yang dikarakterisir pergerakannya seragam di lingkaran ekliptika.

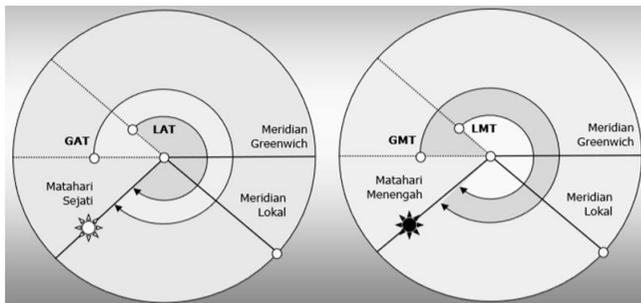
Keseragaman ini menjadikan satu kali pergerakan Matahari pada lingkaran ekliptika ditempuh dalam durasi waktu yang sama, sehingga akan muncul waktu

⁵⁹ Fahrurrazi, *Sistem Acuan Geodetik*, hlm 130

⁶⁰ Jean Kovalevsky and P. Kenneth S., *Fundamentals of Astrometry*, (Australia : Cambridge University Press, 2004), hlm 231.

yang disebut dengan waktu Matahari pertengahan atau *Mean Solar Time*. Satu hari Matahari pertengahan didefinisikan sebagai interval waktu dua kulminasi bawah secara berurutan dari Matahari pertengahan di suatu meridian (dari tengah malam ke tengah malam berikutnya) dan ini menjadi satuan waktu dalam sistem waktu Matahari pertengahan.

Bila referensinya dihitung dari meridian Greenwich maka dinamakan GMT (*Greenwich Mean Solar Time*), disebut juga *Universal Time* (UT). Bila referensinya meridian lokal dinamakan LMT (*Local Mean Solar Time*). Dalam kasus Matahari sejati, bila referensinya meridian Greenwich maka dinamakan GAT (*Greenwich Apparent Solar Time*). Sedangkan jika referensinya adalah meridian lokal dinamakan LAT (*Local Apparent Solar Time*).⁶¹



Gambar 2.26 : Beberapa Jenis Waktu Matahari (Hasanuddin Z. Abidin)

⁶¹ Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit*, hlm 54

Antara dua waktu tersebut dapat dihubungkan dalam formula dasar sebagai berikut :

$$\text{LAT} - \text{GAT} = \text{LMT} - \text{GMT} = \lambda / 15$$

$$\text{ET} = \text{LAT} - \text{LMT} = \text{GAT} - \text{GMT}$$

$$\text{LAT} = \text{LMT} - \text{ET} = \text{Ho}/15 + 12 \text{ atau } \text{GAT} = \text{GMT} - \text{ET}$$

Di mana λ adalah bujur tempat dari meridian lokal dan Ho adalah sudut waktu Matahari lokal.

c. Waktu Sipil Lokal (*Local Civil Time* / Waktu Daerah).

Dalam penggunaan modern, waktu sipil mengacu pada skala waktu menurut undang-undang yang ditetapkan oleh otoritas sipil atau waktu lokal yang ditunjukkan oleh jam. Waktu sipil modern umumnya merupakan waktu standar dalam zona waktu dengan perimbangan yang tetap dari waktu pertengahan Greenwich (GMT) atau waktu universal terkoordinasi (UTC) yang dihitung dengan mengacu pada jam atom. Lebih mudahnya waktu ini merupakan waktu berdasarkan zona waktu yang dipakai di suatu tempat.

Untuk mengonversikan waktu pertengahan setempat (LMT) menjadi waktu daerah (WD) atau *Local Civil Time* (LCT), maka cukup mengetahui selisih bujur di antara meridian waktu daerah dan meridian tempat yang bersangkutan. Kemudian dihitung sesuai formula di bawah:⁶²

$$\text{WD} = \text{LMT} + (\text{Bujur Daerah} - \text{Bujur Tempat}) / 15, \text{ atau}$$

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

⁶² Sriyatin Shadiq, *Ilmu Falak 1*, hlm 58

Bujur daerah di Indonesia menyesuaikan wilayah waktu tempat yang bersangkutan, yaitu :

- (a) Untuk Waktu Indonesia Barat (WIB) beracuan pada meridian dengan bujur daerah = 105° Bujur Timur (BT).
- (b) Untuk Waktu Indonesia Tengah (WITA) beracuan pada meridian dengan bujur daerah = 120° Bujur Timur (BT).
- (c) Untuk Waktu Indonesia Timur (WIT) beracuan pada meridian dengan bujur daerah = 135° Bujur Timur (BT).⁶³

d. Waktu Universal

Waktu Universal (UT) merupakan jenis waktu yang berkaitan dengan gerakan Matahari diamati dari meridian Greenwich. Waktu ini biasa disebut dengan *Greenwich Mean Time* (GMT) atau Greenwich Civil Time. Bentuk dasar waktu universal digunakan untuk sistem waktu sipil di seluruh dunia, sekaligus digunakan sebagai dasar sistem waktu astronomi.⁶⁴ Secara tidak langsung diturunkan dari waktu transit bintang-bintang. UT secara formal didefinisikan oleh ungkapan yang mengaitkannya dengan waktu sidereal, diperoleh secara langsung dari *apparent right ascensions* dari bintang-bintang yang sedang transit.⁶⁵

⁶³ Slamet Basuki, *Ilmu Ukur Tanah*, (Yogyakarta : Gajah Mada University Press, 2006), hlm 279

⁶⁴ Hannu Karttunen,cs, *Fundamental Astronomy*, (New York : Springer, 1996), hlm 39.

⁶⁵ S.Aoki, B. Guinot cs, "The New Definition of Universal Time", *Astronomy and Astrophysics Journal*, Vol 105, No. 2, Jan 1982, hlm 359.

Dalam praktik jika diperlukan sebuah ketelitian waktu hingga beberapa perseratus detik, maka perlu dibedakan beberapa macam *Universal Time*, yaitu sebagai berikut :

1. UT0. Yaitu waktu Matahari menengah sesuai yang diperoleh dari pengamatan astronomis tanpa ada pengoreksian. Pengamatan di lokasi yang berbeda menghasilkan nilai UT0 yang berbeda pula.
2. UT1. Yaitu waktu UT0 yang telah dikoreksi terhadap gangguan rotasi Bumi karena gerakan kutub.
3. UT2. Yaitu waktu UT1 yang dikoreksi terhadap gangguan rotasi Bumi karena perubahan musim.⁶⁶

e. Waktu Dinamik

Waktu dinamis adalah waktu berskala seragam yang digunakan untuk menggambarkan gerakan benda di medan gravitasi.⁶⁷ Sistem waktu dinamik diturunkan berdasarkan pergerakan Bumi, Bulan dan planet-planet dalam sistem Matahari. Pertama kali didefinisikan dengan sistem *ephemeris time* (ET) pada tahun 1960, karena adanya ketidacermatan dalam skala waktu UT yang disebabkan oleh adanya ketidakteraturan dan variasi pada rotasi Bumi.

Sekitar tahun 1976, dua jenis waktu dinamik baru diperkenalkan, yakni TDB (Barycentric Dynamic Time) dan

⁶⁶ K.J. Vilianueva, *Pengantar Ilmu Falak*, hlm 76

⁶⁷ Gounchang Xu and Jia Xu, *Orbits*, (Berlin : Spinger-Verlag Berlin Heidelberg, 2008), hlm 22-23

TDT (Terrestrial Dynamic Time). *Barycentric Dynamic Time* (TDB) diterapkan dalam sistem koordinat inersia (berdasarkan hukum Newton, asal terletak di pusat-massa / *Barycentre*), umum digunakan dalam pendefinisian sistem Matahari serta navigasi wahana angkasa. Sedangkan *Terrestrial Dynamic Time* (TDT) digunakan dalam sistem koordinat kuasi-inersia pengganti *Ephemeris Time* (ET) dan umum digunakan dalam pengintegrasian persamaan diferensial dari pergerakan satelit saat mengorbit Bumi.⁶⁸

f. Waktu Ephemeris

Waktu universal dan waktu bintang yang diperhitungkan oleh jam kosmik tidaklah beraturan dan mengakibatkan ketidakseragaman. Sedangkan para astronom memerlukan sistem pengukuran waktu yang seragam karena teori-teori mekanika langit mengharuskan adanya kuantitas semacam itu. Dengan demikian para astronom menggunakan *Ephemeris Time* (ET), yang dihitung dari gerakan bulan dan dianggap seragam ini.⁶⁹

UT1 memiliki kekurangan yang telah ditunjukkan dalam pemodelan gerak planet dan Bulan. Setelah sekitar 50 tahun melakukan penelitian yang sulit, *Ephemeris Time* (ET) dikenalkan pada tahun 1950, berdasarkan gerakan orbital Bumi. Dikarenakan ketidakakuratan dalam

⁶⁸ Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit*, hlm 58.

⁶⁹ Peter Duffett-Smith, *Practical Astronomy With Your Calculator*, (New York : Cambridge University Press, 1981), hlm 26.

memperoleh kedudukan Matahari terhadap bintang-bintang, membuatnya tidak dapat mengeksploitasi keseragaman yang baik (perlu menunggu ribuan tahun). Pendeteksian presisi yang lebih baik dapat diperoleh dengan terlebih dahulu menilik gerakan Bulan, tetapi gerakan ini pun juga terganggu oleh gaya pasang-surut dan fenomena geofisika, sehingga memerlukan kalibrasi empiris terhadap ET.⁷⁰

Dapat dikatakan bahwa waktu ephemeris ini merupakan penyempurnaan sistem waktu akibat tidak mutlaknya keteraturan rotasi Bumi. Waktu ephemeris didasarkan pada gerakan Bumi mengelilingi Matahari atau pada gerak semu Matahari di bola langit. Gerak semu Matahari menyebabkan bujur geometrisnya berubah-ubah. Gerak ini diamati dengan melihat kedudukan planet-planet terhadap posisi Matahari sendiri. Waktu ephemeris yang didefinisikan IAU (*Internasional Astronomical Union*) adalah waktu yang dihitung mulai dari Januari 1900 pukul 0,5^d ET.⁷¹

g. Waktu Atom

Panjang tahun tropis yang digunakan sebagai dasar pendefinisian skala sekon ephemeris diturunkan melalui perhitungan rumus Newcomb. Seiring dengan pendefinisian skala sekon ephemeris sebagai *Standart Internasional* (SI) *second*, upaya para pakar terus berlanjut dalam

⁷⁰ Bernard Guinot and Elisa Felicitas A., "Atomic time-keeping from 1955 to the Present", *Jurnal Metrologia : Institute of Physics Publishing*, Vol 45, 7 Juni 2005, hlm 20, doi:10.1088/0026-1394/42/3/S04

⁷¹ K.J. Villanueva, *Pengantar ke dalam Astronomi Geodesi*, hlm 80.

mengembangkan skala waktu yang seragam dan dapat direalisasikan serta direproduksi dengan lebih akurat. Jam atom awal mulai dikembangkan pada tahun 1949 di Amerika Serikat dan dioperasikan sepenuhnya pada tahun 1955 dengan berbasis sifat-sifat fundamental alam dalam ranah fisika kuantum, yakni berdasarkan jumlah fase gelombang radiasi yang dipancarkan oleh maser isotop Cesium-133 ketika transisi antara dua aras “*hyperfine*” di dalam kondisi medan magnetic nol dan suhu 0° Kelvin.⁷²

Kemudian karena fenomena jam atom yang sangat stabil maka *General Conference on Weights and Measures* pada tahun 1967 mendefinisikan *SI second* sebagai jam atom tersebut. Skala *SI second* yang baru ini hanya berbeda dalam orde 1×10^{-10} terhadap skala sekon waktu ephemeris. Sementara itu apabila hari Matahari rerata (UT) yang durasinya 86400 sekon diskalakan dengan *SI second* maka akan memperoleh bilangan yang sedikit berbeda. Pada tahun 1820 panjang hari Matahari rerata ialah 86400 sekon SI, pada abad sebelumnya lebih pendek lagi dari nilai tersebut dan pada akhir abad ke-20 tercatat mendekati 86400,002 sekon SI. Akumulasi perbedaan antara *SI day* dengan hari Matahari rerata terus meningkat dari waktu ke waktu.⁷³

⁷² Dennis D Mc Carthy, *Evolution of Time Scale from Astronomy to Phisycal Metrology*, (Washington: US Naval Observatory, 2011), hlm 136

⁷³ Fahrurrazi, *Sistem Acuan Geodetik*, hlm 140.

BAB III

METODE PENENTUAN TITIK KOORDINAT BUMI DENGAN ACUAN KULMINASI BULAN

A. Bulan dan Pergerakannya.

Bulan berasal dari bahas latin “luna” yang kemudian sering disebut sebagai “lunar”. Bulan merupakan satu-satunya satelit alam yang dimiliki Bumi. Keberadaan Bulan sebagai satelit alami Bumi mempunyai pengaruh terhadap gejala alam di Bumi, seperti pasang-surut air laut.¹ Bulan ditarik oleh gaya gravitasi Bumi tidak akan jatuh ke Bumi dikarenakan gaya sentrifugal yang timbul dari orbitnya mengelilingi Bumi. Gaya sentrifugal Bulan ini mempunyai besar yang sedikit lebih besar dari gaya tarik-menarik antara gravitasi Bumi dan Bulan. Hal inilah yang menyebabkan Bulan semakin menjauh dari Bumi dengan kecepatan sekitar 3,8 cm / tahun.²

Bulan mengorbit memutari Bumi secara lonjong atau elips, sebuah bentuk yang sepiintas seperti lingkaran. Oleh karena Bulan mengikuti orbitnya yang lonjong, maka jaraknya dengan Bumi tidaklah sama. Pada saat Bulan dekat sekali, jaraknya adalah 221,463 mil dengan Bumi. Posisi inilah yang disebut *perigee*. Kata

¹ Sering disebut sebagai gaya pasang-surut, ialah perbedaan gaya pada sebuah titik di permukaan planet dengan gaya yang bekerja pada titik pusat planet. Gaya ini aka maksimal bila resultante gaya gravitasi Bumi, Bulan dan Matahari terletak pada suatu garis lurus dan akan menurun bila gravitasi Bulan dan Matahari saling meniadakan. Lihat Suryadi Siregar, *Benda Kecil dalam Tata Surya*, (Bandung : Penerbit ITB, 2009), hlm 1.

² Muh. Hadi Bashori, *Penanggalan Islam*, (Jakarta : PT Elex Media Komputindo, 2013), hlm 19.

ini diambil dari bahasa Yunani yang berarti “dekat dari Bumi”. Dan pada saat berjauhan jaraknya, dapat mencapai 252,750 mil jaraknya dari Bumi, fenomena ini disebut dengan *apogee*.³

Sejarah awal Bulan dipahami secara tidak sempurna. Beberapa ilmuwan memegang gagasan bahwa Bumi dan Bulan terpisah dari satu massa fluida yang diputar terlalu cepat untuk bertahan bersama. Bulan mendingin lebih cepat karena massanya yang lebih kecil dan permukaannya yang lebih besar sebanding dengan volumenya. Gravitasi permukaan Bulan terlalu lemah untuk mencegah gas-gasnya keluar ke angkasa, atmosfernya tidak bisa bertahan untuk mendorong pelapukan. Bulan juga berupaya untuk menghasilkan kerak padat, namun pergolakan benda cair dari bawah menentang adanya proses tersebut, sehingga formasi seperti itulah yang menjadikan Bulan hampir bundar.⁴

Sebagaimana Matahari, secara umum Bulan juga memiliki dua pergerakan, yaitu gerak hakiki dan gerak semu. Penjabarannya adalah sebagai berikut :

1. Gerak Hakiki Bulan

a. Rotasi

Bulan berputar pada porosnya dengan periode $27 \frac{1}{3}$ hari (lebih tepatnya 27,321582 hari = 27 hari 7 jam 43,1 menit). Gerak rotasi Bulan ini ialah gerakan *retrograde*

³ Jajak, *Astronomi Ilmu Pengetahuan Luar Angkasa*, (Jakarta : Harapan Baru Raya, 2006), hlm 65

⁴ Robert H. Baker, *Astronomy A Textbook for University and College Students*, (New York : d. Van Nostrand Compeny INC., 1958), hlm 131.

(anti jarum jam/ berlawanan jarum jam) atau dari arah barat ke arah timur langit, yang mana secara kebetulan lama gerakan rotasi ini (hampir) sama dengan gerakan revolusinya. Artinya dalam sekali putaran mengelilingi Bumi, Bulan hanya melakukan sekali putaran rotasi. Ini yang menyebabkan hanya satu permukaan Bulan saja yang selalu terlihat dari Bumi, sedangkan permukaan Bulan yang lain tidak pernah terlihat.⁵

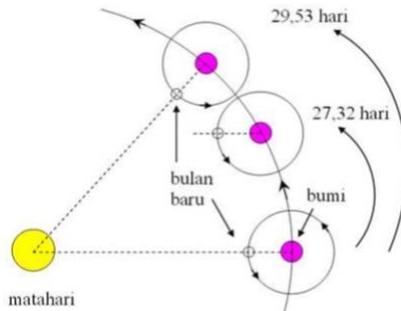
b. Revolusi

Gerak revolusi Bulan terbagi menjadi dua macam, yakni gerak revolusi terhadap Bumi dan gerak revolusi terhadap Matahari. Kedua gerak tersebut memiliki prinsip yang berbeda dan lintasan gerak yang berbeda pula. Gerak revolusi Bulan terhadap Bumi terjadi karena Bulan merupakan satelit alami Bumi, sehingga seperti pada umumnya satelit, gerak revolusi Bulan berbentuk elips dan melingkar mengelilingi Bumi.

Dilihat dari kesejajarannya terhadap Matahari dan Bumi, Bulan memiliki dua macam periode, yaitu periode sideris dan periode sinodis. Periode sideris ialah tenggang masa di mana Bulan mengelilingi Bumi dalam sekali putaran penuh (360°). Bulan mengorbit Bumi secara penuh membutuhkan waktu 27,321582 hari = 27 hari 7 jam 43,1 menit.

⁵ Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak Menyimak Proses Pembentukan Alam Semesta*, hlm 217.

Kemudian ada satu lagi bernama periode sinodis, ialah selang waktu yang dibutuhkan Bulan untuk mencapai dua fase yang sama berturut-turut, misalnya dari fase Bulan purnama ke purnama berikutnya. Satu periode sinodis berlangsung selama 29,530589 hari = 29 hari 12 jam 44 menit 3 detik. Periode inilah yang lebih banyak berpengaruh pada kehidupan manusia terutama dalam pembuatan sebuah kalender berbasis kamariyah.⁶



Gambar 3.1 : Satu Bulan Sideris dan Sinodis (Rinto Anugraha)

Hubungan periode sideris dan sinodis dapat dipahami dengan penalaran berikut. Jika S adalah jumlah hari dalam satu bulan periode sideris maka $\frac{1}{S}$ mewakili fraksi satu bulan lengkap periode sideris yang digambarkan dalam satu hari. Dengan cara yang sama, karena ada $365 \frac{1}{4}$ hari dalam setahun, maka dalam satu hari Matahari melakukan

⁶ A. Gunawan Adminarto, *Menjelajahi Tata Surya*, (Yogyakarta : Kanisius, 2009), hlm 199.

fraksi $\frac{1}{365\frac{1}{4}}$ dari masa revolusi sempurna (di sini kita tentu saja merujuk pada revolusi nyata Matahari). Maka dari itu sebagian kecil dari revolusi Matahari sempurna yang diperoleh Bulan dalam satu hari adalah $\frac{1}{S} - \frac{1}{365\frac{1}{4}}$.

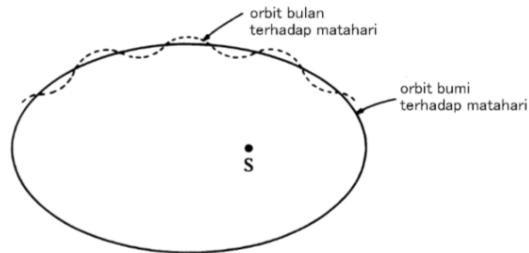
Dari itulah dapat diambil kesimpulan $\frac{1}{M} = \frac{1}{S} - \frac{1}{365\frac{1}{4}}$.

Bulan mendapatkan fraksi $\frac{1}{M}$ dari revolusi penuh Matahari setiap hari. Ini menandakan dalam tenggang waktu M itu Bulan akan berevolusi secara penuh dalam perspektif konfigurasinya dengan Bumi dan Matahari. Artinya, nilai M adalah jumlah hari dalam periode sinodik. Dengan cara ini, jika S diambil sebagai $27\frac{1}{3}$ hari maka dapat ditemukan bahwa M sama dengan $29\frac{1}{2}$ hari.⁷

Kemudian mengenai gerak Bulan mengelilingi Matahari diakibatkan karena Bulan selalu mengikuti Bumi di mana pun Bumi berada, maka secara otomatis Bulan juga mengelilingi Matahari bersama-sama dengan Bumi. Dengan menggabungkan lintasan revolusi Bulan dan revolusi Bumi, lintasan Bulan mengitari Matahari akan membentuk lintasan elips yang bermodulasi atau berpresisi. Karena gaya gravitasi antara Bulan-Matahari jauh lebih besar dari pada gravitasi antara Bulan-Bumi,

⁷ Robert H. Baker, *Astronomy A Textbook for University and College Students*, hlm 62.

dengan kata lain, sebenarnya Bulan bergerak mengitari Matahari karena gravitasi antara Bulan-Matahari, sedangkan lintasan bulan yang bermodulasi disebabkan oleh gravitasi Bulan-Bumi.⁸



Gambar 3.2 : Orbit Bulan dan Bumi mengelilingi Matahari (Rinto Anugraha)

2. Gerak Semu Bulan

a. Gerak Harian Bulan

Bulan mempunyai pergerakan revolusi mengitari Bumi yang arahnya dari barat ke timur. Revolusi Bulan terhadap Bumi ini mengakibatkan setiap harinya Bulan terlambat terbit sekitar 50 menit waktu atau 13 derajat busur dari letak bintang tertentu di belakangnya. Sedangkan terhadap kedudukan Matahari setiap harinya Bulan terlambat melakukan gerak harian sekitar 12 derajat busur. Berarti setiap jam Bulan terlambat dari gerak harian Matahari sebesar setengah ($\frac{1}{2}$) derajat busur atau selebar piringan Matahari maupun piringan Bulan itu sendiri.⁹

⁸ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, hlm 13.

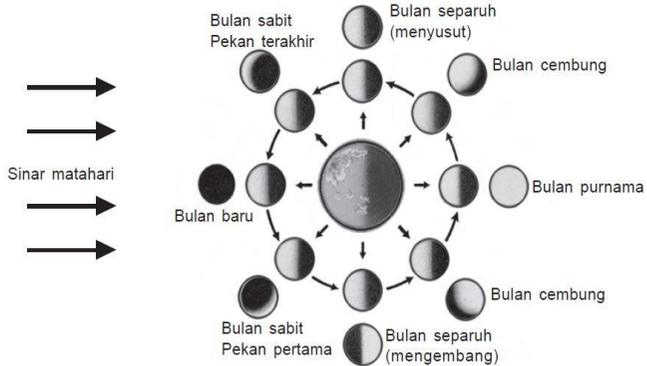
⁹ Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak*, hlm 224.

Gerak Bulan di langit dapat dengan mudah dideteksi dengan membandingkan posisinya pada bintang-bintang yang berdekatan. Dengan singkat, akan sangat jelas bahwa meskipun Bulan bergerak sesuai dengan gerak langit secara umum (akibat rotasi Bumi), Bulan juga bergerak dari posisinya semula dengan bintang-bintang yang ada di langit.¹⁰ Dua kombinasi gerak inilah yang mengakibatkan setiap harinya Bulan bergerak miring (serong) tergantung nilai deklinasinya.

b. Fase Bulan (Rupa Semu Bulan)

Penampang Bulan yang terlihat dari Bumi selalu berbeda setiap harinya. Bulan tidak memiliki cahayanya sendiri, hanya menerima pancaran cahaya Matahari, sehingga setengah permukaan Bulan akan terang dan setengahnya lagi gelap. Jika Bulan selalu mengelilingi Bumi, maka kombinasi kedudukan Bulan dan Bumi mengakibatkan penampang Bulan yang terlihat di permukaan Bumi selalu berbeda dari hari ke hari. Dapat disimpulkan adanya fase Bulan dipengaruhi dari kedudukan Matahari, Bulan dan Bumi yang selalu berubah setiap harinya.

¹⁰ Robert Ball, *A Primer of Astronomy*, (United Kingdom : Cambridge University Press, 2014), hlm 60



Gambar 3.3 : Fase-Fase Bulan.

Perlu dipahami bahwa bagian permukaan Bulan yang menghadap ke Bumi selalu sama, ini akibat dari rotasi Bulan pada porosnya memakan waktu yang sama dengan waktu revolusi Bulan mengelilingi Bumi, sehingga sisi Bulan akan selalu tetap, hanya fasenya yang berbeda-beda, selalu berulang dari fase Bulan baru ke Bulan purnama dan seterusnya.

Selain itu pula, bentuk fase Bulan tergantung letak pengamat di permukaan Bumi. Bila pengamat berada di daerah ekuator, bentuk fase-fase Bulan adalah tidur, namun untuk daerah belahan Bumi utara fase-fase Bulan yang terlihat adalah tegak dari kanan ke kiri dan sebaliknya untuk daerah belahan selatan Bumi, fase-fase Bulan terlihat dari kiri ke kanan.¹¹

¹¹ UPT Observatorium Bosscha, *Perjalanan Mengenal Astronomi*, (Bandung : Penerbit ITB, 1995), hlm 33.

c. Librasi Bulan

Seperti yang telah diungkapkan sebelumnya, bahwa permukaan Bulan hanya setengah saja yang nampak dari Bumi. Namun jika ditilik lebih lanjut, sesungguhnya titik tengah piringan Bulan yang nampak tersebut, tidak selalu sama, melainkan selalu berubah-ubah sedikit dari letaknya semula. Kedua titik kutub Bulan selalu bergantian nampak, fenomena ini akibat dari gerak angguk semu Bulan terhadap Bumi, keadaan inilah yang disebut librasi.¹²

Ada tiga jenis librasi yang dialami oleh Bulan, yaitu librasi garis lintang, librasi garis bujur dan librasi paralaks. Librasi garis lintang terjadi karena letak sumbu Bulan condong terhadap lintasannya dan juga condong terhadap lintasan Bumi. Kutub utara dan selatan Bulan, bergantian terlihat setelah Bulan menempuh setengah perjalanan lintasannya mengelilingi Bumi. Sedangkan titik tengah piringan yang nampak akan berbeda-beda, bergeser ke atas atau ke bawah (mengangguk). Hal ini terjadi oleh karena orbit elips Bulan di sekitar Bumi mempunyai kecepatan yang sangat bervariasi.

Selanjutnya librasi garis bujur. Terjadi akibat perputaran Bulan pada porosnya (rotasi Bulan) memiliki kecepatan yang konstan, namun kecepatan beredarnya Bulan mengelilingi Bumi (revolusi Bulan) tidaklah tetap.

¹² M.S.L. Toruan, *Pokok-Pokok Ilmu Falak (Kosmologi)*, (Semarang : Banteng Timur, t.th), hlm 85.

Karena kedua gerak Bulan ini tidak serasi satu sama lain, maka terjadilah librasi dalam garis bujur. Bagian dari sisi belakang Bulan muncul dan menggeser permukaan Bulan ke timur atau ke barat (menggeleng).¹³

Yang terakhir ialah librasi paralaks terjadi akibat adanya beda pandang bagi orang-orang yang melihat Bulan di tempat yang berbeda-beda letaknya. Jika ada dua tempat dipermukaan Bumi yang berbeda letaknya, masing-masing pengamat di tempat yang berbeda akan melihat titik pusat piringan Bulan yang berbeda pula. Oleh karena jarak Bumi dan Bulan hanya ± 60 kali jari-jari Bumi, maka perbedaan melihat titik pusat Bulan itu sudah nampak nyata.

Dari semua jenis librasi tersebut, jika dihitung secara keseluruhan maka akan menghasilkan perbandingan sebagai berikut:¹⁴

- Tiga pertujuh (3/7) belahan Bulan tak pernah sekalipun terlihat dari Bumi.
- Tiga pertujuh (3/7) belahan Bulan akan selalu menghadap ke Bumi
- Sepertujuh (1/7) belahan Bulan dapat terlihat dari Bumi akibat dari adanya gerak librasi Bulan.

¹³ Storm Dunlop, *Astronomy A Step By Step Guide to the Night Sky*, (England : Hamlyn Publishing, 1985), hlm 128

¹⁴ M.S.L. Toruan, *Pokok-Pokok Ilmu Falak (Kosmologi)*, hlm 85.

Jadi secara keseluruhan wajah Bulan yang dapat menghadap ke Bumi adalah $\frac{4}{7}$ dari seluruh permukaannya, yakni sekitar 57%.

B. Lunar Time

1. Definisi dan Klasifikasi Lunar Time

Seperti yang telah diketahui bersama, 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 mengenalkan sebuah teori baru yang merupakan pergeseran teori tersebut, yaitu teori waktu yang dinamakan *Lunar Time* (waktu Bulan). Sistem *Lunar Time* digunakan penulis sebatas untuk mengetahui titik koordinat Bumi dengan memanfaatkan bantuan kulminasi Bulan. Khususnya dalam penentuan bujur tempat yang dapat dengan mudah dihitung menggunakan waktu ini.

Sama halnya dengan Matahari, ada dua jenis waktu Bulan yang diadopsi dari waktu Matahari, yaitu *Apparent Lunar Time* (waktu hakiki) dan *Mean Lunar Time* (waktu pertengahan). *Apparent Lunar Time* (ALT) merupakan waktu hakiki berbasis Bulan. Prinsip dasar waktu ini sama dengan waktu Matahari hakiki, hanya saja digeser pada obyek lain yakni Bulan. *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.¹⁵

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

Nilai *Local Apparent Lunar Time* bergantung pada nilai sudut waktu Bulan (*hour angle*), di mana sudut waktu Bulan ini akan selalu menunjukkan nilai 0° ketika Bulan berkulminasi pukul 12:00:00. Sudut waktu Bulan yang biasa disimbolkan dengan tanda t_ℓ adalah jarak Bulan dari titik kulminasi diukur sepanjang lintasan harian. Sudut waktu Bulan akan bernilai negatif (-) jika berada di sebelah timur meridian atau sering

¹⁵ Departemen Agama RI, *Almanak Hisab Rukyat*, (Jakarta : Proyek Pembinaan Badan Peradilan Agama Islam, 1981), hlm 162.

disebut *qabla zawāl* dan akan bernilai positif jika berada di sebelah Barat atau disebut *ba'da zawāl*.¹⁶

Nilai sudut waktu Bulan dapat dicari dengan menggunakan data-data di dalam buku ephemeris hisab rukyat meliputi data sudut waktu Matahari (t_o), *Apparent Right Ascension* Matahari (α_o) dan *Apparent Right Ascension* Bulan (α_c). Dihitung memakai formula :¹⁷

$$t_c = t_o + \alpha_o - \alpha_c$$

Sebenarnya 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 dari itu muncullah jenis waktu Bulan yang lain, 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*

¹⁶ Departemen Agama RI, *Pedoman Penentuan Jadwal Waktu Shalat Sepanjang Masa*, (Jakarta : Direktorat Jenderal Pembinaan Kelembagaan Agama Islam, 1995), hlm 35.

¹⁷ A. Jamil, *Ilmu Falak Teori & Aplikasi*, (Jakarta: AMZAH, 2009), hlm 147. Lihat juga Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*, (Semarang : Pustaka Rizki Putra, 2012), hlm 100.

Mean Lunar Time (LMLT) dan *Local Apparent Lunar Time* (LALT) dapat dirumuskan sebagai berikut :¹⁸

$$\text{LALT} = 12 + t_c / 15$$

$$\text{LMLT} = \text{LALT} - \text{EoLT}$$

Seperti halnya waktu Matahari, waktu Bulan juga dapat diubah menjadi waktu standar dengan perimbangan waktu Greenwich (GMT). Waktu ini disebut dengan waktu daerah atau *Lokal Civil Lunar Time* (LCLT). LCLT hanyalah 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).¹⁹

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

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

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

Dari ketiga teori waktu inilah peneliti membuat formulasi baru untuk menghitung titik koordinat Bumi memanfaatkan fenomena kulminasi Bulan. Di samping dapat menentukan titik

¹⁸ Abdur Rachim, *Ilmu Falak*, hlm 42.

¹⁹ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, hlm 78. Lihat juga Arwin Juli Rakhmadi Butar-Butar, *Pengantar Ilmu Falak*, (Depok : Rajawali Press, 2018), hlm 41

koordinat (terutama bujur tempat), *Lunar Time* dapat digunakan untuk mempermudah perhitungan awal bulan kamariah terkait menghitung data *altitude*, azimut dan *mukšu* hilal (lama hilal di atas ufuk), bisa juga digunakan untuk menentukan waktu terbit, transit dan terbenam Bulan dengan mudah dan akurat.²⁰

2. 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

²⁰ Mengenai rumus transformasi waktu Matahari dan waktu Bulan dapat dilihat pada lampiran.

pertengahan (*Mean Lunar Time*) dinamakan *Equation of Lunar Time*.²¹

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

Jadi pada konteks 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.²²

Pada buku *Astronomical Algorithms*, Jean Meeus merumuskan formula *Equation of Time* (waktu Matahari) dengan satuan derajat sebagai berikut :²³

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

Di sini, 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

²¹ M. Muller, "Equation Of Time-Problem In Astronomy", *Paper International Competition First Step to Nobel Prize in Physics, Acta Physica Polonica A* 88, S-49, 1995, hlm 2.

²² Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, hlm 75.

²³ Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, hlm 171

praktis karena banyak variabel yang harus dicari, terutama dalam menghitung *nutasi longitude*.

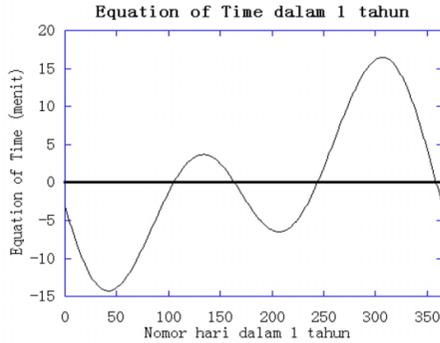
Oleh karena itu, ada definisi lain yang lebih praktis mengenai *equation of time*, disebutkan dalam buku *The History and Practice of Ancient Astronomy*, bahwa *Equation of Time* adalah nilai selisih yang dihasilkan dari data *Apparent Right Ascension* Matahari (α_0) dengan bujur rata-rata ekliptika Matahari (L_{0_0}). Dari definisi ini, *Equation of Time* dirumuskan dengan formula berikut :²⁴

$$\text{EoT} = (L_{0_0} - \alpha_0) / 15$$

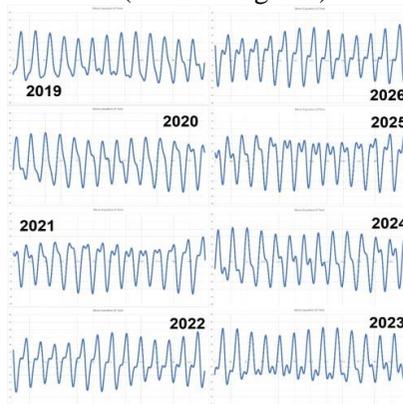
Formula terakhir ini yang dipakai untuk menghitung *Equation of Lunar Time*, dengan menggeser bujur rata-rata Matahari menjadi bujur rata-rata Bulan dan *Apparent Right Ascension* Matahari menjadi *Apparent Right Ascension* Bulan sehingga dapat menghasilkan perata waktu Bulan (*Equation of Lunar Time*).

Setiap tahunnya (satu tahun masehi) nilai *equation of lunar time* selalu berbeda-beda, 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.

²⁴ James Evans, *The History and Practice of Ancient Astronomy*, (New York : Oxford University Press, 1998), hlm 243.



Gambar 3.4 : Pola *Equation of Time* dalam satu Tahun (Rinto Anugraha)



Gambar 3.5 : *Equation of Lunar Time* dari 2019 hingga 2026.

Algoritma perhitungan perata waktu Bulan (*Equation of Lunar Time*) dapat ditempuh dengan formula-formula berikut:

(1) Formula Anggaran Gregorian (B).²⁵

Anggaran Gregorian merupakan anggaran hari dalam kalender Gregorian akibat pergantian kriteria tahun kabisat dan penambahan 10 hari pada 4 Oktober 1582. Semula dalam kalender Julian setiap tahun abad selalu dinyatakan

²⁵ Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, bab 7, hlm 61.

sebagai tahun kabisat, namun semenjak kalender Gregorian dipakai, ketentuan itu diubah. Hanya tahun abad yang habis dibagi 400 saja yang dianggap sebagai tahun kabisat, sehingga tidak semua tahun abad termasuk tahun kabisat. Anggaran ini mulai dipakai semenjak tanggal 15 Oktober 1582. Sebelum tanggal tersebut anggaran Gregorian (B)= 0.

Untuk mengetahui anggaran ini dapat menghitung formula :

- $D = \text{tanggal} + (\text{Waktu Daerah} - \text{Time Zone}) / 24$, M = bulan dan Y = tahun masehi, tiga komponen ini adalah tanggal yang akan dihitung.
- Jika M = 1 (Januari) atau M = 2 (Februari), maka Y = tahun masehi - 1 dan M = bulan masehi + 12. Jika M > 2 (selain Januari dan Februari), maka Y = tahun masehi dan M = bulan masehi (tetap).
- $A = \text{Int}(Y / 100)$
- $B = 2 - A + \text{Int}(A / 4)$.

(2) Formula Julian Day (JD).²⁶

Julian Day adalah jumlah hari yang dihitung (berlaku) semenjak hari Senin tanggal 1 Januari 4713 SM (atau tahun -4712). Dihitung sejak pertengahan hari pukul 12:00:00 UT atau GMT.

$$JD = \text{Int}(365,25 \times (Y + 4716)) + \text{Int}(30,6001(M + 1)) + D + B - 1524,5.$$

²⁶ Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, bab 7, hlm 61.

(3) Formula Delta T (ΔT).

Delta T adalah selisih antara waktu *terrestrial dynamical* dengan *universal time*. Delta T dinyatakan dalam sekon yang setiap tahun nilainya meningkat sekitar 0,5 hingga 1,0 sekon.²⁷ Di dalam *website* resmi Nasa, dipublikasikan beberapa formula delta T yang dihitung dalam kurun waktu tertentu, formula tersebut dapat dilihat di lampiran.²⁸

(4) Formula Julian Date Ephemeris (JDE).²⁹

JDE adalah JD yang sesuai dengan skala waktu *terrestrial dynamical time* (TDT / TT). Satu detik TDT didefinisikan sebagai durasi dari 91926,31770 kali radiasi yang sesuai dengan transisi antara dua tingkat hyperfine (tingkat energy terendah) dari keadaan dasar atom Cesium-133.³⁰ Adapun persamaan menghitung JDE adalah :

$$JDE = JD + \frac{\Delta T}{86400}$$

(5) Formula Julian Milenia (T).³¹

Julian Milenia adalah JD yang dinyatakan dalam satuan abad. Oleh karena itu T harus diperhitungkan dengan

²⁷ Oliver Montenbruck and Thomas P., *Astronomy on the Personal Computer*, hlm 43.

²⁸ Lihat formula delta T pada lampiran di halaman belakang. Lihat juga *website* resmi Nasa, <https://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEcat5/deltatpoly.html>, diakses 28 Juni 2019 pukul 15:09 WIB

²⁹ Jean Meuss, *Astronomical Algorithms*, bab 9, hlm 71.

³⁰ Jean Kovalevsky and P. Kenneth S., *Fundamentals of Astronomy*, hlm 115.

³¹ Jean Meuss, *Astronomical Algorithms*, bab 45, hlm 307

jumlah desimal yang memadai (setidaknya Sembilan angka di belakang koma). Adapun formula Julian Milenia adalah sebagai berikut :

$$T = \frac{JDE-2451545}{365250}$$

- (6) Formula Bujur Rata-Rata Bulan (L').³²

Bujur Bulan rata-rata mengacu pada ekuinok rata-rata di tanggal tertentu, sekaligus memasukkan perhitungan komponen yang bersifat konstan dari efek waktu perjalanan cahaya. L' dinyatakan dalam formula :

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

- (7) Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Bulan (α_i).

Apparent right ascension Bulan adalah busur sepanjang lingkaran equator yang dihitung dari titik Aries ke arah timur sampai titik perpotongan antara lingkaran equator dan lingkaran deklinasi yang melalui Bulan.³³ Data ini diambil dari buku Ephemeris Hisab Rukyat, aplikasi Winhisab atau aplikasi sejenisnya. Perlu adanya interpolasi (*ta'dīl*) untuk mendapatkan data dengan referensi jam yang dimaksud, menggunakan formula :

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

Di mana α_1 dan α_2 secara berurutan adalah data *Apparent Right Ascension* Bulan pertama dan kedua,

³² Jean Meuss, *Astronomical Algorithms*, bab 45, hlm 308

³³ Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak*, hlm 54.

kemudian C adalah tambahan waktu dari data yang dicari dan I adalah selisih (jangka) dari satar pertama dan kedua.³⁴

(8) Formula *Equation of Lunar Time* (EoLT)

Equation of lunar time dapat dicari dengan persamaan :

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

C. Waktu Kulminasi Bulan (Transit Bulan).

Setiap hari Bulan bergerak mengitari Bumi, mulai terbit dari ufuk timur, mencapai transit di *altitude* tertinggi, dan terbenam di ufuk barat. Yang dimaksud dengan transit di sini adalah fenomena saat benda langit berada tepat di garis meridian (memotong lingkaran meridian tempat pengamat). Transit tidak cukup dipahami sebagai posisi benda langit saat berada di zenit, yang mana zenit merupakan titik tertinggi di angkasa berada persisi di atas kepala pengamat.³⁵

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 setiap benda langit yang sedang transit (menyentuh meridian) tidak selamanya berada tepat di titik zenit pengamat.

³⁴ Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*, hlm 99

³⁵ Muhammad Hadi Bashori, *Pengantar Ilmu Falak*, (Jakarta : Pustaka Al-Kautsar, 2015), hlm 74.

Matahari memiliki pancaran cahayanya 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 *Khattu nişfu 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 *Khattu nişfu al-laīl* melainkan bisa juga disebut sebagai *Khattu nişfu 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 azimuthnya sama dengan 180° .³⁶

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.

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.

³⁶ Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, hlm 75-76.

tgl	hari - pasaran	terbit	transit	terbenam	tgl	hari - pasaran	terbit	transit	terbenam
1	Sabtu Pahing	03.38.29	09.44.51	15.50.15	17	Senin Pon	17.33.30	23.57.41	05.28.32
2	Ahad Pon	04.28.56	10.33.45	16.37.43	18	Selasa Wage	18.25.43	-----	06.22.14
3	Senin Wage	05.22.32	11.26.08	17.29.04	19	Rabu Kliwon	19.17.40	00.50.15	07.14.44
4	Selasa Kliwon	06.19.15	12.22.00	18.24.22	20	Kamis Legi	20.08.28	01.41.37	08.05.05
5	Rabu Legi	07.18.14	13.20.33	19.22.51	21	Jumat Pahing	20.57.30	02.30.59	08.52.43
6	Kamis Pahing	08.17.53	14.20.17	20.23.01	22	Sabtu Pon	21.44.38	03.18.02	09.37.34
7	Jumat Pon	09.16.24	15.19.25	21.23.04	23	Ahad Wage	22.30.06	04.02.51	10.19.58
8	Sabtu Wage	10.12.25	16.16.34	22.21.35	24	Senin Kliwon	23.14.29	04.45.54	11.00.32
9	Ahad Kliwon	11.05.19	17.11.04	23.17.53	25	Selasa Legi	23.58.30	05.27.51	11.40.04
10	Senin Legi	11.55.17	18.03.04	-----	26	Rabu Pahing	-----	06.09.34	12.19.31
11	Selasa Pahing	12.43.06	18.53.14	00.12.03	27	Kamis Pon	00.43.04	06.51.59	12.59.52
12	Rabu Pon	13.29.42	19.42.29	01.04.41	28	Jumat Wage	01.29.08	07.36.07	13.42.10
13	Kamis Wage	14.16.09	20.31.42	01.56.36	29	Sabtu Kliwon	02.17.36	08.22.59	14.27.29
14	Jumat Kliwon	15.03.18	21.21.37	02.48.34	30	Ahad Legi	03.09.17	09.13.22	15.16.43
15	Sabtu Legi	15.51.50	22.12.41	03.41.10					
16	Ahad Pahing	16.41.58	23.04.52	04.34.35					

Tabel 3.1 : Jadwal Transit Bulan di Semarang Juni 2019.

Pada tabel 3.1, tanggal 1 Juni 2019, Bulan transit di meridian kota Semarang pukul 09:44:51 WIB. Semakin hari transit Bulan semakin terlambat dari hari sebelumnya, keterlambatan Bulan dari hari ke hari tidaklah konstan, bervariasi antara satu sama lain. Hingga pada tanggal 18 Juni 2019, dalam sehari-semalam Bulan tidak terjadi transit sama sekali dan pada akhir Juni 2019, Bulan kembali transit di sekitar jam 09 pagi, yakni pukul 09:13:22 WIB.

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*. Sedangkan formula untuk menghitung waktu kulminasi Bulan dapat dilihat pada lampiran di halaman belakang.

D. Penentuan Titik Koordinat dengan Acuan Kulminasi Bulan

1. Instrumen Praktik

Dalam penentuan titik koordinat Bumi dengan menggunakan acuan kulminasi Bulan, dibutuhkan beberapa instrument pembantu untuk melancarkan kegiatan praktik lapangan. Instrumen-instrumen tersebut adalah :

a. Theodolite

Theodolite adalah alat yang dipakai untuk mengukur tinggi dan azimuth bintang (Matahari), sering pula digunakan dalam menentukan peta mata angin.³⁷ Alat ini banyak digunakan untuk piranti pemetaan pada survei geologi (ilmu tentang tata letak Bumi) dan geodesi (ilmu tentang pemetaan di Bumi), sering kali digunakan untuk menentukan tinggi tanah dengan sudut mendatar dan sudut tegak. Theodolite merupakan perkembangan dari instrumen klasik bernama Astrolabe dan Rubu' Mujayyab.

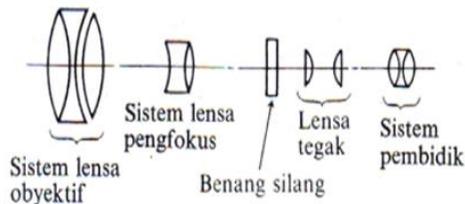


Gambar 3.6 : Theodolite
(www.noerhafidz.wordpress.com)

³⁷A. Kadir, *Fiqh Qiblat : Cara Sederhana Menentukan Arah Shalat Agar Sesuai Syari'at*, (Yogyakarta: Pustaka Pesantren, cet 1, 2012), hlm 43.

Pada dasarnya alat ini berupa sebuah teleskop yang ditempatkan pada suatu tempat berbentuk bulatan (piringan) yang dapat diputar-putar mengelilingi sumbu vertikal, sehingga memungkinkan sudut horisontal dapat dibaca. Teleskop tersebut juga dipasang pada piringan kedua dan dapat diputar-putar mengelilingi sumbu horisontal, sehingga memungkinkan sudut vertikal bisa dibaca. Kedua sudut tersebut dapat dibaca dengan tingkat ketelitian sangat tinggi.³⁸

Sejauh ini Theodolite dianggap sebagai alat yang paling akurat di antara metode-metode yang sudah ada. Dengan berpedoman pada posisi dan pergerakan benda-benda langit, Theodolite dapat menunjukkan suatu posisi hingga satuan detik busur ($1/3600$). Alat ini juga dilengkapi dengan pembesaran lensa yang bervariasi.³⁹



Gambar 3.7 : Sistem Lensa Teleskop di Theodolite (Iskandar Muda P)

³⁸ Jemmy Panambunan, *Pengantar Survey dan Pemetaan 2*, hlm 47, https://www.academia.edu/8380717/pengantar_survei_pemetaan_2 diakses 1 Juli 2019, 17:11 WIB

³⁹ Ahmad Izzuddin, *Menentukan Arah Kiblat Praktis*, (Semarang : Walisongo Press, 2010), hlm 55.

Akan tetapi meskipun alat ini mempunyai ketelitian tinggi, tetap saja Theodolite mempunyai klasifikasi tingkat ketelitian tersendiri, yakni :⁴⁰

- Tipe T0 (kurang teliti), memiliki ketelitian paling rendah hingga 20" busur
- Tipe T1 (agak teliti), mempunyai ketelitian antara 20" hingga 5" busur.
- Tipe T2 (teliti), ketelitiannya mencapai 1" busur.
- Tipe T3 (teliti sekali), ketelitiannya mencapai 0,1" busur.
- Tipe T4 (sangat teliti sekali), memiliki tingkat ketelitian paling tinggi hingga mencapai 0,01" busur.

Dengan klasifikasi semacam ini, bila dibandingkan dengan instrumen berbasis busur derajat, Theodolite tipe apapun akan lebih unggul dan akurat, karena skala terkecil yang dapat didefinisikan oleh busur derajat hanya sampai 15' busur saja, sedangkan Theodolite tipe paling rendah (tipe T0), bisa mendeteksi sudut dengan skala terkecil 20" busur.

Dalam penentuan titik koordinat Bumi, Theodolite digunakan untuk mengambil data sudut zenit Bulan, di mana sudut ini merupakan salah satu komponen untuk menghitung lintang tempat. Sudut zenit didapat dari

⁴⁰ Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*, hlm 54-55.

pengukuran Theodolite saat terjadinya kulminasi Bulan, diukur sepanjang garis meridian setempat dari titik zenit hingga ke benda langit yang bersangkutan, dalam hal ini adalah titik pusat Bulan.

b. Tongkat Istiwa’.

Sebagaimana yang telah dijelaskan sebelumnya, tongkat istiwa adalah alat sederhana yang terbuat dari sebuah tongkat yang ditancapkan tegak lurus pada bidang datar dan diletakkan di tempat terbuka agar mendapat sinar Matahari. Alat ini berguna untuk menentukan waktu Matahari hakiki, tinggi Matahari, sudut zenit Matahari dan melukis arah mata angin.⁴¹ Sedangkan berkaitan dengan Bulan, kegunaan lain dari alat ini adalah menentukan waktu hakiki Bulan, ketinggian Bulan, sudut zenit Bulan, waktu kulminasi Bulan dan lain sebagainya.

Kemudian untuk pelaksanaan praktik menentukan titik koordinat Bumi, meskipun sudah menggunakan alat Theodolite, demi mendapatkan hasil yang akurat, tongkat istiwa tetap digunakan saat praktik lapangan. Di sini, tongkat istiwa dipakai sebanyak dua kali dengan fungsi yang berbeda. Fungsi pertama, tongkat istiwa digunakan untuk membuat garis utara-selatan sejati, sedangkan fungsi kedua digunakan untuk menentukan waktu kulminasi Bulan secara akurat dan tepat.

⁴¹ Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak*, hlm 84.

Sangat sulit jika deteksi waktu kulminasi Bulan ini hanya menggunakan bantuan alat Theodolite, karena pengamat tidak bisa mendeteksi secara langsung kapan Bulan memotong garis utara-selatan sejati, sehingga hal ini dapat menjadikan data hasil pengamatan menjadi rancu dan kabur (tidak akurat), oleh karena itu penggunaan alat bantu tongkat istiwa disinyalir dapat meminimalisir ketidakakuratan pengamat dalam mengambil data waktu kulminasi Bulan yang presisi, efektif dan mudah. Caranya adalah dengan mengamati pergerakan bayangan gnomon ketika menyentuh garis utara-selatan sejati, meskipun bayangan yang dihasilkan cahaya Bulan tidak sejelas bayangan dari cahaya Matahari.

c. Waterpass.

Waterpass (penyipat datar) adalah suatu alat ukur yang dipergunakan untuk mengukur kedataran suatu tempat. Dalam ilmu ukur tanah waterpass tidak hanya untuk mengukur kedataran, melainkan juga untuk mengukur perbedaan ketinggian antara dua titik atau lebih yang saling berdekatan satu sama lain.⁴² Perkakas ini biasanya terbuat dari tabung kaca berisi air bergelembung, sering ditempel di penggaris, theodolite dan sebagainya. Fungsi sederhana

⁴² Jemmy Panambunan, *Pengantar Survey dan Pemetaan 2*, hlm 3

waterpass didasari dari sifat alami air yang senantiasa memiliki permukaan datar saat air tersebut tenang.⁴³

Cara pemakaiannya pun sangat mudah, cukup meletakkannya di bidang yang akan diukur, kemudian mengamati gelembung udara dalam tabung. Jika gelembung tersebut berada tepat di tengah tabung, maka hal itu menandakan permukaan tanah atau bidang yang diukur sudah datar. Fungsi waterpass ini dipakai untuk mengetahui kedataran tempat praktik, baik tempat berdirinya Theodolite maupun tongkat istiwa, dengan keadaan tempat yang datar, diharapkan data yang diambil ketika observasi tidak mengalami *error* atau kesalahan ukur. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan data yang akurat selama proses praktik di lapangan.



Gambar 3.8 : Waterpass. (www.alatukur.web.id)

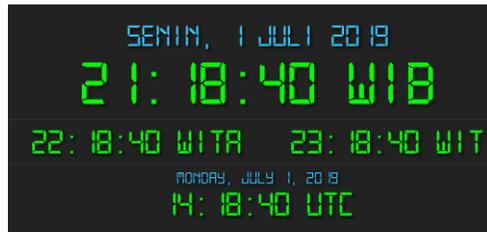
d. Jam Penunjuk Waktu Akurat.

Waktu yang akurat (tepat) adalah waktu yang sesuai dengan keadaan semestinya (*real time*). Untuk

⁴³ Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak*, hlm 91

mendapatkan waktu yang tepat dapat ditempuh dengan cara .⁴⁴

- (1) Menyesuaikan suara tit terakhir RRI setiap menjelang berita.
- (2) Menyesuaikan dengan jam di *Global Positioning System* (GPS) yang sedang tekoneksi dengan satelit.
- (3) Menyesuaikan dengan jam online yang tersedia di website. Ada bebearapa website penyedia waktu akurat, seperti : <http://jam.bmkg.go.id/Jam.BMKG>, atau <https://jam.berapasekarang.info/>, atau <https://time.is/id/>, atau <https://id.piliapp.com/time-now/clock/>.



Gambar 3.9 : Tampilan Website jam.bmkg.go.id

Jam penunjuk waktu ini digunakan untuk mencatat waktu kulminasi Bulan saat pelaksanaan praktik lapangan, di mana data waktu tersebut sebagai data awal perhitungan koordinat bujur tempat. Tanpa mendeteksi dan mencatat waktu kulminasi Bulan secara tepat, data bujur tempat tidak akan bisa diketahui dengan akurat, sehingga adanya jam

⁴⁴ Slamet Hambali, *Seminar Nasional Uji Kelayakan Istiwaain Sebagai Alat Bantu Menentukan Arah Kiblat yang Akurat*, (Semarang : Prodi Ilmu Falak IAIN Walisongo, 2013), hlm 9

penunjuk waktu yang akurat merupakan salah satu instrument penting untuk pelaksanaan observasi.

2. Prosedur Praktik

Praktik lapangan untuk menentukan titik koordinat memanfaatkan kulminasi Bulan harus dilakukan pada malam hari di tempat yang relatif gelap. Artinya tidak ada cahaya lampu yang berpotensi mengganggu cahaya Bulan, ini dilakukan untuk meminimalisir kesalahan dalam mengamati bayangan Bulan ketika benar-benar menyentuh garis meridian (garis utara-selatan sejati) di mana pada saat tersebut kulminasi Bulan sedang terjadi.

Oleh karena itu, penentuan garis utara-selatan sejati harus dilakukan terlebih dahulu agar pengamat dapat mendeteksi waktu kulminasi Bulan dengan tepat melalui garis utara-sejati yang dibuat itu. Jadi persiapan yang harus dilakukan pertama kali adalah membuat garis utara-selatan sejati.

a. Penentuan Utara-Selatan Sejati.

Garis utara-selatan sejati dapat diketahui dengan memanfaatkan bayang-bayang Matahari maupun Bulan. Metode ini bisa dikatakan akurat ketika rentang waktu antara pembuatan titik pertama dan titik kedua memiliki rentang yang singkat. Apalagi jika dilakukan pada saat perubahan deklinasi benda langit (baik Matahari atau Bulan) relatif sedikit (tidak berbeda jauh) dari jam ke jam berikutnya.

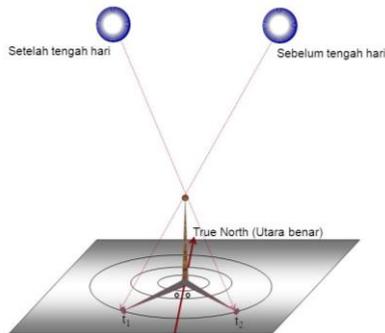
Langkah-langkah penentuan arah mata angin ini dapat dipraktikkan menggunakan Matahari ataupun Bulan, sebagai berikut :⁴⁵

- (1) Pilih tempat yang rata, datar dan terbuka. Cek kedataran tempat menggunakan Waterpass.
- (2) Buat sebuah lingkaran di tempat tersebut, semisal dengan jari-jari sekitar 0,5 meter. Semakin kecil lingkaran yang dibuat, rentang waktu akan semakin singkat, sehingga garis yang dihasilkan akan semakin akurat.
- (3) Tancapkan atau tegakkan tongkat lurus setinggi 1,5 meter di tengah pusat lingkaran tersebut. Semakin panjang tongkat, rentang waktu praktik semakin singkat, sehingga hasil praktik semakin akurat.
- (4) Ketika bayangan sinar Matahari atau Bulan mulai masuk (bayangan ujung tongkat menyentuh tepi lingkaran) beri tanda titik B pada titik perpotongan antara bayangan tongkat dengan garis lingkaran sebelah barat. Hal ini terjadi sebelum waktu kulminasi (*qabla zawāl*).
- (5) Ketika bayangan sinar Matahari atau Bulan mulai keluar (bayangan ujung tongkat menyentuh tepi lingkaran yang lain) beri tanda titik T pada titik

⁴⁵ Ahmad Izzuddin, *Menentukan Arah Kiblat Praktis*, hlm 50, lihat juga Unit Falak Bahagian Penyelidikan, *Kaidah Panduan Falak Syarie*, (Kuala Lumpur: Percetakan Nasional Malaysia Berhad, 2001), hlm 17.

perpotongan antara bayangan tongkat dengan garis lingkaran sebelah timur. Hal ini terjadi setelah waktu kulminasi (*ba'da zawāl*).

- (6) Hubungkan titik B dengan titik T tersebut dengan garis lurus, maka arah timur-barat sejati telah didapatkan. Titik B adalah arah barat dan titik T adalah arah timur.
- (7) Arah utara dan selatan sejati dapat diperoleh dengan memotong garis timur dan barat tepat 90° menggunakan penggaris siku-siku.



Gambar 3.10 : Penentuan Utara-Selatan Sejati
(www.slideplayer.info)

b. Prosedur Penentuan Titik Koordinat Bumi.

Praktik lapangan untuk penentuan titik koordinat Bumi harus dilakukan setidaknya dua orang pengamat dengan tugasnya masing-masing. Satu orang mengamati tongkat istiwā berbekal jam penunjuk waktu akurat, sedangkan satu orang lainnya bertugas membidik Bulan dengan menggunakan Theodolite. Perlu adanya kerjasama antar kedua orang tersebut. Orang yang mengamati gnomon

bertugas memberi informasi sekaligus mencatat kapan waktu kulminasi Bulan terjadi, di mana waktu tersebut adalah waktu pengambilan data sudut zenit bagi orang yang mengoperasikan Theodolite.

Secara runtut prosedur praktik lapangan untuk penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan adalah sebagai berikut :

- 1) Pengamatan Waktu Kulminasi Bulan.
 - (a) Tancapkan gnomon pada bidang yang sudah terlukis garis utara-selatan sejati tepat di bagian tengah gnomon.
 - (b) Amati pergerakan bayangan Bulan setiap detiknya dengan tetap melihat jam penunjuk waktu akurat. Menjelang terjadinya kulminasi Bulan, perlahan-lahan bayangan gnomon akan mendekati garis utara-selatan sejati tersebut.
 - (c) Waktu ketika bayangan gnomon menyentuh garis utara-selatan sejati merupakan waktu terjadinya fenomena kulminasi Bulan (transit Bulan).
 - (d) Catat waktu tersebut dan informasikan pada pengamat yang bertugas mengoperasikan Theodolit, bahwa waktu kulminasi Bulan telah terjadi saat itu juga.

2) Pengamatan Sudut Zenit Bulan

Pencarian data sudut zenit Bulan (Z_c) dapat melalui dua cara. Cara pertama dengan memakai instrumen Theodolite, yakni sebagai berikut :

- (a) Tegakkan Theodolite di atas tripotnya dengan benar dan rata. Cek kedatarannya menggunakan waterpass dan tabung nivo yang telah tersedia di badan Theodolite.
- (b) Nyalakan Theodolite serta cek akurasinya. Caranya adalah dengan memutar-mutar sumbu vertikal dan horizontal. Jika teleskop diputar ke kanan-kiri hingga kembali lagi ke titik semula, nilainya tidak menunjukkan sudut 0° (satu putaran azimuth penuh = $360^\circ / 0^\circ$), ataupun jika teleskop diputar-putar ke atas-bawah, lalu diarahkan kembali ke zenit nilainya tidak 0° , maka lakukan kalibrasi dengan mengurangi atau menambahkan hasil yang didapat sesuai selisih kesalahan tersebut.
- (c) Tunggu intruksi pengamat yang sedang mengamati bayangan Tongkat Istiwa'.
- (d) Saat pengamat tersebut menginformasikan bahwa kulminasi Bulan sedang terjadi, langsung bidik Bulan dengan teleskop, arahkan tepat di titik pusat piringan Bulan. Karena posisi Bulan berada di meridian yang mana ketinggiannya mencapai nilai

maksimum, maka untuk menepatkan bidikan pada titik tengah Bulan, manfaatkan pantulan cahaya Bulan yang masuk dalam tabung teleskop. Ambil kertas dan taruh di bawah lubang pengintai teleskop, proyeksi Bulan akan terlihat di kertas tersebut sehingga memudahkan pengamat untuk mengarahkan teleskop ke titik pusat piringan Bulan.

- (e) Setelah benar-benar Theodolite mengarah tepat ke posisi Bulan, lihat nilai *vertikal angle* (sudut vertikal) dan catat data tersebut. Data itu merupakan data sudut zenit Bulan saat kulminasi di meridian setempat.

Cara kedua ialah dengan memakai instrument Tongkat Istiwa'. Prosedur praktiknya adalah sebagai berikut:

- (a) Pastikan terlebih dahulu panjang gnomon (tongkat) yang dipakai untuk praktik
- (b) Pasang Tongkat Istiwa' dengan baik dan benar.
- (c) Tunggu hingga fenomena kulminasi Bulan terjadi. Setelah fenomena tersebut tiba (sedang terjadi), maka ukur panjang bayangan gnomon dengan penggaris.
- (d) Lakukan perhitungan sederhana dengan menggunakan data tinggi gnomon dan panjang gnomon tersebut. Hitung dengan formula berikut :

$$\tan Z_{\zeta} = \text{Panjang Bayangan Gnomon} / \text{Tinggi Gnomon}$$

Dari prosedur praktik yang telah dijelaskan di atas menunjukkan bahwa ada dua data Bulan yang diambil dari kegiatan observasi tersebut, yakni data waktu kulminasi Bulan dan data sudut zenit Bulan ketika berkulminasi. Nantinya sudut zenit Bulan akan dihitung dan menghasilkan data lintang tempat, sedangkan data waktu kulminasi Bulan akan diproses menggunakan prinsip waktu Bulan hingga dapat menghasilkan data bujur tempat pengamatan.

3. Algoritma Perhitungan.

a. Algoritma Perhitungan Lintang Tempat.

Lintang tempat atau *latitude*, '*arḍu al-balad* ialah jarak sepanjang garis bujur yang dihitung dari katulistiwa sampai ke titik perpotongan bujur itu dengan lingkaran lintang tempat yang bersangkutan. Dalam astronomi lintang tempat dilambangkan dengan ϕ (dibaca *phi*).⁴⁶

Lintang tempat pengamatan diketahui dengan mengolah data sudut zenit Bulan (Z_{ζ}) dan deklinasi Bulan (δ_{ζ}) ketika terjadi kulminasi. Sama persis dengan formula yang sering dipakai untuk menghitung lintang tempat menggunakan kulminasi Matahari. Terlebih dahulu data deklinasi Bulan diinterpolasi sebelum akhirnya digunakan

⁴⁶ Abdus Salam Nawawi, *Ilmu Falak Cara Praktis Menghitung Waktu Salat, Arah Kiblat dan Awal Bulan*, hlm 7.

untuk menghitung lintang tempat. Berikut adalah algoritma perhitungan lintang tempat secara lengkap :

(1) Formula Interpolasi Deklinasi Bulan (δ_c)

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

(2) Formula Lintang Tempat (ϕ_x)

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

b. Algoritma Perhitungan Bujur Tempat.

Bujur tempat atau *longitude*, *Ṭhūl al-balad* ialah jarak sepanjang lingkaran lintang yang dihitung dari titik perpotongannya dengan garis bujur *Greenwich* sampai ke titik potongnya dengan garis bujur tempat yang bersangkutan. Dalam astronomi lambang bujur tempat adalah λ (dibaca *lamda*).⁴⁷

Data hasil pengamatan berupa waktu terjadinya kulminasi Bulan (dalam waktu daerah) dapat diolah menjadi data bujur tempat. Formula untuk menghitung bujur tempat ini dilandasi dari prinsip perhitungan waktu Bulan. Data ephemeris yang harus disiapkan ialah data *Apparent Right Ascension* Bulan, lalu melakukan runtutan perhitungan L_0 dan L' . Nilai L' dihitung dengan formula

⁴⁷ Abdus Salam Nawawi, *Cara Praktis Menghitung Waktu Salat, Arah Kiblat dan Awal Bulan*, hlm 9.

pada subbab yang lalu, sedangkan nilai L0 dihitung dengan formula di bawah ini :⁴⁸

$$L_0 = 280,4664567 + 360007,6982779 \times (T / 10) + 0,03032028 \times (T / 10)^2 + (T / 10)^3 / 49931 - (T / 10)^4 / 15299 - (T / 10)^5 / 1988000$$

Algoritma perhitungan bujur tempat secara lengkap dapat ditempuh dengan formula-formula berikut :

- (1) Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Bulan (α)

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

- (2) Formula *Local Civil Lunar Time* (LCLT)

$$LCLT = WD + \frac{L_0 - L'}{15}$$

- (3) Formula *Equation of Lunar Time* (EoLT)

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

- (4) Formula *Meridian Pass* Bulan (MP_c)

$$MP_c = 12 - EoLT$$

- (5) Formula Bujur Tempat (λ)

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

Ada juga algoritma lain selain algoritma di atas. Data yang digunakan kali ini murni diambil dari data ephemeris tanpa menghitung nilai L0 dan L'. Data-data tersebut ialah *Apparent Right Ascension* Matahari, *Equation of Time* dan *Apparent Right Ascension* Bulan. Adapun algoritmanya adalah sebagai berikut :

⁴⁸ Jean Meuss, *Astronomical Algorithms*, bab 27, hlm 171.

- (1) Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Matahari (α_o)

$$\alpha_o = \alpha_o1 - (\alpha_o1 - \alpha_o2) \times C / I$$

- (2) Formula Interpolasi *Equation of Time* (EoT)

$$EoT = EoT1 - (EoT1 - EoT2) \times C / I$$

- (3) Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Bulan (α_c)

$$\alpha_c = \alpha_c1 - (\alpha_c1 - \alpha_c2) \times C / I$$

- (4) Formula Sudut Waktu Matahari (t_o)

$$t_o = \alpha_c - \alpha_o$$

- (5) Formula Meridian Pass Matahari (MP)

$$MP = 12 - EoT$$

- (6) Formula Bujur Tempat (λ)

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

BAB IV

ANALISIS METODE DAN AKURASI PENENTUAN TITIK KOORDINAT BUMI DENGAN ACUAN KULMINASI BULAN SERTA IMPLEMENTASINYA TERHADAP ARAH KIBLAT

A. Analisis Metode Penentuan Titik Koordinat Bumi dengan Acuan Kulminasi Bulan.

1. Analisis Hambatan Praktik Penentuan Titik Koordinat Bumi dengan Acuan Kulminasi Bulan.

Prinsip penentuan koordinat Bumi menggunakan kulminasi Bulan tidak jauh berbeda dengan prinsip penentuan koordinat memakai kulminasi Matahari. Bahkan jika dilihat dari prosedur praktiknya tidak memiliki perbedaan sama sekali, data yang diambil dari observasi lapangan pun juga sama, yakni data sudut zenit dan waktu kulminasi Bulan.

Perbedaan yang mendasar dari praktik keduanya terletak pada hambatan keterbatasan waktu yang dimiliki oleh Bulan. Hambatan yang paling jelas jika dengan menggunakan Matahari terpaku pada awan pekat (mendung) yang bisa saja menghalangi Matahari untuk dibidik secara langsung, baik menggunakan Theodolite maupun Tongkat Istiwa'. Akan tetapi jika menggunakan acuan Bulan tidak hanya hambatan itu saja yang dapat dialami pengamat, melainkan ada hambatan-hambatan lain yang perlu dipahami. Setidaknya ada dua hambatan, yaitu terbatasnya hari pelaksanaan praktik dan polusi cahaya di medan praktik.

Pelaksanaan praktik tidak dapat dilakukan setiap hari sebagaimana menggunakan Matahari. Praktik hanya dapat

dilakukan di hari-hari tertentu ketika Bulan memiliki cahaya yang mencukupi untuk membentuk sebuah bayangan dan saat kulminasi Bulan tidak bersamaan ketika Matahari berada di atas ufuk.

Pengambilan data Bulan ketika kulminasi sangat bergantung dengan adanya cahaya yang dimiliki Bulan. Padahal seperti yang telah diketahui bersama, setiap hari cahaya Bulan tidak memiliki intensitas yang sama akibat fase Bulan yang berbeda-beda. Hal ini akan menghambat kegiatan pengambilan data untuk menentukan titik koordinat suatu tempat.

Baik menggunakan alat Theodolite maupun Tongkat Istiwa', perlu adanya cahaya Bulan untuk mendapatkan sudut zenith dan waktu kulminasi yang tepat. Dalam hal ini, instrumen Tongkat Istiwa' digunakan dengan cara menunggu bayangan gnomon menghimpit garis utara-selatan sejati, maka saat itulah terjadi transit Bulan di meridian (kulminasi Bulan). Bayangan gnomon menjadi acuan utama untuk menentukan waktu kulminasi Bulan, tanpa adanya cahaya Bulan, gnomon tidak akan mempunyai bayangan yang artinya waktu kulminasi Bulan mustahil untuk dideteksi.

Data sudut zenit diambil dari observasi Bulan menggunakan instrumen Theodolit, yaitu cukup dengan membidik titik tengah Bulan kemudian *vertical angle* di *display* Theodolite adalah sudut zenit Bulan itu. Prosedur praktik seperti ini mengacu pada proyeksi cahaya Bulan yang masuk ke

dalam tabung teleskop. Karena tinggi Bulan saat kulminasi selalu mencapai lebih dari 50° , maka pembidikan Bulan menggunakan mata lewat lubang bidik teleskop secara langsung tidak mungkin dilakukan. Yang dapat dilakukan hanyalah dengan memanfaatkan proyeksi cahaya dari benda yang dibidik tersebut. Proyeksi cahaya Bulan yang masuk dalam tabung teleskop menandakan bahwa Theodolite sudah mengarah ke fisik Bulan, jadi proyeksi tersebut merupakan implementasi dari posisi Bulan berada. Sehingga tanpa adanya cahaya Bulan, pembidikan ini tidak dapat dilakukan.

Penjelasan di atas memunculkan kesulitan baru lagi bagi pengamat, yaitu mencari sebuah cara untuk menepatkan titik tengah teleskop dengan titik tengah piringan Bulan. Perlu disadari bahwa jika cahaya Bulan sudah masuk ke tabung teleskop tidak serta merta menandakan teleskop tepat mengarah ke titik tengah Bulan, melainkan masih memiliki kemungkinan meleset sebesar 1,5 derajat busur.¹ Nilai ini diketahui dari besarnya diameter lingkaran medan pandang di masing-masing teleskop yang dipakai. Bisa jadi nilai sudut zenit yang dihasilkan dari pembidikan Theodolite masih memiliki kesalahan toleransi sebesar nilai tersebut dari hasil yang sebenarnya.

¹ Peneliti telah mengukur sendiri nilai ini, namun tidak berarti setiap Theodolit memiliki medan pandang yang sama, karena setiap Theodolite dirancang berdasarkan sistem optik yang berbeda-beda, sehingga pembesaran dan medan pandangnya pun juga berbeda.

Ketika praktik dilakukan pun, tempat praktik harus dalam keadaan gelap atau tanpa polusi cahaya lampu, sehingga dapat memungkinkan cahaya redup Bulan untuk membentuk sebuah bayangan gnomon. Hal ini juga menjadi kesulitan tersendiri bagi pengamat saat melakukan praktik, jadi tidak hanya waktunya saja yang terbatas, melainkan tempatnya juga dibatasi, yaitu hanya pada tempat-tempat yang gelap saja (bebas polusi cahaya lampu).

Kemudian dari segi waktu kulminasi Bulan yang selalu bergeser setiap hari, maka ada kalanya kulminasi Bulan terjadi saat Matahari berada di atas ufuk. Hari-hari tersebut juga tidak dapat dilakukan praktik untuk menentukan titik koordinat tempat. Cahaya Matahari pasti akan lebih dominan dibanding cahaya redup Bulan, sehingga observasi Bulan tidak mungkin untuk dilakukan. Oleh karena itu, perlu ditelisik secara lanjut mengenai tanggal berapa saja yang memungkinkan untuk melakukan praktik ini. Agar lebih mudah, perhatikan sampel jadwal kulminasi Bulan pada Juli 2019.

tgl	hari - pasaran	terbit	transit	terbenam	tgl	hari - pasaran	terbit	transit	terbenam
1	Senin Pahing	04.04.33	10.07.45	16.10.24	17	Rabu Pon	18.01.43	-----	05.58.43
2	Selasa Pon	05.03.09	11.05.51	17.08.19	18	Kamis Wage	18.51.25	00.24.51	06.47.17
3	Rabu Wage	06.03.51	12.06.30	18.09.17	19	Jumat Kliwon	19.39.19	01.12.47	07.33.12
4	Kamis Kliwon	07.04.42	13.07.47	19.11.22	20	Sabtu Legi	20.25.26	01.58.29	08.16.32
5	Jumat Legi	08.03.40	14.07.42	20.12.32	21	Ahad Pahing	21.10.04	02.42.09	08.57.43
6	Sabtu Pahing	08.59.29	15.04.56	21.11.24	22	Senin Pon	21.53.52	03.24.20	09.37.24
7	Ahad Pon	09.51.49	15.59.08	22.07.36	23	Selasa Wage	22.37.36	04.05.43	10.16.25
8	Senin Wage	10.41.12	16.50.42	23.01.28	24	Rabu Kliwon	23.22.09	04.47.12	10.55.41
9	Selasa Kliwon	11.28.32	17.40.31	23.53.48	25	Kamis Legi	-----	05.29.42	11.36.14
10	Rabu Legi	12.14.56	18.29.33	-----	26	Jumat Pahing	00.08.28	06.14.15	12.19.07
11	Kamis Pahing	13.01.23	19.18.41	00.45.29	27	Sabtu Pon	00.57.28	07.01.48	13.05.23
12	Jumat Pon	13.48.43	20.08.34	01.37.14	28	Ahad Wage	01.49.52	07.53.11	13.55.54
13	Sabtu Wage	14.37.27	20.59.30	02.29.31	29	Senin Kliwon	02.45.58	08.48.42	14.51.04
14	Ahad Kliwon	15.27.40	21.51.18	03.22.24	30	Selasa Legi	03.45.17	09.47.54	15.50.28
15	Senin Legi	16.19.00	22.43.23	04.15.27	31	Rabu Pahing	04.46.24	10.49.23	16.52.40
16	Selasa Pahing	17.10.39	23.34.51	05.07.51					

Tabel 4.1 : Jadwal Transit Bulan di Semarang Juli 2019

Pada tabel di atas, tanggal 1 sampai 8 Juli 2019 kulminasi Bulan terjadi saat Matahari masih berada di atas ufuk (siang hari), sudah pasti di tanggal ini praktik lapangan tidak dapat dilakukan. Akan tetapi dua hari selanjutnya, yakni tanggal 9-10 Juli, transit Bulan terjadi setelah Matahari terbenam, namun hamburan cahaya Matahari masih dominan di langit sehingga sangat mungkin tanggal tersebut observasi tidak dapat dilakukan. Sama halnya ketika tanggal 24-25 Juli 2019, meski fenomena transit Bulan terjadi saat Matahari di bawah ufuk, namun hamburan cahaya fajar dapat mengganggu cahaya redup Bulan, maka dua hari ini praktik juga tidak dapat dilakukan. Menurut pengamatan penulis sendiri, hamburan cahaya fajar ini sudah mulai hilang ketika Matahari memasuki ketinggian sekitar -21° , atau setelah memasuki awal waktu Isya dan sebelum memasuki awal waktu Subuh.²

Kemudian ditelisik kembali tanggal hijriahnya guna memperkirakan fase Bulan apa yang dialami saat waktu kulminasi terjadi. Pada tanggal 9 Juli 2019, Bulan sudah berumur 7 hari, sedangkan pada 25 Juli 2019, Bulan berumur 22 hari. Fase yang dialami Bulan saat itu ialah fase kuartir, baik kuartir awal maupun kuartir akhir. Fase Bulan ini cahaya Bulan sangatlah redup. Menurut sepengamatan penulis, cahaya Bulan

² Sepengamatan peneliti pada saat Maghrib atau Subuh, hamburan cahaya Matahari masih tinggi, sehingga tidak memungkinkan untuk diadakannya kegiatan praktik.

dapat teramati (memunculkan bayangan) setidaknya ketika ukuran Bulan setengah dari pirangannya.³

Dari dua batas tersebut dapat ditarik sebuah benang merah, bahwa observasi transit Bulan untuk penentuan titik koordinat tempat dapat dilakukan mulai tanggal 9 hingga 20 hijriah. Sedangkan waktu yang paling efektif adalah tiga hari di pertengahan bulan hijriah, yakni sehari sebelum dan sesudah purnama serta hari saat purnama itu sendiri.

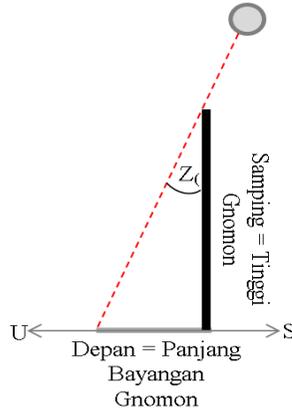
2. Analisis Formula Perhitungan Lintang dan Bujur Tempat.

Beralih pembahasan ke formula penentuan lintang tempat suatu titik di permukaan Bumi. Seperti yang telah diulas pada bab III, bahwa penentuan lintang tempat ini merupakan hasil pengolahan data Bulan, yang diambil ketika observasi langsung yakni data sudut zenit Bulan dan data deklinasi Bulan saat berkulminasi. Dalam praktik pencarian nilai sudut zenit dapat dicari dengan dua instrumen pilihan, bisa menggunakan Theodolite ataupun Tongkat Istiwa'. Pencarian sudut zenit menggunakan Tongkat Istiwa' dilakukan dengan menghitung rumus $\tan Z_c = \text{panjang bayangan gnomon} / \text{tinggi Gnomon}$. Formula ini dilandasi dari rumus trigonometri bidang datar yang sering disebut dengan ilmu goniometri.⁴

³ Peneliti melakukan observasi cahaya Bulan di tempat yang redup. Bayangan gnomon sangat samar ketika Bulan memasuki tahap kuartir pertama ke bawah atau kuartir kedua ke atas. Artinya minimal bayangan Bulan dapat terlihat ketika ukuran Bulan separuh dari piringan penuhnya.

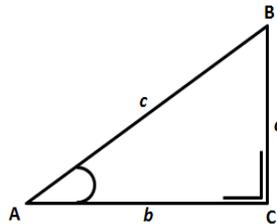
⁴ Studi tentang pengukuran segitiga bidang datar, subjeknya sebagian besar terdiri dari teori fungsi sudut tertentu yang disebut fungsi trigonometri, dalam hal ini berkaitan dengan bidang datar. Lihat H.L. Rietz and J.F Reilly

Ada tiga formula goniometri yang sangat mendasar, yaitu rumus sinus, cosinus dan tangen. Mengenai formula sudut zenit ini, hanya memakai salah satunya saja, yakni rumus tangen. Untuk lebih jelasnya dapat melihat gambar :



Gambar 4.1 : Sudut Zenit Dalam Tongkat Istiwa' (Penulis)

Jika ada sebuah segitiga siku-siku pada bidang datar seperti halnya dalam gambar ini :



Gambar 4.2 : Segitiga Siku-Siku. (Penulis)

Disebutkan bahwa tangens (\tan) sudut adalah perbandingan antara sisi di hadapan sudut (proyektor, *opposite*)

dkk, *Plane and Spherical Trigonometry*, (New York : The Macmillan Company, tth), hlm 1

dengan sisi di samping sudut (proyeksi hipotenusa, *adjacent*).⁵

Formula tangen dapat dituliskan seperti ini :

$$\text{Tan } A = BC : AC \text{ atau } \text{Tan } A = \frac{a}{b}$$

Apabila rumus tangen tersebut disesuaikan dengan gambar 4.2, nilai A adalah sudut zenit Bulan, sedangkan nilai BC dan AC, masing-masing ialah panjang bayangan gnomon dan tinggi gnomon. Sehingga rumus di atas berubah menjadi :

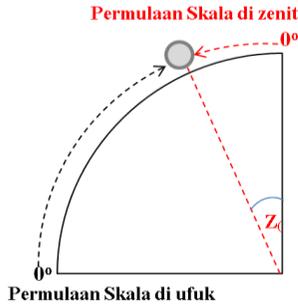
$$\text{Tan } Z_{\zeta} = \text{panjang bayangan gnomon} / \text{tinggi Gnomon.}$$

Formula inilah yang pada akhirnya dipakai untuk menghitung sudut zenit Bulan.

Sedangkan untuk penentuan sudut zenit Bulan dengan menggunakan Theodolite terbilang sangat simpel, cukup mengambil data *vertical angle* setelah teleskop ditepatkan pada titik tengah Bulan. Hal ini disebabkan karena permulaan skala dari *vertical angle* Theodolite berada tepat di atas zenit, maka untuk mengetahui sudut zenit Bulan hanya perlu mengambil data *vertical angle* tersebut. Berbeda halnya bila permulaan skala *vertical angle* dihitung dari titik horizon Bumi (ufuk).⁶ Maka untuk mengetahui sudut zenit Bulan adalah dengan mengurangkan hasil *vertical angle* terhadap angka 90°.

⁵ Maskufa, *Ilmu Falaq*, (Jakarta : Gaung Persada Press, cet 1, Februari 2009), hlm 75 – 77. Lihat juga H.L. Rietz and J.F. Reilly, *Plane and Spherical Trigonometry*, hlm 2-3

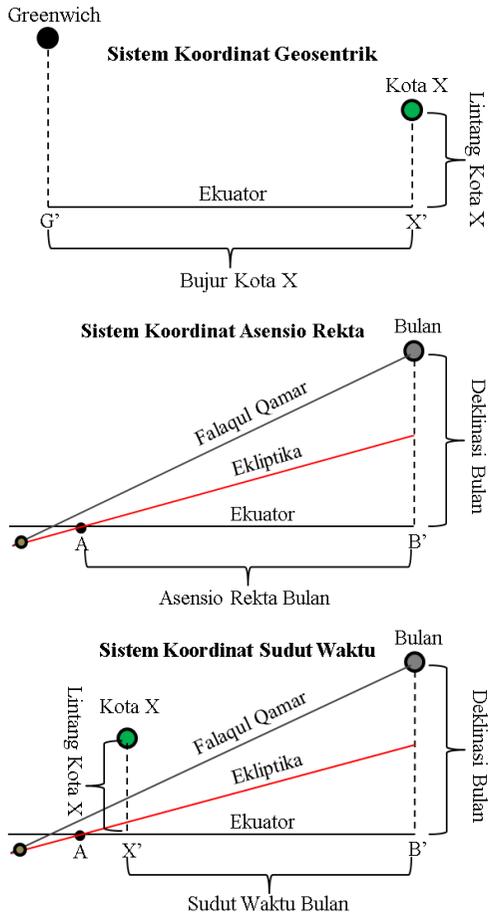
⁶ Sebagian tipe Theodolite ada yang skala ukur *vertikal angle*-nya dimulai dari ufuk horizon (bukan dari titik zenit).



Gambar 4.3 : Sudut Zenit Dalam Theodolite (Penulis)

Beranjak ke rumus perhitungan lintang tempat. Perlu beberapa pemahaman mendasar tentang sistem koordinat, terutama sistem koordinat geosentrik, koordinat asensio rekta (ekuator) dan koordinat sudut waktu. Hubungan yang paling mendasar dari ketiga sistem koordinat tersebut adalah bahwa sistem koordinat asensio rekta atau koordinat sudut waktu merupakan perbesaran dari sistem koordinat geosentrik. Lingkaran katulistiwa di Bumi diperluas menjadi lingkaran ekuator langit, sedangkan titik kutub di kedua poros Bumi menjadi titik kutub langit utara dan selatan.

Dalam sistem koordinat geosentrik, data untuk mendefinisikan suatu titik di permukaan Bumi adalah dengan lintang dan bujur tempat, sedangkan pada sistem koordinat asensio rekta acuan datanya adalah deklinasi dan asensio rekta, lalu pada sistem koordinat sudut waktu menggunakan deklinasi dan sudut waktu benda langit. Agar dapat melihat lebih jelas sisi kemiripan datanya, perhatikan gambar berikut ini :



Gambar 4.4 : Perbandingan Sistem Koordinat (penulis)

Gambar 4.4 menjelaskan bahwa data lintang tempat di sistem koordinat geosentrik sama seperti data deklinasi di sistem koordinat asensio rekta dan koordinat sudut waktu, dua data ini sama-sama dihitung dari ekuator, sama-sama bernilai positif jika posisi titik yang diukur berada di utara ekuator dan bernilai negatif jika posisinya di selatan ekuator. Begitu pula data bujur tempat, sudut waktu dan ascensio rekta, ketiganya

sama-sama dihitung sepanjang lingkaran ekuator namun dengan acuan referensi yang berbeda.

Pada sistem koordinat geosentrik, jika titik Greenwich ditarik ke bawah berpotongan dengan lingkaran ekuator, perpotongan itu dinamai G', kemudian titik kota X juga sama, diproyeksikan ke ekuator dan dinamai dengan X', jarak busur antara G' sampai ke X' ini yang disebut dengan bujur tempat kota X. Berbeda lagi pada sistem koordinat asensio rekta. Definisi nilai asensio rekta Bulan adalah garis yang dihitung dari A (Aries) ke B' (proyeksi Bulan). Sedangkan pada sistem koordinat sudut waktu, nilai sudut waktu adalah garis yang dihitung dari X'(proyeksi kota X) ke B' (proyeksi Bulan).

Ketika Bulan bergeser dan sejajar dengan kota X (berhimpit dengan meridian kota X) maka terjadilah kulminasi Bulan. Karena referensi perhitungan lintang dan deklinasi sama-sama dihitung dari ekuator, untuk mencari nilai sudut zenit cukup mencari selisih antara deklinasi dengan lintang kota X. Formulanya sebagai berikut :

$$Z_{\zeta} = \delta_{\zeta} - \phi_x$$

Bila dipindah ruas untuk mencari nilai lintang tempat, maka formula menjadi :

$$\phi_x = \delta_{\zeta} - Z_{\zeta}$$

Selanjutnya rumus tersebut dapat digunakan untuk mengkaji dua aturan perhitungan lintang, sebagai berikut:⁷

⁷ Lihat di bab III mengenai perhitungan lintang tempat.

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

Aturan tersebut dibuat semata-mata karena sudut zenit dianggap selalu positif. Jika sudut zenit diasumsikan mempunyai arah seperti halnya deklinasi dan lintang (positif saat Bulan di utara kota X dan negatif saat Bulan di selatan kota X), maka perhitungan $\phi_x = \delta_c - Z_c$ akan tetap seperti itu karena Z_c bernilai positif yang artinya Bulan berada di sebelah utara zenit, sedangkan saat Bulan berada di sebelah selatan zenit, perhitungannya berubah menjadi $\phi_x = \delta_c - (-Z_c) = \delta_c + Z_c$. ini karena Z_c dianggap negatif, sehingga muncullah dua aturan perhitungan lintang tempat sebagaimana di atas.

Berpindah ke pembahasan formula penentuan bujur tempat. Teori yang digunakan untuk mengkaji formula tersebut adalah teori waktu Bulan (*Lunar Time*). Prinsip yang melandasi terciptanya waktu Bulan adalah dengan menggeser prinsip waktu Matahari, jadi formula-formula yang dipakai dalam waktu Bulan merupakan penggeseran dari formula waktu Matahari. Perhatikan tabel berikut :

Nama Data	Solar Time	Lunar Time
Waktu Istiwa' (<i>Local Apparent Time</i>)	$12 + t_o / 15$	$12 + t_c / 15$
Waktu Pertengahan (<i>Local Mean Time</i>)	$LAT - EoT$	$LALT - EoLT$
Perata Waktu	$(L0 - \alpha_o) / 15$	$(L' - \alpha_c) / 15$

(Equation of Time)		
Koreksi Waktu Daerah	$TZ - \lambda / 15$	$TZ - \lambda / 15$
Waktu Daerah (Local Civil Time)	$LMT + KWD$	$LMLT + KWD$

Tabel 4.2 : Formula *Solar Time* dan *Lunar Time*

Dari berbagai formula tersebut, formula yang dipakai untuk menghitung bujur tempat adalah formula *Local Civil Time*. Perhatikan sekali lagi formula *Local Civil Lunar Time*.

$$LCLT = LMLT + KWD$$

$$LCLT = 12 + t_c / 15 - EoLT + TZ - \frac{\lambda}{15}$$

Karena referensi waktu adalah saat terjadinya kulminasi Bulan, di mana nilai sudut waktu Bulan sama dengan 0° . Maka formula di atas menjadi :

$$LCLT = 12 - EoLT + TZ - \frac{\lambda}{15}$$

Komponen rumus $12 - EoLT$ merupakan formula *meridian pass* Bulan (MP_ζ). Formula ini didapat dari waktu Bulan pertengahan setempat (*Local Mean Lunar Time*), $LMLT = 12 + t_c / 15 - EoLT$, jika $t_c = 0^\circ$, maka $MP_\zeta = 12 - EoLT$. Nilai $12 - EoLT$ diganti dengan simbol MP_ζ , menjadi :

$$LCLT = MP_\zeta + TZ - \frac{\lambda}{15}$$

Bila rumus dipindah ruas guna mencari nilai bujur tempat, formula menjadi :

$$-MP_\zeta + LCLT - TZ = -\frac{\lambda}{15}$$

Supaya nilai bujur tempat positif, masing-masing ruas dikali -1:

$$MP_\zeta - LCLT + TZ = \frac{\lambda}{15}$$

Pada akhirnya formula bujur tempat menjadi seperti ini :

$$\lambda = 15 \times (\text{MP}_c - \text{LCLT} + \text{TZ})$$

TZ adalah *time zone* atau zona waktu.

Kemudian, dalam algoritma menghitung bujur tempat, ada formula perhitungan *Local Civil Lunar Time* (LCLT) yang diungkapkan sebagai berikut :

$$\text{LCLT} = \text{WD} + \frac{L_0 - L_t}{15}$$

Formula ini sebenarnya dapat ditelisik dari formula-formula pada tabel 4.2 didukung dengan formula *Local Apparent Sidereal Time* (LAST) dan *Greenwich Apparent Sidereal Time* (GAST).

Pada bab II telah dijelaskan bahwa formula LAST dan GAST adalah :

$$\text{LAST} = (t_x + \alpha_x) / 15, \text{ dan sebuah persamaan}$$

$$\text{LAST} - \text{GAST} = \lambda / 15$$

$$-\text{GAST} = -\text{LAST} + \lambda / 15, \text{ semua ruas dikalikan } -1$$

$$\text{GAST} = \text{LAST} - \lambda / 15$$

Selanjutnya pada tabel 4.2 dijelaskan pula formula-formula *Solar Time* sebagai berikut :

$$\text{LAT} = 12 + t_o / 15$$

$$\text{LMT} = \text{LAT} - \text{EoT}$$

$$= (12 + t_o / 15) - \text{EoT}$$

$$= (12 + t_o / 15) - (L_0/15 - \alpha_o/15)$$

$$= 12 + t_o / 15 - L_0/15 + \alpha_o/15$$

$$= 12 + (t_o/15 + \alpha_o/15) - L_0/15$$

$$= 12 + \text{LAST} - L_0/15$$

$$\begin{aligned}
\text{WD} &= \text{LMT} + \text{KWD} \\
&= 12 + \text{LAST} - \text{L0}/15 + \text{TZ} - \lambda / 15 \\
&= 12 + (\text{LAST} - \lambda / 15) + \text{TZ} - \text{L0}/15 \\
&= 12 + \text{GAST} + \text{TZ} - \text{L0}/15
\end{aligned}$$

Pada tabel 4.2 juga dijelaskan formula-formula *Lunar*

Time sebagai berikut :

$$\text{LALT} = 12 + t_c / 15$$

$$\begin{aligned}
\text{LMLT} &= \text{LALT} - \text{EoLT} \\
&= (12 + t_c / 15) - (\text{L}'/15 - \alpha_c/15) \\
&= 12 + t_c / 15 - \text{L}'/15 + \alpha_c/15 \\
&= 12 + (t_c/15 + \alpha_c/15) - \text{L}' / 15 \\
&= 12 + \text{LAST} - \text{L}' / 15
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{LCLT} &= \text{LMLT} - \text{KWD} \\
&= 12 + \text{LAST} - \text{L}' / 15 + \text{TZ} - \lambda / 15 \\
&= 12 + (\text{LAST} - \lambda / 15) + \text{TZ} - \text{L}' / 15 \\
&= 12 + \text{GAST} + \text{TZ} - \text{L}'/15
\end{aligned}$$

Jika *Lunar Time* dikurangi *Solar Time*, maka muncul beberapa persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned}
\text{LALT} - \text{LAT} &= (12 + t_c / 15) - (12 + t_o / 15) \\
&= 12 + t_c / 15 - 12 - t_o / 15 \\
&= (12 - 12) + (t_c / 15 - t_o / 15) \\
&= (t_c - t_o) / 15
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{LMLT} - \text{LMT} &= (12 + \text{LAST} - \text{L}' / 15) - (12 + \text{LAST} - \text{L0} / 15) \\
&= 12 + \text{LAST} - \text{L}' / 15 - 12 - \text{LAST} + \text{L0} / 15 \\
&= (12 - 12) + (\text{LAST} - \text{LAST}) + (\text{L0}/15 - \text{L}'/15) \\
&= (\text{L0} - \text{L}') / 15
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{LCLT} - \text{WD} &= (12 + \text{GAST} + \text{TZ} - L'/15) - (12 + \text{GAST} + \text{TZ} \\
&\quad - L0/15) \\
&= 12 + \text{GAST} + \text{TZ} - L'/15 - 12 - \text{GAST} - \text{TZ} \\
&\quad + L0/15 \\
&= (12 - 12) + (\text{GAST} - \text{GAST}) + (\text{TZ} - \text{TZ}) + \\
&\quad (L0 / 15 - L' / 15) \\
&= (L0 - L') / 15
\end{aligned}$$

Dari penjabaran formula di atas, persamaan yang dipakai untuk menghitung *Local Civil Lunar Time* ialah :

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

Sehingga untuk menghitung LCLT, maka WD dipindah ruas, menjadi :

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

Formula inilah yang dipakai untuk menghitung LCLT yang mana merupakan salah satu tahap dalam algoritma menghitung bujur tempat.

Selanjutnya membahas mengenai algoritma kedua yang murni menggunakan data ephemeris tanpa menghitung L' dan $L0$. Sebenarnya pada algoritma kedua ini, ada formula yang menjadi tonggak utama dalam penentuan bujur tempat, yakni formula sudut waktu Matahari, disebutkan formula sudut waktu Matahari (t_0) ialah sebagai berikut :

$$t_0 = \alpha_c - \alpha_0$$

Formula ini semata-mata dilandasi dari persamaan formula *Local Apparent Sidereal Time* (LAST), sebagaimana formula di atas :

$$\text{LAST} = (t_x + \alpha_x) / 15$$

Maksud dari formula ini ialah bahwa LAST diketahui dengan cara menambahkan sudut waktu suatu benda langit (apapun benda langit itu) dengan asensio rekta benda langit tersebut, kemudian dibagi 15. Dari formula LAST ini, data Matahari dan data Bulan dapat dihubungkan menggunakan persamaan berikut:

$$t_o + \alpha_o = t_\zeta + \alpha_\zeta$$

Kemudian untuk mencari sudut waktu Matahari, komponen α_o (asensio rekta Matahari) dipindah ruas ke kanan.

$$t_o = t_\zeta + \alpha_\zeta - \alpha_o$$

Karena referensi waktu perhitungan adalah saat Bulan berkulminasi, yang mana nilai sudut waktu Bulan (t_ζ) = 0° , maka formula t_o menjadi :

$$t_o = \alpha_\zeta - \alpha_o$$

Formula terakhir inilah yang dipakai untuk menghitung sudut waktu Matahari.

Kemudian formula bujur tempat pada algoritma kedua, juga dapat ditelisik memakai rumus WD dalam tabel 4.2 :

$$\text{WD} = \text{LMT} + \text{KWD}$$

$$\text{WD} = 12 + t_o / 15 - e + \text{TZ} - \frac{\lambda}{15}$$

$$\text{WD} = (12 - e) + t_o / 15 + \text{TZ} - \frac{\lambda}{15}$$

$$WD = MP + t_0 / 15 + TZ - \frac{\lambda}{15}$$

Untuk mencari bujur tempat, komponen $-\lambda / 15$ dipindah ke ruas kiri, sedangkan komponen WD dipindah ke ruas kanan :

$$\frac{\lambda}{15} = MP - WD + t_0 / 15 + TZ$$

Sehingga pada akhirnya formula bujur tempat (λ) menjadi seperti ini :

$$\lambda = 15 \times (MP - WD + t_0 / 15 + TZ)$$

B. Analisis tingkat Akurasi Metode Penentuan Titik Koordinat Bumi dengan Acuan Kulminasi Bulan.

Penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan sejatinya menggunakan sistem kerja dari konsep astronomi, di mana data-data yang di ambil dari kegiatan observasi maupun dari buku ephemeris, seperti deklinasi Bulan, *equation of time*, *apparent right ascension* Bulan dan Matahari, semua itu adalah bersifat astronomis. Sangat penting untuk diketahui data-data tersebut termasuk data geosentrik atau geodetik. Data-data yang ada dalam buku ephemeris Kemenag RI atau aplikasi sejenisnya harus diketahui kejelasan konsep datanya agar dapat dipastikan hasil lintang dan bujur tempat yang dihitung berdasarkan data tadi termasuk geosentrik atau geodetik.

Agar dapat menjawab hal tersebut, peneliti melakukan praktik lapangan saat terjadinya kulminasi Bulan menggunakan beberapa alat bantu seperti Theodolite, GPS dan kalkulator. GPS digunakan untuk mengambil data koordinat berbasis geodetik, data tersebut diolah agar menjadi data geosentrik

dengan rumus reduksi lintang yang diambil dari buku *Coordinate System in Geodesy* lalu dibandingkan dengan data deklinasi Bulan yang diambil dari buku ephemeris atau aplikasi sejenisnya. Dengan cara seperti ini dapat diketahui sebenarnya data ephemeris lebih mendekati basis yang mana. Apakah basis data geosentrik atau geodetik.

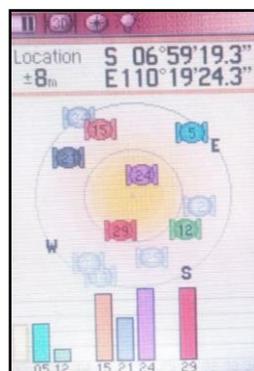
Observasi dilakukan di Musolatorium At-Taqie Pondok Pesantren Life Skill Daarun Najaah pada Jumat, 17 Mei 2019 M / 13 Ramadhan 1440 H. Adapun tahapan pengamatan adalah sebagai berikut :

1. Pencarian data lintang dan Bujur tempat menggunakan GPS Garmin 76 CSX (geodetik).

Lokasi pengamatan : Musolatorium At-Taqie Pondok Pesantren Life Skill Daarun Najaah, Bukit Beringin Lestari Barat, Ngaliyan, Semarang, Jateng.⁸

Lintang : $-6^{\circ} 59' 19,3''$ LS

Bujur : $110^{\circ} 19' 24,3''$ BT



⁸ Pengambilan data pada Sabtu, 17 Mei 2019 pukul 22:02 WIB. GPS menunjukkan sinyal 3D dengan 6 sinyal satelit yang diterima *reciver* GPS.

Gambar 4.5 : Koordinat Musolatorium At-Taqie dengan GPS (penulis)

2. Pengambilan data Ephemeris.⁹

Data ephemeris yang diambil adalah data deklinasi Bulan, *equation of time*, *apparent right ascension* Matahari dan Bulan. Pengambilan data pertama pukul 12 WD / 5 GMT (perkiraan tengah hari).

$$\text{ARA Bulan} = 213^{\circ} 50' 21,17''$$

$$\text{ARA Matahari} = 53^{\circ} 42' 29,25''$$

$$\text{EoT} = 0^{\text{j}} 3^{\text{m}} 35^{\text{d}}$$

Untuk pengambilan data kedua dengan referensi waktu pukul 22:15:38,84 WIB.

$$\text{ARA Bulan} = 219^{\circ} 30' 58,63''$$

$$\text{ARA Matahari} = 54^{\circ} 07' 56,62''$$

$$\text{EoT} = 0^{\text{j}} 3^{\text{m}} 36^{\text{d}}$$

Dan pengambilan ketiga pukul 22:36:38,51 WIB.

$$\text{ARA Bulan} = 219^{\circ} 42' 37,77''$$

$$\text{ARA Matahari} = 54^{\circ} 08' 48,73''$$

$$\text{EoT} = 0^{\text{j}} 3^{\text{m}} 36^{\text{d}}$$

Data deklinasi pukul 22:37:21,65 WIB = $-10^{\circ} 30' 19,77''$

3. Perhitungan Kulminasi Bulan.

Perhitungan dilakukan sesuai algoritma pada lampiran.

Hasil perhitungan pertama sebelum diiterasi (referensi

⁹ Peneliti mengambil data ephemeris dari aplikasi Falakiyah Pesantren 1.5, 2015. Peneliti lebih memilih aplikasi ini dari pada buku ephemeris Kemenag RI karena data yang dihasilkan lebih spesifik dan dapat diatur sesuai waktu yang dibutuhkan hingga orde detik, jadi tanpa memerlukan interpolasi data.

waktu pukul 12 WD) adalah pukul 22:15:38,84 WIB. Hasil perhitungan kedua (iterasi ke-1 referensi waktu 22:15:38,84 WIB) adalah pukul 22:36:38,51 WIB dan hasil perhitungan ketiga (iterasi ke-2 referensi waktu 22:36:38,51 WIB) adalah pukul 22:37:21,65 WIB. Hasil iterasi kedua inilah yang merupakan waktu kulminasi Bulan hakiki.

4. Observasi nilai sudut zenit Bulan saat Kulminasi.

Pada pukul 22:37:22 WIB, lensa Theodolite diarahkan ke titik pusat Bulan, maka data sudut zenit Bulan adalah nilai *vertical angle* Theodolite, yaitu bernilai : $3^{\circ} 32' 55''$. Posisi Bulan saat berkulminasi berada di sebelah selatan titik zenit.

5. Perhitungan Deklinasi Bulan dari Hasil Observasi.

a. Perhitungan deklinasi Bulan dari lintang GPS (geodetik).

Setelah sudut zenit Bulan diketahui sebesar $-3^{\circ} 32' 55''$ (Bulan di selatan zenit) dan lintang tempat (dari GPS) senilai $-6^{\circ} 59' 19,3''$. Maka deklinasi Bulan dapat dicari dengan rumus :

$$\delta_{\zeta} = \phi_x + Z_{\zeta}$$

$$\delta_{\zeta} = -6^{\circ} 59' 19,3'' + -3^{\circ} 32' 55''$$

$$\delta_{\zeta} = -10^{\circ} 32' 14,3''$$

Nilai deklinasi hasil pengamatan sebesar $-10^{\circ} 32' 14,3''$ sedangkan dari data ephemeris adalah $-10^{\circ} 30' 19,77''$, mempunyai selisih $0^{\circ} 1' 54,53''$

b. Perhitungan deklinasi Bulan dari lintang reduksi GPS (geosentrik).

Untuk perhitungan deklinasi Bulan kali ini, data lintang dari GPS harus direduksi terlebih dahulu supaya menjadi lintang geosentrik, yaitu dengan rumus berikut :¹⁰

$$\phi' = \arctan\left(\frac{b^2}{a^2} \times \tan \phi\right).$$

$$\phi' = \arctan\left(\frac{6356752^2}{6378137^2} \times \tan \phi\right).^{11}$$

$$\phi' = -6^\circ 56' 32,52''$$

Kemudian deklinasi dihitung dengan rumus yang sama:

$$\delta_\zeta = \phi_x + Z_\zeta$$

$$\delta_\zeta = -6^\circ 56' 32,52'' + -3^\circ 32' 55''$$

$$\delta_\zeta = -10^\circ 29' 27,52''$$

Nilai deklinasi hasil pengamatan $-10^\circ 29' 27,52''$, sedangkan dari data ephemeris $-10^\circ 30' 19,77''$, mempunyai selisih $0^\circ 0' 52,25''$.

Melihat kenyataan observasi yang telah dilakukan peneliti, hasil deklinasi pengamatan lebih dekat ke lintang geosentrik dari pada lintang geodetik, maka metode penentuan titik koordinat Bumi menggunakan kulminasi Bulan termasuk pada penentuan lintang geosentrik. Apalagi jika ditilik dari prosedur praktiknya, metode ini secara murni memanfaatkan

¹⁰ E.J. Krakiwsky dan D.E Wells, *Coordinate System in Geodesy*, hlm 28-29.

¹¹ Nilai a = 6378137 meter, b = 6356752 meter diambil dari referensi ellipsoid *World Geodetic System 1984 (WGS 84)*.

data Bulan yang bersifat geosentrik, sebagaimana telah dibuktikan pada perhitungan sebelumnya.

Pengamatan berikutnya dilakukan peneliti untuk membuktikan sekaligus menelisik seberapa jauh tingkat akurasi metode penentuan titik koordinat Bumi dengan menggunakan acuan kulminasi Bulan. Hasil pengamatan nantinya akan dibandingkan dengan beberapa metode lain yang telah familiar untuk penentuan titik koordinat, seperti dengan Tongkat Istiwa' (kulminasi Matahari), *Global Positioning System* (GPS) dan aplikasi *Google Earth*.

Observasi telah dilakukan sebanyak delapan kali di dua tempat yang berbeda. Pengamatan sebanyak lima kali di Musolatorium At-Taqie Pondok Pesantren Life Skill Daarun Najaah, Jl. Bukit Beringin Lestari Barat, Ngaliyan, Semarang, Jateng dan sebanyak tiga kali pengukuran di Pondok Pesantren Al-Ma'rufiyah, Jl. Beringin, Ngaliyan, Semarang, Jateng.

Penyajian data observasi meliputi empat metode secara berurutan di tempat yang berbeda. Berikut data hasil observasi pertama yang dilakukan peneliti di Musolatorium At-Taqie Pondok Pesantren Life Skill Daarun Najaah :

1. Praktik *Global Positioning System* (GPS).

Sebagaimana praktik yang telah dilakukan sebelumnya, yakni pada Jumat, 17 Mei 2019. Data titik koordinat tempat di Musolatorium At-Taqie dengan menggunakan alat GPS Garmin 76 CSX adalah :

Lintang tempat = $-6^{\circ} 59' 19,3''$ LS

Bujur tempat = $110^{\circ} 19' 24,3''$ BT.

Perhatikan gambar 4.5, indikasi *location* menunjukkan angka ± 8 meter, ini berarti bahwa data titik koordinat yang ditampilkan GPS mempunyai kesalahan ukur seluas 8 meter melingkar dari tempat pengukuran. Jadi semakin kecil nilai indikator *location*, maka semakin fokus dan akurat titik koordinatnya. Hal ini sejatinya dipengaruhi oleh faktor banyak-sedikitnya sinyal satelit yang ditangkap oleh *receiver* GPS.

Ketika melakukan pengukuran, peneliti menunggu cukup lama untuk mendapatkan sinyal satelit lebih banyak, namun tetap saja sinyal satelit yang ditangkap hanya 6 satelit dan indikator *location* yang paling rendah saat itu adalah ± 8 meter, sehingga pada akhirnya peneliti memakai data koordinat tersebut sebagai pembanding utama sepanjang penelitian ini dilakukan.

2. Praktik Tongkat Istiwa' (menggunakan kulminasi Matahari).

Praktik dilakukan pada Ahad, 19 Mei 2019 M di Musolatorium At-Taqie. Peneliti menegakkan tongkat di atas permukaan datar, sehingga peneliti juga mengecek kedataran tempat sebelum pelaksanaan praktik. Dari observasi lapangan, data yang diperoleh peneliti adalah sebagai berikut :

Nama Data	Isi Data
Waktu Kulminasi Matahari	11:35:30 WIB
Tinggi Tongkat	14,6 cm
Panjang Bayangan Tongkat	7,3 cm

Arah Bayangan tongkat	ke selatan (artinya Matahari berada di utara titik zenit)
Deklinasi saat Kulminasi	19° 41' 52,89"
<i>Equation of Time</i>	0' 3 ^m 31 ^d

Kemudian dilakukan perhitungan sudut zenit Matahari sebagai berikut :

$$Z_o = \text{arc tan}(\text{Panjang Bayangan} / \text{Tinggi Tongkat})$$

$$Z_o = \text{arc tan}(7,3 / 14,6)$$

$$Z_o = 26^\circ 33' 54,18''$$

Berikutnya karena bayangan tongkat mengarah ke selatan, artinya Matahari berada di utara titik zenit, maka lintang tempat dihitung dengan rumus :

$$\phi_x = \delta_c - Z_c$$

$$\phi_x = 19^\circ 41' 52,89'' - 26^\circ 33' 54,18''$$

$$\phi_x = -6^\circ 52' 1,29'' \text{LS}$$

Perhitungan selanjutnya ialah menghitung bujur tempat. Namun terlebih dahulu nilai MP harus dicari memakai rumus :

$$\text{MP} = 12 - \text{EoT}$$

$$\text{MP} = 12 - 0^j 3^m 31^d$$

$$\text{MP} = 11:56:29 \text{ LMT}$$

Sekarang bujur tempat dapat dihitung dengan rumus :

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

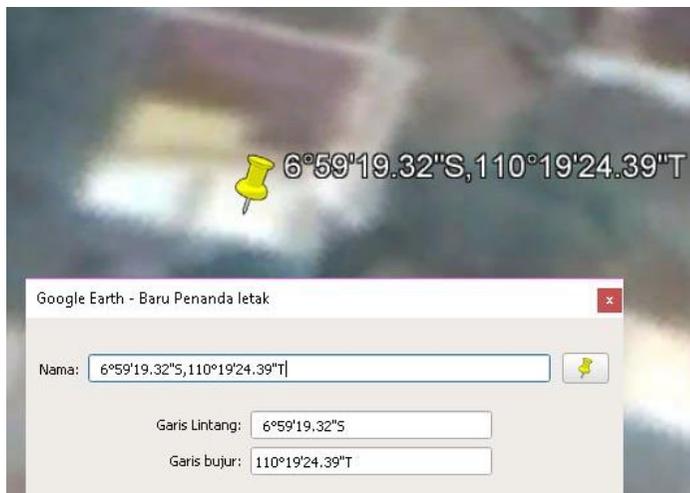
$$\lambda = 15 \times (11:56:29 - 11:35:30 + 7)$$

$$\lambda = 110^\circ 14' 45 \text{ BT}$$

Jadi nilai koordinat Musolatorium At-Taqie menggunakan metode Tongkat Istiwa' (kulminasi Matahari) adalah $-6^{\circ} 52' 1,29''$ LS, $110^{\circ} 14' 45''$ BT.

3. Praktik Aplikasi *Google Earth*.

Praktik menentukan titik koordinat menggunakan aplikasi *Google Earth* sangat mudah dilakukan. Peneliti cukup membuka saja aplikasi tersebut dan mengklik icon  untuk menambahkan tanda letak, lalu peneliti menggeser pin yang muncul (berwarna kuning) ke posisi Musolatorium At-Taqie. Maka pada jendela penanda letak akan terlihat garis lintang dan bujur tempatnya secara otomatis. Supaya lebih jelas memahaminya, perhatikanlah gambar di bawah ini :



Gambar 4.6 : Koordinat Musolatorium At-Taqie dengan *Google Earth* (penulis)

Setelah usai mendapatkan data koordinat, jendela penanda letak dapat langsung ditutup dengan mengeklik tombol *close* di sudut kanan atas jendela. Atau ada pilihan lain agar mempermudah pengguna untuk mencari lokasi itu kembali, yakni dengan mengeklik tombol *ok*, yang artinya koordinat tempat tersebut akan disimpan pada kolom “Tempatku” pada bagian kiri tampilan layar. Suatu ketika jika ingin melihat atau mencari tempat itu kembali, maka cukup klik dua kali pada pin yang berada di kolom “Tempatku” tersebut.

Dari hasil pencarian letak Musolatorium At-Taqie dengan menggunakan aplikasi *Google Earth*, data titik koordinatnya adalah :

Lintang Tempat = $-6^{\circ} 59' 19,32''$ LS

Bujur Tempat = $110^{\circ} 19' 24,39''$ BT

4. Praktik Metode Kulminasi Bulan.

Praktik ini dilakukan peneliti dengan dua alat bantu, yakni Theodolite dan Tongkat Istiwa'. Theodolite digunakan untuk mencari sudut zenit Bulan sedangkan Tongkat Istiwa' digunakan untuk menentukan kapan waktu kulminasi Bulan itu terjadi. Jadi dalam praktiknya peneliti dibantu oleh satu orang lain untuk memegang salah satu alat. Peneliti mengoperasikan theodolite sedangkan patnernya mengamati pergerakan bayangan Tongkat Istiwa'. Saat bayangan tongkat mulai menyentuh garis

utara-selatan sejati yang telah dibuat sebelumnya, maka praktik pun dilaksanakan.

Praktik dilaksanakan tanggal 18-23 Mei 2019 M, bertepatan dengan 14-18 Ramadhan 1440 H di Musolatorium At-Taqie Pondok Pesantren Life Skill Daarun Najaah, dengan penjabaran data lapangan sebagai berikut:

Praktik pertama pada Sabtu, 18 Mei 2019 M / 14 Ramadhan 1440 H. Data yang diambil dari observasi langsung di lapangan ialah :

Nama Data	Isi Data
Waktu Kulminasi Bulan	23:28:17 WIB
Sudut Zenit Bulan	8° 4' 52"
Posisi Bulan	Di Selatan Zenit

Data ephemeris yang dibutuhkan dengan referensi waktu 23:28:17 WIB adalah sebagai berikut :

Nama Data	Isi Data
Deklinasi Bulan	-14° 59' 48,46"
ARA Bulan	233° 37' 37,99"

Kemudian dari semua data tersebut dihitung sesuai algoritma yang telah dijabarkan pada bab III. Berikut adalah hasil masing-masing proses perhitungan :

Nama Data	Isi Data
Lintang Tempat	-6° 54' 56,46" LS
Bujur Rata-Rata Matahari	56° 4' 38,22"
Bujur Rata-Rata Bulan	230° 8' 24,06"
<i>Local Civil Lunar Time</i>	11:52:1,94 LCLT
<i>Equation of Lunar Time</i>	-0 ^j 13 ^m 56,93 ^d

<i>Meridian Pass Bulan</i>	12:13:56,93 LMLT
Bujur Tempat	110° 28' 44,77" BT

Koordinat hasil perhitungan dibandingkan dengan ketiga metode lain yang telah dipraktikkan sebelumnya, menghasilkan data deviasi (selisih) berikut :

Pembanding	Deviasi (Selisih)
Tongkat Istiwa' (Kulminasi Matahari)	$\Delta\phi = 0^{\circ} 2' 55,17''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 13' 59,77''$
GPS	$\Delta\phi = 0^{\circ} 4' 22,84''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 9' 20,47''$
<i>Google Earth</i>	$\Delta\phi = 0^{\circ} 4' 22,86''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 9' 20,38''$

Koordinat tempat hasil pengamatan kulminasi Bulan untuk praktik pertama, data lintang tempat paling mendekati data hasil Tongkat Istiwa' (kulminasi Matahari) yakni $\Delta\phi = 0^{\circ} 2' 55,17''$, sedangkan untuk bujur tempat paling mendekati hasil *Google Earth* dengan deviasi $\Delta\lambda = 0^{\circ} 9' 20,38''$.

Praktik kedua pada Senin, 20 Mei 2019 M / 15 Ramadhan 1440 H. Data yang diambil dari observasi langsung di lapangan ialah :

Nama Data	Isi Data
Waktu Kulminasi Bulan	00:21:30 WIB
Sudut Zenit Bulan	11° 33' 53"
Posisi Bulan	Di Selatan Zenit

Data ephemeris yang dibutuhkan dengan referensi waktu 00:21:30 WIB adalah sebagai berikut :

Nama Data	Isi Data
Deklinasi Bulan	-18° 33' 34,52"
ARA Bulan	247° 47' 34,6"

Kemudian dari semua data tersebut dihitung sesuai algoritma yang telah dijabarkan pada bab III. Berikut adalah hasil masing-masing proses perhitungan :

Nama Data	Isi Data
Lintang Tempat	-6° 59' 41,52" LS
Bujur Rata-Rata Matahari	57° 5' 57,68"
Bujur Rata-Rata Bulan	243° 48' 12,09"
<i>Local Civil Lunar Time</i>	11:54:41,04 LCLT
<i>Equation of Lunar Time</i>	-0 ^j 15 ^m 57,5 ^d
<i>Meridian Pass Bulan</i>	12:15:57,5 LMLT
Bujur Tempat	110° 19' 6,92" BT

Koordinat hasil perhitungan dibandingkan dengan ketiga metode lain yang telah dipraktikkan sebelumnya, menghasilkan data deviasi (selisih) berikut :

Pembanding	Deviasi (Selisih)
Tongkat Istiwa' (Kulminasi Matahari)	$\Delta\phi = 0^{\circ} 7' 40,23''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 4' 21,92''$
GPS	$\Delta\phi = 0^{\circ} 0' 22,22''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 0' 17,38''$
<i>Google Earth</i>	$\Delta\phi = 0^{\circ} 0' 22,2''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 0' 17,47''$

Koordinat tempat hasil pengamatan kulminasi Bulan untuk praktik kedua, data lintang tempat paling mendekati hasil *Google Earth* dengan nilai deviasi $\Delta\phi = 0^{\circ} 0' 22,2''$ dan data bujurnya mendekati hasil GPS $\Delta\lambda = 0^{\circ} 0' 17,38''$.

Praktik ketiga pada Selasa, 21 Mei 2019 M / 16 Ramadhan 1440 H. Data yang diambil dari observasi langsung di lapangan ialah :

Nama Data	Isi Data
Waktu Kulminasi Bulan	01:14:30 WIB
Sudut Zenit Bulan	14° 0' 7"
Posisi Bulan	Di Selatan Zenit

Data ephemeris yang dibutuhkan dengan referensi waktu 01:14:30 WIB adalah sebagai berikut :

Nama Data	Isi Data
Deklinasi Bulan	-20° 59' 20,66"
ARA Bulan	262° 6' 28,41"

Kemudian dari semua data tersebut dihitung sesuai algoritma yang telah dijabarkan pada bab III. Berikut adalah hasil masing-masing proses perhitungan :

Nama Data	Isi Data
Lintang Tempat	-6° 59' 13,66" LS
Bujur Rata-Rata Matahari	58° 7' 16,61"
Bujur Rata-Rata Bulan	257° 27' 52,99"
<i>Local Civil Lunar Time</i>	11:57:7,57 LCLT
<i>Equation of Lunar Time</i>	-0 ^j 18 ^m 34,36 ^d
<i>Meridian Pass Bulan</i>	12:18:34,36 LMLT
Bujur Tempat	110° 21' 41,8" BT

Koordinat hasil perhitungan dibandingkan dengan ketiga metode lain yang telah dipraktikkan sebelumnya, menghasilkan data deviasi (selisih) berikut :

Pembanding	Deviasi (Selisih)
Tongkat Istiwa'	$\Delta\phi = 0^{\circ} 7' 12,37''$

(Kulminasi Matahari)	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 6' 56,8''$
GPS	$\Delta\phi = 0^{\circ} 0' 5,64''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 2' 17,5''$
Google Earth	$\Delta\phi = 0^{\circ} 0' 5,66''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 2' 17,41''$

Koordinat tempat hasil pengamatan kulminasi Bulan untuk praktik ketiga, data lintang tempat paling mendekati hasil GPS dengan nilai deviasi $\Delta\phi = 0^{\circ} 0' 5,64''$ dan data bujurnya mendekati hasil *Google Earth* $\Delta\lambda = 0^{\circ} 2' 17,41''$.

Praktik keempat pada Rabu, 22 Mei 2019 M / 17 Ramadhan 1440 H. Data yang diambil dari observasi langsung di lapangan ialah :

Nama Data	Isi Data
Waktu Kulminasi Bulan	02:07:09 WIB
Sudut Zenit Bulan	$15^{\circ} 12' 6''$
Posisi Bulan	Di Selatan Zenit

Data ephemeris yang dibutuhkan dengan referensi waktu 02:07:09 WIB adalah sebagai berikut :

Nama Data	Isi Data
Deklinasi Bulan	$-22^{\circ} 11' 0,62''$
ARA Bulan	$276^{\circ} 23' 38,91''$

Kemudian dari semua data tersebut dihitung sesuai algoritma yang telah dijabarkan pada bab III. Berikut adalah hasil masing-masing proses perhitungan :

Nama Data	Isi Data
Lintang Tempat	$-6^{\circ} 58' 54,62''$ LS
Bujur Rata-Rata Matahari	$59^{\circ} 8' 34,67''$
Bujur Rata-Rata Bulan	$271^{\circ} 7' 22,37''$

<i>Local Civil Lunar Time</i>	11:59:13,82 LCLT
<i>Equation of Lunar Time</i>	-0 ^j 21 ^m 5,1 ^d
<i>Meridian Pass Bulan</i>	12:21:5,1 LMLT
Bujur Tempat	110° 27' 49,24" BT

Koordinat hasil perhitungan dibandingkan dengan ketiga metode lain yang telah dipraktikkan sebelumnya, menghasilkan data deviasi (selisih) berikut :

Pembanding	Deviasi (Selisih)
Tongkat Istiwa' (Kulminasi Matahari)	$\Delta\phi = 0^{\circ} 6' 53,33''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 13' 4,24''$
GPS	$\Delta\phi = 0^{\circ} 0' 24,68''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 8' 24,94''$
<i>Google Earth</i>	$\Delta\phi = 0^{\circ} 0' 24,7''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 8' 24,85''$

Koordinat tempat hasil pengamatan kulminasi Bulan untuk praktik keempat, data lintang tempat paling mendekati hasil GPS dengan nilai $\Delta\phi = 0^{\circ} 0' 24,68''$ dan bujurnya mendekati hasil *Google Earth* $\Delta\lambda = 0^{\circ} 8' 24,85''$.

Praktik kelima pada Kamis, 23 Mei 2019 M / 18 Ramadhan 1440 H. Data yang diambil dari observasi langsung di lapangan ialah :

Nama Data	Isi Data
Waktu Kulminasi Bulan	02:59:53 WIB
Sudut Zenit Bulan	15° 8' 17"
Posisi Bulan	Di Selatan Zenit

Data ephemeris yang dibutuhkan dengan referensi waktu 02:59:53 WIB adalah sebagai berikut :

Nama Data	Isi Data
Deklinasi Bulan	-22° 8' 35,46"
ARA Bulan	290° 26' 17,12"

Kemudian dari semua data tersebut dihitung sesuai algoritma yang telah dijabarkan pada bab III. Berikut adalah hasil masing-masing proses perhitungan :

Nama Data	Isi Data
Lintang Tempat	-7° 0' 18,46" LS
Bujur Rata-Rata Matahari	60° 9' 52,95"
Bujur Rata-Rata Bulan	284° 46' 54,48"
<i>Local Civil Lunar Time</i>	12:01:24,9 LCLT
<i>Equation of Lunar Time</i>	-0 ^j 22 ^m 37,51 ^d
<i>Meridian Pass Bulan</i>	12:22:37,51 LMLT
Bujur Tempat	110° 18' 9,17" BT

Koordinat hasil perhitungan dibandingkan dengan ketiga metode lain yang telah dipraktikkan sebelumnya, menghasilkan data deviasi (selisih) berikut :

Pembanding	Deviasi (Selisih)
Tongkat Istiwa' (Kulminasi Matahari)	$\Delta\phi = 0^{\circ} 8' 17,17''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 3' 24,17''$
GPS	$\Delta\phi = 0^{\circ} 0' 59,16''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 1' 15,13''$
<i>Google Earth</i>	$\Delta\phi = 0^{\circ} 0' 59,14''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 1' 15,22''$

Koordinat tempat hasil pengamatan kulminasi Bulan untuk praktik kelima, data lintang tempat paling mendekati hasil *Google Earth* dengan nilai deviasi $\Delta\phi = 0^{\circ} 0' 59,14''$ dan data bujurnya mendekati hasil GPS $\Delta\lambda = 0^{\circ} 1' 15,13''$.

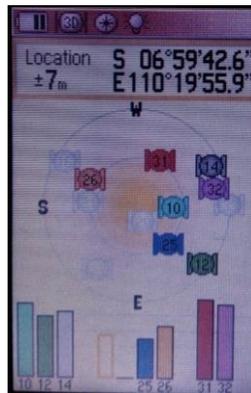
Pengamatan berikutnya dilaksanakan pada tanggal 19-23 Juni 2019 M bertepatan pada tanggal 15-19 Syawal 1440 H di Pondok Pesantren Al-Ma'rufiyah, dengan menggunakan empat metode pengukuran. Berikut adalah penjabaran data praktiknya :

1. Praktik *Global Positioning System* (GPS).

Data GPS diambil pada Rabu, 19 Juni 2019 M. Peneliti menunggu cukup lama untuk mendapatkan sinyal satelit sekaligus menunggu data pada nominal yang stabil. Kali ini ada 7 sinyal satelit yang ditangkap *receiver* GPS, dengan akurasi *location* ± 7 meter. Titik koordinat Pon-Pes Al-Ma'rufiyah menggunakan alat GPS menghasilkan data :

Lintang Tempat = $-6^{\circ} 59' 42,6''$ LS

Bujur Tempat = $110^{\circ} 19' 55,9''$ BT



Gambar 4.7 : Koordinat Pon-Pes Al-Ma'rufiyah dengan GPS (penulis)

2. Praktik Tongkat Istiwa' (menggunakan Kulminasi Matahari)

Observasi dilaksanakan pada Ahad, 23 Juni 2019 M, dengan data yang didapat sebagai berikut :

Nama Data	Isi Data
Waktu Kulminasi Matahari	11:40:47 WIB
Tinggi Tongkat	14,6 cm
Panjang Bayangan Tongkat	8,6 cm
Arah Bayangan tongkat	ke selatan (artinya Matahari berada di utara titik zenit)
Deklinasi saat Kulminasi	23° 25' 39,18"
<i>Equation of Time</i>	-0 ^j 2 ^m 6 ^d

Kemudian dilakukan perhitungan sudut zenit Matahari, lintang tempat, *meridian pass* dan bujur tempat sebagaimana yang sudah dijelaskan. Kali ini peneliti hanya menampilkan data hasil akhirnya saja, yaitu :

Nama Data	Isi Data
Sudut Zenit Matahari	30° 29' 59,4"
Lintang Tempat	-7° 4' 20,22" LS
Meridian Pass	12:02:06 LMT
Bujur Tempat	110° 19' 45" BT

Jadi titik koordinat Pondok Pesantren Al-Ma'rufiyah menggunakan data Tongkat Istiwa' menghasilkan data:

Lintang Tempat = -7° 4' 20,22" LS

Bujur Tempat = 110° 19' 45" BT

3. Praktik Aplikasi *Google Earth*.

Peneliti melakukan pengukuran koordinat memakai aplikasi *Google Earth* seperti cara yang telah diterangkan di atas. Hasil titik koordinatnya adalah :

Lintang Tempat = -6° 59' 42,79" LS

Bujur Tempat = 110° 19' 55,99" BT



Gambar 4.8 : Koordinat Pon-Pes Al-Ma'rufiyah dengan *Google Earth* (penulis)

4. Praktik Metode Kulminasi Bulan.

Pelaksanaan praktik metode ini dilakukan sebanyak 3 kali di Pon-Pes Al-Ma'rufiyah. Peneliti hanya menampilkan data-data penting dari hasil observasi dan perhitungan.

Praktik pertama pada Rabu, 19 Juni 2019 M / 15 Syawal 1440 H. Data yang diambil dari observasi langsung di lapangan ialah :

Nama Data	Isi Data
Waktu Kulminasi Bulan	00:50:35 WIB
Sudut Zenit Bulan	15° 28' 07"
Posisi Bulan	Di Selatan Zenit

Data ephemeris yang dibutuhkan dengan referensi waktu 00:50:35 WIB adalah sebagai berikut :

Nama Data	Isi Data
Deklinasi Bulan	-22° 22' 30,38"
ARA Bulan	284° 34' 49,29"

Kemudian dari semua data tersebut dihitung sesuai algoritma yang telah dijabarkan pada bab III. Berikut adalah hasil masing-masing proses perhitungan :

Nama Data	Isi Data
Lintang Tempat	$-6^{\circ} 54' 23,38''$ LS
Bujur Rata-Rata Matahari	$86^{\circ} 41' 19,26''$
Bujur Rata-Rata Bulan	$279^{\circ} 21' 40,97''$
<i>Local Civil Lunar Time</i>	11:59:53,55 LCLT
<i>Equation of Lunar Time</i>	$-0^j 20^m 52,55^d$
<i>Meridian Pass Bulan</i>	12:20:52,55 LMLT
Bujur Tempat	$110^{\circ} 14' 45,03''$ BT

Koordinat hasil perhitungan dibandingkan dengan ketiga metode lain yang telah dipraktikkan sebelumnya, menghasilkan data deviasi (selisih) berikut :

Pembanding	Deviasi (Selisih)
Tongkat Istiwa' (Kulminasi Matahari)	$\Delta\phi = 0^{\circ} 9' 56,84''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 4' 59,97''$
GPS	$\Delta\phi = 0^{\circ} 5' 19,22''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 5' 10,87''$
<i>Google Earth</i>	$\Delta\phi = 0^{\circ} 5' 19,41''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 5' 10,96''$

Koordinat tempat hasil pengamatan kulminasi Bulan untuk praktik pertama, data lintang tempat paling mendekati hasil koordinat GPS dengan deviasi $\Delta\phi = 0^{\circ} 5' 19,22''$, sedangkan data bujur tempatnya paling mendekati hasil Tongkat Istiwa' (kulminasi Matahari) berselisih $\Delta\lambda = 0^{\circ} 4' 59,97''$.

Praktik kedua pada Jumat, 21 Juni 2019 M / 17 Syawal 1440 H. Data yang diambil dari observasi langsung di lapangan ialah :

Nama Data	Isi Data
Waktu Kulminasi Bulan	02:30:52 WIB
Sudut Zenit Bulan	12° 56' 07"
Posisi Bulan	Di Selatan Zenit

Data ephemeris yang dibutuhkan dengan referensi waktu 02:30:52 WIB adalah sebagai berikut :

Nama Data	Isi Data
Deklinasi Bulan	-19° 53' 19,24"
ARA Bulan	311° 47' 34,56"

Kemudian dari semua data tersebut dihitung sesuai algoritma yang telah dijabarkan pada bab III. Berikut adalah hasil masing-masing proses perhitungan :

Nama Data	Isi Data
Lintang Tempat	-6° 57' 12,24" LS
Bujur Rata-Rata Matahari	88° 43' 43,03"
Bujur Rata-Rata Bulan	306° 37' 54,46"
<i>Local Civil Lunar Time</i>	11:59:15,24 LCLT
<i>Equation of Lunar Time</i>	-0 ^j 20 ^m 38,67 ^d
<i>Meridian Pass Bulan</i>	12:20:38,67 LMLT
Bujur Tempat	110° 20' 51,53" BT

Koordinat hasil perhitungan dibandingkan dengan ketiga metode lain yang telah dipraktikkan sebelumnya, menghasilkan data deviasi (selisih) berikut :

Pembanding	Deviasi (Selisih)
Tongkat Istiwa'	$\Delta\phi = 0^{\circ} 7' 7,98''$

(Kulminasi Matahari)	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 1' 6,53''$
GPS	$\Delta\phi = 0^{\circ} 2' 30,36''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 0' 55,63''$
Google Earth	$\Delta\phi = 0^{\circ} 2' 30,55''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 0' 55,54''$

Koordinat tempat hasil pengamatan kulminasi Bulan untuk praktik kedua, data lintang tempat paling mendekati hasil koordinat GPS dengan deviasi $\Delta\phi = 0^{\circ} 2' 30,36''$, sedangkan data bujur tempatnya paling mendekati hasil *Google Earth* berselisih $\Delta\lambda = 0^{\circ} 0' 55,54''$.

Praktik ketiga pada Sabtu, 22 Juni 2019 M / 18 Syawal 1440 H. Data yang diambil dari observasi langsung di lapangan ialah :

Nama Data	Isi Data
Waktu Kulminasi Bulan	03:17:57 WIB
Sudut Zenit Bulan	$10^{\circ} 12' 29''$
Posisi Bulan	Di Selatan Zenit

Data ephemeris yang dibutuhkan dengan referensi waktu 03:17:57 WIB adalah sebagai berikut :

Nama Data	Isi Data
Deklinasi Bulan	$-17^{\circ} 11' 23,04''$
ARA Bulan	$324^{\circ} 34' 12,22''$

Kemudian dari semua data tersebut dihitung sesuai algoritma yang telah dijabarkan pada bab III. Berikut adalah hasil masing-masing proses perhitungan :

Nama Data	Isi Data
Lintang Tempat	$-6^{\circ} 58' 54,04''$ LS

Bujur Rata-Rata Matahari	89° 44' 47,38"
Bujur Rata-Rata Bulan	320° 14' 20,46"
<i>Local Civil Lunar Time</i>	11:55:58,79 LCLT
<i>Equation of Lunar Time</i>	-0 ^j 17 ^m 19,45 ^d
<i>Meridian Pass Bulan</i>	12:17:19,45 LMLT
Bujur Tempat	110° 20' 9,84" BT

Koordinat hasil perhitungan dibandingkan dengan ketiga metode lain yang telah dipraktikkan sebelumnya, menghasilkan data deviasi (selisih) berikut :

Pembanding	Deviasi (Selisih)
Tongkat Istiwa' (Kulminasi Matahari)	$\Delta\phi = 0^\circ 5' 26,18''$
	$\Delta\lambda = 0^\circ 0' 24,84''$
GPS	$\Delta\phi = 0^\circ 0' 48,56''$
	$\Delta\lambda = 0^\circ 0' 13,94''$
<i>Google Earth</i>	$\Delta\phi = 0^\circ 0' 48,75''$
	$\Delta\lambda = 0^\circ 0' 13,85''$

Koordinat tempat hasil pengamatan kulminasi Bulan untuk praktik kedua, data lintang tempat paling mendekati hasil koordinat GPS dengan deviasi $\Delta\phi = 0^\circ 0' 48,56''$, sedangkan data bujur tempatnya paling mendekati hasil *Google Earth* berselisih $\Delta\lambda = 0^\circ 0' 13,85''$.

Semua praktik yang telah dilakukan peneliti di atas secara singkat menggambarkan nilai deviasi yang bervariasi, namun dengan nilai yang relatif kecil. Berikut rangkuman nilai deviasi masing-masing pembanding dari 8 kali observasi lapangan :

Pembanding	Deviasi (Selisih Sudut)
Tongkat Istiwa' (Kulminasi Matahari)	$\Delta\phi = 0^\circ 2' 55,17''$ s.d $0^\circ 9' 56,84''$
	$\Delta\lambda = 0^\circ 0' 24,84''$ s.d $0^\circ 13' 59,77''$
GPS	$\Delta\phi = 0^\circ 0' 5,64''$ s.d $0^\circ 5' 19,22''$

	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 0' 13,94''$ s.d $0^{\circ} 9' 20,47''$
<i>Google Earth</i>	$\Delta\phi = 0^{\circ} 0' 5,66''$ s.d $0^{\circ} 5' 19,41''$
	$\Delta\lambda = 0^{\circ} 0' 13,85''$ s.d $0^{\circ} 9' 20,38''$

Tabel 4.3 : Nilai Deviasi Sudut Titik Koordinat Hasil Praktirk

Untuk mengetahui deviasi dengan besaran jarak, peneliti menggunakan rumus :¹²

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

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

dimana l = jarak yang dihitung, s = sudut deviasi, r = jari-jari tempat pengamat. Nilai r (jari-jari lingkaran kecil) dapat dicari dengan rumus : $R \cdot \cos \phi$, yang mana nilai R = 6356752,314. Setelah dihitung dengan rumus tersebut, maka diketahui jarak deviasi dari masing-masing pembanding di atas menjadi :

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

Tabel 4.4 : Nilai Deviasi Jarak Titik Koordinat Hasil Praktirk

Hasil ini membuktikan bahwa metode kulminasi Bulan untuk penentuan titik koordinat Bumi cukup mendekati hasil pengukuran alat yang sudah canggih dan modern, yakni GPS dan aplikasi *Google Earth*, asalkan dilakukan dengan cara yang benar dan tepat. Menurut peneliti hasil deviasi Tongkat Istiwa' justru memiliki nilai yang relatif jauh dari pada GPS dan

¹² Slamet Hambali, *ilmu Falak 1*, hlm 182.

Google Earth, karena alat yang digunakan (Tongkat Istiwa') masih terbilang sederhana dibanding pengukuran metode kulminasi Bulan yang mana menggunakan Theodolite sebagai alat ukur utama. Jadi sangat wajar jika deviasi tersebut terlihat jauh dari pembanding yang lainnya. Tidak menutup kemungkinan bila metode kulminasi Matahari dipraktikkan menggunakan Theodolite, nilai deviasi akan semakin kecil dari pada menggunakan Tongkat Istiwa'.

C. Analisis Implementasi Hasil Titik Koordinat terhadap Arah Kiblat.

Peneliti mengolah kembali data titik koordinat metode kulminasi Bulan dari praktik yang lalu untuk diketahui sudut kiblatnya dan dibandingkan dengan sudut kiblat dari titik koordinat GPS. Dalam menghitung azimuth kiblat peneliti menggunakan referensi koordinat Kakbah dengan lintang $21^{\circ} 25' 21,04''$ LU dan $39^{\circ} 49' 34,33''$ BT, sedangkan mengenai cara perhitungannya dapat melihat kembali pada bab II.

Seusai azimuth kiblat dua metode tersebut diketahui, maka dicarilah nilai selisih sudut penyimpangannya sekaligus jarak penyimpangan dari Kakbah menggunakan rumus :¹³

1. Perhitungan Jarak antara Lokasi dengan Kakbah (KM).

$$M = \arccos(\sin \phi_x \sin \phi_k + \cos \phi_x \cos \phi_k \cos C)$$

Dimana ϕ_x = lintang tempat, ϕ_k = lintang Kakbah ($21^{\circ} 25' 21,04$ LU) dan C = Selisih bujur antara lokasi dan Kakbah.

$$KM = M \times 6356,752 \times 0,01745329252$$

¹³ Azhar Latief Nashiran, *Ilmu Falak dalam Praktik*, (Kudus : LPB Program Falak TBS, 2013), hlm 16.

2. Perhitungan jarak penyimpangan dari Kakbah (P).

$$P = KM / \sin((180 - \text{Sudut deviasi}) / 2) \times \sin \text{Sudut deviasi.}$$

Dari algoritma ini peneliti menghitung nilai deviasi dengan menggunakan data *input* titik koordinat hasil praktik selama 8 kali observasi. Berikut adalah tampilan hasil dari pengolahan data-data praktik di Musolatorium At-Taqie dengan pembanding hasil GPS ($\phi = -6^\circ 59' 19,3''$ LS, $110^\circ 19' 24,3''$ BT, azimut kiblat = $294^\circ 31' 26,21''$):

Titik Koordinat	Azimut Kiblat	Sudut Simpang	Jarak Simpang
$-6^\circ 54' 56,46''$ LS $110^\circ 28' 44,77''$ BT	$294^\circ 28' 10,23''$	$3' 15,98''$	7,89 km
$-6^\circ 59' 41,52''$ LS $110^\circ 19' 6,92''$ BT	$294^\circ 31' 35,82''$	$0' 9,61''$	386,07 m
$-6^\circ 59' 13,66''$ LS $110^\circ 21' 41,8''$ BT	$294^\circ 30' 52,59''$	$0' 33,62''$	1,35 km
$-6^\circ 58' 54,62''$ LS $110^\circ 27' 49,24''$ BT	$294^\circ 29' 22,01''$	$2' 4,20''$	5 km
$-7^\circ 0' 18,46''$ LS $110^\circ 18' 9,17''$ BT	$294^\circ 31' 58,58''$	$0' 32,37''$	1,3 km

Tabel 4.5 : Nilai Deviasi Arah Kiblat Hasil Praktik 1

Tampilan berikutnya adalah hasil dari pengolahan data-data praktik di Pondok Pesantren Al-Ma'rufiyah dengan pembanding hasil GPS ($\phi = -6^\circ 59' 42,6''$ LS, $110^\circ 19' 55,9''$ BT, azimut kiblat = $294^\circ 31' 24,6''$):

Titik Koordinat	Azimut Kiblat	Sudut Simpang	Jarak Simpang
$-6^\circ 54' 23,38''$ LS $110^\circ 14' 45,03''$ BT	$294^\circ 31' 17,63''$	$0' 6,97''$	279,63 m
$-6^\circ 57' 12,24''$ LS $110^\circ 20' 51,53''$ BT	$294^\circ 30' 34,15''$	$0' 50,45''$	2,03 km

-6° 58' 54,04"LS 110° 20' 9,84" BT	294° 31' 9,25"	0' 15,35"	616,75 m
---------------------------------------	----------------	-----------	----------

Tabel 4.6 : Nilai Deviasi Arah Kiblat Hasil Praktikum 2

Hasil perhitungan data-data di atas menunjukkan bahwa deviasi arah kiblat menggunakan *input* titik koordinat acuan kulminasi Bulan terhadap koordinat hasil GPS beberapa masih diperoleh selisih perbedaan mencakup satuan menit hingga 3' 15,98" atau setara 7,87 km. Meskipun demikian, hasil perhitungan yang lainnya menunjukkan hasil data yang sama (hanya berselisih detik) bahkan hanya 0° 0' 6,97" atau setara dengan 280,06 m. Nilai ini masih sangat jauh dari batas maksimal toleransi arah kiblat. 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).¹⁴ Artinya arah kiblat dari *input* koordinat acuan kulminasi Bulan ini, dapat dijadikan landasan untuk penentuan arah kiblat, baik dalam perhitungan maupun praktik lapangan secara langsung.

Melihat semua penjabaran di atas mulai dari metode, praktik dan implementasinya terhadap arah kiblat. Penentuan titik koordinat Bumi dengan acuan kulminasi Bulan dapat dijadikan sebuah alternatif baru yang mana metode ini belum pernah ada sebelumnya. Bahkan dari hasil pengukurannya sendiri cukup memuaskan dengan nilai deviasi mendekati pengukuran alat modern, yakni alat GPS dan aplikasi *Google*

¹⁴ Muh Ma'rufin Sidibyو, *Sang Nabi Pun Berputar Arah Kiblat dan Tata Cara Pengukurannya*, (Solo : PT Tiga Serangkai, 2011), hlm 84-85.

Earth. Apalagi dari segi perhitungan arah kiblat, deviasi yang ditunjukkan kebanyakan hanya mencakup orde detik saja. Berdasarkan hasil penelitian di atas, peneliti menyimpulkan bahwa metode kulminasi Bulan dapat digunakan sebagai acuan pengambilan data titik koordinat Bumi untuk penentuan arah kiblat atau untuk penentuan lainnya berkaitan dengan kajian perhitungan dalam ilmu Falak atau Astronomi.

Pada akhir pembahasan ini, peneliti memberikan pandangan dan interpretasinya terhadap metode yang berkaitan dengan acuan obyek Bulan, berdasarkan pengalaman saat melaksanakan praktik lapangan. Perlu disadari bersama, bahwasanya banyak sekali metode dalam kajian ilmu Falak yang berkaitan dengan obyek Bulan hingga saat ini sudah semakin ditinggalkan dan diabaikan karena memiliki beberapa hambatan yang lebih banyak dibandingkan dengan obyek Matahari. Misalkan karena cahaya Bulan lebih redup dari pada Matahari, Bulan memiliki fase-fase yang akan mengakibatkan terbatasnya tanggal-tanggal praktik lapangan dan sebagainya.

Padahal berdasarkan dari hasil penelitian ini, akurasi penentuan titik koordinat menggunakan obyek Bulan tidaklah mengecewakan, bahkan lebih mendekati metode modern dibanding dengan obyek Matahari (Tongkat Istiwa'). Peneliti sangat yakin, jika sebuah metode dipraktikkan dengan cara yang benar dan menggunakan alat yang mumpuni, maka dengan acuan obyek langit apapun dapat menghasilkan data yang akurat. Ini artinya tidak serta merta karena banyaknya

hambatan dalam sebuah metode dijadikan sebuah landasan bahwa metode tersebut (dalam hal ini metode dengan acuan Bulan) kurang akurat dari pada metode yang lebih sedikit hambatannya (dalam hal ini metode dengan acuan Matahari). Peneliti sangat menyayangkan jikalau metode beracuan Bulan ini semakin hari semakin tenggelam eksistensinya hanya karena banyaknya hambatan metode tersebut, padahal metode itu juga sama-sama berpotensi dapat menghasilkan data yang akurat atau bahkan lebih akurat dibanding dengan obyek Matahari.

Oleh karena itu, peneliti berharap dengan adanya penelitian ini dapat membuka mata dan membangkitkan semangat kembali para peneliti lain untuk mengkaji penelitian-penelitian yang berkaitan dengan obyek Bulan, agar eksistensi Bulan sebagai acuan data dan obyek penelitian dapat selalu berkembang dalam ranah ilmu Falak dan Astronomi.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berlandaskan pada kajian yang telah diuraikan pada bab sebelumnya, maka penelitian ini menghasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Metode penentuan titik koordinat Bumi menggunakan acuan kulminasi Bulan merupakan metode penggeseran dari metode kulminasi Matahari (tongkat istiwa'). Dalam metode ini formulasi perhitungan lintang tempat menggunakan rumus yang sama dengan metode tongkat istiwa', hanya saja data yang mulanya menggunakan data Matahari digeser menjadi data Bulan. Sedangkan untuk formulasi perhitungan bujur tempatnya menggunakan sistem acuan waktu Bulan yang disebut dengan *Local Apparent Lunar Time*, di mana ketika Bulan berpotongan dengan meridian setempat selalu dihitung pukul 12 tepat. Metode ini menghasilkan lintang tempat bersifat geosentrik, artinya lintang tempat dihitung dari pusat massa Bumi (titik pusat Bumi) dan mempunyai tenggang waktu praktik yang terbatas hanya pada tanggal 9 hingga tanggal 20 bulan hijriyah.
2. Hasil pengukuran titik koordinat Bumi dengan acuan kulminasi Bulan menunjukkan nilai deviasi yang relatif kecil. Deviasi untuk lintang bernilai kisaran 5,64" hingga 5' 19,22" dan untuk bujur tempat deviasinya antara 13,94" hingga 9' 20,47". Tak hanya itu, jika diimplementasikan dalam perhitungan azimuth

kiblat, hasil sudut simpanganya terhadap GPS juga mencapai nilai yang rendah yakni 6,97” hingga 3’ 15,98”, nilai ini sangat jauh dari batas toleransi arah kiblat. Sehingga hal ini membuktikan bahwa hasil praktik metode kulminasi Bulan dapat digunakan sebagai landasan pengambilan data koordinat untuk penentuan arah kiblat atau bahkan untuk penentuan lainnya berkaitan dengan ilmu falak dan astronomi.

B. Rekomendasi

Adapun rekomendasi penulis terkait penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk pihak perguruan tinggi dan civitas akademika supaya dapat menyosialisasikan metode baru berbasis kulminasi Bulan ini sebagai alternatif untuk penentuan lintang dan bujur suatu tempat di permukaan Bumi.
2. Penelitian ini dapat menjadi bahan penelitian lainnya, terkait tentang kulminasi Bulan di daerah-daerah yang lebih bervariasi dan juga dapat dijadikan bahan penelitian mengenai sistem *lunar time* untuk mempermudah perhitungan-perhitungan dalam ilmu falak dan astronomi.

C. Penutup

Demikianlah hasil penelitian yang telah penulis lakukan dengan harapan dapat dipahami dan diaplikasikan di lapangan, sekaligus dapat memperkaya khasanah keilmuan falak di Bumi nusantara ini. Atas segala kekurangan dan kelebihan penelitian ini, baik dari segi penulisan maupun substansi, kepada pembaca sekalian penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya. Demikian pula penulis

senantiasa mengharapkan segala kritik dan saran konstruktif demi perbaikan penelitian ini. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberi manfaat untuk semua orang sekaligus menghantarkan penulis menjadi insan yang sukses, saleh dan selamat.

DAFTAR PUSTAKA

Buku

- Abidin, Hasanuddin Z. 2000, *Penentuan Posisi dengan GPS dan Aplikasinya*, Jakarta : PT Pradnya Paramita
- _____, 2001, *Geodesi Satelit*, Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- Adminarto, A. Gunawan, 2009, *Menjelajahi Tata Surya*, Yogyakarta : Kanisius.
- Ali, Atabik dan Ahmad Zuhdi Mundhor, 2004, *Kamus Kontemporer Arab Indonesia*, Yogyakarta : Multi Karya Grafika.
- Ali, Ma'shum, t.th, *Tibyanul Mīqāt fi al-ma'rīfatial-auqāt wa al-qibla*, Kediri : Madrasah Salafiyah Al-Falah.
- Anam, Ahmad Syifa'ul, 2015, *Perangkat Rukyat Non Optik*, Semarang : CV. Karya Abadi Jaya.
- Anugraha, Rinto, 2012, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta : UGM Jurusan Fisika.
- Azhar Latief Nashiran, 2013, *Ilmu Falak dalam Praktik*, Kudus : LPB Program Falak TBS.
- Azhari, Susiknan, 2001, *Ilmu Falak Teori dan Praktik*, Yogyakarta : Lazuardi.
- _____, 2005, *Ensiklopedi Hisab Rukyat*, Yogyakarta : Pustaka Pelajar.
- Baker, Robert H., 1958, *Astronomy A Textbook for University and College Students*, New York : d. Van Nostrand Compeny INC.
- Ball, Robert, 2014, *A Primer of Astronomy*, United Kingdom : Cambridge University Press.
- Bashori, Muh. Hadi, 2013, *Penanggalan Islam*, Jakarta : PT Elex Media Komputindo.
- _____, 2015, *Pengantar Ilmu Falak*, Jakarta : Pustaka Al-Kautsar.
- Basuki, Slamet, 2006 *Ilmu Ukur Tanah*, Yogyakarta : Gajah Mada University Press.

- Bate, Roger R. Cs, 1971, *Fundamentals of Astrodynamics*, New York : Dover Publications.
- Butar-Butar, Arwin Juli Rakhmadi, 2018, *Pengantar Ilmu Falak*, Depok : Rajawali Press.
- Carthy, Dennis D Mc, 2011, *Evolution of Time Scale from Astronomy to Phisycal Metrology*, Washington: US Naval Observatory.
- Departemen Agama RI, 1981, *Almanak Hisab Rukyat*, Jakarta : Proyek Pembinaan Badan Peradilan Agama Islam.
- _____, 1995, *Pedoman Penentuan Jadwal Waktu Shalat Sepanjang Masa*, (Jakarta : Direktorat Jenderal Pembinaan Kelembagaan Agama Islam.
- Dunlop, Storm, 1985, *Astronomy A Step By Step Guide to the Night Sky*, England : Hamlyn Publishing,
- Echols, John M and Hasan Shadily, 2003, *Kamus Inggris Indonesia*, cet XXV, Jakarta : Gramedia.
- Evans, James, 1998, *The History and Practice of Ancient Astronomy*, New York : Oxford University Press.
- Fahrurrazi, 2011, *Sistem Acuan Geodetik : dari Bigbang sampai Kerangka Acuan Terrestrial*, Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Hadi, HM. Dimsiki, 2009, *Sains Untuk Kesempurnaan Ibadah*, Yogyakarta : Prima Pustaka.
- Hambali, Slamet, 2011, *Ilmu Falak 1 Penentuan Awal Waktu Shalat & Arah Kiblat Seluruh Dunia*, Semarang : Pascasarjana UIN Walisongo.
- _____, 2012, *Pengantar Ilmu Falak Menyimak Proses Pembuatan Alam Semesta*, Yogyakarta: Bismillah Publisher.
- _____, 2013, *Ilmu Falak Arah Kiblat Setiap Saat*, Yogyakarta : Pustaka Ilmu Yogyakarta.
- _____, 2013, *Seminar Nasional Uji Kelayakan Istiwaain Sebagai Alat Bantu Menentukan Arah Kiblat yang Akurat*, Semarang : Prodi Ilmu Falak IAIN Walisongo.

- Ilyas, Mohammad, 1995, *New Moon's Visibility and International Islamic Calender for American Region 1407 H-1421H*, Malaysia : Falak Centre Building ,University of Science Malaysia.
- _____, 1999, *Astronomy of Islamic Times for The Twenty-first Century*, Kuala Lumpur: AS Noordeen
- Izzuddin, Ahmad, 2012, *Ilmu Falak Praktis*, Semarang : Pustaka Rizki Putra.
- _____, 2012, *Kajian Terhadap Metode-Metode Penentuan Arah Kiblat dan Akurasinya*, Jakarta : Kemenag RI.
- Jajak, 2006, *Astronomi Ilmu Pengetahuan Luar Angkasa*, Jakarta : Harapan Baru Raya.
- Jamil, A., 2009, *Ilmu Falak Teori & Praktik Arah Qiblat, Awal Waktu dan Awal Tahun Hisab Kontemporer*, Jakarta :Amzah.
- Kadir, A., 2012, *Fiqh Qiblat : Cara Sederhana Menentukan Arah Shalat Agar Sesuai Syari'at*, Yogyakarta: Pustaka Pesantren, cet 1.
- Karttunen, Hannu,cs, 1996, *Fundamental Astronomy*, New York : Springer,.
- Kemenag RI, 2010, *Almanak Hisab Rukyat*, Jakarta : Dirjen Bimas Islam Kemenag RI.
- Khazin, Muhyiddin, 2004, *Ilmu Falak Dalam Teori dan Praktik*, Yogyakarta : Buana Pustaka.
- _____, 2005, *Kamus Ilmu Falak*, Yogyakarta : Buana Pustaka.
- King, David, 1984, *Astronomy in the Service of Islam*, London : Variorum.
- Kovalevsky, Jean and P. Kenneth S., 2004, *Fundamentals of Astrometry*, Australia : Cambridge University Press.
- Krakiwsky, E.J. and D.E Wells, 1971, *Coordinate System in Geodesy*, Canada : Departement of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick Fredericton.
- Maskufa, *Ilmu Falaq*, Februari 2009, Jakarta : Gaung Persada Press.
- Meeus, Jean, 1991, *Astronomical Algorithms*, Virginia : Willmann-Bell.

- Montenbruck, Oliver and Thomas Pfleger, 1994, *Astronomy on the Personal Computer*, Berlin : Springer-Verlag.
- Moritz, H. and I.I. Mueller, 1987, *Earth Rotation, Theory and Observation*, New York : Ungar.
- Munawir, Warson, 1997, *al-Munawir Kamus Arab-Indonesia*, Surabaya : Pustaka Progressif.
- Nawawi, Abd. Salam, 2010, *Ilmu Falak Cara Praktis Menghitung Waktu Salat, Arah Kiblat dan Awal Bulan*, Sidoarjo : Aqaba.
- Nazir, Moh., 1988, *Metode Penelitian*, cet 3, Jakarta : Ghalia Indonesia.
- Poerwadarminta, WJS, 2007, *Kamus Umum Bahasa Indonesia*, Jakarta : Balai Pustaka.
- Prahasta, Eddy, 2009, *Sistem Informasi Geografis*, Bandung : BI-Obses.
- Pustaka Nasional : Katalog Dalam Terbitan, 2011, *Teknik Hidup di Alam Terbuka*, Bandung : Truenorth.
- Qulub, Siti Tatmainul, 2017, *Ilmu Falak dari Sejarah ke Teori dan Aplikasi*, Depok : PT Raja Grafindo Persada.
- Rachim, Abdur, 1983, *Ilmu Falak*, Yogyakarta: Liberty.
- Rietz, H.L. and J.F Reilly dkk, t,th, *Plane and Spherical Trigonometry*, New York : The Macmillan Company.
- Rohr, Rene R.J., 1970, *Sundials History, Theory and Practice*, New York : Dover Publications.
- Shadiq KM, Sriyatin, 1994, *Ilmu Falak 1*, Surabaya : Fakultas Syari'ah Universitas Muhammadiyah Surabaya.
- Sickle, Jan Van, 2004, *Basic GIS Coordinates*, Washington DC : CRC Press.
- Siregar, Suryadi, 2009, *Benda Kecil dalam Tata Surya*, Bandung : Penerbit ITB.
- Smart, W.M., 1980, *Textbook on Spherical Astronomy*, Sydney : Cambridge University Press.
- Smith, Peter Duffett, 1981, *Practical Astronomy With Your Calculator*, New York : Cambridge University Press.

- Sudibyo, Muh. Ma'rufin, 2011, *Sang Nabi Berputar*, Solo : PT Tiga Serangkai.
- Sugiyono, 2011, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, Bandung : Alfabeta.
- Sumardi, Yosaphat, 2007, *Mekanika*, Tangerang : Universitas Terbuka.
- Suryabrata, Sumadi, 2013, *Metodologi Penelitian*, Jakarta : Rajawali Press.
- Sutikno, M. Sobry, 2013, *Belajar dan Pembelajaran*, Lombok : Holistica.
- Syahputra, Ramadoni, 2017, *Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik*, Yogyakarta : LP3M UMY.
- Tim Penyusun Naskah IDI Hukum, 2000, *Islam untuk Disiplin Ilmu Astronomi; Buku Dasar Pendidikan Agama Islam pada Perguruan Tinggi Umum Jurusan/Program Studi Astronomi*, Jakarta : Departemen Agama RI.
- Toruan, M.S.L., t.th, *Pokok-Pokok Ilmu Falak (Kosmologi)*, Semarang : Banteng Timur.
- Unit Falak Bahagian Penyelidikan, 2001, *Kaidah Panduan Falak Syarie*, Kuala Lumpur: Percetakan Nasional Malaysia Berhad.
- UPT Observatorium Bosscha, 1995, *Perjalanan Mengenal Astronomi*, Bandung : Penerbit ITB.
- Vilianueva, K.J., 1978, *Pengantar ke dalam Astronomi Geodesi*, Bandung: Departemen Geodesi Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITB.
- Wongsotjitro, Soetomo, 1981, *Ilmu Geodesi Tinggi 1*, Yogyakarta : Yayasan Kanisius.
- Woolard, Edgar, 1966, *Spherical astronomy*, New York : Academic Press.
- Xu, Gounchang and Jia Xu, 2008, *Orbits*, Berlin : Spinger-Verlag Berlin Heidelberg,.
- Zainal, Baharuddin, 2004, *Ilmu Falak*, Malaysia : Dawama.

Tesis

Budiwati, Anisah, 2013, *Kajian Tongkat Istiwa' Dalam Penentuan Titik Koordinat Bumi*, Tesis, UIN Walisongo Semarang.

Jurnal / Karya Ilmiah

Aoki, S., B. Guinot cs, Jan 1982, "The New Definition of Universal Time", *Astronomy and Astrophysics Journal*, vol 105, no. 2.

Artini, Sri Rezki, Maret 2014, "Penentuan Koordinat Stasiun GNSS CORS GMU1 dengan Kombinasi Titik Ikat GPS Global dan Regional", *Pilar : Jurnal Teknik Sipil*, Vol 10, No.1.

Astrophysics Data System, 9 Des 1836, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, NASA : Vol. 4, Issue 2.

Baily, Francis, 1824, "On The New Method Of Determining The Longitude by The Culmination of The Moon And Stars", London : Ricard Taylor.

Barbour, Julian, 20 Mar 2009, "The Nature of Time", *Esai the Foundational Questions Institute*. arXiv:0903.3489v1 [gr-qc].

Daly, P., Desember 1993, "Navstar GPS and GLONASS : Global Satellite Navigation System", *Electronics & Communication Engineering Journal*, Vol 5, No. 6, doi:10.1049/ecej:19930069.

Guinot, Bernard and Elisa Felicitas A., 7 Juni 2005, "Atomic time-keeping from 1955 to the Present", *Jurnal Metrologia : Institute of Physics Publishing*, vol 45, doi:10.1088/0026-1394/42/3/S04.

Maftuh, Muhammad cs, 2012, "Bencet Alat Peraga IPA Untuk Memahami Keterkaitan Rotasi Bumi dengan Jam Istiwa' ", Semarang : *Unnes Science Education Journal*, Vol1 No. 1.

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

Pio, D.A., 1899, "Longitude from Moon Culminations", *NASA : Royal Astronomical Society*.

Risdianto, Herry, Des 2014, "Penentuan Koordinat Geodetik Titik BM Pasut Jawa Dari Data Pengamatan GPS", *Teknik UIGM : Jurnal Tekno Global*, Vol.III, No.1.

Website

Arif Basofi, *Jenis-Jenis dan Fungsi Peta*, (PENS 2013),
<http://ariv.lecturer.pens.ac.id/G.I.S/01-Teori/M04.%20Jenis%20&%20Fungsi%20Peta.pdf>

<https://eclipse.gsfc.nasa.gov/LEcat5/deltatpoly.html>,

https://id.wikipedia.org/wiki/Google_Earth

<http://jam.bmkg.go.id/Jam.BMKG>

Panambunan, Jemmy, *Pengantar Survey dan Pemetaan 2*, hlm 47,
https://www.academia.edu/8380717/pengantar_survei_pemetaan_2

Aplikasi

Google Earth Pro 7.3.2.5776 (64-bit), Maret 2019.

Falakiyah Pesantren 1.5, 2015.

LAMPIRAN-LAMPIRAN

A. Formula Delta T dalam *Website Nasa* :

- Perkiraan tanggal $(y) = Y + (M - 1) / 12 + D$
- ΔT untuk tahun sebelum -500 = $-20 + 32 * u^2$, di mana $u = (y - 1820) / 100$
- ΔT untuk tahun -500 sampai +500 = $10583.6 - 1014.41 * u + 33.78311 * u^2 - 5.952053 * u^3 - 0.1798452 * u^4 + 0.022174192 * u^5 + 0.0090316521 * u^6$, di mana $u = y/100$
- ΔT untuk tahun +500 sampai +1600 = $1574.2 - 556.01 * u + 71.23472 * u^2 + 0.319781 * u^3 - 0.8503463 * u^4 - 0.005050998 * u^5 + 0.0083572073 * u^6$, di mana $u = (y - 1000)/100$
- ΔT untuk tahun +1600 sampai +1700 = $120 - 0.9808 * t - 0.01532 * t^2 + t^3 / 7129$, di mana $t = y - 1600$
- ΔT untuk tahun +1700 sampai +1800 = $8.83 + 0.1603 * t - 0.0059285 * t^2 + 0.00013336 * t^3 - t^4 / 1174000$, di mana $t = y - 1700$
- ΔT untuk tahun +1800 sampai +1860 = $13.72 - 0.332447 * t + 0.0068612 * t^2 + 0.0041116 * t^3 - 0.00037436 * t^4 + 0.0000121272 * t^5 - 0.0000001699 * t^6 + 0.000000000875 * t^7$, di mana $t = y - 1800$
- ΔT untuk tahun +1860 sampai +1900 = $7.62 + 0.5737 * t - 0.251754 * t^2 + 0.01680668 * t^3 - 0.0004473624 * t^4 + t^5 / 233174$, di mana $t = y - 1860$

- ΔT untuk tahun +1900 sampai +1920 = $-2.79 + 1.494119 * t - 0.0598939 * t^2 + 0.0061966 * t^3 - 0.000197 * t^4$, di mana $t = y - 1900$
- ΔT untuk tahun +1920 sampai +1941 = $21.20 + 0.84493 * t - 0.076100 * t^2 + 0.0020936 * t^3$, di mana $t = y - 1920$
- ΔT untuk tahun +1941 sampai +1961 = $29.07 + 0.407 * t - t^2/233 + t^3 / 2547$, di mana $t = y - 1950$
- ΔT untuk tahun +1961 sampai +1986 = $45.45 + 1.067 * t - t^2/260 - t^3 / 718$, di mana $t = y - 1975$
- ΔT untuk tahun +1986 sampai +2005 = $63.86 + 0.3345 * t - 0.060374 * t^2 + 0.0017275 * t^3 + 0.000651814 * t^4 + 0.00002373599 * t^5$, di mana $t = y - 2000$
- ΔT untuk tahun +2005 sampai +2050 = $62.92 + 0.32217 * t + 0.005589 * t^2$, di mana $t = y - 2000$
- ΔT untuk tahun +2050 sampai +2150 = $-20 + 32 * ((y - 1820)/100)^2 - 0.5628 * (2150 - y)$
- ΔT untuk tahun setelah +2150 = $-20 + 32 * u^2$, di mana $u = (y - 1820)/100$

B. Formula Transformasi Waktu Matahari dan Waktu Bulan.

Untuk mengubah waktu Matahari ke waktu Bulan ada dua alur algoritma yang berbeda. Alur pertama, data yang perlu disiapkan adalah data *Apparent Right Ascension* Matahari (α_o), *Equation of Time* (EoT) dan *Apparent Right Ascension* Bulan (α_l). Di samping itu juga harus menghitung terlebih dahulu nilai L' . Adapun algoritma menghitung waktu Bulan meliputi *Local Apparent Lunar Time* (LALT), *Local Mean Lunar Time* (LMLT) dan *Local Civil Lunar Time* (LCLT) adalah sebagai berikut :

- a) Formula Koreksi Waktu Daerah (KWD)

$$\text{KWD} = (\text{BD} - \text{BT}) / 15$$

- b) Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Matahari (α_o)

$$\alpha_o = \alpha_{o1} - (\alpha_{o1} - \alpha_{o2}) \times C / I$$

- c) Formula Interpolasi *Equation of Time* (EoT)

$$\text{EoT} = \text{EoT1} - (\text{EoT1} - \text{EoT2}) \times C / I$$

- d) Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Bulan (α_l)

$$\alpha_l = \alpha_{l1} - (\alpha_{l1} - \alpha_{l2}) \times C / I$$

- e) Formula Sudut Waktu Matahari (t_o)

$$t_o = (\text{WD} + \text{EoT} - \text{KWD} - 12) \times 15$$

- f) Formula Sudut Waktu Bulan (t_l)

$$t_l = t_o + \alpha_o - \alpha_l$$

- g) Formula *Local Apparent Lunar Time* (LALT)

$$\text{LALT} = 12 + t_l / 15$$

- h) Formula *Equation of Lunar Time* (EoLT)

$$\text{EoLT} = (L' - \alpha_l) / 15$$

- i) Formula *Local Mean Lunar Time* (LMLT)

$$\text{LMLT} = \text{LALT} - \text{EoLT}$$

- j) Formula *Local Civil Lunar Time* (LCLT)

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

Tidak hanya itu saja, ada algoritma lain untuk menghitung waktu Bulan. Algoritma ini hanya memerlukan data *Apparent Right Ascension* Bulan, namun harus menghitung nilai L' dan L_0 terlebih dahulu seperti pada langkah-langkah yang telah dijelaskan sebelumnya.

Algoritma menghitung waktu Bulan adalah sebagai berikut :

- a) Formula *Local Civil Lunar Time* (LCLT)

$$\text{LCLT} = \text{WD} + \frac{L_0 - L'}{15}$$

- b) Formula Koreksi Waktu Daerah (KWD)

$$\text{KWD} = (\text{BD} - \text{BT}) / 15$$

- c) Formula *Local Mean Lunar Time* (LMLT)

$$\text{LMLT} = \text{LCLT} - \text{KWD}$$

- d) Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Bulan (α_i)

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

- e) Formula *Equation of Lunar Time* (EoLT)

$$\text{EoLT} = (L' - \alpha_i) / 15$$

- f) Formula *Local Apparent Lunar Time* (LALT)

$$\text{LALT} = \text{LMLT} + \text{EoLT}$$

Kemudian, untuk formula membalik waktu Bulan menjadi waktu Matahari juga ada dua algoritma. Algoritma pertama memerlukan data *Apparent Right Ascension* Matahari (α_0), *Equation of Time* (EoT) dan *Apparent Right Ascension* Bulan (α_i),

sekaligus menghitung pula nilai L' . Runtutannya adalah sebagai berikut :

- a) Formula Koreksi Waktu Daerah (KWD)

$$\text{KWD} = (\text{BD} - \text{BT}) / 15$$

- b) Formula *Local Mean Lunar Time* (LMLT)

$$\text{LMLT} = \text{LCLT} - \text{KWD}$$

- c) Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Bulan (α_c)

$$\alpha_c = \alpha_{c1} - (\alpha_{c1} - \alpha_{c2}) \times C / I$$

- d) Formula *Equation of Lunar Time* (EoLT)

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

- e) Formula *Local Apparent Lunar Time* (LALT)

$$\text{LALT} = \text{LMLT} + \text{EoLT}$$

- f) Formula Sudut Waktu Bulan (t_c)

$$t_c = (\text{LALT} - 12) \times 15$$

- g) Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Matahari (α_o)

$$\alpha_o = \alpha_{o1} - (\alpha_{o1} - \alpha_{o2}) \times C / I$$

- h) Formula Interpolasi *Equation of Time* (EoT)

$$\text{EoT} = \text{EoT1} - (\text{EoT1} - \text{EoT2}) \times C / I$$

- i) Formula Sudut Waktu Matahari (t_o)

$$t_o = t_c + \alpha_c - \alpha_o$$

- j) Formula Waktu Daerah (WD)

$$\text{WD} = 12 - \text{EoT} + t_o / 15 + \text{KWD}$$

Algoritma perhitungan kedua, hanya memerlukan data *Equation of Time*, namun harus menghitung L' dan L_0 terlebih dahulu. Alur Algoritma yang kedua adalah sebagai berikut :

a) Formula Waktu Daerah (WD / *Local Civil Time*)

$$WD = LCLT + \frac{L' - L_0}{15}$$

b) Formula Koreksi Waktu Daerah (KWD)

$$KWD = (BD - BT) / 15$$

c) Formula *Local Mean Solar Time* (LMT)

$$LMT = WD - KWD$$

d) Formula Interpolasi *Equation of Time* (EoT)

$$EoT = EoT_1 - (EoT_1 - EoT_2) \times C / I$$

e) Formula *Local Apparent Solar Time* (LAT)

$$LAT = LMT + EoT$$

Dalam menghitung transformasi waktu Bulan ke waktu Matahari, ketika melakukan interpolasi data ephemeris, referensi waktu diambil pukul 12 WD, yakni pada waktu pertengahan hari. Namun, setelah hasil waktu Matahari didapatkan, ulangi kembali perhitungan dengan referensi hasil tersebut. Pengulangan ini bertujuan untuk mendapatkan hasil waktu Matahari yang lebih akurat.¹

¹ Pengulangan perhitungan ini sebaiknya dilakukan sampai dua kali (minimal) agar menghasilkan waktu yang lebih halus dan akurat.

C. Formula Waktu Kulminasi Bulan.

Untuk menghitung waktu kulminasi Bulan, data ephemeris yang harus disiapkan adalah *Apparent Right Ascension* Matahari (α_0), *Apparent Right Ascension* Bulan (α_l) dan *Equation of Time* (EoT). Adapun secara lengkap algoritmanya sebagai berikut :

- a) Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Matahari (α_0)

$$\alpha_0 = \alpha_{01} - (\alpha_{01} - \alpha_{02}) \times C / I$$

- b) Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Bulan (α_l)

$$\alpha_l = \alpha_{l1} - (\alpha_{l1} - \alpha_{l2}) \times C / I$$

- c) Formula Sudut Waktu Matahari (t_0)

$$t_0 = \alpha_l - \alpha_0$$

- d) Formula Interpolasi *Equation of Time* (EoT)

$$\text{EoT} = \text{EoT1} - (\text{EoT1} - \text{EoT2}) \times C / I$$

- e) Formula Koreksi Waktu Daerah (KWD)

$$\text{KWD} = (\text{BD} - \text{BT}) / 15$$

- f) Formula Waktu Daerah (WD)

$$\text{WD} = 12 - \text{EoT} + t_0 / 15 + \text{KWD}$$

Data ephemeris yang diinterpolasi menggunakan referensi waktu pukul 12 WD, kemudian setelah hasil akhir diketahui, perlu dilakukan iterasi atau pengulangan perhitungan minimal 2 kali iterasi, dengan referensi waktu hasil perhitungan sebelumnya.

Selain algoritma tersebut, ada algoritma lain untuk menghitung waktu kulminasi Bulan. Data ephemeris yang dibutuhkan adalah *Apparent Right Ascension* Bulan (α_l) sekaligus menghitung terlebih

dahulu bujur rata-rata Matahari (L_0) dan bujur rata-rata Bulan (L'). Adapun algoritmanya adalah sebagai berikut :

- a) Formula Koreksi Waktu Daerah (KWD)

$$KWD = (BD - BT) / 15$$

- b) Formula Interpolasi *Apparent Right Ascension* Bulan (α_c)

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

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

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

- d) Formula *Local Civil Lunar Time* (LCLT)

$$LCLT = 12 - EoLT + KWD$$

- e) Formula Waktu Daerah (WD)

$$WD = LCLT + \frac{L' - L_0}{15}$$

Sama halnya dengan perhitungan sebelumnya, referensi waktu untuk menghitung L_0 dan L' adalah pukul 12 WD (perkiraan waktu pertengahan hari). Setelah hasil akhir diketahui, proses iterasi dilakukan minimal 2 kali pengulangan agar mendapatkan hasil yang lebih halus dan akurat.

Pengukuran Titik Koordinat Di Musholatorium At-Taqie



Pengukuran Titik Koordinat Di Pon-Pes Al-Ma'rufiyah



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

Nama : Muhammad Farid Azmi
Tempat tanggal lahir : Rembang, 7 Februari 1995
Alamat asal : Jl. Fathurrahman Desa Sumbergirang,
RT.02/RW.II, Kec. Lasem, Kab. Rembang,
Jawa Tengah
Alamat sekarang : PP. Life Skill Daarun Najaah Bukit Beringin
Lestari Barat Kav. C 131, Ngaliyan, Semarang

Jenjang Pendidikan :

a. Pendidikan formal


1. Taman Kanak-Kanak Muslimat NU, Ds. Sumbergirang, Lasem, Rembang, lulus tahun 2000.
2. Madrasah Ibtidaiyah An-Nashriyyah, Jl. Sunan Bonang No.3, Lasem, Rembang, lulus tahun 2006.
3. Madrasah Tsanawiyah Tasywiquth Thullab Salafiyyah, Jl. K.H. Turaichan Adjhuri No.23, Kajeksan, Kudus, lulus tahun 2009.
4. Madrasah Aliyah Tasywiquth Thullab Salafiyyah, Jl, K.H. Turaichan Adjhuri No.23, Kajeksan, Kudus, lulus tahun 2012.
5. S1 UIN Walisongo Semarang, Jurusan Ilmu Falak, Fakultas Syari'ah dan Hukum, Jl. Prof. Dr. Hamka No. 3-5, Tambakaji, Ngaliyan, Semarang, lulus tahun 2017.

b. Pendidikan Non-formal

1. Taman Pendidikan Qur'an Al-Wahdah Ds. Sumbergirang, Lasem, Rembang, lulus tahun 2005.
2. Pondok Pesantren Raudlatul Muta'allimin Ds. Jagalan No. 62, Kudus, lulus tahun 2012.
3. Pondok Pesantren Taman Santri, Krapyak, Yogyakarta, lulus tahun 2013.
4. Pondok Pesantren Raudlatul Qur'an An-Nasimiyah, Pusponjolo, Semarang Barat, lulus tahun 2014.
5. Pondok Pesantren Life Skill Daarun Najaah Bukit Beringin Kav. C 131, Ngaliyan, Semarang, tahun 2014-sekarang.

Semarang, 12 Juli 2019

Hormat saya,



Muhammad Farid Azmi

NIM. 1702048002