

REFORMULASI PERHITUNGAN KEMENCENGAN KIBLAT TERHADAP REALITAS JARAK

DI MUKA BUMI

TESIS

Disusun untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh
Gelar Magister dalam Ilmu Falak



Disusun oleh:

Muhammad Luthfi

NIM :2202048013

**MAGISTER ILMU FALAK
FAKULTAS SYARI'AH DAN HUKUM
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG**

2024

PERSEMBAHAN

*Tesis ini saya persembahkan kepada:
Yang terhormat dan tercinta kedua orangtua penulis*

Sunatriyo dan Rasniah

*Tidak lupa yang tersayang keempat saudara penulis:
Manaqib, Ibrahim Zam-zami, Zahratul Syita, dan Zahir Kaftaro
yang selalu memberi support system.
Semoga selalu dalam lindungan-Nya dan diberkahi segala urusan dunia
dan akhiratnya.*

MOTTO

إذ الفتى حسب اعتقاده رفع # وكل من لا يعتقد لم ينتفع

“Keluhuran derajat seorang pemuda dinilai ketika dia memiliki tekad. Dan barangsiapa tidak memiliki tekad ia tidak akan dapat mengambil manfaat dari suatu perkara apa pun.”¹

(Nadham Imrithi bait ke 17)

¹ Syarifuddin Yahya Al-Imrity, *Nadhamu Al-Imrithi* (Kediri: Pustaka Jet Tempur, n.d.). hal 2

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Nama Lengkap : Muhammad Luthfi

NIM : 2202048013

Program Studi : Magister Ilmu Falak

Menyatakan bahwa tesis yang berjudul:

**“Reformulasi Perhitungan Kemencengan Kiblat Terhadap Realita
Jarak di Muka Bumi”**

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

Semarang, 06 Juni 2024

Pembuat Pernyataan



Muhammad Luthfi

NIM: 2202048013

PENGESAHAN TESIS



KEMENTERIAN AGAMA REPUBLIK INDONESIA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI WALISONGO
FAKULTAS SYARIAH DAN HUKUM

Jalan Prof. Dr. H. Hamka Semarang 50185
Telepon (024)7601291, Faksimili (024)7624691, Website : <http://fs.walisongo.ac.id>

FTM-07

PENGESAHAN PERBAIKAN
OLEH MAJELIS PENGUJI UJIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan bahwa tesis mahasiswa :

Nama : Muhammad Luthfi
NIM : 2202048013
Judul : REFORMULASI PERHITUNGAN KEMENCENGAN KIBLAT TERHADAP REALITAS
JARAK DI MUKA BUMI

telah diujikan pada tanggal 24 Juni 2024 dan dinyatakan LULUS oleh majelis penguji :

NAMA

TANGGAL

TANDA TANGAN

Dr. Mahsun, M. Ag.
Ketua Majelis

2/7-2024

Dr. Ahmad Syifaul Anam, MH.
Sekretaris

5/7-2024

Prof. Dr. Ahmad Izzuddin, M. Ag.
Penguji 1

2/7/2024

Dr. Amir Tajrid, M. Ag.
Penguji 2

3/7 2024



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

Jalan Prof. Dr. H. Hamka Semarang 50185
Telepon (024)7601291, Faksimili (024)7624691, Website : <http://fs.walisongo.ac.id>

NOTA DINAS

Semarang, 06 Juni 2024

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 Luthfi**
NIM : 2202048013
Program Studi : S2 Ilmu Falak
Judul : **REFORMULASI PERHITUNGAN KEMENCENGAN
KIBLAT TERHADAP REALITAS JARAK DI MUKA
BUMI**

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

Wassalamu 'alaikum wr.wb.

Pembimbing I,

Dr. H Tolkah, MA.



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

Jalan Prof. Dr. H. Hamka Semarang 50185
Telepon (024)7601291, Faksimili (024)7624691, Website : <http://fs.walisongo.ac.id>

NOTA DINAS

Semarang, 06 Juni 2024

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 Luthfi**
NIM : 2202048013
Program Studi : S2 Ilmu Falak
Judul : **REFORMULASI PERHITUNGAN KEMENCENGAN
KIBLAT TERHADAP REALITAS JARAK DI MUKA
BUMI**

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

Wassalamu 'alaikum wr.wb.

Pembimbing II,



Dr. Ahmad Syifaul Anam, MH.

ABSTRAK

Judul : Reformulasi Perhitungan Kemencengan Kiblat Terhadap Realitas Jarak di Muka Bumi

Penulis : Muhammad Luthfi

NIM : 2202048013

Perhitungan kemencengan kiblat dalam penentuan arah kiblat menggunakan rumus dalam buku "Mekanika Benda Langit" telah populer dan banyak dijadikan sebagai referensi dalam jurnal. Meskipun demikian dalam perhitungan ini masih memunculkan hasil yang tidak akurat. Setelah dilakukan analisa penyebab ketidakakuratan hasil perhitungan terletak pada algoritma perhitungannya. Penelitian ini dimaksudkan untuk menjawab pertanyaan (1) Mengapa metode perhitungan kemencengan kiblat menggunakan rumus dalam buku "Mekanika Benda Langit" tidak akurat ? (2) Bagaimana reformulasi metode perhitungan kemencengan arah kiblat yang akurat ?, permasalahan ini dibahas melalui studi pustaka dengan pengumpulan data melalui dokumentasi dan wawancara. Semua data dianalisis dengan analisis statistik deskriptif melalui pendekatan multidisipliner.

Penelitian ini menunjukkan bahwa (1) tidak akuratnya perhitungan kemencengan kiblat pada buku "Mekanika Benda Langit" adalah disebabkan pada metode perhitungannya. Rumus yang digunakan dalam buku ini berasal dari perbandingan busur terhadap lingkaran yang datar, sehingga penggunaan rumus ini hanya akurat jika digunakan pada jarak yang dekat, yaitu maksimal 2000 km ke Ka'bah dan pada semua variasi derajat (1-4 derajat). (2) Reformulasi metode perhitungan untuk menghasilkan nilai kemencengan kiblat yang lebih akurat dapat ditempuh dengan menggunakan pendekatan *spherical trigonometri* (trigonometri bola). Hasil dari reformulasi ini memiliki nilai yang lebih baik dari perhitungan dalam buku "Mekanika Benda Langit" yaitu akurat di semua variasi jarak, satuan bujur derajat (1-4 derajat), dan Koordinat (Lintang dan Bujur). Akurat karena selisih terhadap *google earth* pada semua variasi adalah di bawah 1 km.

Kata Kunci: Kemencengan Kiblat, Mekanika Benda Langit, Trigonometri Bola

Abstract

Title : **Reformulation of Qibla Inclination Calculations Against the Reality of Distances on Earth**

Author : Muhammad Luthfi

NIM : 2202048013

The calculation of the Qibla direction in determining the Qibla direction using the formula in the book "Mechanics of Celestial Bodies" (Mekanika Benda Langit) has been popular and widely used as a reference in journals. However, this calculation still produces inaccurate results. After analyzing the cause of the inaccuracy of the calculation results lies in the calculation algorithm. This research is intended to answer the questions (1) Why is the calculation method of Qibla inclination using the formula in the book "Mechanics of Celestial Bodies" (Mekanika Benda Langit) inaccurate? (2) How to reformulate the calculation method of the inclination of the Qibla direction that is accurate? These problems are discussed through literature study with data collection through documentation and interviews. All data were analyzed with descriptive statistical analysis through a multidisciplinary approach.

This research shows that (1) the inaccuracy of the calculation of Qibla inclination in the book "Mechanics of Celestial Bodies" (Mekanika Benda Langit) is due to the calculation method. The formula used in this book comes from the comparison of the arc to a flat circle, so the use of this formula is only accurate if used at a short distance, which is a maximum of 2000 km to the Kaaba and a slope of 1-4 degrees. (2) Reformulation of the calculation method to produce a more accurate value of Qibla inclination can be achieved by using the spherical trigonometry approach. The results of this reformulation have a better value than the calculations in the book "Mechanics of Celestial Objects" which are accurate in all variations in distance, longitude units degrees (1-4 degrees), and coordinates (Latitude and Longitude). Accurate because the difference to *google earth* for all variations is under 1 km.

Keywords: Qibla Inclination, Celestial Mechanics, Spherical Trigonometry

الملخص

العنوان : إعادة صياغة حساب ميل القبة عل المسافة في الأرض

المؤلف : محمد لطفي

الرقم القيد : ٢٢٠٢٠٤٨٠١٣

حساب ميل جهة القبة في تحديد جهة القبة يستخدم الصيغة الموجودة في كتاب "ميكانيكا الأجرام السماوية" اصبح هذا الكتاب شائعا وكثيرا ما يستخدم كمرجع في المجالات. ومع ذلك، لا يزال هذا الحساب ينتج نتائج غير دقيقة. بعد التحليل، سبب نتائج الحساب غير الدقيقة في حساب خوارزمية . يهدف هذا البحث إلى الإجابة على الأسئلة (١) لماذا طريقة حساب ميل القبة باستخدام الصيغة الموجودة في كتاب "ميكانيكا الأجرام السماوية" غير دقيقة؟ (٢) كيف إعادة صياغة طريقة دقيقة لحساب جهة القبة؟ مناقشة هذه المشكلة بدراسة المكتبية من خلال جمع البيانات هي الوثائق والمقابلات ثم تحليل جميع البيانات باستخدام التحليل الإحصائي الوصفي من خلال مدخل متعدد التخصصات.

ويبين هذا البحث أن (١) الحساب غير الدقيق لانحراف القبة في كتاب ميكانيكا الأجرام السماوية يرجع إلى طريقة الحساب. الصيغة المستخدمة في هذا الكتاب تأتي من نسبة القوس إلى الدائرة المسطحة، لذا فإن استخدام هذه الصيغة لا يكون دقيقا إلا إذا تم استخدامه على مسافات متقاربة، أي بحد أقصى ٢٠٠٠ كيلومتر إلى الكعبة وبجميع اختلافات الدرجات (١-٤ درجات). (٢) يمكن إعادة صياغة طريقة الحساب لإنتاج قيمة سرعة كيبات أكثر دقة باستخدام هذا النهج علم المثلثات الكروية (علم المثلثات الكروية). نتائج إعادة الصياغة هذه لها قيمة أفضل من الحسابات الواردة في كتاب ميكانيكا الأجرام السماوية دقيق لأن الفرق بين *google earth* في جميع الاختلافات أقل من واحد كيلومتر

الكلمات المفتاحية: ميل القبة، ميكانيكا الأجرام السماوية، علم المثلثات الكروية

PEDOMAN TRANSLITERASI ARAB-LATIN

Keputusan Bersama Menteri Agama dan Menteri P dan K
Nomor: 158/1987 dan Nomor: 0543b/U/1987

No	Arab	Latin
1	ا	Tidak dilambangkan
2	ب	b
3	ت	t
4	ث	s
5	ج	j
6	ح	ḥ
7	خ	kh
8	د	d
9	ذ	ẓ
10	ر	r
11	ز	z
12	س	s
13	ش	sy
14	ص	ṣ
15	ض	ḍ

No	Arab	Latin
16	ط	ṭ
17	ظ	ẓ
18	ع	‘
19	غ	g
20	ف	f
21	ق	q
22	ك	k
23	ل	l
24	م	m
25	ن	n
26	و	w
27	هـ	h
28	ء	‘
29	ي	y

1. Konsonan Vokal Pendek

َ.... = a كَتَبَ kataba

ِ.... = i سئل suila

ُ.... = u يذهب yazhabu

3. Diftong

أَي= ai كَيْفَ kaifa

أَوْ= au حَوْلَ haula

2. Vokal Panjang

آ.... = ā قَالَ qāla

إِي.... = ī قِيلَ qīla

يُ.... = ū يَقُولُ yaqūlu

Catatan:

Kata sandang (al-) pada bacaan syamsiyyah atau Qamariyyah ditulis (al-) secara konsisten supaya selaras dengan teks Arabnya

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah *subhānahu wata'ālā*. Atas segala limpahan rahmat, taufik, hidayah serta inayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Reformulasi Perhitungan Kemencengan Kiblat Terhadap Realita Jarak Di Muka Bumi” dengan segala kemudahan yang diberikannya. Salawat serta salam semoga selalu terlimpahkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, beserta keluarga, para sahabat dan pengikut-pengikutnya yang telah memberikan suri tauladan dalam kehidupan. Penulis menyadari bahwa penelitian ini dapat diselesaikan tak luput dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan banyak terima kasih terutama kepada:

1. Bapak Dr. Tolkah, MA., selaku pembimbing I, dan bapak Dr. Ahmad Syifaul Anam, MH., selaku pembimbing II, terima kasih atas bimbingan dan arahan yang diberikan dalam penyusunan tesis ini.
2. Kedua orang tua penulis beserta segenap keluarga, atas segala do'a, perhatian, dukungan dan curahan kasih sayang yang tidak dapat penulis ungkapkan dengan untaian kata.
3. Dekan Fakultas Syari'ah dan Hukum UIN Walisongo Semarang, beserta para Wakil Dekan, yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melakukan penelitian dan memberikan fasilitas selama masa perkuliahan.
4. Ketua jurusan S2 Ilmu Falak UIN Walisongo beserta staf-stafnya, terima kasih atas kesabaran dan kebesaran hatinya serta bimbingan dan dukungannya.

5. Kepada Bapak Dr. Eng. Rinto Anugraha NQZ, S.Si., M.Si., selaku penulis buku “Mekanikan Benda Langit” yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis, sehingga penulis bisa menyelesaikan tesis ini.
6. Kepada seluruh dosen penulis yang telah memberikan pemahaman tentang segala macam disiplin ilmu, khususnya dosen-dosen ilmu falak, bapak Drs. H. Slamet Hambali, M.S.I, bapak Dr. H. Ahmad Izzuddin, M.Ag, dan seluruh dosen-dosen maupun tokoh-tokoh ilmu falak yang telah mengenalkan penulis pada dunia ilmu falak dan terus memotivasi penulis untuk terus mendalami ilmu falak ini.
7. Keluarga besar Pondok Pesantren Darul Falah Besongo, khususnya Prof. Dr. KH. Imam Taufiq, M.Ag. dan Prof. Dr. Nyai Hj. Arikahah, M.Ag. beserta seluruh dewan *asatidz* dan *asatidzah*, terima kasih atas ilmu, nasihat, bimbingan dan arahannya.
8. Keluarga besar Pondok Pesantren Lifeskill Daarun Najaah, khususnya Prof. Dr. KH. Ahmad Izzuddin, M.Ag selaku pengasuh, terima kasih atas ilmu, bimbingan dan arahannya.
9. Keluarga besar CSSMoRA UIN Walisongo, MoRAGISTER dan Sahabat-sahabat CRESCENT (Yai Fajri, Mas Irkham, Mas Agus, Mang Rifqi, Mas Abrar, Gus Fadhil, Yai Alaix, Mba Lauha dan Mba Syikma) yang datang dari berbagai penjuru Indonesia, terima kasih atas kebersamaannya selama ini, semua terasa istimewa bersama kalian.
10. Semua pihak yang telah membantu dan memberikan dorongan kepada penulis selama studi di Fakultas Syari’ah dan Hukum UIN Walisongo Semarang.

Tidak ada ucapan yang dapat penulis kemukakan disini atas jasa-jasa mereka, kecuali hanya harapan semoga pihak-pihak yang telah penulis kemukakan di atas selalu mendapat rahmat dan anugrah dari Allah *subhānahu wata ‘ālā*. Demikian tesis yang penulis susun ini sekalipun belum sempurna namun harapan penulis semoga akan tetap bermanfaat dan menjadi sumbangan yang berharga bagi khazanah keilmuan falak.

Semarang, 6 Juni 2024

Penulis,

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Muhammad Luthfi', written in a cursive style.

Muhammad Luthfi

NIM: 2202048013

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
PENGESAHAN TESIS.....	v
NOTA DINAS.....	vi
ABSTRAK	viii
PEDOMAN TRANSLITERASI ARAB-LATIN.....	xi
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xx
DAFTAR GRAFIK.....	xxi
 BAB I: PENDAHULUAN.....	 1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Rumusan Masalah.....	10
C. Tujuan dan Manfaat Penelitian	11
D. Kajian Pustaka	11
E. Metode Penelitian	15
F. Sistematika Penulisan.....	21
 BAB II: TINJAUAN UMUM ARAH KIBLAT DAN KAITANNYA DENGAN KEMENCENGANNYA.....	 23
A. Definisi Arah Kiblat.....	23
B. Dasar Hukum Penentuan Arah Kiblat	28
C. Nilai Toleransi Kemencengan Arah Kiblat Menurut Tokoh-Tokoh Falak.....	34
D. Teori Trigonometri Bola Sebagai Penentuan Kemencengan Arah Kiblat.....	38

BAB III: PERHITUNGAN KEMENCENGAN ARAH KIBLAT DALAM BUKU “MEKANIKA BENDA LANGIT”	48
A. Tinjauan Umum Buku ”Mekanika Benda Langit”.....	48
B. Data-Data Geodesi dalam Buku ”Mekanika Benda Langit”	51
C. Metode Perhitungan Kemencengan Arah Kiblat dalam Buku ”Mekanika Benda Langit”.....	52
D. Analisis Metode Perhitungan Kemencengan Arah Kiblat dalam Buku ”Mekanika Benda Langit”	66
 BAB IV: REFORMULASI PERHITUNGAN KEMENCENGAN KIBLAT TERHADAP REALITAS JARAK DI MUKA BUMI	 74
A. Algoritma Reformulasi Perhitungan Kemencengan Kiblat Terhadap Realitas Jarak Di Muka Bumi.....	74
B. Analisis Keakuratan Hasil Reformulasi Perhitungan Kemencengan Kiblat Terhadap Realitas Di Muka Bumi.....	86
 BAB V: PENUTUP	 117
A. Kesimpulan.....	117
B. Saran.....	118
C. Penutup.....	119
DAFTAR PUSTAKA	120
LAMPIRAN - LAMPIRAN	124
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	127

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbandingan nilai kemencengan kiblat setiap satu derajat Masjid Agung Baiturrahim Kabupaten Gorontalo.....	8
Tabel 1.2 Perbandingan koordinat Ka'bah.....	9
Tabel 1.3 Perbandingan koordinat tempat (Masjid Agung Baiturrahim Kabupaten Gorontalo).....	9
Tabel 3.1 Perbandingan jarak dua tempat di muka bumi antara metode, Google Earth dengan metode dalam buku “Mekanika Benda Langit”	70
Tabel 3.2 Perbandingan hasil nilai kemencengan kiblat pada lokasi yang mempunyai jarak 100 km.....	72
Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 1000 km.....	90
Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 2000 km,	91
Tabel 4.3 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 5000 km.....	93
Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 10000 km.....	94
Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel derajat	

pada jarak 15000 km.....	95
Tabel 4.6 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 19860 km.....	96
Tabel 4.7 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Metode dalam Buku “Mekanikan Benda Langit” dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 100 km.....	98
Tabel 4.8 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Metode dalam Buku “Mekanikan Benda Langit” dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 1000 km.....	98
Tabel 4.9 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Metode dalam Buku “Mekanikan Benda Langit” dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 2000 km.....	99
Tabel 4.10 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Metode dalam Buku “Mekanikan Benda Langit” dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 5000 km.....	99
Tabel 4.11 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel jarak pada kemencengan 1°	101
Tabel 4.12 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel jarak pada kemencengan 4°	103
Tabel 4.13 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Metode dalam Buku “Mekanikan Benda Langit” dengan Google Earth terhadap variabel jarak pada kemencengan 1°	104
Tabel 4.14 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Metode dalam	

Buku “Mekanikan Benda Langit” dengan Google Earth terhadap variabel jarak pada kemencengan 4°	104
Tabel 4.15 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dengan Google Earth terhadap variabel Bujur dan Lintang pada kemencengan 1°	112
Tabel 4.16 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dengan Google Earth terhadap variabel Bujur dan Lintang pada kemencengan 2°	112
Tabel 4.17 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dengan Google Earth terhadap variabel Bujur dan Lintang pada kemencengan 3°	113
Tabel 4.18 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dengan Google Earth terhadap variabel Bujur dan Lintang pada kemencengan 4°	113
Tabel 4.19 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dengan Google Earth terhadap variabel busur derajat pada 68.794101° LU, 138.943982° BB dengan Jarak 10.000 km (kemencengan terjauh)	114
Tabel 4.20 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dengan Google Earth terhadap variabel busur derajat pada 89.997959° LS, 151.611614° BB pada Jarak 12375 km (Kutub Selatan)	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Arah kiblat Jogja dan Tokyo pada peta.....	25
Gambar 2.2 Arah kiblat Jogja dan Tokyo pada Bumi yang bulat.....	26
Gambar 2.3 Lingkaran Toleransi Kiblat Perspektif Muh Ma'rufin Sudibyo.....	37
Gambar 2.4 Lingkaran radian.....	40
Gambar 2.5 Segitiga datar.....	41
Gambar 2.6 Kuadran sudut pada trigonometri.....	43
Gambar 2.7 Segitiga ABC sembarang.....	45
Gambar 2.8 Segitiga bola ABC.....	46
Gambar 2.9 Lingkaran radian.....	56
Gambar 3.1 Titik Koordinat Ka'bah.....	68
Gambar 3.2 Fitur “ruler” (ditunjukkan arah panah)pada <i>Google Earth</i> untuk menentukan jarak dua tempat.....	68
Gambar 3.3 Koordinat lokasi.....	69
Gambar 4.1 Segitiga bola ABC yang menghubungkan titik A, titik B, dan titik C.....	76
Gambar 4.2 Segitiga bola ABC yang menghubungkan titik A (Ka'bah), titik B (tempat kemencengan), dan titik C (lokasi).....	80
Gambar 4.3 Azimuth Kiblat.....	88
Gambar 4.4 Azimuth Kemencengan Kiblat.....	89
Gambar 4.5 Jarak Antara Titik Kemencengan dengan Kiblat Sebenarnya.....	89
Gambar 4.6 Bumi sebagai bola.....	108

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 1000 km.....	91
Grafik 4.2 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 2000 km.....	92
Grafik 4.3 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 5000 km.....	93
Grafik 4.4 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 10000 km.....	94
Grafik 4.5 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 15000 km.....	95
Grafik 4.6 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel derajat pada jarak 19860 km.....	96
Grafik 4.7 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel jarak	

pada kemencengan 1°.....	102
Grafik 4.8 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Google Earth terhadap variabel jarak pada kemencengan 4°.....	103
Grafik 4.9 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Sebelum Reformulasi MBL terhadap variabel jarak pada kemencengan 1°.....	105
Grafik 4.10 Perbandingan Kemencengan Kiblat antara setelah Reformulasi dan Sebelum Reformulasi MBL terhadap variabel jarak pada kemencengan 4°.....	105

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Para ulama' telah menyepakati bahwa hukum menghadap kiblat sebagaimana yang terdapat dalam dalil-dalil *syara'* merupakan salah satu syarat sahnya shalat, sehingga akan batal shalatnya orang yang melaksanakan ibadah shalat tanpa menghadap kiblat.² Masalah kiblat merupakan masalah arah, yakni Ka'bah di Makkah.³ Arah Ka'bah dapat ditentukan dari setiap lokasi atau tempat di muka bumi dengan menggunakan perhitungan dan pengukuran. Oleh sebab itu, perhitungan arah kiblat pada dasarnya adalah perhitungan untuk mengetahui guna menetapkan ke arah mana Ka'bah di Makkah itu dilihat dari suatu tempat di muka Bumi.

Dinamika pergeseran arah kiblat memuncak di Indonesia pada tahun 2010. Salah satu TV swasta memberitakan sekitar 193.000 masjid yang ada di Indonesia ternyata banyak diantaranya arah kiblatnya tidak sesuai.⁴ Dengan isu banyak masjid dan musala yang tidak sesuai arah kiblat menyebabkan Majelis Ulama Indonesia (MUI) mengeluarkan fatwa tentang arah kiblat bagi

² Ahmad Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*, 1st ed. (Semarang: PT Pustaka Rizki Putra, 2012). Hal. 17

³ Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak Dalam Teori Dan Praktik*, 2nd ed. (Jogjakarta: Buana Pustaka, 2005). Hal. 49

⁴ Arwin Juli Rakhmadi Butar-Butar, *Kakbah Dan Problematika Arah Kiblat* (Yogyakarta: Museum Astronomi Islam, 2013). Hal. xi

masyarakat Indonesia.⁵ Dengan lahirnya fatwa MUI Nomor 5 Tahun 2010 tentang Arah Kiblat, menyebabkan semakin marak pengukuran ulang arah kiblat masjid dan mushalla, bahkan kuburan di Indonesia. Laporan hasil pengukuran arah kiblat di kota-kota di Indonesia menggunakan metode dan alat yang bermacam-macam telah banyak dipublikasikan dengan sudut pandang serta pendekatan yang berbeda-beda, diantaranya menggunakan alat-alat seperti tongkat *istiwa'*, *rubu'mujayyab*, kompas, dan theodolite.⁶ Masing-masing alat memiliki tingkat akurasi yang berbeda. Sehingga hasil dari pengukuran menggunakan alat tersebut dalam menentukan arah kiblat memiliki nilai yang berbeda juga.

Bagi masyarakat secara umum dan khususnya bagi akademisi dan peneliti mengetahui nilai konversi derajat busur terhadap realitas jarak di muka bumi dalam persoalan arah kiblat adalah suatu hal yang sangat penting. Mengingat dengan diketahuinya jarak suatu tempat bisa diketahui besaran jauh pelencengan arah kiblat bila terjadi penyimpangan dari yang sebenarnya. Perumusan konversi derajat busur terhadap realitas jarak di muka bumi dalam persoalan arah kiblat bisa dijadikan pertimbangan dalam mengambil kesimpulan terhadap akurat atau melenceng sebuah bangunan masjid dengan arah kiblat. Akan menjadi masalah jika dalam penerapannya di masyarakat tidak ada standarisasi nilai konversi derajat busur terhadap realitas jarak

⁵ Agus Yusrun Nafi', "Verifikasi Fatwa MUI Nomor 03 Tahun 2010 Tentang Arah Kiblat," *Mahkamah* 9.1, no. 1 (2015): h. 52.

⁶ Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*. h. 29

setiap satuan derajat.

Maka dengan adanya ukuran pasti kemencengan di setiap tempat, bisa dijadikan pertimbangan apabila kemencengan kiblat masih dalam toleransi. Dimana dengan adanya konversi ini akan menjadi acuan dalam menetapkan bahwa arah kiblat sebuah masjid sudah pas atau melenceng. Sehingga bisa mencegah konflik yang terjadi pada saat pengkalibrasian arah kiblat suatu bangunan Masjid.

Penelitian ini berangkat dari asumsi di masyarakat bahwa nilai kemencengan Ka'bah setiap satu derajat adalah 111 km, yang berasal dari besar keliling bumi (40.000 km) dibagi satu putaran lingkaran (360 derajat), sehingga kurang akurat jika digunakan untuk menghitung seluruh tempat di permukaan bumi yang berbentuk bola, bahkan elipsoidal. Padahal dari hasil *pra-riset* penulis ditemukan bahwa setiap tempat mempunyai nilai kemencengan Ka'bah yang berbeda-beda, disesuaikan dengan lintang, bujur, dan jaraknya dengan Ka'bah. Sebagai contoh *pra-riset* dari penulis bahwa Uighur-Abad, Kirgistan yang mempunyai koordinat $40^{\circ} 34' 56.41''$ LU, $72^{\circ} 23' 19.77''$ BT dengan jarak ke Ka'bah sejauh 3.731,63 km, mempunyai kemencengan setiap satu derajat sebesar adalah 61,26 km. Kemudian Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur dengan koordinat $8^{\circ} 42' 10.07''$ LS, $121^{\circ} 4' 9.57''$ BT dengan jarak ke Ka'bah sejauh 9.470 km mempunyai kemencengan setiap satu derajat sebesar 109,13 km. Sehingga Uighur-Abad, Kirgistan dan Kabupaten Ngada, Nusa Tenggara Timur memiliki selisih nilai kemencengan arah kiblat setiap satu

derajat sebesar 47,53 km. Oleh sebab itu sangat jelas bahwa setiap tempat mempunyai nilai kemencengan Ka' per satu derajat yang berbeda-beda.

Dewasa ini banyak ditemukan literatur-literatur yang menyajikan terkait langkah-langkah dalam menghitung pelencengan arah kiblat. Diantaranya adalah buku yang ditulis oleh Rinto Anugraha dengan judul “Mekanika Benda Langit”. Buku “Mekanika Benda Langit” merupakan kumpulan tulisan Rinto Anugraha tentang ilmu hisab/ ilmu falak, disertai dengan beberapa tambahan ilmu astronomi. Di dalam buku ini dijelaskan tentang bumi, koordinat bola, serta transformasi koordinat antara ekliptika geosentrik, ekuator geosentrik dan horisontal. Dibahas pula cara menghitung jarak antara dua tempat di permukaan bumi dan cara menghitung sudut azimuth arah kiblat. Buku ini cukup populer di kalangan pegiat falak, bahkan tidak jarang menjadi rujukan dalam berbagai jurnal karena pembahasannya yang populer dan diberikan rumus serta angka-angka perhitungannya.

Pada pembahasan jarak antara dua tempat di permukaan bumi dalam buku “Mekanika Benda Langit” dijelaskan cara untuk mengetahui kemencengan arah kiblat setiap satu derajat dengan rumus $s \cdot 1 \cdot \pi / 180$.⁷ Sebelum menghitung rumus kemencengan arah kiblat setiap satu derajat, maka yang perlu diketahui terlebih dahulu adalah jarak kedua tempat yaitu Ka' dan tempat yang dicari arah kiblatnya. Di dalam buku “Mekanika Benda Langit”, Rinto Anugraha menawarkan dua rumus dalam mengetahui jarak kedua

⁷ Rinto Anugraha, “Mekanika Benda Langit,” 2012, 1–200. h. 32

tempat. Rumus pertama adalah rumus sederhana yang mengasumsikan bahwa bumi berbentuk bola. Sedangkan rumus kedua adalah rumus yang lebih kompleks dengan asumsi bahwa bumi berbentuk elipsoidal.⁸ Berbeda dengan rumus pertama, rumus kedua ini akan memberikan hasil yang lebih tepat. Ketinggian tempat diasumsikan 0 km diatas permukaan laut untuk semua tempat. Tentu saja dalam realitanya, Ka'bah dan lokasi tempat yang dicari arah kiblatnya memiliki ketinggian tertentu dari permukaan laut.

Penulis menggunakan *google earth* sebagai acuan akurasi karena sistem koordinat internal yang digunakan *google earth* adalah koordinat geografis (lintang/bujur) pada datum *World Geodetic System 1984 (WGS84)*, yaitu datum yang sama yang digunakan oleh GPS.⁹ Sehingga tidak diragukan lagi keakuratannya. Muammar Al-Khairi dalam penelitiannya “Uji Akurasi Citra *google earth* Dalam Menentukan Arah Kiblat Masjid Di Kecamatan Langsa Timur” menyimpulkan bahwa penggunaan *google earth* dalam penentuan arah kiblat tergolong akurat. Namun dalam penggunaannya, keakurasian *google earth* juga dipengaruhi oleh kesalahan pengguna (*human error*), karena ketika suatu titik yang diambil pada suatu wilayah berubah satu cm saja, maka akan menimbulkan kemencengan sesuai dengan perubahan tadi.

Google earth adalah program *virtual globe*, peta, dan informasi geografis yang awalnya disebut *earth viewer 3D*, dan

⁸ Anugraha. h. 30

⁹ Nagi Zomrawi Mohammed, Ahmed Ghazi, and Hussam Eldin Mustafa, “Positional Accuracy Testing of Google Earth” 1984 (2013): 6–9.

dibuat oleh Keyhole, Inc, sebuah perusahaan yang didanai *Central Intelligence Agency* (CIA) yang diakuisisi oleh *Google* pada tahun 2004. Program ini memetakan Bumi dengan superimposisi gambar diperoleh dari citra satelit, foto udara dan globe GIS 3D. *Google earth* menggunakan data model elevasi digital (DEM) yang dikumpulkan oleh *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) NASA.¹⁰ Nilai besaran yang diperlukan untuk pengukuran seperti nilai lintang dan bujur lokasi, gambaran arah bangunan, jarak lokasi ke Ka'bah dan bahkan nilai azimuth kiblat dapat divisualisasikan melalui jendela peta pada *google earth*.¹¹ Sehingga, *google earth* dapat digunakan untuk mengetahui arah kiblat suatu tempat/kota di muka Bumi.¹² Selain itu *google earth* juga bisa dimanfaatkan untuk mengetahui apakah arah dari sebuah bangunan musala atau masjid sudah mengarah kiblat dengan benar atau belum. *Google earth* memungkinkan penggunaanya dapat memperoleh informasi seperti bentuk permukaan bumi, termasuk bentuk pegunungan, bentuk liku-liku sungai, jalan, dan juga bahkan kedalam air laut yang ditampilkan dengan gambar virtual satelit permukaan bumi dengan resolusi yang bisa diatur.¹³ Dengan mengetahui lokasi tertentu, seseorang dapat membuat rute, peta, area, menghitung jarak, dan meng-*overlay*-kan beberapa foto satelit.¹⁴ Untuk mengukur jarak

¹⁰ Mohammed, Ghazi, and Mustafa.

¹¹ Setiawan & Putraga, *Stellarium & Google Earth (Simulasi Waktu Salat & Arah Kiblat)* (Medan: OIF UMSU, 2018). h. 161

¹² Ahmad Izzuddin, *Kajian Terhadap Metode-Metode Penentuan Arah Kiblat Dan Akurasinya* (Semarang: Kementerian Agama Republik Indonesia, 2012). h. 86

¹³ Nur Islami, "Bagaimana Google Earth Mengukur Jarak," *Jurnal Geliga Sains* 5, no. 1 (2017).

¹⁴ Mustofa Kamal, "Teknik Penentuan Arah Kiblat Menggunakan Aplikasi

lokasi Ka'bah dan lokasi tempat yang dicari arah kiblatnya menggunakan ikon “*ruler*”.¹⁵ Di dalamnya tidak hanya informasi berupa jarak, namun juga azimuth arah kiblat. Sehingga dengan mendapatkan data jarak dan azimuth arah kiblat, maka bisa diketahui berapa nilai kemencengan setiap satu derajat di suatu tempat.

Berdasarkan *pra-riset* dari penulis ditemukan perbedaan nilai kemencengan satu derajat antara menggunakan metode perhitungan Buku “Mekanika Benda Langit” karya Rinto Anugraha dengan menggunakan aplikasi *google earth*. Penelitian yang dilakukan oleh Ismail dkk yang berjudul ”Toleransi Pelencengan Arah Kiblat di Indonesia Perspektif Ilmu Falak dan Hukum Islam” menemukan bahwa kemencengan arah kiblat satu derajat Masjid Agung Baiturrahim Kabupaten Gorontalo menggunakan rumus dalam Buku “Mekanika Benda Langit” adalah sebesar 162,20 km. Sedangkan hasil pengukuran di *google earth* ditemukan bahwa kemencengan arah kiblat satu derajat Masjid Agung Baiturrahim Kabupaten Gorontalo adalah sebesar 110,26 km. Selain itu, ada perbedaan pola pada kedua metode tersebut. Pada metode perhitungan dalam buku “Mekanika Benda Langit” ditemukan pola, bahwa semakin jauh jarak suatu lokasi tempat dengan Ka'bah maka semakin tinggi nilai kemencengan ka'bar setiap satu derajat. Hal itu berbeda dengan metode

Google Earth Dan Kompas Kiblat RHI,” *Jurnal Madaniyah* Volume 2, no. IX (2015).

¹⁵ Setiawan & Putraga, *Stellarium & Google Earth (Simulasi Waktu Salat & Arah Kiblat)*. h. 185

pengukuran *google earth*, dimana tidak semua lokasi yang jaraknya semakin jauh dengan Ka'bah semakin besar nilai kemencengan setiap satu derajatnya.

Meskipun metode perhitungan dalam buku “Mekanika Benda Langit” ini telah populer dan banyak dijadikan sebagai refrensi dalam jurnal, namun dalam perhitungan kemencengan arah kiblat masih memunculkan hasil yang tidak akurat. Dari perbandingan metode perhitungan dalam buku “Mekanika Benda Langit” dengan metode pengukuran yang akurat seperti *google earth* muncul selisih yang cukup besar yaitu 51,95 km, seperti dalam tabel 1.1. Dengan mempertimbangkan tapal batas tanah haram sebagai kiblat bagi orang di luar makkah dari ujung utara ke selatan yang hanya 17,29 km.¹⁶

Metode	Hasil
<i>Google Earth</i>	162,20 km
Buku “Mekanika Benda Langit”	110,26 km
Selisih	51,95 km

Tabel 1.1 Perbandingan nilai kemencengan kiblat setiap satu derajat Masjid Agung Baiturrahim Kabupaten Gorontalo

Penyebab ketidakakuratan hasil perhitungan kemencengan kiblat setiap satu derajat menggunakan rumus dalam buku “Mekanika Benda Langit” ini mempunyai dua kemungkinan. Yang

¹⁶ Agung Laksana, “Telaah Matematis Variasi Lebar Arah Kiblat Di Wilayah Indonesia,” *El-Falaky* 4, no. 1 (2017): 9–15.

pertama, bisa jadi disebabkan karena perbedaan data koordinat Ka'bah dan tempat, dan yang kedua, bisa jadi karena kesalahan metode perhitungan dalam buku “Mekanika Benda Langit”. Kemungkinan pertama tampaknya tidak terbukti sebagai penyebab ketidakakuratan dari rumus kemencengan setiap satu derajat ini, karena jika dibandingkan, antara data koordinat Ka'bah dan tempat aplikasi *google earth* dengan data dari metode perhitungan ini tidak menghasilkan selisih yang besar. Penggunaan *google earth* sebagai acuan untuk menganalisa keakuratan dari koordinat Ka'bah dan tempat dikarenakan *google earth* mempunyai data yang dianggap paling akurat.

Koordinat Ka'bah	Lintang	Bujur
<i>Google Earth</i>	21° 25' 21" LU	39° 49' 34" BT
Metode perhitungan	21° 25' 21" LU	39° 49' 34" BT
Selisih	0	0

Tabel 1.2 Perbandingan koordinat Ka'bah

Koordinat Tempat	Lintang	Bujur
<i>Google Earth</i>	00° 32' 15" LU	123° 03' 37" BT
Metode perhitungan	00° 32' 17" LU	123° 03' 37" BT
Selisih	2"	0

Tabel 1.3 Perbandingan koordinat tempat (Masjid Agung Baiturrahim Kabupaten Gorontalo)

Dari perbandingan data koordinat Ka'bah dan tempat antara *google earth* dengan metode perhitungan sebagaimana dalam tabel 1 dan 2, tampak bahwa data koordinat lintang dan bujur Ka'bah dan tempat adalah sama, kecuali pada lintang tempat yang hanya berbeda dalam satuan detik saja. Selisih tersebut terlalu kecil untuk menghasilkan perbedaan jarak hingga 51,95 km, sehingga data koordinat metode perhitungan ini bisa dikatakan sudah sangat akurat. Dengan akuratnya data tersebut, maka bisa disimpulkan bahwa ketidakakuratan hasil perhitungan dari rumus kemencengan dalam buku "Mekanika Benda Langit" ini tidak terletak pada data koordinat Ka'bah dan tempat-nya, melainkan terletak pada rumus atau metode perhitungannya.

Berangkat dari dinamika tersebut, persoalan arah kiblat di Indonesia masih sangat relevan untuk dibahas. Formulasi nilai kemencengan arah kiblat setiap satu derajat membutuhkan pengkajian yang lebih mendalam untuk mengetahui penyebab ketidakakuratnya metode perhitungan tersebut. Tulisan ini mencoba menemukan formulasi perhitungan yang tepat, sehingga hasil reformulasi metode perhitungan kemencengan arah kiblat setiap satu derajat terhadap realitas di muka bumi bisa lebih akurat. Oleh karena itu, peneliti akan melakukan penelitian dengan judul **"Reformulasi Perhitungan Kemencengan Kiblat Terhadap Realitas Jarak di Muka Bumi"**.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, peneliti dapat merumuskan masalah sebagai berikut:

1. Mengapa metode perhitungan kemencengan kiblat menggunakan rumus dalam buku “Mekanika Benda Langit” tidak akurat?
2. Bagaimana reformulasi metode perhitungan kemencengan arah kiblat yang akurat?

C. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1. Tujuan

- a) Mengetahui sebab tidak akuratnya metode perhitungan kemencengan kiblat menggunakan rumus dalam buku “Mekanika Benda Langit”.
- b) Memberikan hasil yang akurat dengan melakukan reformulasi metode perhitungan kemencengan arah kiblat.

2. Manfaat

- a) Teoritis: penelitian ini diharapkan dapat menjaga eksistensi, menambah dan mengembangkan khazanah ilmu falak khususnya dalam arah kiblat yang sejalan dengan perkembangan keilmuan, teknologi informasi dan komunikasi pada saat ini.
- b) Praktis: penelitian ini diharapkan memberikan pemahaman kepada masyarakat, akademisi dan peneliti dalam hal dalam perumusan atau mengambil kesimpulan terhadap akurat atau melenceng sebuah bangunan masjid dengan arah kiblat.

D. Kajian Pustaka

Kajian pustaka atau yang sering dikenal juga sebagai tinjauan pustaka merupakan bagian penting dalam penelitian. Pada bagian ini peneliti menjelaskan tentang kajian referensi yang berkaitan langsung dengan topik penelitian, sehingga dapat diketahui problem yang dipilih itu perlu untuk diteliti. Selanjutnya dapat diketahui juga perbedaan penelitian yang akan dilakukan dengan yang sudah dilakukan, sehingga dapat ditentukan bahwa penelitian yang akan dilakukan itu untuk menguatkan, menambahkan ataukah membantah hasil penelitian.¹⁷

Penelitian pertama, Jurnal Ahmad Izzuddin dengan judul "*Typology jihatul Ka'bah on qibla direction of Mosques in Semarang*". Dalam penelitian tersebut membahas tipologi *jihatul Ka'bah* pada arah kiblat masjid di Semarang. Hasil dari penelitian tersebut menjelaskan bahwa sebuah masjid dianggap masih akurat bila arah bangunan masjid tidak melenceng di atas 2° busur dari arah Ka'bah.¹⁸ Penulisan jurnal tersebut berkontribusi mendorong penelitian lanjutan. Maka penelitian ini melanjutkan terkait berapa besar kemencengan setiap satu derajatnya.

Penelitian kedua yang dilakukan oleh Achmad Mulyadi dengan judul "*Akurasi Arah Kiblat Masjid-Masjid Di Kabupaten Pamekasan*". Dalam penelitian tersebut membahas akurasi arah kiblat masjid-masjid di Pamekasan. Hasil dari penelitian tersebut

¹⁷ Jahratin, "Karya Tulis Ilmiah," *Karya Tulis Ilmiah*, 2022, www.smapda-karangmojo.sch.id. h. 29

¹⁸ Ahmad Izzuddin, "Typology Jihatul Ka'bah on Qibla Direction of Mosques in Semarang," *Ulul Albab: Jurnal Studi Dan Penelitian Hukum Islam* 4, no. 1 (2020): 1, <https://doi.org/10.30659/jua.v4i1.12186>.

menjelaskan bahwa kesalahan penentuan arah kiblat beberapa derajat dari arah yang jauh dari kota Makkah, seperti Kota Pamekasan dengan kesalahan 2° ke utara dari arah sebenarnya, mengakibatkan penyimpangan arah kiblat ± 300 km dari Ka'bah ke utara. Hal tersebut masih bisa ditolerir karena belum keluar dari wilayah Saudi Arabia, kesalahan tidak bisa ditolerir jika mencapai 3° lebih atau kurang ke utara, karena akan mengakibatkan keluarnya arah kiblat dari wilayah Saudi Arabia.¹⁹ Persamaan dengan penelitian ini adalah sama-sama menggunakan metode perhitungan untuk mengetahui kemencengan arah kiblat dalam kilometer. Sedangkan letak perbedaannya adalah formulasi yang digunakan penulis dan penelitian ini berbeda. Kemudian penulis melakukan uji akurasi menggunakan *google earth* sedangkan dalam penelitian ini tidak.

Penelitian ketiga yang dilakukan oleh Yusuf Somawinata yang berjudul “Penentuan Arah Kiblat dan Toleransi Penyimpangan Arah Kiblatnya”. Dalam penelitian tersebut membahas tentang toleransi penyimpangan arah kiblat di kota Serang menggunakan metode perhitungan. Hasil dari penelitian tersebut menjelaskan bahwa toleransi arah kiblat di kota Serang relatif kecil. Semakin jauh jarak kota dari Tanah Haram, semakin kecil toleransi penyimpangan arah kiblat.²⁰ Persamaan dengan

¹⁹ Achmad Mulyadi, “Akurasi Arah Kiblat Masjid-Masjid Di Kabupaten Pamekasan,” *Jurnal Penelitian Ilmu Sosial Dan Keagamaan Islam* 10, no. 1 (2013): 71–100.

²⁰ “Penentuan Arah Kiblat Dan Toleransi Penyimpangan Arah Kiblatnya,” *Al-Hikam* 3 (2009). No.2

penelitian ini adalah sama-sama menggunakan metode perhitungan untuk mengetahui kemencengan arah kiblat, namun dengan formulasi yang berbeda. Selain itu, penulis melakukan uji akurasi menggunakan *google earth* sedangkan dalam penelitian ini tidak.

Penelitian yang keempat, yang dilakukan Ismail dkk yang berjudul "Toleransi Pelencengan Arah Kiblat di Indonesia Perspektif Ilmu Falak dan Hukum Islam". Dalam penelitian tersebut membahas tentang toleransi pelencengan arah kiblat. Hasil dari penelitian tersebut menyimpulkan bahwa ada dua macam jenis toleransi arah kiblat, yaitu toleransi secara matematis dan toleransi secara sosiologis. Secara matematis, toleransi terdapat pada kebolehan terhadap menghadap tiga arah, yaitu arah Ka'bah, arah Masjidilharam, dan arah tanah haram. Secara sosiologis, toleransi pelencengan arah kiblat 6° busur ke kiri Ka'bah atau ke kanan Ka'bah.²¹ Persamaan dengan penelitian ini adalah sama-sama menggunakan metode perhitungan untuk mengetahui kemencengan arah kiblat dengan formulasi yang sama. Sedangkan letak perbedaannya adalah penulis melakukan reformulasi serta uji akurasi menggunakan *google earth* sedangkan dalam penelitian ini tidak.

Penelitian ini tergolong penelitian yang baru secara substansial, karena penelitian sebelumnya kebanyakan membahas

²¹ Ismail Ismail, Dikson T. Yasin, and Zulfiah, "Toleransi Pelencengan Arah Kiblat Di Indonesia Perspektif Ilmu Falak Dan Hukum Islam," *Al-Mizan* 17, no. 1 (2021): 115–38, <https://doi.org/10.30603/am.v17i1.2070>.

akurasi arah kiblat dan masih jarang yang membahas batasan toleransi kemencengan arah kiblat. Perbedaan penelitian ini dengan penelitian batasan toleransi kemencengan arah kiblat yang lain adalah kebanyakan penelitian lain menjelaskan tentang toleransi arah kiblat menggunakan metode perhitungan tanpa melakukan uji akurasi. Uji akurasi penting dilakukan, supaya bisa diketahui sejauh mana akurasi dari formulasi metode perhitungan yang digunakan. Maka dari itu, sangatlah penting untuk dikaji secara mendalam terakut reformulasi metode perhitungan dalam mengetahui kemencengan arah kiblat yang lebih akurat.

E. Metode Penelitian

Metode Penelitian merupakan cara ilmiah yang digunakan untuk mendapatkan data yang valid dengan tujuan dapat ditemukan, dikembangkan dan dibuktikan, sehingga pada gilirannya dapat digunakan juga untuk memahami, memecahkan suatu masalah.²² Adapun metode yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Jenis dan Pendekatan

Penelitian ini termasuk dalam penelitian kualitatif. Penelitian kualitatif adalah penelitian yang secara deskriptif dan cenderung menggunakan analisis dalam penelitiannya.²³ Adapun alasan penggunaan jenis penelitian ini berkaitan dengan maksud atau tujuan dari penelitian ini, yaitu untuk

²² Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D* (Bandung: PT. Alfabeta, 2016). h. 6

²³ Leni dkk Anggraeni, *Metodologi Penelitian* (Indramayu: Adab, 2023). h. 11

mendapatkan pemahaman mendalam tentang sebab tidak akuratnya hasil perhitungan kemecengan setiap satu derajat menggunakan rumus dalam buku "Mekanika Benda Langit", padahal rumus tersebut sudah populer di kalangan pegiat falak dan digunakan sebagai refrensi dalam jurnal-jurnal.

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah *library research* atau penelitian pustaka karena bahan-bahan yang dikaji dan yang menjadi sumber masalah dari penelitian ini berupa karya ilmiah, yaitu buku atau jurnal yang memuat data dan metode perhitungan kemecengan setiap satu derajat menggunakan rumus dalam buku "Mekanika Benda Langit". Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan multidisipliner karena dalam menyelesaikan permasalahan penelitian ini, penulis melibatkan ilmu matematika, geodesi dan statistika. Pendekatan ilmu matematika digunakan untuk mencari reformulasi metode perhitungan kemecengan arah kiblat setiap satu derajat terhadap realitas jarak di muka bumi menggunakan hukum trigonometri. Pendekatan geodesi digunakan untuk menjelaskan citra bumi dalam aplikasi *google earth*. Pendekatan statistika digunakan untuk menganalisis dan menginterpretasikan data yang dihasilkan dalam penelitian ini.

2. Sumber Data

a) Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari subjek

penelitian secara langsung.²⁴ Data primer dalam penelitian ini diperoleh dari buku “Mekanika Benda Langit” karya Rinto Anugraha yang membahas tentang jarak dua tempat di muka bumi serta rumus kemencengan setiap satu derajatnya. Selain dokumen tersebut penulis juga melakukan wawancara langsung dengan Rinto Anugraha untuk mendapatkan informasi tambahan terkait penjelasan rumus kemencengan setiap satu derajat dalam buku “Mekanika Benda Langit”. Selain itu, data primer juga diperoleh dari aplikasi *google earth*, dengan memanfaatkan ikon *ruler* untuk mengukur jarak serta kemencengan setiap satu derajat terhadap realitas jarak di muka bumi. Adapun data koordinat yang akan diolah diambil dari aplikasi *google earth*.

b) Data sekunder

Data sekunder merupakan data pendukung dari data primer. Sumber data sekunder yang penulis gunakan berasal dari karya ilmiah seperti buku dan jurnal. Adapun dalam melakukan reformulasi rumus, penulis gunakan buku “Kajian Terhadap Metode-Metode Arah Kiblat Dan Akurasinya” karya Ahmad Izzuddin, “Ilmu Falak Praktis” karya Abd. Salam Nawawi dan “Studi Falak dan Trigonometri” karya Luthfi Adnan Muzamil. Ketiga buku ini memuat penjelasan tentang trigonometri bola yang

²⁴ Leli Angraeni, *Metodologi Penelitian*, 1st ed. (Lampung: Adab, 2023). h. 78

digunakan dalam penentuan nilai kemencengan arah kiblat setiap satuan derajat terhadap realitas di muka bumi. Selain itu penulis juga menggunakan referensi dari beberapa jurnal yang membahas tentang rumus kemencengan arah kiblat sebagai penunjang dalam penelitian ini.

3. Fokus Penelitian

Dalam penelitian ini penulis membatasi masalah pada reformulasi rumus kemencengan arah kiblat dalam satuan derajat terhadap realitas jarak di muka bumi. Berkaitan dengan kajian berapa nilai toleransi kemencengan arah kiblat dalam perspektif falak, bukan menjadi fokus dalam penelitian ini.

4. Teknik Pengumpulan Data

a) Dokumentasi

Dalam proses pengumpulan data pada penelitian ini, peneliti menggunakan teknik dokumentasi. Untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam penelitian, penulis memperoleh dari telaah kajian sumber-sumber berupa buku dan jurnal yang membahas metode penghitungan kemencengan arah kiblat setiap satu derajat, terutama buku yang memuat informasi primer dari penelitian ini yaitu buku “Mekanika Benda Langit” karya Rinto Anugraha. Dan mengkaji secara mendalam kegunaan aplikasi *google earth* dalam hal pengukuran kemencengan setiap satuan derajat. Serta beberapa dokumen pendukung termasuk buku yang memuat

penjelasan tentang trigonometri bola seperti buku “Kajian Terhadap Metode-Metode Arah Kiblat Dan Akurasinya” karya Ahmad Izzuddin, buku “Ilmu Falak Praktis” karya Abd. Salam Nawawi, dan “Studi Falak dan Trigonometri” karya Luthfi Adnan Muzamil.

b) Wawancara

Wawancara dilakukan sebagai data pendukung / tambahan peneliti dalam memahami isi dari buku “Mekanika Benda Langit” serta aplikasi *google earth* . Teknik wawancara yang digunakan dalam penelitian ini adalah wawancara tidak terstruktur dimana peneliti tidak menggunakan pedoman wawancara yang telah tersusun secara sistematis dan lengkap untuk pengumpulan datanya. Pedoman wawancara yang digunakan hanya berupa garis-garis besar permasalahan yang akan ditanyakan.²⁵ Wawancara dilakukan kepada Rinto Anugraha selaku penulis dari buku yang berjudul “Mekanika Benda Langit” untuk mencari penjelasan terkait rumus yang digunakan dalam menentukan nilai kemencengan setiap satu derajat.

5. Teknik Analisis Data

Teknik analisis yang penulis gunakan dalam menganalisis data-data yang telah terkumpul dalam penelitian ini adalah statistik deskriptif, yaitu statistik yang digunakan untuk menganalisis data dengan cara mendeskripsikan atau

²⁵ Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D* (Bandung: PT. Alfabeta, 2011). H. 140

menggambarkan data yang telah terkumpul sebagaimana adanya tanpa bermaksud membuat kesimpulan yang berlaku untuk umum atau generalisasi.²⁶ Ada beberapa macam metode perhitungan dalam menentukan kemecengan setiap satuan derajat, diantaranya adalah menggunakan rumus yang ada dalam buku "Mekanika Benda Langit" karya Rinto Anugraha. Penulis akan menjabarkan perhitungan kemecengan setiap satuan derajat menggunakan rumus dalam buku "Mekanika Benda Langit" secara sistematis guna mendapat gambaran mengenai pola perhitungannya.

Selanjutnya penulis akan menganalisis perhitungan kemecengan setiap satuan derajat menggunakan rumus dalam buku "Mekanika Benda Langit" tersebut dengan membandingkan metode perhitungannya dengan metode yang selama ini dianggap paling tepat untuk mencari nilai kemecengan setiap satuan derajat, dalam hal ini penulis menggunakan metode pengukuran menggunakan aplikasi *Google earth* sebagai acuan untuk menganalisa metode perhitungan kemecengan setiap satuan derajat menggunakan rumus dalam buku "Mekanika Benda Langit" tersebut. Setelah mendapatkan gambaran tentang sebab tidak akuratnya rumus tersebut, penulis akan mereformulasi atau merumuskan ulang perhitungan tersebut dengan acuan hukum trigonometri bola, agar perhitungan kemecengan setiap

²⁶ Sugiyono. Hal. 147

satuan derajat dalam buku "Mekanika Benda Langit" ini dapat menghasilkan nilai yang akurat.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan bertujuan untuk membantu mempermudah pemahaman terhadap penelitian ini, secara garis besar penelitian ini disusun atas lima Bab, antara lain:

Bab pertama, di dalam bab ini peneliti akan memaparkan bagian pendahuluan yang meliputi: latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, kajian pustaka, metodologi penelitian dan terakhir sistematika penulisan.

Bab kedua, di dalam bab ini akan dibahas seputar tinjauan umum seputar arah kiblat dan kaitannya dengan kemencengannya, meliputi: definisi arah kiblat, dasar hukum arah kiblat dengan dalil al-Qur'an dan hadis, nilai toleransi kemencengan arah kiblat menurut tokoh-tokoh falak, dan teori trigometri bola sebagai penentuan kemencengan arah kiblat.

Bab ketiga, pada bab ini akan dibahas seputar perhitungan kemencengan arah kiblat dalam buku "Mekanika Benda Langit" meliputi: tinjauan umum buku "Mekanika Benda Langit" karya Rinto Anugraha, data data geodesi dalam buku "Mekanika Benda Langit", metode perhitungan kemencengan arah kiblat dalam buku "Mekanika Benda Langit", dan analisis metode perhitungan kemencengan arah kiblat dalam buku "Mekanika Benda Langit".

Bab keempat, dalam bab ini akan dibahas reformulasi kemencengan arah kiblat setiap satuan derajat terhadap realitas jarak di muka bumi, meliputi: algoritma reformulasi perhitungan

kemencengan kiblat terhadap realitas jarak di muka bumi dengan mengetahui jarak dua tempat dan menggunakan hukum trigonometri, analisis keakuratan hasil reformulasi perhitungan kemencengan kiblat terhadap realitas di muka bumi dengan variabel jarak dan busur derajat.

Bab kelima, pada bab ini akan dibahas tentang penutup yang meliputi kesimpulan, saran dan penutup dari penelitian ini.

BAB II

TINJAUAN UMUM ARAH KIBLAT DAN KAITANNYA DENGAN KEMENCENGANNYA

A. Definisi Arah Kiblat

Dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia kata arah berarti jurusan, tujuan dan maksud. Imam Syafi'i berpandangan bahwa menentukan arah kiblat dilakukan dengan itikad yang kuat dan melalui arah yang terdekat. Senada dengan itu, Saadoeddin Djambek, memberi arti menghadap kiblat adalah jarak terdekat yang diukur melalui lingkaran besar pada permukaan bola bumi. Ada yang memakai kata *jiḥād*, *syatrah* dan *azimuth*.²⁷

Abdul Aziz Dahlan dan kawan-kawan mengartikan kiblat sebagai bangunan Ka'bah atau arah yang dituju kaum muslimin dalam melaksanakan sebagian ibadah. Sedangkan Harun Nasution, mendefinisikan kiblat sebagai arah untuk menghadap pada saat waktu shalat. Sementara Mochtar Effendy berpendapat kiblat sebagai arah shalat, arah Ka'bah di kota Makkah. Departemen Agama Republik Indonesia mendeskripsikan kiblat sebagai suatu arah tertentu bagi seluruh muslimin untuk mengarahkan wajahnya dalam melaksanakan shalat.²⁸ Sedangkan yang dimaksud kiblat menurut Slamet Hambali adalah arah menuju Ka'bah (Makkah) lewat jalur terdekat yang mana setiap muslim dalam mengerjakan shalat harus menghadap ke arah

²⁷ Afrian Riza Mustaqim, *Ilmu Falak*, 1st ed. (Banda Aceh: Syiah Kuala University Press, 2021). Hal. 54

²⁸ Kementerian Agama RI, *Ilmu Falak Praktik*, 2013. Hal. 19

tersebut.²⁹ Muhyiddin Khazin memberikan pengertian arah kiblat sebagai arah atau jarak terdekat sepanjang lingkaran besar yang melewati ke Ka'bah (Makkah) dengan tempat kota yang bersangkutan.³⁰

Nurmal Nur memberikan definisi kiblat sebagai arah yang menuju ke Ka'bah di Masjidil Haram Makkah, dalam hal ini seorang muslim wajib menghadapkan mukanya tatkala ia mendirikan shalat atau dibaringkan jenazahnya di liang lahat.³¹ Dari berbagai definisi di atas, dapat disimpulkan bahwa Kiblat merupakan arah terdekat menuju Ka'bah atau Baitullah yang berada di kota suci Makkah. Setiap orang muslim melaksanakan ibadah wajib menghadap ke Ka'bah. Semua wilayah di seluruh dunia dapat ditemukan arah Ka'bahnya.

Dalam *Glossary of the Mapping Sciences*, (t.th.: 153), kata arah didefinisikan : "*direction is a line leading to a place or point without the distance information*", yakni sebuah garis yang menunjukkan atau mengantarkan ke suatu wilayah atau titik dengan tanpa informasi jarak.³² Kriteria tersebut dapat dipenuhi dengan mudah dalam kasus permukaan bidang datar, namun pada permukaan bola seperti bumi kriteria ini sulit diterapkan. Selain itu, keduanya juga memiliki hasil yang berbeda pada beberapa tempat, sabagai contoh arah kiblat Tokyo, Jepang dan Jogja,

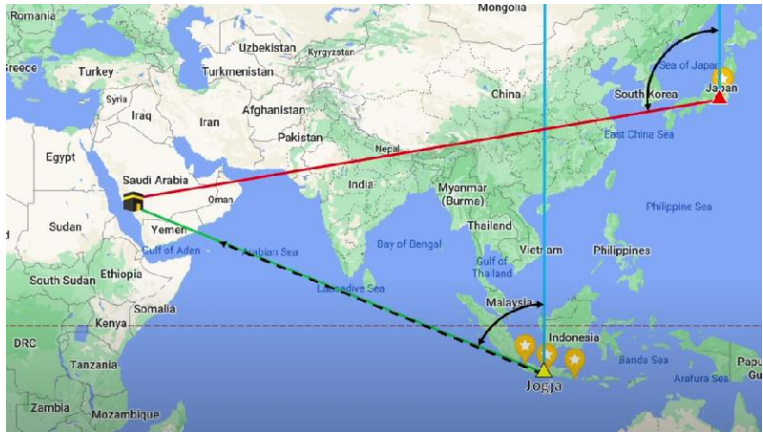
²⁹ Slamet Hambali, *Ilmu Falak I (Tentang Penentuan Awal Waktu Sholat Dan Penentuan Arah Kiblat Di Seluruh Dunia)*, n.d. hal. 84

³⁰ Khazin, *Ilmu Falak Dalam Teori Dan Praktik*. Hal. 3

³¹ Kementerian Agama RI, *Ilmu Falak Praktik*. 20

³² Ahmad Izzuddin, "METODE PENENTUAN ARAH KIBLAT DAN AKURASINYA," 2010, 759–811.

Indonesia berikut ini:



Gambar 2.1 Arah Kiblat Jogja (garis hijau) dan Tokyo (garis merah) pada Peta

Jika dilihat dari peta yang datar maka arah kiblat Jogja adalah ke arah barat serong ke utara (barat laut), dalam hal ini peta menunjukkan kiblat yang benar meskipun kurang akurat. Sedangkan jika dilihat dari peta yang sama, arah kiblat Tokyo adalah ke arah barat serong ke selatan (barat daya), seperti pada gambar 2.1. Sehingga peta datar menunjukkan arah kiblat Jogja dan Tokyo adalah berbeda.



Gambar 2.2 Arah Kiblat Jogja dan Tokyo pada Bumi yang Bulat Menggunakan *Google Earth*

Namun, akan berbeda setelah dilihat dari permukaan bola seperti bumi, ternyata arah kiblat Tokyo dan Jogja adalah sama. Seperti pada gambar 2.2, arah kiblat keduanya adalah sama-sama ke arah barat laut. Nilai azimuth Jepang dan Jogja juga hampir sama, Jepang mempunyai nilai azimuth $293,1^{\circ}$ dari utara, dan Jogja mempunyai nilai azimuth $294,6^{\circ}$ dari utara.

Hasil arah kiblat pada peta datar dan permukaan bola berbeda dikarenakan peta adalah hasil konversi objek yang tadinya di bidang lengkung (bola) ke bidang datar, sehingga pada peta datar terdapat distorsi dan tidak menampilkan situasi yang sebenarnya. Oleh karenanya peta datar tidak selalu bisa dijadikan acuan untuk menentukan arah kiblat. Pada peta datar, garis tersebut digunakan dalam teori navigasi. Arah yang dihasilkan dari teori navigasi adalah tetap, sehingga sudut azimuth di sepanjang garis tersebut adalah sama. Garis pada teori navigasi populer dengan

istilah garis *loxodrom*.³³

Berbeda dengan garis pada permukaan bola seperti bumi yang memiliki sudut arah yang tidak tetap, sehingga sudut azimuth di sepanjang garis tersebut berbeda-beda (relatif terhadap garis bujur dan selalu berubah). Garis ini populer disebut dengan garis *orthodrom*. Untuk keperluan navigasi, arah yang dipakai adalah arah dengan sudut konstan, akan tetapi dalam penentuan arah kiblat selama ini, adalah menggunakan jarak terdekat melalui lingkaran besar (*great circle*) walaupun sudut arah di sepanjang garis tidak konstan.³⁴

Ada tiga teori yang sampai saat ini dapat digunakan dalam perhitungan arah kiblat suatu tempat di permukaan bumi, yaitu teori trigonometri bola, teori geodesi, dan teori navigasi. Tiga teori ini merupakan suatu tawaran dalam perhitungan menentukan arah kiblat. Ketiga teori ini berdasar pada dua tipologi definisi arah yakni arah yang mengikuti garis yang mempunyai arah sudut tetap (*loxodrom*) dengan jarak tempuh yang jauh, dan arah yang mengikuti garis yang mempunyai arah sudut tidak tetap (*orthodrom*) dengan jarak tempuh terdekat. Definisi arah yang pertama merupakan definisi arah yang digunakan dalam teori navigasi. Sedangkan definisi arah yang kedua adalah definisi arah yang digunakan dalam teori trigonometri bola dan teori geodesi.³⁵

Dalam penjelasan sebelumnya telah disebutkan bahwa

³³ Izzuddin, *Kajian Terhadap Metode-Metode Penentuan Arah Kiblat Dan Akurasinya*. Hal 123

³⁴ Izzuddin. hal 125

³⁵ Izzuddin. 126

definisi arah dalam istilah fiqh menghadap kiblat adalah arah yang memiliki makna “arah menghadap”, bukan arah perjalanan. Adapun arah yang digunakan dalam teori navigasi adalah arah yang digunakan dalam perjalanan karena menggunakan panduan sudut arah yang tetap dan memposisikan bumi dalam bentuk datar. Arah ini digunakan apabila kita bepergian menuju Mekah dengan panduan sudut arah yang tetap (misalnya ke arah barat). Sedangkan dalam pelaksanaan ibadah shalat, posisi mushalli tidak bergerak menuju Mekah, tapi berdiri tegak di tempat untuk menghadap Ka’bah di Mekah. Oleh karena itu pemaknaan arah kiblat adalah arah menghadap, bukan arah perjalanan. Dengan demikian, teori navigasi tidak dapat digunakan dalam perhitungan arah kiblat karena arah yang digunakan dalam teori navigasi adalah arah perjalanan. Acuan yang digunakan oleh teori trigonometri bola dan teori geodesi inilah yang dapat diaplikasikan dalam ibadah shalat.³⁶

B. Dasar Hukum Penentuan Arah Kiblat

Jumhur ulama berpendapat bahwa menghadap kiblat merupakan salah satu syarat sahnya shalat.³⁷ Hal ini didasarkan atas firman Allah *subhānahu wata’ālā* QS Al-Baqarah ayat 144, 149 & 150:

﴿ قَدْ نَرَى تَقَلُّبَ وَجْهِكَ فِي السَّمَاءِ فَلَنُوَلِّيَنَّكَ قِبْلَةَ تَرْضَاهَا ۚ فَأُولَٰئِكَ

³⁶ Izzuddin, “METODE PENENTUAN ARAH KIBLAT DAN AKURASINYA.”

³⁷ Mustaqim, *Ilmu Falak*. Hal 55

وَجْهَكَ شَطْرَ الْمَسْجِدِ الْحَرَامِ ۚ وَحَيْثُ مَا كُنْتُمْ فَوَلُّوا وُجُوهَكُمْ شَطْرَهُ ۚ
وَأَنَّ الدِّينَ أُوتِيَ الْكِتَابَ لِيَعْلَمُونَ أَنَّهُ الْحَقُّ مِنْ رَبِّهِمْ ۚ وَمَا اللَّهُ بِغَافِلٍ
عَمَّا يَعْمَلُونَ ۚ ١٤٤ ﴿

Terjemah Kemenag 2019

144. Sungguh, Kami melihat wajahmu (Nabi Muhammad) sering menengadah ke langit. Maka, pasti akan Kami palingkan engkau ke kiblat yang engkau sukai. Lalu, hadapkanlah wajahmu ke arah Masjidilharam. Di mana pun kamu sekalian berada, hadapkanlah wajahmu ke arah itu. Sesungguhnya orang-orang yang diberi kitab⁴¹) benar-benar mengetahui bahwa (pemindahan kiblat ke Masjidilharam) itu adalah kebenaran dari Tuhan mereka. Allah tidak lengah terhadap apa yang mereka kerjakan.

41) Orang-orang yang diberi kitab adalah kaum Yahudi dengan kitab Tauratnya dan Kaum Nasrani dengan kitab Injilnya (lihat surah al-Baqarah/2: 105).³⁸

﴿ وَمِنْ حَيْثُ خَرَجْتَ فَوَلِّ وَجْهَكَ شَطْرَ الْمَسْجِدِ الْحَرَامِ ۚ وَإِنَّهُ لَلْحَقُّ
مِنْ رَبِّكَ ۚ وَمَا اللَّهُ بِغَافِلٍ عَمَّا تَعْمَلُونَ ۚ ١٤٩ ﴾

Terjemah Kemenag 2019

149. Dari mana pun engkau (Nabi Muhammad) keluar, hadapkanlah wajahmu ke arah Masjidilharam. Sesungguhnya (hal) itu benar-benar (ketentuan) yang hak (pasti, yang tidak diragukan lagi) dari Tuhanmu. Allah tidak lengah terhadap apa yang kamu kerjakan.³⁹

﴿ وَمِنْ حَيْثُ خَرَجْتَ فَوَلِّ وَجْهَكَ شَطْرَ الْمَسْجِدِ الْحَرَامِ ۚ وَحَيْثُ

³⁸ Kementerian Agama, *Al-Qur'an Dan Terjemahannya Edisi Penyempurnaan* (Jakarta: Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama RI, 2019).

³⁹ Kementerian Agama.

مَا كُنْتُمْ قَوْلُوا وَجُوهَكُمْ شَطْرَهُ ۖ لِئَلَّا يَكُونَ لِلنَّاسِ عَلَيْكُمْ حُجَّةٌ إِلَّا
 الَّذِينَ ظَلَمُوا مِنْهُمْ فَلَا تَحْشَوْهُمْ وَاخْشَوْنِي وَلَا تَمَنَّيْ عَلَى كُفْرِهِمْ وَعَلَيْكُمْ
 السَّعِيرُونَ ١٥٠ ﴿١٥٠﴾

Terjemah Kemenag 2019

150. Dari mana pun engkau (Nabi Muhammad) keluar, maka hadapkanlah wajahmu ke arah Masjidilharam. Di mana saja kamu berada, maka hadapkanlah wajahmu ke arahnya agar tidak ada alasan bagi manusia (untuk menentangmu), kecuali orang-orang yang zalim di antara mereka. Maka, janganlah kamu takut kepada mereka, tetapi takutlah kepada-Ku agar Aku sempurnakan nikmat-Ku kepadamu dan agar kamu mendapat petunjuk.⁴⁰

Menurut Dr. Wahbah Zuhaili dalam kitabnya Tafsir Munir pengulangan ayat-ayat perintah menghadap kiblat adalah mematuhi perintah kiblat yang mempunyai tiga hikmah di antaranya adalah: Pertama, ayat (قَوْلٍ وَجْهَكَ) menunjukkan bagi orang yang bisa melihat Ka'bah (penduduk Makkah) maka arah kiblatnya adalah bangunan Ka'bah. Dalam tafsirnya dijelaskan bahwa Ka'bah disebut Masjidil Haram untuk mengisyaratkan bahwa yang wajib atas orang yang berada jauh darinya adalah memperkirakan arahnya, tidak harus tepat pada Ka'bah itu sendiri, karena keharusan menghadap dengan tepat ke kiblat (Ka'bah) itu sendiri mengandung kesulitan yang berat bagi orang yang jauh, sebagaimana dikatakan az-Zamakhshari. Dalam ayat ini dipakai istilah "wajah", tapi yang dimaksud adalah "diri", dan susunan seperti ini disebut *majaaz mursal*, dengan menyebutkan salah satu

⁴⁰ Kementerian Agama.

bagian tapi yang dimaksud adalah keseluruhan.⁴¹

Kedua, ayat (وَحَيْثُ مَا كُنْتُمْ فَوَلُّوا وُجُوهَكُمْ شَطْرَهُ) artinya, di tempat mana pun kalian berada (menunjukkan bagi orang yang berada di kota dan masjid di daerah Madinah dan sekitarnya) menghadaplah ke arahnya dengan wajah kalian dalam shalat. Ini menyatakan secara eksplisit bahwa perintah "Palingkanlah mukamu" (yang ditujukan kepada baginda Nabi saw. secara khusus) adalah bersifat umum (meliputi umatnya juga), di samping menunjukkan bahwa orang yang mengerjakan shalat di berbagai penjuru bumi menghadap ke arah kiblat, baik secara geografis ia menghadap ke arah timur maupun barat, utara maupun selatan; tidak seperti kaum Nasrani yang semuanya menghadap ke arah timur, juga tidak seperti kaum Yahudi yang seluruhnya memilih menghadap ke arah barat. Ketiga, ayat (وَمَنْ حَيْثُ خَرَجْتَ) menunjukkan bagi seorang musafir maka diperbolehkan melakukan ijtihad dalam menghadap kiblat.⁴²

Hal ini sebagaimana dijelaskan dalam hadits Rasulullah Saw., sebagai berikut :

عن أبي هريرة رضي الله تعالى عنه قال : قال رسول الله صلى الله عليه وسلم

استقبل القبلة وكبر (رواه البخاري)⁴³

Artinya : Dari Abi Hurairah r.a berkata : Rasulullah SAW. bersabda: “menghadaplah kiblat lalu takbirlah” (HR.Bukhari).

⁴¹ Wahbah Az-Zuhaili, “Tafsir Al- Munir / Wahbah Az- Zuhaili,” ed. Malik Ibrahim (Jakarta: Gema Insani, 2016). Hal. 282

⁴² Az-Zuhaili. Hal 282

⁴³ Abi Abdillah Muhammad bin Ismail al-Bukhari, *Shahih Al-Bukhari*, Juz. I (Beirut: Dar al-Kutubil ‘Ilmiyyah, n.d.). hal 130

عَنْ أَبِي هُرَيْرَةَ قَالَ قَالَ رَسُولُ اللَّهِ صَلَّى اللَّهُ عَلَيْهِ وَسَلَّمَ مَا بَيْنَ الْمَشْرِقِ وَالْمَغْرِبِ قِبْلَةٌ
(رواه الترمذی وقواه البخاری)⁴⁴

Artinya : Dari Abu Hurairah ia berkata, "Rasulullah shallallahu 'alaihi wasallam bersabda: "Antara timur dan barat adalah arah kiblat. "

Dan didukung dengan perkataan Ibnu Abbas r.a.:

عن أبي هريرة رضي الله تعالى عنه قال : قال رسول الله صلى الله عليه البيت قبله
لأهل المسجد والمسجد قبله لأهل الحرام والحرام قبله لأهل الأرض في مشارقها و
مغاربها من أمتي (رواه البيهقي)⁴⁵

Artinya : "Dari Abi Hurairah r.a berkata : Rasulullah Saw. Bersabda Baitullah adalah kiblat bagi orang-orang di Masjid al-Haram, Masjid al-Haram adalah kiblat bagi orang-orang penduduk tanah haram "

Berdasarkan al-Qur'an dan hadis tersebut dijelaskan bahwasanya menghadap kiblat adalah wajib bagi seorang muslim yang ingin melaksanakan sholat, karena menurut ahli fiqh menghadap kiblat merupakan syarat sah sholat.⁴⁶ Oleh sebab itu tidak sah bagi orang yang melaksanakan sholat tanpa menghadap kiblat. Menghadap kiblat tidak akan menjadi masalah bagi orang yang di sekitar atau dekat dengan Ka'bah karena dapat dengan mudah melihat Ka'bah. Maka ia wajib menghadapkan dirinya ke kiblat dengan penuh keyakinan, karena kewajiban tersebut bisa dipastikan terlebih dahulu dengan melihat atau menyentuhnya.⁴⁷

⁴⁴ Muhammad ibnu Ismail ash-Shan'ani, *Subulus Salam*, juz. I (Beirut: Darul Kutubil 'Ilmiyyah, n.d.). 250

⁴⁵ Imam Al-Baihaqi, *Sunan Al-Baihaqi*, Juz I (Libanon: Beirut, n.d.). hal 143

⁴⁶ Khazin, *Ilmu Falak Dalam Teori Dan Praktik*. Hal. 49

⁴⁷ Izzuddin, *Ilmu Falak Praktis*. Hal. 17

Namun, hal ini bereda bagi orang yang jauh dari Ka'bah dan tidak bisa melihat Ka'bah. Sehingga dalam hal ini bagi yang tidak mampu untuk melihat atau menyaksikan Ka'bah, namun dapat mengira, maka wajib dengan ijtihad terhadap arah kiblatnya. Ijtihad dapat digunakan untuk menentukan arah kiblat dari suatu tempat yang jauh dengan masjidil haram.⁴⁸

Dari penjelasan diatas dapat disimpulkan bahwasanya menghadap kiblat adalah wajib bagi seorang muslim yang ingin melaksanakan sholat. Ka'bah merupakan kiblat bagi orang-orang yang melaksanakan sholat di Masjidil Haram. Masjidil Haram merupakan kiblat bagi orang yang shalat di tanah suci Makkah dan sekitarnya. Tanah suci Makkah merupakan kiblat bagi orang yang melaksanakan sholat jauh dari tanah suci Makkah, atau bahkan di luar negara Arab Saudi seperti Indonesia. Ada toleransi yang bisa dipahami dari dalil diatas. Ka'bah yang awalnya berukuran kecil kemudian diasumsikan menjadi Ka'bah besar seukuran besaran Masjidil Haram, kemudian seukuran tanah suci Makkah. Lokasi tanah suci Makkah ditandai dengan tapal batas yang biasanya dijadikan tempat niat orang melakukan ibadah haji dan umrah. Dari dalil al-Qu'an dan Hadis ini bisa dipahami, kewajiban menghadap kiblat dalam salat bagi yang jauh dari Masjidilharam tidak mesti menghadap arah bangunan Ka'bah, namun diperbolehkan menghadap arah lain yang lebih luas dari Ka'bah yaitu luas arah tanah suci Makkah. Jadi, patokannya bukan lagi Ka'bah ataupun Masjidilharam, melainkan kota Makkah hingga batas-batas tanah

⁴⁸ Kementerian Agama RI, *Ilmu Falak Praktik*. Hal. 25

haram Makkah.

C. Nilai Toleransi Kemencengan Arah Kiblat Menurut Tokoh-Tokoh Falak

Toleransi dalam pengukuran adalah ”selisih antara pengukuran terbesar yang dapat diterima dan pengukuran terkecil yang dapat diterima”. Adapun yang dimaksud dengan toleransi kemencengan arah kiblat dalam buku ini adalah jarak antara batas maksimal dan batas minimal dari arah kiblat yang masih dibenarkan menurut syariat Islam.⁴⁹ Nantinya toleransi ini akan menjadi acuan perhitungan setelah dilakukan reformulasi rumus kemencengan arah kiblat di muka bumi.

Thomas Djamaluddin berpendapat bahwa dalam toleransi akurasi pengukuran arah kiblat terdapat dua macam, yaitu akurasi praktis dan akurasi matematis.⁵⁰ Akurasi praktis masih ditoleransi sepanjang penyimpangannya tidak tampak pada barisan shaf jamaah atau sikap tubuh. Nilai toleransi kemencengan arah kiblat akurasi praktis menurut Thomas Djamaluddin adalah simpangan ± 2 derajat. Sedangkan akurasi matematis digunakan untuk masjid baru yang sedang dibangun. Dalam akurasi matematis pengukuran arah kiblat tetap harus diupayakan seakurat mungkin

⁴⁹ Yusuf Sowamita, *ILMU FALAK: Pedoman Lengkap Waktu Shalat, Arah Kiblat, Perbandingan Tarikh, Awal Bulan Qamariyah, Dan Hisab Rukyat*, ed. Monalisa, 1st ed. (Depok: Rajawali Press, 2020). Hal 41

⁵⁰ Thomas Djamaluddin, “Tidak Ada Perubahan Arah Kiblat,” 2010, <https://tdjamaluddin.com/2010/07/17/tidak-ada-perubahan-arrah-kiblat/>. Diakses pada tanggal 2 Juni 2024 pukul 11.03

setidaktidaknya menghadap ke kota Makkah.⁵¹

Ahmad Izzuddin berpendapat nilai toleransi akurasi pengukuran arah kiblat adalah 2° busur. Hal ini bisa dilihat dalam penelitiannya yang berjudul "*Typology jihatul Ka'bah on qibla direction of Mosques in Semarang*" yang menyimpulkan bahwa sebuah masjid dianggap masih akurat bila arah bangunan masjid tidak melenceng di atas 2° busur dari arah Ka'bah.⁵² Namun dalam penelitian tersebut tidak dijelaskan secara rinci mengapa angka 2° busur itu yang dipilih.

Kemudian, toleransi akurasi pengukuran arah kiblat juga dikemukakan oleh Yusuf Sowaminata. Berdasarkan perhitungan yang beliau lakukan, setelah diketahui diameter tanah haram adalah 75 km dan jarak antara Makkah dan Serang adalah 7.808,33 km, bahwa toleransi arah kiblat untuk kota Serang adalah sebesar $0^\circ 23'$, maka arah kiblat yang masih diperkenankan adalah $(25^\circ 19' \pm 0^\circ 16' 30'')$.⁵³

Zainul Arifin, dalam penelitiannya, "Toleransi Penyimpangan Pengukuran Arah Kiblat" merumuskan bahwa besarnya toleransi akurasi pengukuran arah kiblat adalah sebesar $0^\circ 6' 36''$ dan $-0^\circ 10' 12''$ dari titik pusat Ka'bah. Nilai ini berdasarkan arah kiblat yang dituju adalah pada Tanah Haram sebagai kiblat orang yang di luar Tanah Haram. Hal ini dilandasi

⁵¹ Moh Hanif Lutfi, "Studi Analisis Konsep Ihtiyâth Al-Qiblah Muh Ma'rufin Sudibyo" (UIN Walisongo Semarang, 2014). Hal. 90

⁵² Izzuddin, "Typology Jihatul Ka'bah on Qibla Direction of Mosques in Semarang."

⁵³ Sowamita, *ILMU FALAK: Pedoman Lengkap Waktu Shalat, Arah Kiblat, Perbandingan Tarikh, Awal Bulan Qamariyah, Dan Hisab Rukyat*. Hal. 46

dari Hadits Nabi Muhammad SAW yang diriwayatkan oleh al-Baihaqi bahwa kiblat di bagi menjadi 3, yaitu : Ka'bah merupakan kiblat bagi orang-orang yang melaksanakan sholat di Masjidil Haram. Masjidil Haram merupakan kiblat bagi orang yang shalat di tanah suci Makkah dan sekitarnya. Tanah suci Makkah merupakan kiblat bagi orang yang melaksanakan sholat jauh dari tanah suci Makkah. Alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran arah kiblat yang masih dapat di toleransi sebesar sebesar $0^{\circ} 6' 36''$ dan $-0^{\circ} 10' 12''$ dari titik pusat Ka'bah adalah *theodolite* atau menggunakan metode *Rasd al-Qiblat*.⁵⁴

Sedangkan menurut Muh Ma'rufin Sudibyo, nilai toleransi kemencengan arah kiblat adalah setara jarak penyimpangan 45 km sebagai jarak antara Ka'bah dengan koordinat simpang Masjid Quba. Landasan pemikiran ini berangkat dari realitas keberadaan masjid bersejarah di kota suci *Madīnah al-Munawwarah* yang dibangun sendiri oleh tangan Rasulullah Saw, yakni Masjid Quba. Berdasarkan pengukuran, Masjid tersebut memiliki sudut kemelencengan sebesar $7^{\circ} 38'$ atau senilai 45 km. Sehingga besaran nilai kemelencengan masjid Quba inilah yang kemudian menjadi acuan konsep toleransi kemencengan arah kiblat Muh Ma'rufin Sudibyo.⁵⁵ Menurutnya, Indonesia memiliki jarak yang

⁵⁴ Zainul Arifin, "Toleransi Penyimpangan Pengukuran Arah Kiblat," *Jurnal Elfalaky* Vol. 2, no. No. 1 (2018): 62–75, <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/14159>.

⁵⁵ Muh Ma'rufin Sudibyo, "Bila Masjid Nabawi Dan Quba' Tidak Menghadap Ka'bah," 2015, <https://www.kompasiana.com/marufinsudibyo/551241f28133114c54bc63a8/bila-masjid-nabawi-dan-quba-tidak-menghadap-ka-bah>. Diakses pada tanggal 2 Juni 2024 pukul 12.03 lihat juga Muh. Ma'rufin Sudibyo, *Sang Nabi Pun Berputar :*

cukup jauh dari Ka'bah, sehingga status kiblatnya adalah *qiblat ijtihad*. Dalam konteks ini, lingkaran dengan jari-jari 45 km yang berpusat di Ka'bah merupakan simpangan yang diperkenankan (lihat gambar 2.3).⁵⁶



Gambar 2.3 Lingkaran Toleransi Kiblat Perspektif Muh
Ma'rufin Sudibyo

Dalam penelitian ini penulis fokus terhadap metode perhitungan berapa nilai kemencengan arah kiblat satuan derajat terhadap realitas jarak di muka bumi, bukan pada kajian berapa nilai toleransi kemencengan arah kiblat dalam perspektif tokoh falak. Dengan mengetahui reformulasi metode perhitungan kemencengan kiblat dalam satuan busur derajat terhadap jarak di muka bumi, maka nilai toleransi arah kiblat dari berbagai perspektif

Arah Kiblat Dan Tata Cara Pengukurannya (Solo: Tinta Medina, 2011). Hal. 85

⁵⁶ Sudibyo, *Sang Nabi Pun Berputar : Arah Kiblat Dan Tata Cara Pengukurannya*. Hal. 142

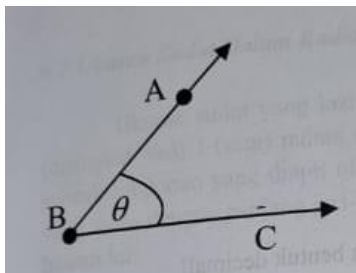
tokoh falak dapat diketahui.

D. Teori Trigonometri Bola Sebagai Penentuan Kemencengan Arah Kiblat.

Dalam buku *Plane Trigonometry* kata trigonometri didefinisikan “*Trigonometry began as the study of the relations among the sides and the angles of a triangle*”, yakni sebagai ilmu tentang hubungan antara sisi dan sudut sebuah segi tiga.⁵⁷ Dalam trigonometri segitiga dan lingkaran mempunyai kaitan yang sangat erat. Trigonometri secara *classis* merupakan metode yang berharga dalam bidang-bidang seperti kimia, fisika, geodesi, teknik, dan tentu juga matematika. Trigonometri mungkin juga digunakan dalam memahami dan menganalisis data berulang atau periodik di banyak bidang kehidupan. Ilmu yang mempelajari trigonometri adalah berakar kuat pada geometri.⁵⁸

1. Pengukuran sudut dalam radian

Sebuah sudut terdiri atas dua arah garis yang bertemu di satu titik yang disebut titik sudut (B). Sudut di bawah ini dapat disebut dengan tiga macam:



- a) $\angle ABC$ (sudut ABC)
- b) $\angle B$ (sudut B)
- c) θ (theta)

⁵⁷ Paul K. Rees Sparks, Fred W, *Plane Trigonometry*, 8th ed. (New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1984). Hal 1

⁵⁸ Sparks, Fred W. Hal 1

Istilah satuan sudut yang sering digunakan adalah "derajat" yang dilambangkan dengan tanda “ ° ”, Sedangkan 1 (satu) derajat biasa diartikan sebagai besar nilai sudut dalam suatu lingkaran yang disapu oleh jari-jari lingkaran sejauh $\frac{1}{360}$ putaran. Definisi ini jika ditulis ke dalam persamaan menjadi:

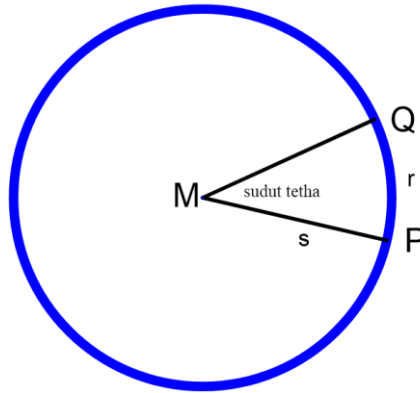
$$1^{\circ} = \frac{1}{360} \text{ putaran}$$

Perlu diketahui bahwa, setiap ukuran sudut dapat diubah ke bentuk desimal atau menit. Menit biasa dinotasikan dengan ', sedangkan detik dapat dinotasikan dengan “. Satu menit sama dengan $\frac{1}{60}$ derajat, sedangkan satu detik sama dengan $\frac{1}{60}$ menit. Atau bisa dikatakan bahwa 1 busur = 60 menit dan satu menit = 60 detik.⁵⁹

Selain busur derajat, ukuran sudut yang sering digunakan adalah “radian” (rad). Satu radian didefinisikan sebagai nilai sudut di dalam sebuah lingkaran yang berada diantara dua jari-jari (jari-jari MP dan jari-jari MQ) dan panjang busur lingkaran (Busur lengkung PQ).⁶⁰ Seperti pada gambar 2.4 dibawah ini:

⁵⁹ Fathurin Zen, *Trigonometri* (Bandung: ALFABETA CV, 2018). Hal 39

⁶⁰ Ramdoni, *Trigonometri*, 1st ed. (Sleman: Deepublish, 2022). Hal. 2



Gambar 2.4 Lingkaran radian

Pada gambar 2.4 dapat disimpulkan bahwa busur $PQ = r$. Hubungan radian dengan derajat dapat dirumuskan dengan perbandingan busur lingkaran dan keliling lingkaran pada gambar di atas.⁶¹ Sehingga bisa dibuat *persamaan (2.1)* sebagai berikut:

$$\frac{\text{Panjang Busur } PQ}{\text{Keliling Lingkaran}} = \frac{\angle PMQ}{\text{sudut satu putaran}}$$

Sehingga nilai panjang busur PQ dapat diketahui dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{panjang busur } PQ = \frac{\text{keliling lingkaran} \times \angle PMQ}{\text{sudut satu putaran}}$$

sehingga bisa diturunkan menjadi rumus:

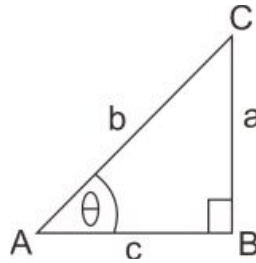
- $\frac{r}{2 \pi r} = \frac{1 \text{ rad}}{360^\circ}$
- $1 \text{ rad} \times 2 \pi r = r \times 360^\circ$

⁶¹ Zen, *Trigonometri*. Hal 41

- $1 \text{ rad} = \frac{r \cdot 360^\circ}{2 \pi r}$
- $1 \pi \text{ rad} = 180^\circ$
- $2 \pi \text{ rad} = 360^\circ \dots\dots\dots \text{persamaan (2.2)}$

2. Hukum Trigonometri Segitiga Datar

Untuk mengetahui hukum/aturan trigonometri segitiga datar lihatlah segitiga pada gambar 2.5



Gambar 2.5 Segitiga datar

Dari sigitiga ABC pada gambar 2.4 diperoleh perbandingan trigonometri sebagai berikut :⁶²

1. Sin

Sin adalah perbandingan "sisi hadap" dengan *hipotenusa* (sisi miring).

$$\theta = \frac{\text{sisi hadap}}{\text{hipotenusa}} = \frac{BC}{AC} = \frac{a}{b}$$

2. Cos

Cos adalah perbandingan "sisi samping" dengan *hipotenusa* (sisi miring).

$$\theta = \frac{\text{sisi samping}}{\text{hipotenusa}} = \frac{AB}{AC} = \frac{c}{b}$$

⁶² Lutfi Adnan Muzamil, *Studi Falak Dan Trigonometri* (Semarang: CV. Pustaka Ilmu Group, 2015). Hal 36

3. Tan

Tan adalah perbandingan "sisi hadap" dengan "sisi samping"

$$\theta = \frac{\text{sisi hadap}}{\text{Sisi samping}} = \frac{BC}{AB} = \frac{a}{c}$$

4. Cosec

Cosec adalah kebalikan dari sin, yaitu perbandingan *hipotenusa* (sisi miring) dengan "sisi hadap".

$$\theta = \frac{1}{\sin \theta} = \frac{AC}{BC} = \frac{b}{a}$$

5. Sec

Sec adalah kebalikan dari cos yaitu perbandingan *hipotenusa* (sisi miring) dengan "sisi samping" .

$$\theta = \frac{1}{\cos \theta} = \frac{AC}{AB} = \frac{b}{c}$$

6. Cot

Cot adalah keblikan dari tang yaitu perbandingan "sisi samping" dengan "sisi hadap"

$$\theta = \frac{1}{\tan \theta} = \frac{AB}{BC} = \frac{c}{a}$$

Dalam beberapa literatur buku matematika terdapat tambahan dalam perbandingan trigonometri atau biasa disebut rasio trigonometrik, sebagai berikut;⁶³

⁶³ Adnan Muzamil. Hal 36

$$\frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

$$\tan \theta = \frac{\sin \theta}{\cos \theta}$$

$$\text{dan } \cot \theta = \frac{\cos \theta}{\sin \theta}$$

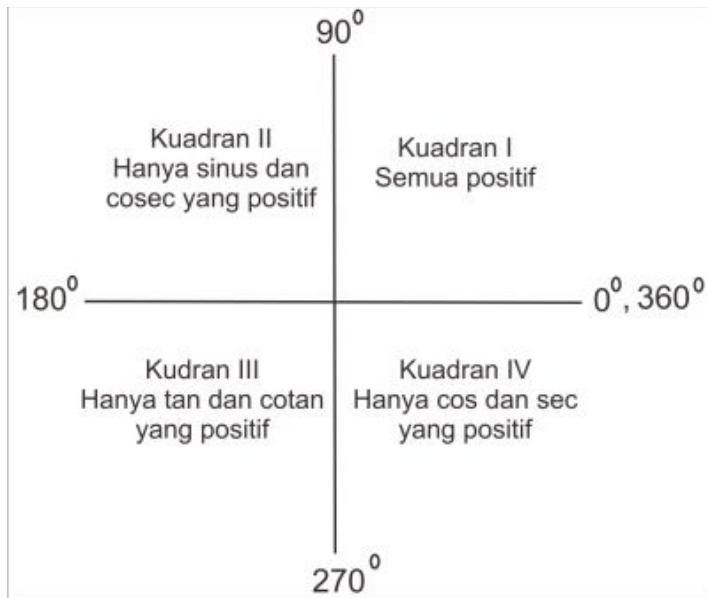
Rumus identitas trigonometri dasar yaitu sbb:

$$1 = \sin^2 \theta + \cos^2 \theta$$

$$\csc^2 \theta = 1 + \cot^2 \theta$$

$$\sec^2 \theta = \tan^2 \theta + 1$$

Kemudian adapun tanda dari setiap nilai trigonometri $\sin \theta$, $\cos \theta$, $\tan \theta$ tergantung pada letak sudut θ di masing-masing kuadran.⁶⁴ Lihat gambar 2.6 berikut ini;



Gambar 2.6 Kuadran sudut pada trigonometri

⁶⁴ Adnan Muzamil. Hal 37

Sedangkan sudut-sudut yang berelasi adalah sebagai berikut:

Sudut $90^\circ - \theta$

$$\sin(90^\circ - \theta) = \cos \theta$$

$$\cos(90^\circ - \theta) = \sin \theta$$

$$\tan(90^\circ - \theta) = \cot \theta$$

$$\cot(90^\circ - \theta) = \tan \theta$$

Sudut $90^\circ + \theta$

$$\sin(90^\circ + \theta) = \cos \theta$$

$$\cos(90^\circ + \theta) = -\sin \theta$$

$$\tan(90^\circ + \theta) = -\cot \theta$$

$$\cot(90^\circ + \theta) = -\tan \theta$$

Sudut $180^\circ - \theta$

$$\sin(180^\circ - \theta) = \sin \theta$$

$$\cos(180^\circ - \theta) = -\cos \theta$$

$$\tan(180^\circ - \theta) = -\tan \theta$$

$$\cot(180^\circ - \theta) = -\cot \theta$$

Sudut $180^\circ + \theta$

$$\sin(180^\circ + \theta) = -\sin \theta$$

$$\cos(180^\circ + \theta) = -\cos \theta$$

$$\tan(180^\circ + \theta) = \tan \theta$$

$$\cot(180^\circ + \theta) = \cot \theta$$

Sudut $270^\circ - \theta$

$$\sin(270^\circ - \theta) = -\cos \theta$$

$$\cos(270^\circ - \theta) = -\sin \theta$$

$$\tan(270^\circ - \theta) = \cot \theta$$

$$\cot(270^\circ - \theta) = \tan \theta$$

Sudut $270^\circ + \theta$

$$\sin(270^\circ + \theta) = -\cos \theta$$

$$\cos(270^\circ + \theta) = \sin \theta$$

$$\tan(270^\circ + \theta) = -\cot \theta$$

$$\cot(270^\circ + \theta) = -\tan \theta$$

Sudut $360^\circ - \theta$

$$\sin(360^\circ - \theta) = -\sin \theta$$

$$\cos(360^\circ - \theta) = \cos \theta$$

$$\tan(360^\circ - \theta) = -\tan \theta$$

$$\cot(360^\circ - \theta) = -\cot \theta$$

Sudut $360^\circ + \theta$

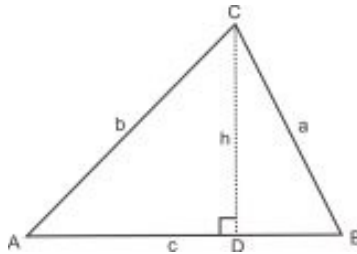
$$\sin(360^\circ + \theta) = \sin \theta$$

$$\cos(360^\circ + \theta) = \cos \theta$$

$$\tan(360^\circ + \theta) = \tan \theta$$

$$\cot(360^\circ + \theta) = \cot \theta$$

Dan berlaku rumus-rumus trigonometri dalam segitiga sembarang pada bidang datar sebagai berikut:



Gambar 2.7 Segitiga ABC sembarang

Aturan Cosinus Pada Segitiga Datar

$$\Leftrightarrow a^2 = b^2 + c^2 - 2b \cdot c \cos A$$

$$\Leftrightarrow b^2 = a^2 + c^2 - 2a \cdot c \cos B$$

$$\Leftrightarrow c^2 = a^2 + b^2 - 2a \cdot b \cos C$$

Aturan Sinus pada segitiga datar

Dalam tiap segitiga ABC , perbandingan panjang sisi dengan sinus sudut yang berhadapan dengan sisi itu mempunyai nilai yang sama. Ditulis:

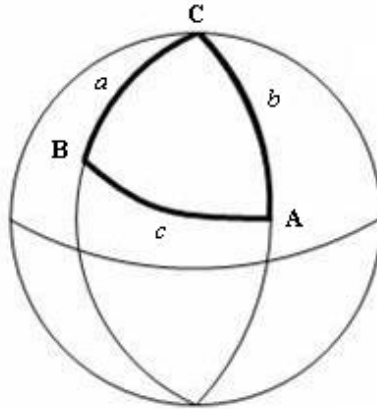
$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

3. Hukum Trigonometri Segitiga Bola

Pada awalnya fungsi-fungsi perhitungan trigonometri disusun dengan basis segitiga datar, dikembangkan lebih lanjut dalam *Spherical Trigonometri* (segitiga bola). *Spherical Trigonometri* membahas hubungan sisi dan sudut dalam poligon (terutama segitiga) pada permukaan bola.

Pengembangan ini tentu sangat bermanfaat dalam ilmu falak khususnya dalam pembahasan arah kiblat yang mempertimbangkan bentuk bumi yang bulat.⁶⁵

Sebagai ilustrasi lihatlah gambar bola berikut ini:



Gambar 2.8 Segitiga bola ABC

Sisi segitiga pada permukaan bola bukanlah lurus, melainkan garis melengkung (busur) yang merupakan bagian dari lingkaran besar (lihat gambar 2.8). Jika tiga buah lingkaran besar pada permukaan bola saling berpotongan, maka terciptalah segitiga bola.⁶⁶ Salah satunya segitiga ABC pada gambar 2.8. Area pada permukaan bola yang dibatasi oleh busur-busur lingkaran besar dinamakan poligon, yang sisi-sisinya tidak ditentukan oleh panjangnya, tetapi oleh sudut-

⁶⁵ Abdus Salam Nawawi, *Ilmu Falak Cara Praktis Menghitung Waktu Salat, Arah Kiblat, Dan Awal Bulan* (Sidoarjo: Aqaba, 2008). Hal 63

⁶⁶ M. Sayuti Ali, *Ilmu Falak* (Jakarta: PT Raja Grafindo Persada, 1997). Hal 83

sudut di pusat bola yang tercermin arahnya ke titik-titik di ujung sisi-sisi itu. Dua hukum yang terpenting dalam trigonometri bola adalah sebagai berikut: ⁶⁷ (*persamaan 2.3*):

a) Hukum cosinus: $\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A$
 $\cos b = \cos a \cos c + \sin a \sin c \cos C$
 $\cos c = \cos a \cos b + \sin a \sin b \cos C$

b) Hukum sinus: $\frac{\sin A}{\sin a} = \frac{\sin B}{\sin b} = \frac{\sin C}{\sin c}$

⁶⁷ Ali. Hal 83

BAB III

PERHITUNGAN KEMENCENGAN ARAH KIBLAT DALAM BUKU “MEKANIKA BENDA LANGIT”

A. Tinjauan Umum Buku ”Mekanika Benda Langit”

Buku ”Mekanika Benda Langit” merupakan salah satu karya Rinto Anugraha, tujuan awal ditulisnya buku ini adalah sebagai buku acuan dalam mata kuliah Mekanika Benda Langit yang beliau ajar di program studi Strata 1 dan Strata 2 Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Gajah Mada, Jogjakarta.

Buku ini merupakan kumpulan tulisan Rinto Anugraha di internet tentang ilmu hisab/ilmu falak, disertai dengan beberapa tambahan. Pembahasan dalam buku ini sangat dekat dengan kehidupan sehari-hari. Pertanyaan seputar ilmu hisab yang sering kita temui seperti bagaimana menentukan konversi antara penanggalan Masehi dan Hijriah?, kapankah tepat terjadi bulan baru, seperempat pertama, bulan purnama dan seperempat akhir?, bagaimana cara menentukan arah kiblat?, dan lain-lain akan terjawab dengan memahami buku ini.

Buku ini membahas tentang ilmu hisab dengan rumus dan angka yang cukup detail. Sehingga buku ini termasuk masih jarang di Indonesia khususnya. Buku ”Mekanika Benda Langit” ini juga tergolong buku yang populer bagi kalangan pegiat falak khususnya. Hal ini dibuktikan dengan banyaknya jurnal dan penelitian yang mengambil referensi dari buku ini.

Materi yang terdapat dalam buku ini terbagi menjadi tujuh bab, yaitu

a) Bab I berjudul “Waktu dan Kalender”

Dalam bab I dijelaskan tentang waktu dan kalender, khususnya kalender Gregorian (Masehi) dan kalender Islam, serta konversi antara keduanya.

b) Bab II berjudul “Bumi dan Koordinat Bola:

Dalam bab II dijelaskan beberapa aspek tentang jarak (*distance*) di permukaan bumi, koordinat bola, serta transformasi koordinat antara ekliptika geosentrik, ekuator geosentrik dan horisontal. Dibahas pula jarak antara dua tempat di permukaan bumi serta arah kiblat yang merupakan sudut azimuth dari satu tempat ke tempat kedua yang terletak di Ka’bah, Saudi Arabia.

c) Bab III berjudul “Posisi Matahari”

Pada bab III dijelaskan rumus menentukan posisi matahari sehingga bisa mengetahui bagaimanakah cara menghitung posisi matahari pada waktu kapan saja. Di bab ini juga akan diberikan cara menghitung jarak matahari ke bumi, Asensio rekta atau panjatan tegak deklinasi, azimuth dan altitude. Kemudian juga diberikan secara gamblang beberapa model algoritma dengan koreksinya serta pembahasan mengenai cara menghitung waktu sholat.

d) Bab IV berjudul “Posisi Bulan”

Pada bab IV dijelaskan rumus menentukan azimuth dan altitude bulan pada saat maghrib pada hari terjadinya ijtima

atau hari sesudahnya. Kemudian dijelaskan juga cara menentukan kapan bulan terbit, transit dan terbenam jika diamati di suatu tempat.

e) Bab V berjudul “Fase-fase Bulan”

Pada bab V dijelaskan pembahasan tentang fase-fase bulan serta bagaimana cara menghitung empat fase bulan yang meliputi bulan baru (*new moon*), seperempat pertama (*first quarter*), bulan purnama (*full moon*), seperempat akhir (*last quarter*) menggunakan algoritma Jean Meeus.

f) Bab VI berjudul “Gerhana”

Pada bab VI dijelaskan tentang fakta-fakta seputar gerhana, dari mulai tipe-tipe gerhana, data-data gerhana total menurut berbagai referensi, gerhana matahari algoritma Jean Meeus dll.

g) Bab VII berjudul “Kapita Selekta”

Pada bab VII dijelaskan tentang kapita selekta atau tanggal-tanggal yang dianggap penting seperti dalam kalender 2012 dan *software Accurate Times*.⁶⁸

Setiap pembahasan dari buku menampilkan angka-angka yang cukup akurat. Melalui buku ini, Rinto Anugraha ingin mengajak kepada pembacanya untuk tidak sekedar mengetahui hasil dari sebuah perhitungan seperti arah kiblat dan awal bulan, namun pembaca juga diajak untuk mengetahui proses dari hasilnya, karena menurutnya, mengetahui rumus dasar adalah penting dalam ilmu hisab secara utuh. Rumus-rumus matematika/astronomi yang terdapat dalam buku ini juga termasuk tidak rumit karena hanya

⁶⁸ Anugraha, “Mekanika Benda Langit.” Hal vi

dibutuhkan pengetahuan dasar matematika tambah, kurang, kali, bagi, pangkat, akar, serta trigonometri.

Kemudian yang terpenting dari buku ini adalah, penulis membuka akses rumus-rumus dan angka-angka perhitungan dalam bentuk file microsoft excel. Sehingga para pembaca bisa mempelajari bahkan memverifikasi apabila ada yang kurang tepat. Selain itu bagi yang suka dengan dunia software, file-file dan data-data di dalam microsoft excel terbuka untuk dimanfaatkan membuat software hisab.

B. Data-Data Geodesi dalam Buku ”Mekanika Benda Langit”

Dalam buku ini, bentuk bumi menggunakan model ellipsoid. Model ini mirip seperti telur (dengan mengabaikan gunung, lembah dan sebagainya). Model yang lebih baik daripada elipsoida adalah geoid, tetapi tidak digunakan dalam buku ini. Namun, model elipsoida ini lebih baik dari model bola. Karena sejatinya jarak dari permukaan bumi ke pusat bumi tidak sama di semua tempat. Permukaan bumi ke pusat bumi mencapai nilai terbesar saat ada di garis katulistiwa dan terkecil saat di kutub, meskipun selisih antara terkecil dan terbesar cukup tipis dibandingkan dengan jari-jari bumi itu sendiri. Hal ini karena model bumi elipsoid mempunyai nilai penggepengan, berbeda dengan model bumi bola yang nilai penggepengan adalah 0.⁶⁹

Ellipsoid Bumi (*earth ellipsoid*), yaitu suatu ellipsoid putaran yang dibentuk oleh ellips yang berputar pada sumbu

⁶⁹ Anugraha. Hal. 26

pendeknya. Ahli geodesi menggunakan model ellipsoid bumi ini untuk acuan permukaan bumi sebagai penentuan posisi geodetik. Hal ini sesuai dengan pendapat Newton bahwa Bumi mengalami pegepengan di kutub, dan nilai gaya berat di ekuator lebih kecil dari nilai gaya berat di kutub.⁷⁰ Geometri ellipsoid ini digunakan sebagai bidang referensi dalam buku "Mekanika Benda Langit" ,

Jari-jari yang menjadi referensi bentuk bumi dalam buku "Mekanika Benda Langit" adalah sebagai berikut:

- Jarak pusat bumi ke ekuator = $a = 6.378.137,0$ meter
- Jarak pusat bumi ke kutub = $b = 6.356.752,314$ meter
- Antara a dan b terdapat hubungan, yaitu $b = a \cdot (1 - f)$ dimana nilai $f = 1/298,25722$.
- Eksentrisitas bumi = $e = 0,08181919133$.
- Jika bumi adalah bola sempurna, maka nilai e dan f sama dengan 0)

Penentuan angka diatas merujuk pada koordinat yang mengacu pada sistem koordinat *World Geodetic System 1984* (WGS-84).⁷¹ Datum geodetik WGS-84 juga dipakai pada koordinat internal aplikasi *google earth* dan *Global Positioning System* (GPS).⁷²

C. Metode Perhitungan Kemencengan Arah Kiblat dalam Buku "Mekanika Benda Langit"

⁷⁰ Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit* (Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2001). Hal 5

⁷¹ Eddy Prahasta, *Sistem Informasi Geografis: Konsep-Konsep Dasar Perspektif Geodesi & Geomatika* (Bandung: Informatika, 2009). Hal. 222

⁷² Mohammed, Ghazi, and Mustafa, "Positional Accuracy Testing of Google Earth."

Perhitungan kemencengan arah kiblat dalam buku “Mekanika Benda Langit” ini menggunakan data koordinat yang cukup akurat, karena nilai koordinat dari metode perhitungan dalam buku “Mekanika Benda Langit” hampir sama dengan data koordinat pada *google earth*. Hal ini sesuai yang telah dijelaskan dalam latar belakang bahwa selisih data koordinat kedua metode ini hanya dalam satuan detik saja. Berikut ini merupakan langkah-langkah perhitungan nilai kemencengan arah kiblat terhadap jarak di muka bumi dalam buku “Mekanika Benda Langit”:

1. Menentukan jarak lokasi dengan Ka’bah

Dalam menentukan jarak lokasi dengan Ka’bah dalam buku “Mekanika Benda Langit” menawarkan dua rumus yaitu rumus sederhana dan rumus kompleks. Yang pertama adalah rumus sederhana, dikatakan sederhana karena dalam rumus ini bumi diasumsikan berbentuk bola, sehingga tidak ada koreksi pengepungan bumi. Dimana sudah dijelaskan di atas bahwa yang mendekati bentuk sempurna bumi adalah elipsoid. Sedangkan dalam bentuk bola, jari-jarinya selalu konstan di semua permukaan. Berbeda dengan jari-jari bumi sebenarnya, yang jarak dari permukaan ke pusat bumi tidak sama di semua tempat. Jarak dari permukaan ke pusat bumi mencapai nilai maksimal di ekuator (garis katulistiwa) dan minimum di kutub, walaupun selisih antara maksimum dan minimum cukup kecil dibandingkan dengan jari-jari bumi itu

sendiri.⁷³ Oleh karena itu, hasil dari rumus pertama yang ringkas menghasilkan nilai yang kurang akurat, namun untuk tujuan kepraktisan rumus ini tetap bisa digunakan. Sebelum dilakukan perhitungan maka terlebih dahulu mencari data koordinat lintang dan bujur tempat serta lintang dan bujur Ka'bah yang dalam hal ini mengambil data koordinat dari aplikasi *google earth*.

Berikut ini adalah rumus pertama yang lebih sederhana:

- Sudut antara kedua tempat tersebut adalah d
- $\cos(d) = \sin(L1) \cdot \sin(L2) + \cos(L1) \cdot \cos(L2) \cdot \cos(B1 - B2)$
- Jika sudut d dalam radian, maka jarak kedua tempat adalah s kilometer, yaitu
- $s = 6378,137 \cdot d$ [km]
- Jika sudut d dalam derajat, maka jarak kedua tempat adalah s kilometer, yaitu
- $s = 6378,137 \cdot \pi \cdot d / 180$ [km] dimana $\pi = 3,14159265359$.
- Perlu diingat, $1 \text{ radian} = 180/\pi = 57.2957795$ derajat.

Rumus yang kedua adalah rumus kompleks, rumus ini sudah cukup akurat karena rumus ini mengasumsikan bumi ke bentuk yang lebih baik dari bola, yaitu elipsoida. Sehingga rumus ini telah dicantumkan koreksi pengepungan bumi

⁷³ Anugraha, "Mekanika Benda Langit." Hal 26

karena seperti yang telah dijelaskan di atas bahwa jarak antara permukaan bumi dengan pusat bumi tidaklah sama, melainkan mencapai nilai maksimal di ekuator (garis katulistiwa) dan minimum di kutub. Berikut ini adalah rumus kedua yang lebih kompleks:

$$U = (\varphi_t + \varphi_k) / 2.$$

$$G = (\varphi_t - \varphi_k) / 2$$

$$J = (\lambda_t - \lambda_k) / 2.$$

$$M = \sin(G) \times \sin(G) \times \cos(J) \times \cos(J) + \cos(U) \times \cos(U) \times \sin(J) \times \sin(J).$$

$$N = \cos(G) \times \cos(G) \times \cos(J) \times \cos(J) + \sin(U) \times \sin(U) \times \sin(J) \times \sin(J).$$

$$W = \tan(w) = \text{SQRT}(M/N) \text{ dimana } w \text{ dalam radian}$$

$$P = \text{SQRT}(M \times N)/w$$

$$D = 2 \times W \times a, \text{ di mana } a = 6378,137 \text{ kilometer.}$$

$$S = D \times \{1 + f \times E1 \times \sin(U) \times \sin(U) \times \cos(G) \times \cos(G) - f \times E2 \times \cos(U) \times \cos(U) \times \sin(G) \times \sin(G)\}$$

$$\text{dimana } f = 0,0033528107.2^{74}$$

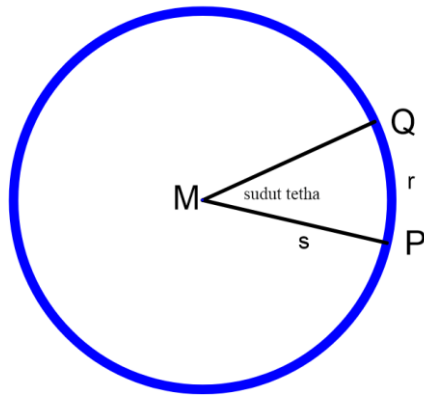
2. Mencari Nilai kemencengan kiblats

Setelah diketahui jarak lokasi dengan Ka'bah, maka selanjutnya adalah menghitung berapa nilai kemencengan Ka'bah setiap satu derajat terhadap muka bumi. Dalam buku "Mekanika Benda Langit" dijelaskan bahwa jauhnya jarak

⁷⁴ World Geodetic System 1984 Reference System, "Https://Earth-Info.Nga.Mil/Index.Php?Dir=wgs84&action=wgs84," 2024.

lokasi dari Ka'bah bermakna bahwa jika arah kiblat melenceng 1 derajat saja, maka penyimpangannya akan sangat besar dari Ka'bah. Lebih lanjut, dalam buku tersebut dijelaskan, untuk mengetahui besar nilai penyimpangan arah kiblat 1 derajat adalah menggunakan persamaan $s \cdot \pi / 180$. s adalah jarak lokasi dengan Ka'bah yang bisa dihitung dengan rumus menentukan jarak dua tempat di muka bumi dalam buku "Mekanika Benda Langit" seperti penjelasan yang sudah lewat. Dan nilai π adalah 3.14.

Jika ditelusuri, persamaan kemencengan kiblat berupa $s \cdot \pi / 180$ dalam buku "Mekanika Benda Langit" merupakan hasil dari rumus perbandingan busur lingkaran sebagai berikut:



Gambar 2.9 Lingkaran radian

keterangan:

M = Ka'bah

P = Lokasi

Q = Titik Kemencengan

r = nilai kemencengan arah kiblat (yg dicari)

s = jarak lokasi ke Kabah

sudut tetha (θ) = derajat busur kemencengan =

Berawal dari (persamaan 2.1)

$$\frac{\text{Panjang Busur}}{\text{Keliling Lingkaran}} = \frac{\text{sudut } \theta}{\text{sudut satu putaran}}$$

$$\frac{r}{2 \pi * s} = \frac{\text{sudut } \theta}{360 \text{ derajat}}$$

$$r = \frac{1^\circ * 2 \pi * s}{360 \text{ derajat}}$$

$$r = s * \frac{1^\circ * \pi}{180 \text{ derajat}}$$

3. Perhitungan jarak pada lintang 21.934273° bujur 40.622376°
(jarak 100 km pada *google earth*)

Berikut ini adalah hasil dari penggunaan rumus kemencengan arah kiblat menggunakan rumus pada buku "Mekanika Benda Langit"

Diketahui:

Bujur tempat : 40.622376°

Lintang tempat : 21.934273°

Bujur Ka'bah : 39.826°

Lintang Ka'bah : 21.422°

- Mencari Jarak dua tempat menggunakan rumus kedua (kompleks)
- $U = (\varphi_t + \varphi_k) / 2$
 $= 0.133106$

- $G = (\varphi_t - \varphi_k) / 2$
 $= -0.00447$
- $J = (\lambda_t - \lambda_k) / 2$
 $= -0.00695$
- $M = \sin(G) \times \sin(G) \times \cos(J) \times \cos(J) + \cos(U) \times \cos(U)$
 $\times \sin(J) \times \sin(J).$
 $= 6.1625$
- $N = \cos(G) \times \cos(G) \times \cos(J) \times \cos(J) + \sin(U) \times \sin(U)$
 $\times \sin(J) \times \sin(J).$
 $= 0.999938$
- $W = \tan(w) = \text{SQRT}(M/N)$ dimana w dalam radian
 $= 0.007850404$
- $P = \text{SQRT}(M \times N)/w$
 $= 0.999959$
- $D = 2 \times W \times a$, di mana $a = 6378,137$ kilometer.
 $= 100.1398$
- $S = D \times \{1 + f \times E1 \times \sin(U) \times \sin(U) \times \cos(G) \times \cos(G)$
 $- f \times E2 \times \cos(U) \times \cos(U) \times \sin(G) \times \sin(G)\}$
 $= 99.99804348$
 Sehingga jarak lokasi ke Ka'bah adalah 99.99804348

- Menghitung jarak kemencengan kiblat

Jarak Lokasi ke Ka'bah : 99.99804348 km

Kemencengan : 1 derajat bususr

$$r = s * \frac{1^\circ * \pi}{180 \text{ derajat}}$$

$$r = 99.998 * \frac{1^\circ * 3.14}{180 \text{ derajat}}$$

$$r = 1.7444 \text{ km}$$

4. Perhitungan jarak pada lintang 23.399824° bujur 49.304965° (jarak 1000 km pada *google earth*)

Berikut ini adalah hasil dari penggunaan rumus kemencegan arah kiblat menggunakan rumus pada buku "Mekanika Benda Langit"

Diketahui:

Bujur tempat : 49.304965°

Lintang tempat : 23.399824°

Bujur Ka'bah : 39.826°

Lintang Ka'bah : 21.422°

- Mencari Jarak dua tempat menggunakan rumus kedua (kompleks)
- $U = (\varphi_t + \varphi_k) / 2$
 $= 0.391149308$
- $G = (\varphi_t - \varphi_k) / 2$
 $= -0.017254665$
- $J = (\lambda_t - \lambda_k) / 2$.

$$= -0.082717908$$

- $M = \sin(G) \times \sin(G) \times \cos(J) \times \cos(J) + \cos(U) \times \cos(U) \times \sin(J) \times \sin(J).$
 $= 0.006130051$

- $N = \cos(G) \times \cos(G) \times \cos(J) \times \cos(J) + \sin(U) \times \sin(U) \times \sin(J) \times \sin(J).$
 $= 0.993869949$

- $W = \tan(w) = \text{SQRT}(M/N)$ dimana w dalam radian
 $= 0.078535725$

- $P = \text{SQRT}(M \times N)/w$
 $= 0.995909949$

- $D = 2 \times W \times a$, di mana $a = 6378,137$ kilometer.
 $= 999.7711098$

- $S = D \times \{1 + f \times E1 \times \sin(U) \times \sin(U) \times \cos(G) \times \cos(G) - f \times E2 \times \cos(U) \times \cos(U) \times \sin(G) \times \sin(G)\}$
 $= 999.9807952$

Sehingga jarak lokasi ke Ka'bah adalah 999.9807952

- Menghitung jarak kemencengan kiblat

Jarak Lokasi ke Ka'bah : 999.9807952km

Kemencengan : 1 derajat bususr

$$r = s * \frac{1^\circ * \pi}{180 \text{ derajat}}$$

$$r = 999.9807952 * \frac{1^\circ * 3.14}{180 \text{ derajat}}$$

$$r = 17.45329252 \text{ km}$$

5. Perhitungan jarak pada lintang 4.245059° bujur 45.608053° (jarak 2000 km pada *google earth*)

Berikut ini adalah hasil dari penggunaan rumus kemencegan arah kiblat menggunakan rumus pada buku "Mekanika Benda Langit"

Diketahui:

Bujur tempat : 45.608053°

Lintang tempat : 4.245059°

Bujur Ka'bah : 39.826°

Lintang Ka'bah : 21.422°

- Mencari Jarak dua tempat menggunakan rumus kedua (kompleks)
- $U = (\varphi_t + \varphi_k) / 2$
 $= 0.22399245$
- $G = (\varphi_t - \varphi_k) / 2$
 $= 0.149902193 - 0.00447$
- $J = (\lambda_t - \lambda_k) / 2$
 $= -0.050456264$
- $M = \sin(G) \times \sin(G) \times \cos(J) \times \cos(J) + \cos(U) \times \cos(U) \times \sin(J) \times \sin(J)$

$$= 0.024664302$$

- $N = \cos(G) \times \cos(G) \times \cos(J) \times \cos(J) + \sin(U) \times \sin(U) \times \sin(J) \times \sin(J).$

$$= 0.975335698$$

- $W = \tan(w) = \text{SQRT}(M/N)$ dimana w dalam radian

$$= 0.159022051$$

- $P = \text{SQRT}(M \times N)/w$

$$= 0.983502414$$

- $D = 2 \times W \times a$, di mana $a = 6378,137$ kilometer.

$$= 2011.684552$$

- $S = D \times \{1 + f \times E1 \times \sin(U) \times \sin(U) \times \cos(G) \times \cos(G) - f \times E2 \times \cos(U) \times \cos(U) \times \sin(G) \times \sin(G)\}$

$$= 2000.557151$$

Sehingga jarak lokasi ke Ka'bah adalah 2000.557151

- Menghitung jarak kemencengan kiblat

Jarak Lokasi ke Ka'bah : 2000.557151km

Kemencengan : 1 derajat bususr

$$r = s * \frac{1^\circ * \pi}{180 \text{ derajat}}$$

$$r = 99.998 * \frac{1^\circ * 3.14}{180 \text{ derajat}}$$

$$r = 34.90658504 \text{ km}$$

6. Perhitungan jarak pada lintang 35.045241° bujur 88.969735°
(jarak 5000 km pada *google earth*)

Berikut ini adalah hasil dari penggunaan rumus kemencegan arah kiblat menggunakan rumus pada buku "Mekanika Benda Langit"

Diketahui:

Bujur tempat : 88.969735°

Lintang tempat : 35.045241°

Bujur Ka'bah : 39.826°

Lintang Ka'bah : 21.422°

- Mencari Jarak dua tempat menggunakan rumus kedua (kompleks)
- $U = (\varphi_t + \varphi_k) / 2$
 $= 0.492774743$
- $G = (\varphi_t - \varphi_k) / 2$
 $= -0.1188801$
- $J = (\lambda_t - \lambda_k) / 2$
 $= 0.145852323$
- $M = \sin(G) \times \sin(G) \times \cos(J) \times \cos(J) + \cos(U) \times \cos(U) \times \sin(J) \times \sin(J)$
 $= 0.145852323$
- $N = \cos(G) \times \cos(G) \times \cos(J) \times \cos(J) + \sin(U) \times \sin(U) \times \sin(J) \times \sin(J)$
 $= 0.854147677$

- $W = \tan(w) = \text{SQRT}(M/N)$ dimana w dalam radian
 $= 0.41322843$
- $P = \text{SQRT}(M \times N)/w$
 $= 0.900729781$
- $D = 2 \times W \times a$, di mana $a = 6378,137$ kilometer.
 $= 4998.647072$
- $S = D \times \{1 + f \times E1 \times \sin(U) \times \sin(U) \times \cos(G) \times \cos(G) - f \times E2 \times \cos(U) \times \cos(U) \times \sin(G) \times \sin(G)\}$
 $= 5000.009506$
 Sehingga jarak lokasi ke Ka'bah adalah 5000.009506
- Menghitung jarak kemencengan kiblat

Jarak Lokasi ke Ka'bah : 5000.009506 km

Kemencengan : 1 derajat bususr

$$r = s * \frac{1^\circ * \pi}{180 \text{ derajat}}$$

$$r = 5000.009506 * \frac{1^\circ * 3.14}{180 \text{ derajat}}$$

$$r = 87.2664626 \text{ km}$$

7. Perhitungan jarak pada lintang 41.523888° bujur 149.849548° (jarak 10000 km pada *google earth*)

Berikut ini adalah hasil dari penggunaan rumus kemencegan arah kibat menggunakan rumus pada buku "Mekanika Benda Langit"

Diketahui:

Bujur tempat : 149.849548°

Lintang tempat : 41.523888°

Bujur Ka'bah : 39.826 °

Lintang Ka'bah : 21.422 °

- Mencari Jarak dua tempat menggunakan rumus kedua (kompleks)
- $U = (\varphi_t + \varphi_k) / 2$
 $= 0.549311603$
- $G = (\varphi_t - \varphi_k) / 2$
 $= -0.175416961$
- $J = (\lambda_t - \lambda_k) / 2$
 $= -0.960134917$
- $M = \sin(G) \times \sin(G) \times \cos(J) \times \cos(J) + \cos(U) \times \cos(U) \times \sin(J) \times \sin(J)$
 $= 0.498253798$
- $N = \cos(G) \times \cos(G) \times \cos(J) \times \cos(J) + \sin(U) \times \sin(U) \times \sin(J) \times \sin(J)$
 $= 0.501746202$
- $W = \tan(w) = \text{SQRT}(M/N)$ dimana w dalam radian
 $= 0.996513674$
- $P = \text{SQRT}(M \times N)/w$
 $= 0.638034456$

- $D = 2 \times W \times a$, di mana $a = 6378,137$ kilometer.
 $= 9996.4791$
- $S = D \times \{1 + f \times E1 \times \sin(U) \times \sin(U) \times \cos(G) \times \cos(G) - f \times E2 \times \cos(U) \times \cos(U) \times \sin(G) \times \sin(G)\}$
 $= 10002.37654$
 Sehingga jarak lokasi ke Ka'bah adalah 10002.37654
- Menghitung jarak kemencengan kiblat

Jarak Lokasi ke Ka'bah : 10002.37654 km

Kemencengan : 1 derajat bususr

$$r = s \times \frac{1^\circ \times \pi}{180 \text{ derajat}}$$

$$r = 10002.37654 \times \frac{1^\circ \times 3.14}{180 \text{ derajat}}$$

$$r = 174.5329252 \text{ km}$$

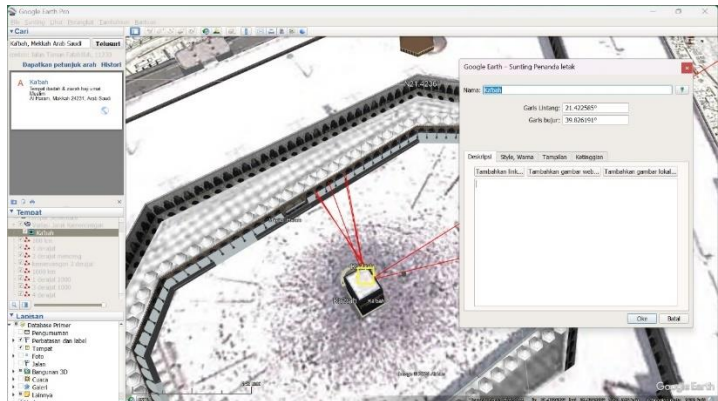
D. Analisis Metode Perhitungan Kemencengan Arah Kiblat dalam Buku "Mekanika Benda Langit"

Metode perhitungan kemencengan arah kiblat dalam buku "Mekanika Benda Langit" sebagaimana telah dijelaskan di atas menghasilkan dua langkah. Langkah pertama yaitu menentukan jarak dua tempat di muka bumi dan langkah kedua yaitu menentukan nilai kemencengan setiap satu derajat. Dalam

menentukan jarak dua tempat di muka bumi, penulis buku “Mekanika Benda Langit” menawarkan dua pilihan rumus yaitu rumus sederhana dan rumus kompleks. Pada rumus yang sederhana bumi diasumsikan berbentuk bola, sedangkan pada rumus yang kedua bumi diasumsikan berbentuk elipsioda. Tentu hasil dari kedua rumus ini memiliki nilai yang berbeda dimana rumus kedua yang lebih kompleks menghasilkan tingkat akurasi yang cukup tinggi. (lihat tabel 3.1) Hal ini disebabkan pada rumus kedua disertakan koreksi pengepangan bumi. Sedangkan dalam rumus pertama tidak dicantumkan koreksi pengepangan bumi karena menggunakan pendekatan bentuk bumi yang bulat. Sebagai catatan, kedua rumus di atas mengasumsikan dua tempat yang terletak di permukaan bumi sehingga ketinggian adalah 0 dari permukaan laut. Tentu saja dalam realitanya, dua tempat tersebut memiliki ketinggian tertentu dari permukaan laut.

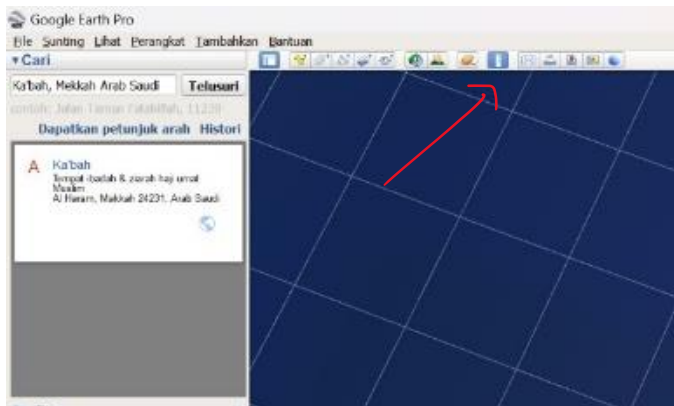
Sebagai acuan akurasi pengukuran dalam penentuan jarak dua tempat di muka bumi, penulis menggunakan fitur “*ruler*” di *google earth*. Adapun langkah-langkah dalam menentukan jarak dua tempat di muka bumi menggunakan fitur “*ruler*” di *Google earth* adalah sebagai berikut.

- Cari lokasi Ka’bah dengan mengetik kata Ka’bah di fitur “*search*”, kemudian catat koordinatnya untuk data perhitungan jarak dua tempat menggunakan metode perhitungan buku “Mekanika Benda Langit”



Gambar 3.1 Titik Koordinat Ka'bah

- Setelah ditemukan lokasi Ka'bah maka langkah selanjutnya adalah mengklik fitur "ruler" dan arahkan titik Ka'bah sebagai pangkal dan tarik ke jarak yang diinginkan



Gambar 3.2 Fitur "ruler" (ditunjukkan arah panah)pada *Google earth* untuk menentukan jarak dua tempat

- Setelah ditemukan lokasi sesuai dengan jarak yang

The screenshot shows the Google Earth Pro application window. The main map area displays a satellite view of a coastal region in Indonesia, with a green line segment drawn across it. The left sidebar contains a 'Places' panel with a list of locations, including 'Kutai' and 'Kutai Kartanegara'. The top toolbar includes various navigation and measurement tools. The bottom status bar shows the current location is near Kutai Kartanegara.

bandingan perhitungan jarak d

<i>Google Earth</i> (km)	Mekanika Benda Langit (km)	Selisih (km)
100	99.99804348	0.019204837
1000	999.9807952	0.557151442
2000	2000.557151	0.009505644
5000	5000.009506	2.376537933
10000	10002.37654	2.986533019
15000	15002.98653	2.768734124
18000	18002.76873	0.934506727
19860	19860.93451	0.934506727

Tabel 3.1 Perbandingan jarak dua tempat di muka bumi antara metode *Google Earth* dengan metode dalam buku “Mekanika Benda Langit”

Langkah yang kedua yaitu perhitungan nilai kemencengan setiap satu derajat. Dari perbandingan metode perhitungan dalam buku “Mekanika Benda Langit” dengan metode pengukuran yang akurat seperti *Google Earth* muncul selisih yang cukup besar yaitu 51,95 km. Sehingga perhitungan nilai kemencengan setiap satu derajat dalam buku “Mekanika Benda Langit” tergolong tidak akurat seperti yang telah dijelaskan di latar belakang.

Penyebab ketidakakuratan hasil perhitungan kemencengan kiblat setiap satu derajat menggunakan rumus dalam buku “Mekanika Benda Langit” ini mempunyai dua kemungkinan. Yang pertama, bisa jadi disebabkan karena perbedaan data

koordinat Ka'bah dan tempat, dan yang kedua, bisa jadi karena kesalahan metode perhitungan dalam buku "Mekanika Benda Langit". Kemungkinan pertama tampaknya tidak terbukti sebagai penyebab ketidakakuratan dari rumus kemencengan setiap satu derajat ini, karena jika dibandingkan, antara data koordinat Ka'bah dan tempat aplikasi *Google earth* dengan data dari metode perhitungan ini tidak menghasilkan selisih yang besar.

Dari perbandingan data koordinat Ka'bah dan tempat antara *Google earth* dengan metode perhitungan sebagaimana yang telah dijelaskan di latar belakang, bahwa data koordinat lintang dan bujur Ka'bah dan tempat adalah sama, kecuali pada lintang tempat yang hanya berbeda dalam satuan detik saja. Selisih tersebut terlalu kecil untuk menghasilkan perbedaan jarak hingga 51,95 km (kemencengan arah kiblat Masjid Baiturrahman Gorontalo seperti yang dijelaskan di latar belakang), sehingga data koordinat metode perhitungan ini bisa dikatakan sudah sangat akurat. Dengan akuratnya data tersebut, maka bisa disimpulkan bahwa ketidakakuratan hasil perhitungan dari rumus kemencengan dalam buku "Mekanika Benda Langit" ini tidak terletak pada data koordinat Ka'bah dan tempat-nya, melainkan terletak pada rumus atau metode perhitungannya. Dibuktikan dengan hasil perbandingan metode perhitungan dalam buku "Mekanika Benda Langit" dengan metode pengukuran *Google earth* pada lokasi yang mempunyai jarak dibawah 2000 km dengan Ka'bah mempunyai selisih dibawah 1 km yaitu hanya 0.015329 - 0.376585 km, dan mulai tidak akurat

pada jarak lebih dari 2000 km yaitu 9.126 - 63.5329252 km, seperti pada tabel 3.2

Jarak	MBL	<i>Google earth</i>	Selisih
100	1.745329	1.73	0.015329
1000	17.45329	17.37	0.083293
2000	34.90659	34.53	0.376585
5000	87.26646	78.14	9.126463
10000	174.53292	111	63.532925

Tabel 3.2 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Metode dalam Buku “Mekanikan Benda Langit” dengan *Google Earth* terhadap variabel jarak pada kemencengan 1°

Sehingga metode perhitungan dalam buku “Mekanika Benda Langit” akurat untuk yang dekat dan tidak akurat untuk jarak yang jauh.

Setelah dianalisis, mengapa dalam buku “Mekanika Benda Langit” akurat untuk yang dekat dan tidak akurat untuk jarak yang jauh adalah karena pada metode perhitungan kemencengan kiblat dalam buku “Mekanika Benda Langit”, rumus yang digunakan berasal dari perbandingan busur lingkaran, sehingga asumsi yang digunakan dalam rumus itu adalah segitiga datar. Dimana seperti yang dijelaskan diatas bahwa bentuk bumi adalah seperti bola, bahkan yang lebih akurat lagi adalah elipsoida. Hal ini dikuatkan dengan hasil wawancara dengan Rinto Anugraha sebagai penulis

buku "Mekanika Benda Langit". Beliau memberikan argumen bahwa asumsi yang digunakan dalam membuat rumus kemencengan kiblat ini dalam buku ini adalah dalam perspektif segitiga datar. Sehingga beliau menyadari bahwa dalam penggunaan perhitungan kemencengan kiblat bagi tempat yang mempunyai jarak yang jauh dengan Ka'bah akan menghasilkan nilai yang kurang akurat.

Perlu diketahui bahwa ketidakakuratan rumus dalam menentukan kemencengan arah kiblat ini tidak bisa digeneralisir untuk rumus dalam buku "Mekanika Benda Langit" yang lain. Rumus-rumus lain seperti rumus arah kiblat, jarak dua tempat di muka bumi, jarak dari permukaan bumi ke pusat bumi pada bab yang sama "Bumi dan Koordinat Bola" menggunakan pendekatan bentuk bumi bola, bahkan elipsoida, sehingga mempunyai hasil yang akurat. Sedangkan dalam rumus menentukan kemencengan kiblat mempunyai hasil yang tidak akurat dikarenakan fokus judul besar pembahasan ini adalah jarak dua tempat di muka bumi. Pembahasan rumus kemencengan kiblat hanya digunakan sebagai penekanan terkait betapa pentingnya tempat sholat menghadap ke arah kiblat yang benar, sehingga tidak terjadi penyimpangan arah kiblat yang menyebabkan tidak sahnya shalat.

BAB IV

REFORMULASI PERHITUNGAN KEMENCENGAN KIBLAT TERHADAP REALITAS JARAK DI MUKA BUMI

A. Algoritma Reformulasi Perhitungan Kemencengan Kiblat Terhadap Realitas Jarak Di Muka Bumi

Data geodesi yang terdapat dalam buku “Mekanika Benda Langit” bisa dikatakan sudah memiliki tingkat akurasi yang tinggi. Hal ini bisa dilihat dari perbandingan data koordinat tempat Masjid Agung Baiturrahim Kabupaten Gorontalo antara *Google Earth* dan buku “Mekanika Benda Langit” sebagaimana disebutkan dalam latar belakang penelitian ini. Ketika keduanya dibandingkan, data buku “Mekanika Benda Langit” sudah tergolong akurat karena hanya memunculkan selisih dalam satuan detik saja.

Dengan data koordinat tempat yang akurat tersebut tentu sayang apabila data ini tidak dimanfaatkan dengan maksimal, salahsatunya untuk perhitungan kemencengan arah kiblat. Oleh karena itu, dengan menggunakan data koordinat yang sudah akurat ini penulis berupaya untuk mereformulasi rumus kemencengan arah kiblat dalam buku “Mekanika Benda Langit” ini dengan pendekatan trigonometri bola. Pendekatan trigonometri bola digunakan penulis karena mengingat bentuk bumi yang menyerupai bola.

Adapaun pemanfaatan data koordinat untuk perhitungan kemencengan kiblat terhadap jarak di muka bumi ini dapat ditempuh dengan langkah-langkah berikut:

1. Mengetahui Jarak Dua Tempat di Muka Bumi

Sebelum menghitung kemencengan setiap satu derajat maka langkah yang harus dilakukan adalah mencari terlebih dahulu jarak Ka'bah dengan lokasi yang dicari arah kiblatnya. Seperti yang telah dijelaskan pada Bab 3 bahwa, meskipun hasil nilai dari metode perhitungan jarak dua tempat di muka bumi dalam buku "Mekanika Benda Langit" dan *Google Earth* memiliki selisih yang kecil yaitu dibawah 3 km, namun selisih ini cukup mempengaruhi hasil perhitungan reformulasi kemencengan arah kiblat. Sehingga penulis akan mengambil sumber data jarak dua tempat di muka bumi ini menggunakan data *google earth*.

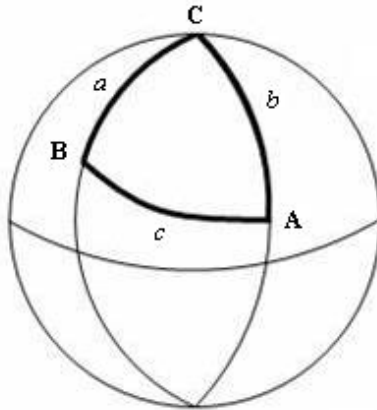
Alasan lain penulis menggunakan hasil pengukuran jarak dua tempat di muka bumi dari *google earth* bukan dari buku "Mekanika Benda Langit" adalah karena penulis ingin fokus menguji rumus kemencengan arah kiblatnya saja, bukan pada menentukan jarak dua tempat di muka bumi. Sehingga data yang diambil untuk penentuan kemencengan arah kiblat antara reformulasi metode perhitungan dan *google earth* (dalam menentukan kemencengan kiblat) adalah bersumber dari data yang sama yaitu dari *google earth* (dalam menentukan jarak dua tempat di muka bumi).

2. Mengetahui Kemencengan Kiblat Menggunakan Hukum Trigonometri Bola

Untuk mencari nilai kemencengan penulis mereformulasi rumus kemencengan arah kiblat dalam buku

“Mekanika Benda Langit” ini dengan pendekatan trigonometri bola. Pendekatan trigonometri bola digunakan penulis karena mengingat bentuk bumi yang menyerupai bola. Sehingga perhitungan yang dihasilkan lebih akurat dibandingkan dengan rumus dalam buku “Mekanika Benda Langit” yang masih menggunakan perbandingan busur lingkaran, sehingga asumsi yang digunakan dalam rumus itu adalah segitiga datar. Adapun langkah-langkah reformulasi rumus dengan pendekatan trigonometri bola adalah sebagai berikut:

Perhatikan segitiga bola ABC di bawah ini



Gambar 4.1 Segitiga bola ABC yang menghubungkan titik A, titik B, dan titik C

Ket :

- A = Ka'bah
- B = Titik Kemencengan
- C = Lokasi
- Sudut C = Derajat Kemencengan
- Busur b = Busur a = jarak kemencengan

Jika kita asumsikan bumi adalah berbentuk bola, maka dalam mencari nilai kemencengan terhadap jarak di muka bumi menggunakan pendekatan trigonometri bola adalah sama dengan mencari nilai busur c (jarak antara Ka'bah dengan titik kemencengan) seperti pada gambar 4.1. Berikut ini adalah langkah-langkah hasil reformulasinya:

1. Rumus trigonometri bola

Untuk mencari nilai busur c kita bisa menggunakan pendekatan aturan trigonometri bola. Dalam trigonometri bola, terdapat rumus standar (*persamaan 2.3*) sebagai berikut:

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

2. Mencari Nilai $\cos (c)$

Dalam penentuan kemencengan kiblat terhadap jarak di muka bumi, maka yang harus diketahui terlebih dahulu adalah jarak antara lokasi dengan Ka'bah dan derajat kemencengan yang digunakan. Setelah diketahui maka, untuk memudahkan dalam perhitungan nilai jarak antara lokasi dengan Ka'bah ubah ke bentuk radian menggunakan *persamaan 2.1*:

$$\frac{\text{Busur Lingkaran}}{\text{Keliling Lingkaran}} = \frac{\text{sudut } \theta}{\text{sudut satu putaran}}$$

Satu sudut putaran = $360^\circ = 2 \pi \text{ rad}$ (*persamaan 2.2*),

sehingga:

$$\frac{\text{Busur } a/b}{\text{Keliling Lingkaran}} = \frac{\theta \text{ radian}}{2 \pi \text{ radian}}$$

$$\frac{\text{Busur } a/b}{\text{Keliling Lingkaran}} = \frac{\theta \text{ radian}}{2 \pi \text{ radian}}$$

$$\theta \text{ radian} = \frac{\text{Busur } a/b * 2 \pi \text{ radian}}{\text{Keliling lingkaran}}$$

Dalam hal ini keliling lingkaran merupakan keliling bumi, sehingga bisa didapatkan persamaan:

$$\frac{\text{Busur } a/b * 2 \pi}{\text{keliling bumi}} = \dots (\text{radian})$$

Setelah dirubah ke bentuk satuan radian maka selanjutnya masukan ke dalam persamaan trigonometri bola:

$$\cos (c) = \cos (a \text{ (rad)}) \cos (b \text{ (rad)}) + \sin (a \text{ (rad)}) \sin (b \text{ (rad)}) \cos (C)$$

Nilai C adalah derajat busur kemencengan, angka ini bisa disesuaikan dengan nilai toleransi perspektif tokoh falak yang digunakan. Sebagai contoh menggunakan nilai 1°.

$$\cos(c) = \cos(a(\text{rad})) \cos(b(\text{rad})) + \sin(a(\text{rad})) \sin(b(\text{rad})) \cos(1^\circ)$$

Setelah ditemukan hasil $\cos(c)$ maka langkah selanjutnya adalah mengubahnya ke bentuk radian dengan persamaan Arccos. Arccos(c) adalah inverse dari $\cos(c)$:

$$\cos(c) = \text{Arccos}(c)$$

3. Mengubah radian ke dalam satuan jarak

Setelah mendapatkan nilai dalam bentuk radian maka langkah terakhir adalah mengubah radian ke dalam satuan kilometer, menggunakan *persamaan 2.1*:

$$\frac{\text{Busur Lingkaran}}{\text{Keliling Lingkaran}} = \frac{\text{sudut } \theta}{\text{sudut satu putaran}}$$

Satu sudut putaran = $360^\circ = 2\pi \text{ rad}$ (*persamaan 2.1*), sehingga,

$$\frac{\text{Busur } c}{\text{Keliling Lingkaran}} = \frac{\theta \text{ radian}}{2\pi \text{ radian}}$$

$$\frac{\text{Busur } c}{\text{Keliling Lingkaran}} = \frac{c(\text{rad})}{2\pi \text{ radian}}$$

Sehingga,

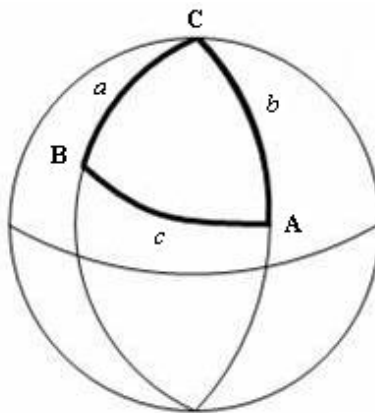
$$\text{Busur } c = \frac{c(\text{rad}) * \text{keliling lingkaran}}{2\pi}$$

$$c \text{ (km)} = \frac{c \text{ (rad)}}{2 \pi i} \times \text{Keliling bumi}$$

nilai busur c dalam kilometer inilah yang menjadi angka kemencengan kiblat terhadap jarak pada muka bumi.

3. Perhitungan pada jarak 100 km, 1000 km, 2000 km, 5000 km, dan 10000 km

Sebagai contoh penulis akan menghitung nilai kemencengan arah kiblat satu derajat pada tempat yang mempunyai jarak dengan Ka'bah sebesar 100 km, 1000 km, 2000 km, 5000 km, dan 10000 km



Gambar 4.2 Segitiga bola ABC yang menghubungkan titik A (Ka'bah), titik B (tempat kemencengan), dan titik C (lokasi)

- Pada Jarak 100 km

Diketahui:

Jarak lokasi ke Ka'bah = a

Jarak lokasi ke titik kemencengan = b

a = b = 100 km

kemencengan (C) = 1°

keliling bumi = 40.053 km⁷⁵

c (nilai kemencengan) = ?

$$b \text{ (rad)} = \frac{b * 2 \pi}{\text{keliling bumi}} = \dots \text{rad}$$

$$\frac{100 \text{ km} * 2 \pi}{40.053 \text{ km}} = 0.01568718$$

$$\cos(a) = \cos(b)$$

$$\sin(a) = \sin(b)$$

$$C = 1^\circ$$

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

$$\cos(c) = 0.999877 \times 0.999877 + 0.01568653 \times 0.01568653 \\ \times 0.999847$$

$$\cos(c) = 0.999999963$$

$$\text{Arccos}(0.999999963) = 0.000274 \text{ rad}$$

$$c \text{ (km)} = \frac{0.000274}{2 \pi} \times 40.053 = 1.745236 \text{ km}$$

- Pada Jarak 1000 km

Diketahui:

Jarak lokasi ke Ka'bah = a

⁷⁵ World Geodetic System 1984 Reference System. Dikses pada tanggal 4 Juni 2024 pukul 07.38 WIB

Jarak lokasi ke titik kemencengan = b

$$a = b = 1000 \text{ km}$$

$$\text{kemencengan (C)} = 1^\circ$$

$$\text{keliling bumi} = 40.053 \text{ km}$$

$$c \text{ (nilai kemencengan)} = ?$$

$$b \text{ (rad)} = \frac{b * 2 \pi}{\text{keliling bumi}} = \dots \text{ rad}$$

$$\frac{1000 \text{ km} * 2 \pi}{40.053 \text{ km}} = 0.156871778$$

$$\cos(a) = \cos(b)$$

$$\sin(a) = \sin(b)$$

$$C = 1^\circ$$

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

$$\cos(c) = 0.987720835 \times 0.987720835 + 0.156229166 \times 0.156229166 \times 0.999847$$

$$\cos(c) = 0.999996283$$

$$\text{Arccos}(0.999996283) = 0.00272668 \text{ rad}$$

$$c \text{ (km)} = \frac{0.00272668}{2 \pi} \times 40.053 = 17.38158135 \text{ km}$$

- Pada Jarak 2000 km

Diketahui:

Jarak lokasi ke Ka'bah = a

Jarak lokasi ke titik kemencengan = b

$$a = b = 2000 \text{ km}$$

$$\text{kemencengan (C)} = 1^\circ$$

$$\text{keliling bumi} = 40.053 \text{ km}$$

$$c \text{ (nilai kemencengan)} = ?$$

$$b \text{ (rad)} = \frac{b * 2 \pi i}{\text{keliling bumi}} = \dots \text{rad}$$

$$\frac{2000 \text{ km} * 2 \pi i}{40.053 \text{ km}} = 0.313743555$$

$$\cos(a) = \cos(b)$$

$$\sin(a) = \sin(b)$$

$$C = 1^\circ$$

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

$$\cos(c) = 0.951184896 \times 0.951184896 + 0.308621604 \times 0.308621604 \times 0.999847$$

$$\cos(c) = 0.999985493$$

$$\text{Arccos}(0.999985493) = 0.005386401 \text{ rad}$$

$$c \text{ (km)} = \frac{0.005386401}{2 \pi i} \times 40.053 = 34.33633096 \text{ km}$$

- o Pada Jarak 5000 km

Diketahui:

Jarak lokasi ke Ka'bah = a

Jarak lokasi ke titik kemencengan = b

$$a = b = 5000 \text{ km}$$

$$\text{kemencengan (C)} = 1^\circ$$

$$\text{keliling bumi} = 40.053 \text{ km}$$

$$c \text{ (nilai kemencengan)} = ?$$

$$b \text{ (rad)} = \frac{b * 2 \pi i}{\text{keliling bumi}} = \dots \text{rad}$$

$$\frac{5000 \text{ km} * 2 \pi i}{40.053 \text{ km}} = 0.784358888$$

$$\cos(a) = \cos(b)$$

$$\sin(a) = \sin(b)$$

$$C = 1^\circ$$

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

$$\cos(c) = 0.707841278 \times 0.707841278 + 0.706371521 \times 0.706371521 \times 0.999847$$

$$\cos(c) = 0.999924006$$

$$\text{Arccos}(0.999924006) = 0.01232843 \text{ rad}$$

$$c \text{ (km)} = \frac{0.01232843}{2\pi} \times 40.053 = 78.58921832 \text{ km}$$

- Pada Jarak 10000 km

Diketahui:

Jarak lokasi ke Ka'bah = a

Jarak lokasi ke titik kemencengan = b

$$a = b = 10000 \text{ km}$$

$$\text{kemencengan (C)} = 1^\circ$$

$$\text{keliling bumi} = 40.053 \text{ km}$$

$$c \text{ (nilai kemencengan)} = ?$$

$$b \text{ (rad)} = \frac{b * 2\pi}{\text{keliling bumi}} = \dots \text{ rad}$$

$$\frac{10000 \text{ km} * 2\pi}{40.053 \text{ km}} = 1.568717776$$

$$\cos(a) = \cos(b)$$

$$\sin(a) = \sin(b)$$

$$C = 1^\circ$$

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

$$\cos(c) = 0.00207855 \times 0.00207855 + 0.99999784 \times 0.99999784 \times 0.999847$$

$$\cos(c) = 0.999847696$$

$$\text{Arccos}(0.999847696) = 0.017453255 \text{ rad}$$

$$c \text{ (km)} = \frac{0.017453255}{2 \pi} \times 40.053 = 111.258093 \text{ km}$$

- Pada Jarak 15000 km

Diketahui:

Jarak lokasi ke Ka'bah = a

Jarak lokasi ke titik kemencengan = b

$$a = b = 15000 \text{ km}$$

$$\text{kemencengan (C)} = 1^\circ$$

$$\text{keliling bumi} = 40.053 \text{ km}$$

$$c \text{ (nilai kemencengan)} = ?$$

$$b \text{ (rad)} = \frac{b * 2 \pi}{\text{keliling bumi}} = \dots \text{ rad}$$

$$\frac{15000 \text{ km} * 2 \pi}{40.053 \text{ km}} = 2.353076664$$

$$\cos(a) = \cos(b)$$

$$\sin(a) = \sin(b)$$

$$C = 1^\circ$$

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

$$\cos(c) = -0.704898712 \times -0.704898712 + 0.709307977 \times 0.709307977 \times 0.999847$$

$$\cos(c) = 0.999923373$$

$$\text{Arccos}(0.999923373) = 0.012379682 \text{ rad}$$

$$c \text{ (km)} = \frac{0.012379682}{2 \pi} \times 40.053 = 78.91592565 \text{ km}$$

- Pada Jarak 19860 km

Diketahui:

Jarak lokasi ke Ka'bah = a

Jarak lokasi ke titik kemencengan = b

a = b = 19860 km

kemencengan (C) = 1°

keliling bumi = 40.053 km

c (nilai kemencengan) = ?

$$b \text{ (rad)} = \frac{b * 2 \pi}{\text{keliling bumi}} = \dots \text{rad}$$

$$\frac{19860 \text{ km} * 2 \pi}{40.053 \text{ km}} = 3.115473503$$

$$\cos(a) = \cos(b)$$

$$\sin(a) = \sin(b)$$

$$C = 1^\circ$$

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

$$\cos(c) = -0.999658914 \times -0.999658914 + 0.026116181 \times 0.026116181 \times 0.999847$$

$$\cos(c) = 0.999999896$$

$$\text{Arccos}(0.999999896) = 0.000455808 \text{ rad}$$

$$c \text{ (km)} = \frac{0.000455808}{2 \pi} \times 40.053 = 2.905605948 \text{ km}$$

B. Analisis Keakuratan Hasil Reformulasi Perhitungan Kemencengan Kiblat Terhadap Realitas Di Muka Bumi

Reformulasi metode perhitungan kemencengan arah kiblat ini dilakukan untuk meningkatkan akurasi dari hasil perhitungan yang dihasilkan. Penulis melihat adanya kemungkinan bahwa reformulasi metode perhitungan menggunakan pendekatan hukum

trigonometri bola ini akan menghasilkan data kemencengan terhadap jarak yang lebih akurat. Karena ketika melihat data yang diambil dalam buku "Mekanika Benda Langit" ini, sudah menggunakan pendekatan bumi yang berbentuk elipsoida. Namun, ketika mencari nilai kemencengan terhadap jarak di muka bumi, nilai yang dihasilkan menjadi tidak akurat. Sehingga dengan akuratnya data tersebut, bisa disimpulkan bahwa ketidakakuratan hasil perhitungan dari rumus kemencengan dalam buku "Mekanika Benda Langit" ini tidak terletak pada data yang diambil, melainkan terletak pada rumus atau metode perhitungannya.

1. Analisis Nilai Kemencengan Variabel jarak terhadap Derajat

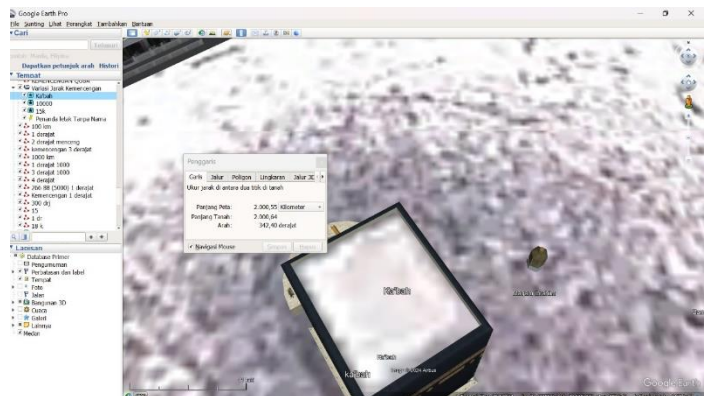
Untuk melihat seberapa pengaruh reformulasi metode perhitungan kemencengan arah kiblat ini terhadap keakuratan nilainya. Penulis menggunakan contoh perhitungan kemencengan kiblat dengan variabel jarak sebesar 100 km, 1000 km, 2000km, 5000 km, 10.000 km, 15.000 km, dan 19860 km. Sedangkan dalam variabel busur derajat penulis menggunakan variasi 1- 4 derajat busur. Variabel jarak digunakan untuk melihat seberapa akurat nilai yang dihasilkan terhadap jarak. Variabel busur derajat digunakan untuk melihat seberapa akurat nilai yang dihasilkan terhadap busur jarak.

Sebagai pembandingan penulis menggunakan *google earth* sebagai acuan akurasi karena sistem koordinat internal yang digunakan *google earth* adalah koordinat geografis (lintang/bujur) pada datum *World Geodetic System 1984*

(WGS84), yaitu datum yang sama yang digunakan oleh GPS.⁷⁶ Sehingga tidak diragukan lagi keakuratannya. Muammar Al-Khairi dalam penelitiannya “Uji Akurasi Citra *google earth* Dalam Menentukan Arah Kiblat Masjid Di Kecamatan Langsa Timur” menyimpulkan bahwa penggunaan *google earth* dalam penentuan arah kiblat tergolong akurat.

Langkah-langkah dalam menentukan kemencengan arah kiblat menggunakan *google earth* adalah sebagai berikut:

- Cari azimuth kiblat tempat yang ingin dicari nilai kemencengannya

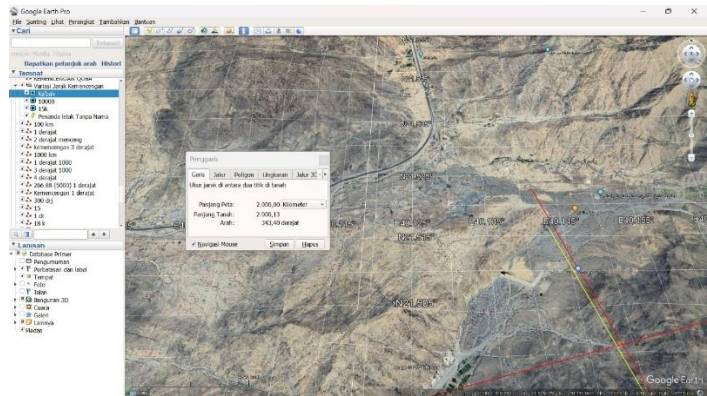


Gambar 4.3 Azimuth Kiblat

- Setelah ditemukan azimuth kiblat sebenarnya, langkah selanjutnya adalah cari azimuth kemencengannya terhadap kiblat (azimut kiblat + derajat kemencengan). Dalam

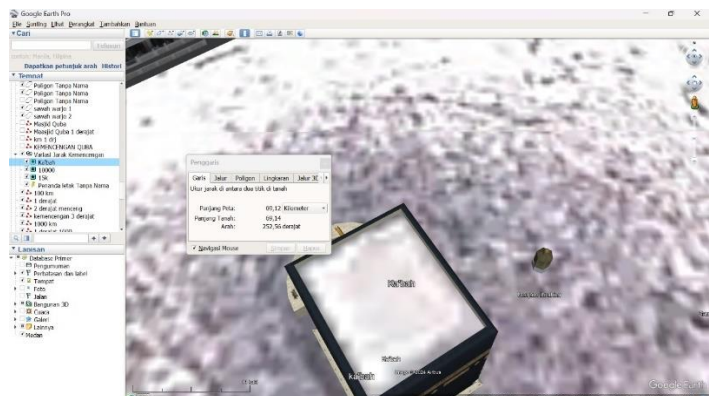
⁷⁶ Mohammed, Ghazi, and Mustafa, “Positional Accuracy Testing of Google Earth.”

langkah ini, jarak titik kemencengan ke Ka'bah harus sama dengan jarak tempat ke Ka'bah.



Gambar 4.4 Azimuth Kemencengan Kiblat

- Langkah terakhir adalah ukur jarak dari titik kemencengan ke kiblat



Gambar 4.5 Jarak Antara Titik Kemencengan dengan Kiblat Sebenarnya

Nilai jarak antara titik kemencengan dengan kiblat tersebut yang akan menjadi acuan nilai kemecengan kiblat.

Dalam menguji akurasi suatu perhitungan maka harus memperhatikan dua hal, yang pertama adalah data yang diambil dan yang kedua adalah metode perhitungan. Untuk reformulasi perhitungan ini, penulis menggunakan acuan data koordinat yang sama dengan *google earth*, yaitu koordinat geografis (lintang/bujur) pada datum *World Geodetic System* 1984 (WGS84).

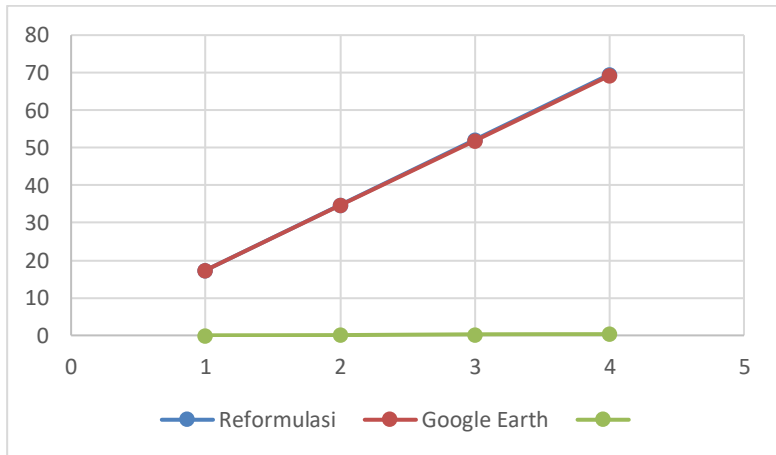
Berikut ini adalah tabel hasil perbandingan nilai kemencengan kiblat antara reformulasi metode perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada variasi jarak 1000 km, 2000 km, 5000 km, dan 15000 km.

Derajat	Reformulasi	<i>Google Earth</i>	Selisih
1°	17.38158	17.37	0.011581351
2°	34.76187	34.684	0.077871331
3°	52.13957864	51.86	0.279578642
4°	69.5134	69.189	0.324412145

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 1000 km

Pada jarak 1000 km selisih nilai kemencengan kiblat antara reformulasi metode perhitungan dan *google earth* adalah dibawah 1 km. Grafik yang dihasilkan dari reformulasi perhitungan terhadap

variabel busur adalah naik, artinya kemencengan terhadap derajat busur berbanding lurus dengan nilai kemencengan kiblat, seperti pada grafik 4.1 berikut ini.

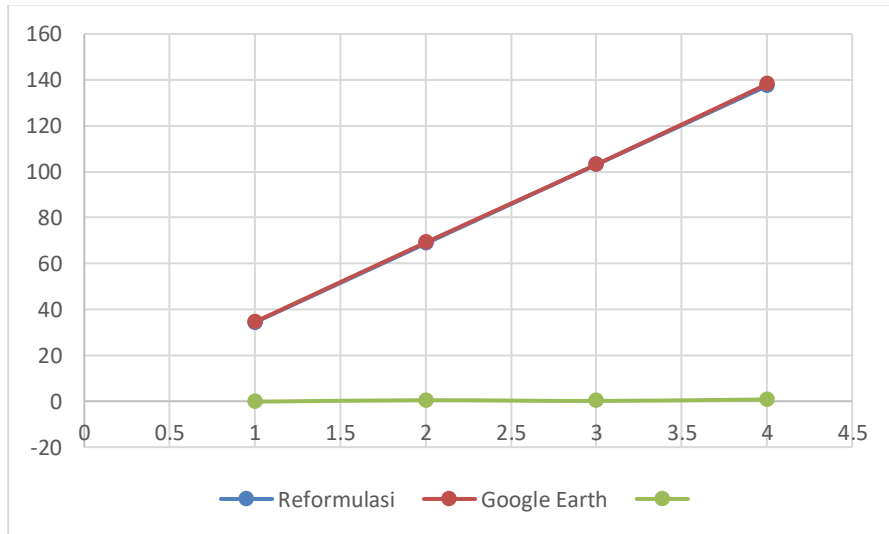


Grafik 4.1 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 1000 km

Derajat	Reformulasi	<i>Google Earth</i>	Selisih
1°	34.33633	34.53	0.193669038
2°	68.6703	69.105	0.434703898
3°	102.9995296	103.119	0.11947038
4°	137.322	138.094	0.77233423

Tabel 4.2 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 2000 km

Seperti halnya jarak 1000 km, pada jarak 2000 km selisih nilai kemencengan kiblat antara reformulasi metode perhitungan dan *google earth* adalah dibawah 1 km. Grafik yang dihasilkan dari reformulasi perhitungan terhadap variabel busur adalah naik, artinya kemencengan terhadap derajat busur berbanding lurus dengan nilai kemencengan kiblat, seperti pada grafik 4.2 berikut ini.

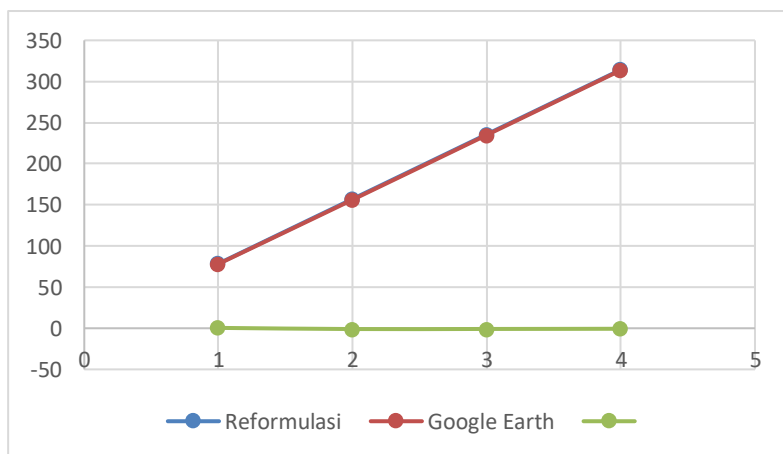


Grafik 4.2 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *google earth* terhadap variabel derajat pada jarak 2000 km

Derajat	Reformulasi	<i>Google Earth</i>	Selisih
1°	78.58921832	78.14	0.449218315
2°	157.1754377	156.224	0.951437737
3°	235.7556586	234.896	0.859658573
4°	314.3268795	313.7	0.626879539

Tabel 4.3 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 5000 km

Seperti halnya jarak 2000 km, pada jarak 5000 km selisih nilai kemencengan kiblat antara reformulasi metode perhitungan dan *google earth* adalah dibawah 1 km. Grafik yang dihasilkan dari reformulasi perhitungan terhadap variabel busur adalah naik, artinya kemencengan terhadap derajat busur berbanding lurus dengan nilai kemencengan kiblat, seperti pada grafik 4.3 berikut ini.



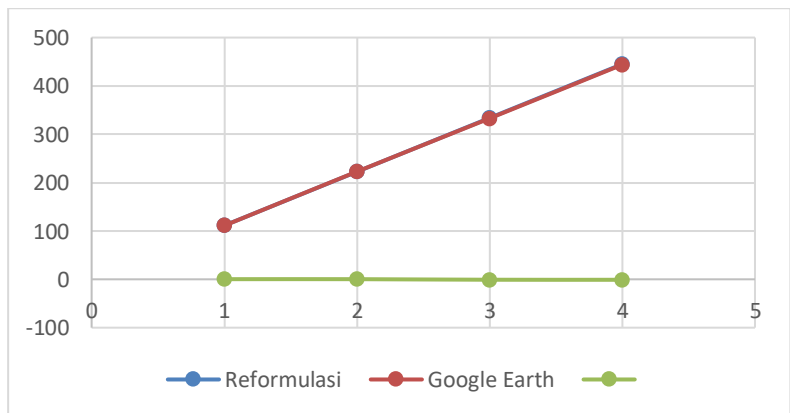
Grafik 4.3 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 5000 km

Derajat	Reformulasi	<i>Google Earth</i>	Selisih
1°	111.258093	111	0.25809299
2°	222.5161859	222.75	0.23381406

3°	333.7742788	332.85	0.9242788
4°	445.0323716	444.034	0.9983716

Tabel 4.4 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 10.000 km

Pada jarak 10.000 km selisih nilai kemencengan kiblat antara reformulasi metode perhitungan dan *google earth* adalah dibawah 1 km. Grafik yang dihasilkan dari reformulasi perhitungan terhadap variabel busur adalah naik, artinya kemencengan terhadap derajat busur berbanding lurus dengan nilai kemencengan kiblat, seperti pada grafik 4.4 berikut ini.



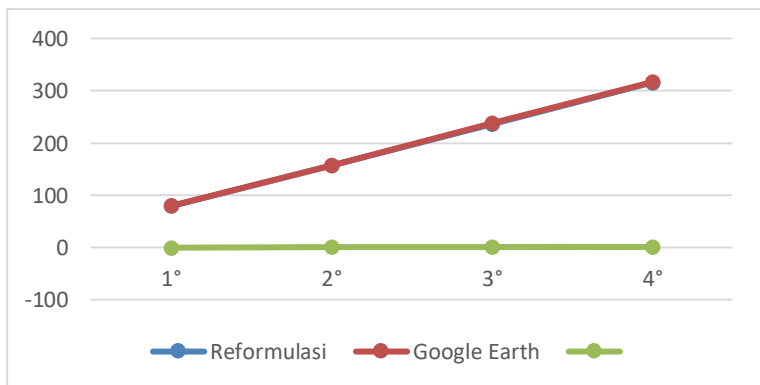
Grafik 4.4 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 10.000 km

Derajat	Reformulasi	<i>Google Earth</i>	Selisih
---------	-------------	---------------------	---------

1°	78.91592565	79.411	0.495074351
2°	157.8288649	157.754	0.07486492
3°	236.7358306	237.057	0.321169366
4°	315.633834	316.557	0.923165996

Tabel 4.5 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 15000 km

Pada jarak 15.000 km selisih nilai kemencengan kiblat antara reformulasi metode perhitungan dan *google earth* adalah dibawah 1 km. Grafik yang dihasilkan dari reformulasi perhitungan terhadap variabel busur adalah naik, artinya kemencengan terhadap derajat busur berbanding lurus dengan nilai kemencengan kiblat, seperti pada grafik 4.5 berikut ini.

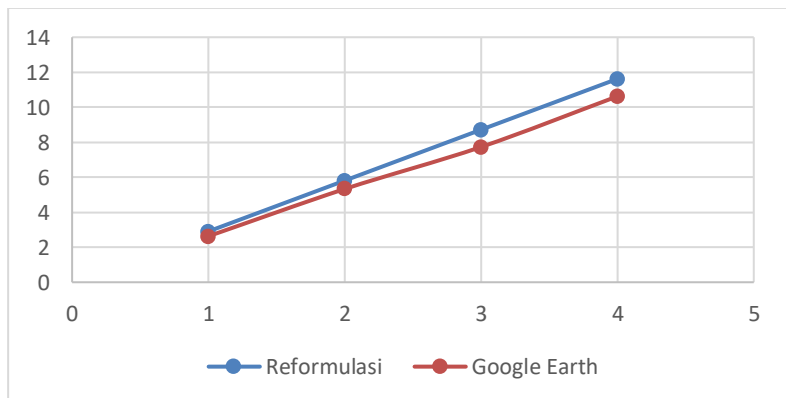


Grafik 4.5 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 15000 km

Derajat	Reformulasi	Google Earth	Selisih
1°	2.905606	2.63	0.275606
2°	5.810991	5.33	0.48099
3°	8.715933	7.73	0.98593
4°	11.62021	10.623	0.99721

Tabel 4.6 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 19860 km

Pada jarak 19860 km selisih nilai kemencengan kiblat antara reformulasi metode perhitungan dan *google earth* adalah dibawah 1 km. Grafik yang dihasilkan dari reformulasi perhitungan terhadap variabel busur adalah naik, artinya kemencengan terhadap derajat busur berbanding lurus dengan nilai kemencengan kiblat, seperti pada grafik 4.6 berikut ini.



Grafik 4.6 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *google earth* terhadap variabel derajat pada jarak 19860 km

Berdasarkan hasil perbandingan nilai kemencengan kiblat antara reformulasi metode perhitungan dan *google earth*, selisih nilai yang dihasilkan dari kedua metode tersebut akurat di semua variabel jarak pada kemencengan 1- 4 derajat. Hal ini bisa dilihat pada tabel dan grafik 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 dan 4.4 dimana semua selisih nilai antara reformulasi metode perhitungan dan *google earth* adalah dibawah 1 km (orde meter). Sehingga bisa dikatakan bahwa reformulasi kemencengan arah kiblat akurat pada semua variasi jarak dan derajat kemencengan. Hal ini dikarenakan pendekatan yang diambil dalam reformulasi metode perhitungan kemencengan kiblat adalah pendekatan trigonometri bola, sehingga lebih menyerupai bentuk bumi.

Selain membandingkan rumus kemencengan kiblat sebelum dilakukan reformulasi, dibandingkan juga rumus kemecengan kiblat sebelum dilakukan reformulasi, sehingga bisa dilihat perbedaan keduanya. Variabel derajat yang digunakan dalam menggunakan rumus kemencengan dalam buku “Mekanika Benda Langit” ini adalah 1-4 derajat dengan jarak 100 km, 1000 km, 2000 km, dan 5000 km. Pada jarak 100 km selisih nilai kemencengan untuk semua variasi busur adalah dibawah 0,1 km dan nilai kemencengan paling besar terdapat pada variabel 4 derajat yaitu senilai 0.0223 km, seperti pada tabel 4.7.

Derajat	MBL	<i>Google Earth</i>	Selisih
1°	1.745329	1.73	0.015329

2°	3.490659	3.49	0.000659
3°	5.235988	5.227	0.008988
4°	6.981317	6.959	0.022317

Tabel 4.7 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Metode dalam Buku “Mekanikan Benda Langit” dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 100 km

Seperti pada jarak 100 km, pada jarak 1000 km ini juga memiliki selisih nilai kemencengan untuk semua variasi busur adalah dibawah 1 km dan nilai kemencengan besar terdapat pada variabel 1 derajat yaitu senilai 0.49 km, seperti pada tabel 4.8.

Derajat	MBL	<i>Google Earth</i>	Selisih
1°	17.45329	17.37	0.083293
2°	34.90659	34.684	0.222585
3°	52.35988	51.86	0.499878
4°	69.81317	69.189	0.62417

Tabel 4.8 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Metode dalam Buku “Mekanikan Benda Langit” dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 1000 km

Pada jarak 2000 km untuk variasi busur 1 dan 2 derajat memiliki selisih nilai kemencengan dibawah 1 km dan nilai kemencengan diatas 1 km terdapat pada variabel 3 dan 4 derajat yaitu masing-masing 1.20 km dan 1.53 km , seperti pada tabel 4.9.

Derajat	MBL	Google Earth	Selisih
1°	34.90659	34.53	0.376585
2°	69.81317	69.105	0.70817
3°	104.7198	103.519	1.200755
4°	139.6263	138.094	1.53234

Tabel 4.9 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Metode dalam Buku “Mekanikan Benda Langit” dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 2000 km

Pada jarak 5.000 km semua variasi busur derajat mulai terlihat selisih nilai kemencengan yang besar yaitu diatas 9 km dan nilai kemencengan terbesar terdapat pada variabel 4 derajat yaitu 35.36 km, seperti pada tabel 4.10.

Derajat	MBL	Google Earth	Selisih
1°	87.26646	78.14	9.126463
2°	174.5329	156.224	18.30893
3°	261.7994	234.896	26.90339
4°	349.0659	313.7	35.36585

Tabel 4.10 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Metode dalam Buku “Mekanikan Benda Langit” dan *Google Earth* terhadap variabel derajat pada jarak 5000 km

Jika hasil *google earth* dibandingkan dengan metode perhitungan sebelum reformulasi, dalam variabel terhadap derajat

busur (1-4 derajat) muncul selisih yang sangat besar mulai pada jarak 5000 km atau jarak yang jauh dengan Ka'bah. Selisih terbesar metode perhitungan sebelum reformulasi adalah 35.36 km, yaitu pada jarak 5000 km dengan kemencengan 4 derajat. Sedangkan selisih terkecil adalah 9.12 km, yaitu pada jarak 5000 km dengan kemencengan 1 derajat, seperti pada tabel 4.10. Sedangkan pada jarak yang dekat dengan Ka'bah (mulai 2000 km ke bawah) dengan variasi kemencengan 1-4 derajat, rumus menentukan nilai kemencengan terhadap arah kiblat dalam buku "Mekanika Benda Langit" tergolong masih akurat yaitu kurang dari 1 km, kecuali pada jarak 2000 km dengan variabel 3 dan 4 derajat yang mempunyai nilai kemencengan lebih dari 1 km yaitu masing-masing 1.20 dan 1.53 km.

Hal ini sesuai yang dijelaskan oleh Rinto Anugraha sebagai penulis buku "Mekanika Benda Langit" saat wawancara dengan peneliti, bahwa dalam penggunaan perhitungan kemencengan kiblat bagi tempat yang mempunyai jarak yang dekat dengan Ka'bah akan menghasilkan nilai yang akurat. Berbeda jika penggunaan rumus kemencengan dalam buku "Mekanika Benda Langit" untuk tempat yang mempunyai jarak yang jauh dengan Ka'bah (diatas 2000 km) dengan menggunakan metode perhitungan sebelum reformulasi tergolong tidak akurat. Hal ini dibuktikan seperti pada tabel 4.10, dimana selisih nilai antara metode perhitungan sebelum reformulasi dan *google earth* pada jarak yang jauh dengan Ka'bah (diatas 2000 km) tergolong besar yaitu diatas 9 km. Bahkan untuk jarak 5000 km ke Ka'bah pada variasi 4 derajat busur, rumus kemencengan Ka'bah

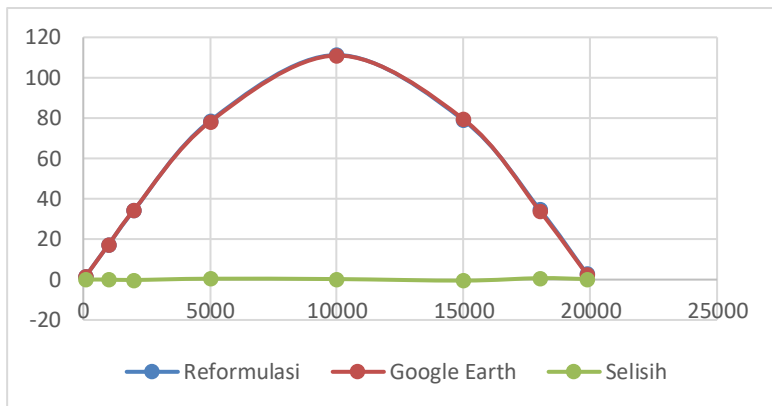
sebelum reformulasi ini menghasilkan nilai yang sangat tinggi yaitu 35.36 km.

2. Analisis Nilai Kemencengan Terhadap Variabel Jarak

Untuk variasi Nilai Kemencengan Terhadap Variabel Jarak penulis menggunakan beberapa variasi jarak yaitu 100 km, 1000 km, 2000 km, 5000 km, 10000 km, 15000 km, dan 19.860 km. Angka tersebut diambil bukan tanpa sebab, harapannya supaya mewakili dari seperdelapan bumi, seperempat bumi, dan setengah bumi. Kemudian variasi derajat yang digunakan adalah 1 dan 4 derajat.

Jarak	Reformulasi	<i>Google Earth</i>	Selisih
100	1.745235524	1.73	0.01523552
1000	17.38158135	17.37	0.01158135
2000	34.33633096	34.53	0.193669
5000	78.58921832	78.14	0.44921832
10000	111.258093	111	0.25809299
15000	78.91592565	79.411	0.4950744
18000	34.7759637	34.06	0.7159637
19860	2.905605948	2.63	0.27560595

Tabel 4.11 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel jarak pada kemencengan 1°



Grafik 4.7 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel jarak pada kemencengan 1°

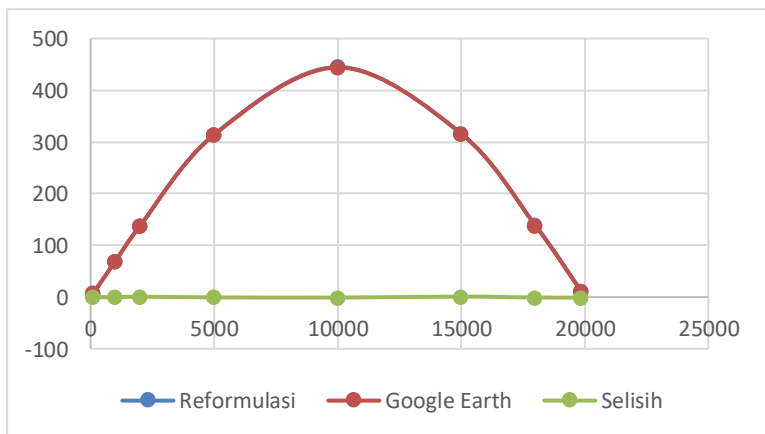
Berdasarkan tabel dan grafik 4.5, kemencengan arah kiblat tertinggi adalah pada jarak 10.000 km atau seperempat dari keliling bumi, sedangkan kemencengan terendah adalah pada jarak 19.860 km atau setengah keliling bumi serta jarak 100 km. Untuk orang yang berada pada setengah keliling bumi (antipoda bumi) maka mempunyai nilai kemecengan arah kiblat nol, sehingga bisa menghadap kiblat ke segala arah.

Grafik yang terbentuk pada perbandingan nilai kemencengan kiblat antara reformulasi metode perhitungan dan *google earth* adalah naik turun. Nilainya naik mulai dari jarak 100 km sampai 10000 km dan turun pada jarak 10000 km sampai 19860 km.

Jarak	Reformulasi	<i>Google Earth</i>	Selisih
-------	-------------	---------------------	---------

100	6.979613415	6.959	0.020613415
1000	69.51341215	69.189	0.324412145
2000	137.3216658	138.094	0.77233423
5000	314.3268795	313.7	0.626879539
10000	445.0323716	444.034	0.998371588
15000	315.633834	316.557	0.923165996
18000	139.0799588	138.233	0.846958797
19860	11.62021267	10.623	0.997212668

Tabel 4.12 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel jarak pada kemencengan 4°



Grafik 4.8 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan *Google Earth* terhadap variabel jarak pada kemencengan 4°

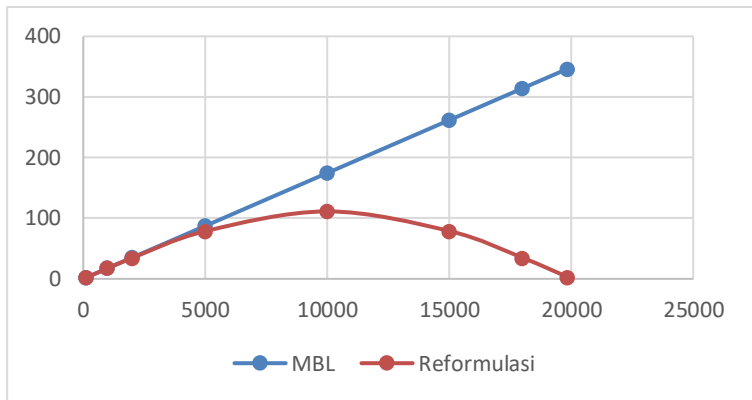
Jarak	MBL	<i>Google Earth</i>	Selisih
-------	-----	---------------------	---------

100	1.745329	1.73	0.015329
1000	17.45329	17.37	0.083293
2000	34.90659	34.53	0.376585
5000	87.26646	78.14	9.126463
10000	174.5329	111	63.53293
15000	261.7994	79.411	182.3884
18000	314.1593	34.06	280.0993
19860	346.6224	2.63	343.9924

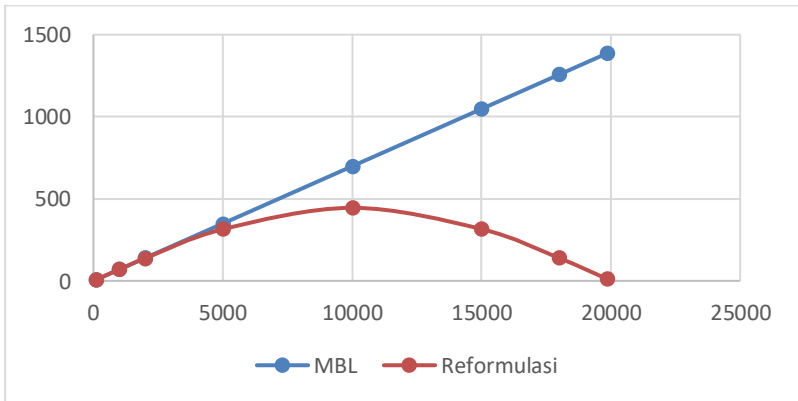
Tabel 4.13 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Metode dalam Buku “Mekanikan Benda Langit” dengan *Google Earth* terhadap variabel jarak pada kemencengan 1°

Jarak	MBL	<i>Google Earth</i>	Selisih
100	6.981317	6.959	0.022317
1000	69.81317	69.189	0.62417
2000	139.6263	138.094	1.53234
5000	349.0659	313.7	35.36585
10000	698.1317	444.034	254.0977
15000	1047.198	316.557	730.6406
18000	1256.637	138.233	1118.404
19860	1386.49	10.623	1375.867

Tabel 4.14 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Metode dalam Buku “Mekanikan Benda Langit” dengan *Google Earth* terhadap variabel jarak pada kemencengan 4°



Grafik 4.9 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Sebelum Reformulasi MBL terhadap variabel jarak pada kemencengan 1°



Grafik 4.10 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dan Sebelum Reformulasi MBL terhadap variabel jarak pada kemencengan 4°

Hasil perbandingan nilai kemencengan kiblat antara metode dalam buku “Mekanikan Benda Langit” dan *google earth*

mulai dari 2000 km ke bawah mempunyai selisih di bawah 1 km pada kemencengan 1 dan 4 derajat, nilai kemencengan sangat tinggi yaitu diatas 9 km terdapat pada jarak 5000 km - 19860 km yaitu antara 9.12 - 1375.867 km. Dan nilai terbesar kemecengan adalah pada jarak paling jauh yaitu 19860 km yaitu sebesar 1375.867 km dan nilai terkecil kemencengan adalah pada jarak yang paling dekat yaitu 100 km sebesar 0.01 km.

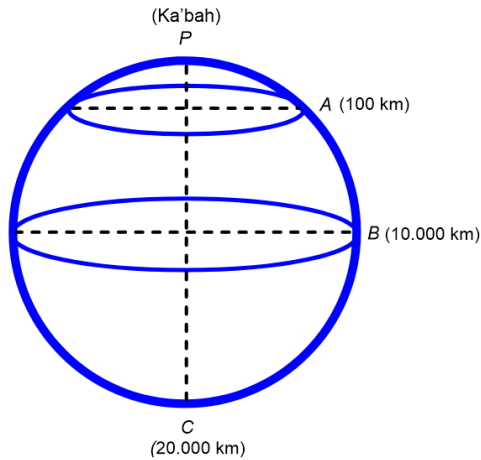
Hasil perbandingan nilai kemencengan kiblat antara metode perhitungan setelah dilakukan reformulasi dengan *google earth* terhadap variabel jarak pada semua variasi derajat dan jarak kemencengan mempunyai selisih yang kecil yaitu dibawah 1 km. Berbeda jika dibandingkan dengan nilai kemencengan kiblat sebelum dilakukan reformulasi dimana nilai kemencengan kiblat yang cukup akurat hanya pada jarak maksimal 2000 km pada semua variasi derajat, karena selisih dengan *google earth* di bawah 1 km, kecuali pada jarak 2000 km variabel 3 dan 4 derajat yang mempunyai selisih dibawah 2 km, yaitu masing-masing 1.20 dan 1.53. Dan pada jarak lebih dari 2000 km pada semua variasai derajat kemencengan, memiliki selisih dengan *google earth* yang cukup besar, yaitu pada orde satuan km (9.12 - 1375.867 km)

Alasan penggunaan rumus kemecengan sebelum reformulasi tidak akurat pada jarak yang lebih dari 2000 km, dikarenakan asumsi yang digunakan dalam membuat rumus kemencengan kiblat dalam buku “Mekanika Benda Langit” adalah perspektif segitiga datar. Sehingga rumus ini hanya valid bila digunakan di bidang yang datar. Dimana seperti yang dijelaskan

diatas bahwa bentuk bumi adalah seperti bola, bahkan yang lebih akurat lagi adalah elipsoida. Oleh karenanya rumus kemencengan kiblat hasil reformulasi lebih baik dari pendekatan pada rumus kemencengan sebelum reformulasi. Hal itu karena pada metode perhitungan sebelum reformulasi menggunakan pendekatan segitiga datar, sehingga nilai kemencengan akan akurat jika dibawah batasan jarak tertentu yaitu 2000 km. Berbeda dengan rumus setelah reformulasi yang akurat di berbagai jarak, karena mempunyai pendekatan lebih menyerupai bentuk bumi, yaitu bola.

Pola yang dihasilkan dari Metode dalam Buku “Mekanika Benda Langit” sebelum reformulasi adalah menunjukkan fungsi eksponensial, dimana semakin jauh jarak suatu tempat dengan Ka’bah maka nilai kemencengannya akan semakin tinggi seperti pada grafik 4.9 dan 4.10. Berbeda dengan pola yang dihasilkan dari rumus setelah dilakukan reformulasi yang tidak menunjukkan fungsi eksponensial, namun berbentuk seperti gunung, dimana memiliki puncak pada variabel jarak 10.000 km dan mempunyai nilai terkecil pada variabel jarak terdekat (100 km) dan terjauh (19860 km).

Dari grafik 4.9 dan 4.10 menunjukkan bahwa setelah dilakukan reformulasi rumus, nilai tertinggi kemencengan adalah pada jarak 10.000 km dan nilai terkecil kemencengan adalah pada jarak 100 km. Jika dianalisis dengan pendekatan matematis hasil tersebut bisa dijelaskan dengan perbandingan busur berikut ini:



Gambar 4.6 Bumi sebagai bola

Kita asumsikan bumi berbentuk bola seperti gambar, dengan titik P adalah Ka'bah, titik A adalah jarak tempat ke Ka'bah sebesar 100 km, titik B adalah jarak tempat ke Ka'bah sebesar 1000 km, dan titik C adalah jarak tempat ke Ka'bah sebesar 20.000 km. Masing-masing tempat mempunyai keliling lingkaran sesuai dengan jaraknya dengan Ka'bah. Jika satu lingkaran adalah 360 derajat maka nilai satu derajat kemencengan tempat terhadap Ka'bah adalah perbandingan busur terhadap keliling lingkarannya. Sehingga jika mengambil contoh pada titik A (jarak 10.000 km terhadap Ka'bah) yang mempunyai keliling lingkaran terbesar dari bumi (*great circle*) yaitu 40.053. Maka nilai kemencengan satu derajatnya adalah:

(persamaan 2.1)

$$\frac{\text{Busur lingkaran}}{\text{Keliling Lingkaran}} = \frac{\text{sudut } \theta}{\text{sudut satu putaran}}$$

$$\frac{\text{Kemencengan}}{\text{Keliling Lingkaran}} = \frac{\text{sudut } \theta}{\text{sudut satu putaran}}$$

$$\text{kemencengan} = \frac{\text{sudut } \theta}{\text{sudut satu putaran}} \times \text{keliling lingkaran}$$

Dalam hal ini jarak 10.000 km terhadap Ka'bah mempunyai keliling lingkaran terbesar dari bumi (*great circle*) yaitu sebesar 40.053 km. Sehingga:

$$\begin{aligned}\text{kemencengan} &= \frac{1 \text{ derajat}}{360 \text{ derajat}} \times 40.053 \\ &= 111.2583 \text{ km}\end{aligned}$$

Sehingga nilai kemencengan tersebut sesuai dengan tabel 4.5 yaitu sebesar 111.258. Contoh lain adalah pada jarak 100 km dengan kemencengan satu derajat adalah 1,74 maka bisa untuk mengetahui keliling lingkaran pada jarak tersebut terhadap Ka'bah.

$$\frac{\text{kemencengan}}{\text{Keliling Lingkaran}} = \frac{\text{sudut } \theta}{\text{sudut satu putaran}}$$

$$\frac{1.74}{\text{Keliling Lingkaran}} = \frac{1}{360 \text{ derajat}}$$

$$\begin{aligned}\text{Keliling lingkaran} &= \frac{1,74}{360 \text{ derajat}} \times 360 \text{ derajat} \\ &= 626.4 \text{ km}\end{aligned}$$

Sehingga nilai keliling lingkaran pada jarak 100 km adalah sebesar 626.4 km.

Dari kedua contoh tersebut bisa disimpulkan bahwa nilai kemecengan arah kiblat dipengaruhi oleh keliling lingkaran terhadap masing-masing jarak tempat dengan Ka'bah, karena setiap tempat mempunyai nilai keliling lingkaran terhadap Ka'bah

yang berbeda-beda. Dimana pada jarak 10000 km (seperempat bumi) mempunyai nilai kemencengan terhadap Ka'bah tertinggi karena memiliki keliling lingkaran terbesar dari bumi (*great circle*) yaitu sebesar 40.053 km.

Sedangkan pada rumus sebelum dilakukan reformulasi yaitu :

$$\frac{\text{Panjang Busur}}{\text{Keliling Lingkaran}} = \frac{\text{sudut } \theta}{\text{sudut satu putaran}}$$

$$\frac{r}{2 \pi * s} = \frac{\text{sudut } \theta}{360 \text{ derajat}}$$

$$r = \frac{1^{\circ} * 2 \pi * s}{360 \text{ derajat}}$$

$$r = s * \frac{1^{\circ} * \pi}{180 \text{ derajat}}$$

dimana nilai s dalam rumus keliling lingkaran menggunakan nilai jarak lokasi ke Ka'bah bukan jari-jari lingkaran pada jarak tersebut. Sehingga rumus kemencengan kiblat sebelum dilakukan reformulasi hanya akan akurat pada jarak yang dekat dengan Ka'bah, karena nilai jarak lokasi ke Ka'bah hampir sama dengan nilai jari-jari lingkaran pada jarak tersebut. (lihat gambar 4.6)

3. Analisis Nilai Kemencengan Variabel jarak terhadap bujur dan lintang

Selain analisi terhadap derajat busur dan jarak penulis juga melakukan analisis terhadap Bujur dan Lintang untuk melihat seberapa akurat hasil reformulasi metode perhitungan kemencengan

arah kiblat ini terhadap Bujur dan Lintang. Penulis menggunakan variabel jarak sebesar 7630 km, 10000 km, dan 12375 km. Pada jarak 7630 km penulis menggunakan empat variasi arah yaitu Utara (68.794101° LU 138.943982° BT) yang terletak di Kutub Utara dimana pada koordinat ini memiliki penggepengan bumi yang besar⁷⁷, Selatan (47.429443° LS 43.127981° BT), Barat (8.208838° LU 30.260973° BB), Timur (8.299526° LU 109.92641° BT) dengan variabel 1- 4 derajat busur. Pada jarak 10000 km adalah jarak seperempat bumi, dimana seperti yang dijelaskan diatas bahwa pada jarak ini kemencengan kiblat mempunyai nilai yang paling besar diantara jarak yang lain. Pada jarak ini koordinat tempat yang diambil adalah pada 68.794101° LU, 138.943982° BB dengan variasi 1-4 derajat busur. Kemudian, pada jarak 12375 km koordinat tempat yang diambil adalah pada 89.997959° LS, 151.611614° BB (Kutub Selatan), seperti halnya di Kutub Utara, di kutub selatan juga memiliki penggepengan bumi yang besar. Sehingga dari beberapa variabel yang digunakan pada penelitian ini, cukup untuk menguji seberapa akurat nilai yang dihasilkan terhadap bujur dan lintang.

Lintang	Bujur	Reformulasi	Google Earth	Selisih
89.990162° LU	43.000000° BT	103.5728	103.811	0.23825
47.429443°	43.127981°	207.1444	206.91	0.23445

⁷⁷ Anugraha, “Mekanika Benda Langit.” Hal 26

LS	BT			
8.208838°	30.260973°			
LU	BB	310.714	311.516	0.801956
8.299526°	109.92641°			
LU	BT	414.2805	414.534	0.253521

Tabel 4.15 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dengan *Google Earth* terhadap variabel Bujur dan Lintang pada kemencengan 1°

Lintang	Bujur	Reformulasi	<i>Google Earth</i>	Selisih
89.990162°	43.000000°			
LU	BT	103.5728	103.441	0.131751
47.429443°	43.127981°			
LS	BT	207.1444	207.138	0.00645
8.208838°	30.260973°			
LU	BB	310.714	311.212	0.497956
8.299526°	109.92641°			
LU	BT	414.2805	414.727	0.446521

Tabel 4.16 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dengan *Google Earth* terhadap variabel Bujur dan Lintang pada kemencengan 2°

Lintang	Bujur	Reformulasi	<i>Google Earth</i>	Selisih
89.990162°	43.000000°	103.5728	103.402	0.170751

LU	BT			
47.429443°	43.127981°			
LS	BT	207.1444	206.727	0.41745
8.208838°	30.260973°			
LU	BB	310.714	310.123	0.59104
8.299526°	109.92641°			
LU	BT	414.2805	413.52	0.76048

Tabel 4.17 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dengan *Google Earth* terhadap variabel Bujur dan Lintang pada kemencengan 3°

Lintang	Bujur	Reformulasi	Google Earth	Selisih
89.990162°	43.000000°			
LU	BT	103.5728	103.224	0.348751
47.429443°	43.127981°			
LS	BT	207.1444	206.864	0.28045
8.208838°	30.260973°			
LU	BB	310.714	310.055	0.65904
8.299526°	109.92641°			
LU	BT	414.2805	413.387	0.89348

Tabel 4.18 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dengan *Google Earth* terhadap variabel Bujur dan Lintang pada kemencengan 4°

Berdasarkan perbandingan nilai kemencengan kiblat antara

reformulasi metode perhitungan dengan *Google Earth* terhadap variabel bujur dan lintang pada kemencengan 1- 4 derajat mempunyai selisih dibawah 1 km, seperti pada tabel 4.13, 4.14, 4.15, dan 4.15.

Derajat	Reformulasi	<i>Google Earth</i>	Selisih
1°	111.258093	111.906	0.64791
2°	222.5161859	222.749	0.232814
3°	333.7742788	334.036	0.261721
4°	445.0323716	445.579	0.546628

Tabel 4.19 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dengan *Google Earth* terhadap variabel busur derajat pada 68.794101° LU, 138.943982° BB dengan Jarak 10.000 km (kemencengan terjaauh)

Pada jarak 10000 km adalah jarak seperempat bumi, dimana seperti yang dijelaskan diatas bahwa pada jarak ini, kemencengan kiblat mempunyai nilai yang paling besar dibandingkan dengan jarak yang lain. Pada jarak ini koordinat tempat yang diambil adalah pada 68.794101° LU, 138.943982° BB dengan variasi 1-4 derajat busur. Seperti pada tabel 4.16 bahwa selisih nilai kemencengan kiblat antara reformulasi metode perhitungan dengan *google earth* adalah dibawah 1 km.

Derajat	Reformulasi	<i>Google Earth</i>	Selisih
1°	103.7092102	103.57	0.13921016

2°	207.4173848	208.234	0.816615212
3°	311.1234878	311.113	0.010487811
4°	414.8264821	414.194	0.632482084

Tabel 4.20 Perbandingan Nilai Kemencengan Kiblat antara Reformulasi Metode Perhitungan dengan *Google Earth* terhadap variabel busur derajat pada 89.997959° LS, 151.611614° BB pada Jarak 12375 km (Kutub Selatan)

Dalam penelitian ini, bentuk bumi menggunakan model bola. Sebenarnya, model yang lebih baik daripada bola adalah elipsoida, karena sejatinya jarak dari permukaan bumi ke pusat bumi tidak sama di semua tempat. Permukaan bumi ke pusat bumi mencapai nilai terbesar saat ada di garis khatulistiwa dan terkecil saat di kutub. Model bumi elipsoid mempunyai nilai penggepengan, berbeda dengan model bumi bola yang nilai penggepengannya adalah nol. Meskipun menggunakan model bumi bola, nilai yang dihasilkan reformulasi kemencengan kiblat termasuk akurat pada variabel lintang dan bujur yang mempunyai nilai penggepengan bumi terbesar sekalipun. Hal ini dibuktikan pada jarak 12375 km dengan koordinat tempat 89.997959° LS, 151.611614° BB (kutub selatan), dimana pada koordinat ini nilai penggepengan bumi memiliki nilai yang besar,⁷⁸ namun, tidak terlalu berpengaruh pada hasil reformulasi rumus kemecengan kiblat ini. Selisih nilai kemencengan kiblat antara reformulasi metode perhitungan dengan *google earth* terhadap variabel busur derajat pada koordinat di kutub selatan ini

⁷⁸ Anugraha. Hal.26

tergolong akurat, yaitu kurang dari 1 km pada derajat kemencengan 1-4 derajat busur. Hal ini karena selisih antara nilai terkecil dan terbesar permukaan ke pusat bumi pada bumi yang berbentuk elipsoida cukup tipis bila dibandingkan dengan jari-jari bumi itu sendiri, sehingga nilai pengepengan bumi tidak terlalu berpengaruh terhadap nilai kemencengan 1-4 derajat busur pada semua variasi lintang dan bujur menggunakan pendekatan bentuk bumi bola ini.

Berdasarkan pada tabel 4.13, 4.14, 4.15, dan 4.16, bahwa selisih nilai kemencengan kiblat antara reformulasi metode perhitungan dengan *google earth* pada variabel 1-4 busur derajat terhadap variasi lintang dan bujur berbagai arah mempunyai hasil yang akurat, yaitu di bawah 1 km (0,01-0,89 km). Sehingga reformulasi metode perhitungan kemencengan kiblat akurat digunakan pada variabel 1- 4 busur derajat di berbagai variasi bujur dan lintang.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan beberapa penjelasan dan hasil penelitian tentang reformulasi perhitungan kemencengan kiblat terhadap realitas di muka bumi dapat disimpulkan bahwa:

1. Akurasi hasil perhitungan kemencengan kiblat terhadap muka bumi dalam buku “Mekanika Benda Langit” termasuk tidak akurat pada tempat yang jauh dari Ka’bah (lebih dari 2000 km) pada semua derajat kemencengan. Tidak akurat dikarenakan nilai kemencengan yang dihasilkan memiliki selisih dengan *google earth* pada orde satuan km (9.12 - 35.36 km). Namun hasil perhitungan untuk tempat yang dekat dengan Ka’bah (maksimal 2000 km) termasuk akurat, karena nilai kemencengan yang dihasilkan memiliki selisih dengan *google earth* di bawah 1 km pada variabel 1- 4 derajat busur, kecuali pada jarak 2000 km variabel 3 dan 4 derajat yang tergolong cukup akurat karena mempunyai nilai kemencengan dibawah 2 km, yaitu masing-masing 1.20 dan 1.53 km. Hasil perhitungan kemencengan kiblat terhadap muka bumi dalam buku “Mekanika Benda Langit” tidak akurat pada tempat yang jauh dari Ka’bah (lebih dari 2000 km) dikarenakan asumsi yang digunakan dalam rumus ini adalah perbandingan busur pada segitiga datar, sehingga rumus ini hanya akurat bila digunakan di bidang yang datar. Selain itu, jika ditinjau dari rumusnya, penyebab ketidakakuratan rumus ini adalah karena

nilai s dalam rumus tersebut menggunakan nilai jarak lokasi ke Ka'bah, bukan jari-jari lingkaran pada jarak tersebut. Sehingga rumus kemencengan kiblat sebelum dilakukan reformulasi hanya akan akurat pada jarak yang dekat dengan Ka'bah, dikarenakan nilai jarak lokasi ke Ka'bah hampir sama dengan nilai jari-jari lingkaran pada jarak tersebut. Ketidakakuratan rumus dalam menentukan kemencengan arah kiblat ini tidak bisa digeneralisir untuk rumus lain dalam buku "Mekanika Benda Langit". Rumus-rumus lain, seperti rumus jarak dari permukaan bumi ke pusat bumi dan jarak dua tempat di muka bumi di dalam buku ini tergolong akurat karena menggunakan pendekatan bentuk bumi elipsoidal.

2. Pendekatan yang digunakan pada reformulasi perhitungan kemencengan kiblat terhadap muka bumi adalah *spherical trigonometri* (trigonometri bola), sehingga hasil dari reformulasi ini memiliki nilai yang lebih baik dari perhitungan dalam buku "Mekanika Benda Langit". Dari hasil penelitian penulis menunjukkan bahwa, meskipun menggunakan model bumi bola bukan elipsoidal, akurasi yang dihasilkan setelah dilakukan reformulasi termasuk akurat pada semua variasi jarak, satuan bujur derajat (1-4 derajat), dan koordinat lintang dan bujur. Akurat karena selisih terhadap *google earth* pada semua variasi adalah di bawah 1 km.

B. Saran

1. Rumus yang digunakan penulis dalam menentukan jarak dua tempat di bumi yang digunakan dalam penelitian ini adalah

dengan ketelitian orde meter, untuk hasil yang lebih akurat, maka bisa menggunakan rumus vicenty yang tingkat ketelitiannya sangat tinggi hingga orde milimeter.

2. Perspektif bumi yang penulis gunakan dalam reformulasi rumus kemecengan arah kiblat adalah perspektif bumi sebagai bola, sehingga untuk akurasi yang lebih tinggi bisa menggunakan rumus dengan perspektif bumi sebagai elipsoid.

C. Penutup

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah *subhānahu wata'ālā* penulis ucapkan sebagai ungkapan rasa syukur karena telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga tesis ini dapat penulis selesaikan. Meskipun telah diusahakan dan dikerjakan seoptimal mungkin, penulis meyakini tesis ini masih jauh dari kata sempurna dari berbagai sisinya. Selanjutnya, penulis berharap dan berdo'a semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi para pembaca dan khususnya bagi penulis. *Āmīn yā rabbal 'ālamīn*

DAFTAR PUSTAKA

Karya Ilmiah

- Arifin, Zainul. "Toleransi Penyimpangan Pengukuran Arah Kiblat." *Jurnal Elfalaky* Vol. 2, no. No. 1 (2018): 62–75. <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky/article/view/14159>.
- Islami, Nur. "Bagaimana Google Earth Mengukur Jarak." *Jurnal Geliga Sains* 5, no. 1 (2017).
- Ismail, Ismail, Dikson T. Yasin, and Zulfiah. "Toleransi Pelencengan Arah Kiblat Di Indonesia Perspektif Ilmu Falak Dan Hukum Islam." *Al-Mizan* 17, no. 1 (2021): 115–38. <https://doi.org/10.30603/am.v17i1.2070>.
- . "Typology Jihatul Ka'bah on Qibla Direction of Mosques in Semarang." *Ulul Albab: Jurnal Studi Dan Penelitian Hukum Islam* 4, no. 1 (2020): 1. <https://doi.org/10.30659/jua.v4i1.12186>.
- Laksana, Agung. "Telaah Matematis Variasi Lebar Arah Kiblat Di Wilayah Indonesia." *El-Falaky* 4, no. 1 (2017): 9–15.
- Mohammed, Nagi Zomrawi, Ahmed Ghazi, and Hussam Eldin Mustafa. "Positional Accuracy Testing of Google Earth" 1984 (2013): 6–9.
- Mulyadi, Achmad. "Akurasi Arah Kiblat Masjid-Masjid Di Kabupaten Pamekasan." *Jurnal Penelitian Ilmu Sosial Dan Keagamaan Islam* 10, no. 1 (2013): 71–100.
- Mustofa Kamal. "Teknik Penentuan Arah Kiblat Menggunakan Aplikasi Google Earth Dan Kompas Kiblat RHI." *Jurnal Madaniyah* Volume 2, no. IX (2015).
- Nafi', Agus Yusrun. "Verifikasi Fatwa MUI Nomor 03 Tahun 2010 Tentang Arah Kiblat." *Mahkamah* 9.1, no. 1 (2015): h. 52.
- Yusuf, Sowaminata. "Penentuan Arah Kiblat Dan Toleransi Penyimpangan Arah Kiblatnya." *Al-Hikam* 3 (2009). No 3

———. “METODE PENENTUAN ARAH KIBLAT DAN AKURASINYA,” 2010, 759–811.

Buku- Buku

Abidin, Hasanuddin Z. *Geodesi Satelit*. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2001.

Adnan Muzamil, Lutfi. *Studi Falak Dan Trigonometri*. Semarang: CV. Pustaka Ilmu Group, 2015.

Al-Baihaqi, Imam. *Sunan Al-Baihaqi*. Juz I. Libanon: Beirut, n.d.

Al-Imrity, Syarafuddin Yahya. *Nadhamu Al-Imrithi*. Kediri: Pustaka Jet Tempur, n.d.

Ali, M. Sayuti. *Ilmu Falak*. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada, 1997.

Anggraeni, Leni dkk. *Metodologi Penelitian*. Indramayu: Adab, 2023.

Angraeni, Leli. *Metodologi Penelitian*. 1st ed. Lampung: Adab, 2023.

Anugraha, Rinto. “Mekanika Benda Langit,” 2012, 1–200.

Arwin Juli Rakhmadi Butar-Butar. *Kakbah Dan Problematika Arah Kiblat*. Yogyakarta: Museum Astronomi Islam, 2013.

Az-Zuhaili, Wahbah. “Tafsir Al- Munir / Wahbah Az- Zuhaili.” edited by Malik Ibrahim. Jakarta: Gema Insani, 2016.

Hambali, Slamet. *Ilmu Falak I (Tentang Penentuan Awal Waktu Sholat Dan Penentuan Arah Kiblat Di Seluruh Dunia)*, n.d.

Izzuddin, Ahmad. *Ilmu Falak Praktis*. 1st ed. Semarang: PT Pustaka Rizki Putra, 2012.

———. *Kajian Terhadap Metode-Metode Penentuan Arah Kiblat Dan Akurasinya*. Semarang: Kementrian Agama Republik Indonesia, 2012.

Jahratin. “Karya Tulis Ilmiah.” *Karya Tulis Ilmiah*, 2022. www.smapda-

Kementerian Agama RI. *Ilmu Falak Praktik*, 2013.

Kementrian Agama. *Al-Qur'an Dan Terjemahannya Edisi Penyempurnaan*. Jakarta: Lajnah Pentashihan Mushaf Al-Qur'an Badan Litbang dan Diklat Kementerian Agama RI, 2019.

Khazin, Muhyiddin. *Ilmu Falak Dalam Teori Dan Praktik*. 2nd ed. Jogjakarta: Buana Pustaka, 2005.

Lutfi, Moh Hanif. "Studi Analisis Konsep Ihtiyâth Al-Qiblah Muh Ma'rufin Sudibyo." UIN Walisongo Semarang, 2014.

Muhammad bin Ismail al-Bukhari, Abi Abdillah. *Shahih Al-Bukhari*. Juz. I. Beirut: Dar al-Kutubil 'Ilmiyyah, n.d.

Muhammad ibnu Ismail ash-Shan'ani. *Subulus Salam*. Juz. I. Beirut: Darul Kutubil 'Ilmiyyah, n.d.

Mustaqim, Afrian Riza. *Ilmu Falak*. 1st ed. Banda Aceh: Syiah Kuala University Press, 2021.

Sowamita, Yusuf. *ILMU FALAK: Pedoman Lengkap Waktu Shalat, Arah Kiblat, Perbandingan Tarikh, Awal Bulan Qamariyah, Dan Hisab Rukyat*. Edited by Monalisa. 1st ed. Depok: Rajawali Press, 2020.

Sparks, Fred W, Paul K. Rees. *Plane Trigonometry*. 8th ed. New Jersey: Prentice-Hall Inc., 1984.

Sudibyo, Muh. Ma'rufin. *Sang Nabi Pun Berputar : Arah Kiblat Dan Tata Cara Pengukurannya*. Solo: Tinta Medina, 2011.

Sugiyono. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D*. Bandung: PT. Alfabeta, 2011.

Zen, Fathurin. *Trigonometri*. Bandung: ALFABETA CV, 2018.

Prahasta, Eddy. *Sistem Informasi Geografis: Konsep-Konsep Dasar*

Perspektif Geodesi & Geomatika. Bandung: Informatika, 2009.

Ramdoni. *Trigonometri*. 1st ed. Sleman: Deepublish, 2022.

Salam Nawawi, Abdus. *Ilmu Falak Cara Praktis Menghitung Waktu Salat, Arah Kiblat, Dan Awal Bulan*. Sidoarjo: Aqaba, 2008.

Setiawan & Putraga. *Stellarium & Google Earth (Simulasi Waktu Salat & Arah Kiblat)*. Medan: OIF UMSU, 2018.

———. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif Dan R&D*. Bandung: PT. Alfabeta, 2016.

Website

Djamaluddin, Thomas. “Tidak Ada Perubahan Arah Kiblat,” 2010.
<https://tdjamaluddin.com/2010/07/17/tidak-ada-perubahan-arrah-kiblat/>.
Diakses pada tanggal 2 Juni 2024 pukul 11.03

Sudibyo, Muh Ma’rufin. “Bila Masjid Nabawi Dan Quba’ Tidak Menghadap Ka’bah,” 2015.
<https://www.kompasiana.com/marufinsudibyo/551241f28133114c54bc63a8/bila-masjid-nabawi-dan-quba-tidak-menghadap-ka-bah>.
Diakses pada tanggal 2 Juni 2024 pukul 12.03

World Geodetic System 1984 Reference System. “<https://Earth-Info.Nga.Mil/Index.Php?Dir=wgs84&action=wgs84>,” 2024.
Diakses pada tanggal 4 Juni 2024 pukul 07.38 WIB

LAMPIRAN-LAMPIRAN

Lampiran 1 : File Exel Reformulasi Rumus Kemencengan Kiblat

Hasil Reformulasi Rumus - Excel																
Luthfi Labudda																
Tell me what you want to do																
Font																
Alignment																
Number																
Formatting																
Styles																
Cells																
Editing																
BX13																
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Selisih Hasil Reformulasi Rumus dengan Google Earth																
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																

Lampiran 2 : File Exel Rumus Menentukan Jarak Dua Muka Bumi

Jarak dua muka bumi																
Jarak dua muka bumi																
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1	LOKASI (KM Dalam CE)	f	a	U1	U2	B1	B2	U	U (Real)	G	C (Real)	J (Real)	M	N	w	Tan (w)
2	Masjid Istiqbal	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
3	1000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
4	1000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
5	2000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
6	5000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
7	10000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
8	15000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
9	18000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
10	19860	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
11	10000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
12	10000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
13	10000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
14	10000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
15	10000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
16	10000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
17	10000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
18	10000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
19	10000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
20	10000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315
21	10000	0.003552811	6378.137	21.42259	-6.1697778	39.82619	106.8307	7.626404	0.133106	13.79618	0.240789	-33.5032	-0.584472	0.33884634	0.616154	0.627315

Lampiran 3 : Diskusi dan wawancara peneliti dengan penulis buku
”Mekanika Benda Langit”, Dr. Eng. Rinto Anugraha NQZ, S.Si., M.Si.,



DAFTAR RIWAYAT HIDUP

A. Identitas Diri

- 1 Nama Lengkap : Muhammad Luthfi
- 2 Tempat & Tgl. Lahir : Batang, 01 April 1999
- 3 Alamat Rumah : Kel. Karangasem Utara,
Kecamatan Batang,
Kabupaten Batang,
Jawa Tengah, Indonesia
- 4 HP : 085870667980
- 5 E-mail : Luthfisaja@gmail.com

B. Riwayat Pendidikan

1. Pendidikan Formal:
 - a. SDN Karangasem 12
 - b. MTs Istifaiyah Nahdliyyah Banyuwirip Ageng
 - c. MTs Salafiyah Simbang Kulon
 - d. MAS Simbang Kulon
 - e. S1 Pendidikan Fisika UIN Walisongo
2. Pendidikan Non-Formal:
 - a. Ponpes Awamil Quran Batang
 - b. Ponpes Nurul Huda Simbang Kulon Pekalongan
 - c. Ponpes Darul Falah Besongo Semarang
 - d. Ponpes *Life Skill* Daarun Naajah Semarang

Semarang, 07 Juni 2024



Muhammad Luthfi

NIM : 1708066044