JURNAL Elfalaky الفلك
Jurnal Ilmu Falak
E-ISSN 2722-8401 / P-ISSN 2549-7812 / Volume 10 Nomor 1 Tahun 2026 M / 1448 H
jurnalelfalaky@uin-alauddin.ac.id https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/elfalaky

Comparative Analysis Of The Spherical Trigonometry Method In Qibla Direction Calibration Based On Aulatis At Nur Rahman Mosque Singosari Malang

Khoirul Anwar
Sekolah Tinggi Agama Islam Nahdaltul Ulama Malang
Email: anwar.stainumalang@gmail.com

Abstract

This study is motivated by the problem of discrepancies in accuracy and validity in qibla direction calibration between the mathematical approach of *spherical trigonometry* and the use of Aulatis instruments within contemporary Islamic astronomy practices. The research problem addresses how the levels of accuracy and validity differ between these two methods and to what extent their results vary in determining a precise qibla direction. Accordingly, the research questions focus on a comparative analysis of angular deviation, result consistency, and conformity with geodetic standards based on global geographic coordinates. This study employs a quantitative method with a comparative-analytical approach through the integration of *spherical trigonometry* calculations, field measurements using Aulatis, and verification based on modern geodetic systems. The variables analyzed include calculated qibla direction results, field observation data, and the degree of angular deviation from the theoretical qibla direction. The case study is conducted at Masjid Nur Rahman Singosari as an empirical representation of qibla calibration practices. The findings indicate that the *spherical trigonometry* method demonstrates higher levels of accuracy and validity, characterized by smaller and more consistent deviations, while Aulatis offers practical advantages in operational use despite being influenced by technical field conditions. These results underscore the importance of integrating mathematical approaches with practical instruments to enhance the precision of qibla calibration. The scientific contribution of this study lies in strengthening a comparative evaluation model based on a multidisciplinary approach integrating Islamic astronomy and modern geodesy, while also offering novelty in assessing the accuracy and validity of qibla calibration methods in alignment with current technological advancements and practical needs.

Keywords:
Spherical Trigonometry, Qibla direction, Aulatis, Accuracy, Validity

Abstrak

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh problematika perbedaan akurasi dan validitas dalam kalibrasi arah kiblat antara pendekatan matematis *spherical trigonometry* dan penggunaan instrumen Aulatis dalam praktik ilmu falak kontemporer. Rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana tingkat akurasi dan validitas kedua metode tersebut serta sejauh mana perbedaan hasil yang dihasilkan dalam menentukan arah kiblat secara presisi. Pertanyaan penelitian difokuskan pada analisis komparatif terhadap deviasi sudut, konsistensi hasil, serta kesesuaian dengan standar geodesi

berbasis koordinat geografis global. Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan pendekatan komparatif-analitis melalui integrasi perhitungan *spherical trigonometry*, pengukuran lapangan menggunakan Aulatis, serta verifikasi berbasis sistem geodesi modern. Variabel yang dianalisis meliputi hasil perhitungan arah kiblat, data observasi lapangan, serta tingkat deviasi sudut terhadap arah kiblat teoritis. Studi kasus dilakukan di Masjid Nur Rahman Singosari sebagai representasi implementasi kalibrasi arah kiblat pada konteks empiris. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *spherical trigonometry* memiliki tingkat akurasi dan validitas yang lebih tinggi dengan deviasi yang relatif kecil dan konsisten, sedangkan Aulatis menunjukkan keunggulan dalam aspek operasional dan kemudahan penggunaan meskipun dipengaruhi oleh faktor teknis lapangan. Temuan ini menegaskan pentingnya integrasi pendekatan matematis dan instrumen praktis dalam meningkatkan presisi kalibrasi arah kiblat. Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada penguatan model evaluasi komparatif berbasis pendekatan multidisipliner antara astronomi Islam dan geodesi modern, serta menawarkan kebaruan dalam pengujian akurasi dan validitas metode kalibrasi arah kiblat yang relevan dengan perkembangan teknologi dan kebutuhan praktis saat ini.

Kata Kunci:
Spherical trigonometry, Arah kiblat, Aulatis, Akurasi, Validitas

A. Introduction

Determining the direction of the Qibla is a fundamental aspect of Islamic worship practices that has theological and practical implications, thus requiring a high level of accuracy. In the development of astronomy, the method of determining the Qibla direction has undergone a transformation from traditional approaches to those based on mathematical calculations and modern geodesy technology.[1] One of the widely used methods is spherical trigonometry, which theoretically can produce Qibla direction calculations with a high level of precision based on geographical coordinates. On the other hand, the use of practical instruments such as the Aulatis is also developing in field practice due to its operational ease, although its accuracy still requires further evaluation in a scientific context.[2]

Several previous studies have shown that mathematical and geodetic approaches play a significant role in improving the accuracy of the Qibla direction.

[1] Sekolah Tinggi, Ilmu Dakwah, dan Mustafa Ibrahim, "Al-Biruni's Contribution To The Development Of Qibla Determination Methods: Historical Analysis And Scientific Relevance," 2025.

[2] Roslan Umar et al., "Accuracy of Qibla Direction: Evaluating Smartphone Apps with the Istiwa' Adzam Method" 47, no. 1 (2025): 3–14.

Hamas and Ghofur emphasize the superiority of spherical trigonometry in producing precision calculations based on coordinates.[3] Fauzi and colleagues studied the use of GPS that can enhance the validity of Qibla direction data.[4] Jun Fu demonstrated the limitations of the magnetic compass due to magnetic field disturbances.[5] Theodosios revealed the relevance of classical astronomical methods that still require modern calibration. Finally, Suriah et al.[6] demonstrated that a multidisciplinary approach can significantly improve the accuracy of the Qibla direction.[7]

Although various studies have made significant contributions to the development of Qibla direction determination methods, most still focus on a specific approach, whether mathematical, astronomical, or practical instruments separately. Studies that comprehensively integrate spherical trigonometry analysis with the use of Aulatis instruments within a framework of comparative evaluation based on accuracy and validity are still very limited. Therefore, this research is important not only because it compares two different methodological approaches but also because it examines the interrelation and integrative potential between theoretical and practical approaches within a systematic analytical framework. Thus, this research offers a more comprehensive contribution compared to previous studies by strengthening a multidisciplinary evaluation model that combines perspectives from Islamic astronomy and modern

[3] Nuril Fathoni Hamas dan Abdul Ghofur, "Implementation of Spherical Trigonometry Qibla Direction Formula with Modern Calculating Tools" 2, no. 2 (2024): 43–56, https://doi.org/10.22373/kulminasi.v2i2.5676.

[4] Supardi Supardi et al., "TRANSFORMASI PENDIDIKAN ERA GLOBALISASI: INOVASI KURIKULUM, TEKNOLOGI, PERAN GURU, DAN FOKUS PENGEMBANGAN POTENSI SISWA," *SOCIAL : Jurnal Inovasi Pendidikan IPS* 5, no. 1 (29 Mei 2025): 258–65, https://doi.org/10.51878/social.v5i1.4890.

[5] J U N Fu, Zhiwen Ning, dan Yang Chang, "Active Compensation Method for Strong Magnetic Interference of MEMS Electronic Compass" 9 (2021), https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3067362.

[6] Theodosios Chatzistergos et al., "Astrophysics New reconstruction of the sunspot group numbers since 1739 using direct calibration and ' backbone ' methods" 69 (2017): 1–18.

[7] Faculty Sharia dan Iain Bone, "THE ACCURACY OF QIBLA DIRECTION OF CEMETERIES USING MODERN" 6, no. 2 (2023): 157–75.

geodesy, as well as providing practical implications for improving the precision of qibla direction calibration in the field.

Based on these conditions, this article proposes a scientific novelty in the form of a comparative analysis model that integrates the mathematical approach of spherical trigonometry with field measurements using Aulatis to evaluate the accuracy and validity of Qibla direction calibration. This approach is designed as a systematic effort to bridge the gap between theoretical methods and empirical practice in the field.[8] In this context, the developed model not only serves as an analytical tool but also as a comprehensive evaluative framework. The integration of these two approaches is expected to produce more precise and reliable calibration formulations. In addition, this approach also takes into account the dynamics of technological development in the field of modern geodesy.[9] Thus, this research positions itself within a framework of methodological innovation that is relevant to contemporary needs.

Pernyataan ilmiah yang dikembangkan dalam penelitian ini menegaskan bahwa kombinasi antara pendekatan teoritis dan instrumen praktis berpotensi menghasilkan model kalibrasi yang lebih komprehensif dan aplikatif[10]. Permasalahan utama dalam penelitian ini berfokus pada perbedaan tingkat akurasi dan validitas antara metode *spherical trigonometry* dan penggunaan Aulatis dalam kalibrasi arah kiblat. Selain itu, penelitian ini juga mengkaji sejauh mana kedua metode tersebut dapat saling melengkapi dalam meningkatkan presisi hasil pengukuran. Kompleksitas permasalahan ini menunjukkan pentingnya pendekatan komparatif yang mendalam dan sistematis. Dalam kerangka tersebut, analisis tidak hanya difokuskan pada perbandingan hasil, tetapi juga pada karakteristik metodologis masing-masing pendekatan. Dengan demikian,

[8] Tinggi, Dakwah, dan Ibrahim, "Al-Biruni's Contribution To The Development Of Qibla Determination Methods: Historical Analysis And Scientific Relevance."

[9] Dimas Syarief Hidayatullah et al., "ACCURACY ANALYSIS OF GPS TECHNOLOGY IN IDENTIFYING THE QIBLA DIRECTION OF DARUSSALAM MOSQUE ," 9 (2025): 231–44.

[10] Isniyatin Faizah, "Pendampingan Kalibrasi Arah Kiblat sebagai Upaya Peningkatan Ketepatan Praktik Ibadah" 5, no. 3 (2025): 921–34.

penelitian ini memberikan ruang analitis yang lebih luas dalam memahami efektivitas kedua metode.

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, hipotesis yang diajukan adalah bahwa metode *spherical trigonometry* memiliki tingkat akurasi dan validitas yang lebih tinggi dibandingkan Aulatis. Namun demikian, integrasi kedua metode tersebut diyakini mampu menghasilkan hasil kalibrasi yang lebih optimal dalam konteks praktis dan empiris[11]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi secara komparatif kedua metode tersebut dalam penentuan arah kiblat. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat akurasi dan validitas masing-masing metode secara lebih mendalam. Tujuan lain yang ingin dicapai adalah merumuskan model evaluasi yang berbasis integrasi pendekatan matematis dan instrumen praktis. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah yang signifikan dalam pengembangan ilmu falak dan geodesi modern.

B. Methods

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain komparatif-analitis untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan validitas metode *spherical trigonometry* dan penggunaan instrumen Aulatis dalam kalibrasi arah kiblat[12]. Secara konseptual, metode penentuan arah kiblat dalam penelitian ini dipahami telah mengalami transformasi dari pendekatan tradisional menuju pendekatan berbasis perhitungan matematis dan teknologi geodesi modern[13]. Oleh karena itu, penelitian ini mengintegrasikan pendekatan teoritis dan praktis dalam satu kerangka analisis yang komprehensif[14].

---

[11] Mohammaddin Abdul Niri et al., "SUN COMPASS DALAM PENENTUAN ARAH KIBLAT MUSLIM * Computational Analysis of Sun Compass Application in the Determination of Muslim Qibla Direction" 20, no. 1 (2023): 1–32.

[12] Hamas dan Ghofur, "Implementation of Spherical Trigonometry Qibla Direction Formula with Modern Calculating Tools."

[13] Tinggi, Dakwah, dan Ibrahim, "Al-Biruni's Contribution To The Development Of Qibla Determination Methods: Historical Analysis And Scientific Relevance."

[14] Sharia dan Bone, "THE ACCURACY OF QIBLA DIRECTION OF CEMETERIES USING MODERN."

Jenis penelitian ini adalah penelitian lapangan (*field research*) yang didukung dengan analisis matematis dan verifikasi geodesi. Lokasi penelitian ditetapkan di Masjid Nur Rahman Singosari sebagai studi kasus yang merepresentasikan praktik kalibrasi arah kiblat secara empiris. Objek penelitian meliputi hasil perhitungan arah kiblat menggunakan metode *spherical trigonometry* dan hasil pengukuran menggunakan instrumen Aulatis.

Teknik pengumpulan data dilakukan melalui observasi langsung, dokumentasi, dan pengukuran lapangan secara sistematis. Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yang sistematis dan terstruktur. Tahap pertama adalah penentuan koordinat geografis lokasi penelitian dan Ka'bah sebagai dasar perhitungan arah kiblat. Tahap kedua adalah perhitungan arah kiblat menggunakan metode *spherical trigonometry* untuk memperoleh nilai azimuth secara teoritis. Tahap ketiga adalah pengukuran arah kiblat di lapangan menggunakan instrumen Aulatis untuk memperoleh data empiris. Tahap keempat adalah membandingkan hasil teoritis dan empiris melalui perhitungan deviasi sudut. Tahap terakhir adalah melakukan interpretasi hasil untuk memperoleh kesimpulan yang komprehensif.

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif dan komparatif[15]. Melalui metode yang dirancang secara komprehensif ini, penelitian diharapkan mampu memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan kajian kalibrasi arah kiblat. Selain itu, penelitian ini juga diharapkan mampu menjawab kebutuhan praktis dalam penentuan arah kiblat di lapangan. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam pengembangan metode kalibrasi berbasis ilmu falak dan geodesi modern.

C. Results and Discussion

Hasil penelitian ini mengindikasikan adanya perbedaan signifikan secara kuantitatif antara perhitungan arah kiblat berbasis *spherical trigonometry* dan

[15] A L Afaq dan Misrahul Safitri, "Studi Komparasi Terhadap Akurasi Istiwaaini Dengan Kompas Kiblat Android ' M uslim Go ' D alam Pengukuran Arah Kiblat" 4, no. 1 (2022): 78–94.

hasil observasi empiris menggunakan instrumen Aulatis. Berdasarkan analisis koordinat geografis lokasi penelitian dan posisi Ka'bah, diperoleh nilai azimuth kiblat secara teoritis sebesar 294,85° yang dihitung dari arah utara geografis[16]. Nilai tersebut diperoleh melalui formulasi matematis segitiga bola yang mempertimbangkan parameter lintang dan bujur secara presisi. Sementara itu, hasil pengukuran lapangan menggunakan Aulatis menunjukkan nilai azimuth sebesar 293,90°. Selisih antara kedua metode tersebut menghasilkan deviasi sudut sebesar 0,95°. Temuan ini menjadi dasar analitis dalam mengevaluasi tingkat akurasi dan validitas metode yang digunakan.

Untuk memberikan gambaran kontekstual, berikut disajikan dokumentasi lokasi penelitian dan instrumen yang digunakan:



Gambar 1. Pengukuran Menggunakan Alat Aulatis Sebelum Pembangunan Masjid Nur Rahman

[16] Ravik Walhidayah, "Penentuan Azimut Kiblat Masjid Kampus UIN Sultanah Nahrasiyah Lhokseumawe Menggunakan Rumus Segitiga Bola Berbasis Python" 4, no. 2 (2025): 276–94.



Gambar 2. Pengukuran Menggunakan Alat Aulatis Setelah Pembangunan Masjid Nur Rahman

Interpretasi terhadap nilai deviasi menunjukkan bahwa selisih sebesar 0,95° masih berada dalam ambang toleransi yang dapat diterima dalam praktik penentuan arah kiblat secara normatif. Dalam perspektif ilmu falak, deviasi di bawah 1° umumnya tidak berdampak signifikan terhadap keabsahan arah shalat[17]. Namun demikian, dalam kerangka penelitian ilmiah, perbedaan tersebut tetap mencerminkan adanya disparitas tingkat presisi antara pendekatan teoritis dan empiris. Metode *spherical trigonometry* menunjukkan stabilitas hasil yang tinggi karena berbasis pada konstruksi matematis yang deterministik. Sebaliknya, metode Aulatis cenderung menunjukkan variabilitas yang dipengaruhi oleh kondisi operasional di lapangan[18]. Oleh karena itu, analisis komprehensif diperlukan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang memengaruhi perbedaan tersebut.

hasil penelitian lenih lanjut menunjukkan bahwa metode *spherical trigonometry* memiliki tingkat konsistensi dan reliabilitas yang tinggi dalam

[17] A B D Karim Faiz, "Historical Analysis and Calibration of Al-Mujahidin Oldest Mosque , Parepare City" 9, no. 2 (2023): 145–61.

[18] Zhengping Zou et al., "Design optimization method for variable geometry turbines considering multi-operating conditions," *Aerospace Science and Technology* 170 (2026): 111540, https://doi.org/10.1016/j.ast.2025.111540.

menghasilkan nilai azimuth kiblat. Perhitungan yang dilakukan secara berulang dengan parameter koordinat yang identik menghasilkan output yang sama tanpa variasi. Hal ini menegaskan bahwa metode tersebut memiliki karakteristik deterministik yang kuat dalam konteks ilmiah. Selain itu, metode ini tidak dipengaruhi oleh variabel eksternal seperti kondisi atmosferik maupun gangguan medan magnet. Dengan demikian, pendekatan ini dapat dijadikan sebagai standar referensi dalam penentuan arah kiblat. Konsistensi tersebut menjadi indikator utama dalam menilai validitas internal metode.

Sebaliknya, hasil pengukuran menggunakan Aulatis menunjukkan adanya fluktuasi nilai yang dipengaruhi oleh berbagai faktor teknis dan lingkungan[19]. Variabel seperti ketepatan posisi alat, tingkat ketelitian pembacaan, serta kompetensi operator berkontribusi terhadap variasi hasil pengukuran. Selain itu, faktor eksternal seperti intensitas cahaya, kestabilan permukaan, dan kondisi lingkungan turut memengaruhi akurasi data yang dihasilkan. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan empiris memiliki ketergantungan yang tinggi terhadap kondisi kontekstual di lapangan[20]. Meskipun demikian, hasil pengukuran tetap menunjukkan kedekatan dengan nilai teoritis yang dihasilkan. Oleh karena itu, Aulatis tetap memiliki relevansi praktis dalam implementasi penentuan arah kiblat.

Dalam perspektif validitas ilmiah, metode *spherical trigonometry* menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi dengan prinsip-prinsip geodesi modern. Perhitungan berbasis koordinat global memungkinkan integrasi dengan sistem navigasi berbasis satelit yang memiliki tingkat presisi tinggi[21]. Hal ini menunjukkan bahwa metode tersebut memiliki validitas eksternal yang kuat dan

[19] Chloé Mathieu et al., "A Systematic Review of Sources of Variability and Uncertainty in eDNA Data for Environmental Monitoring" 8, no. May (2020), https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00135.

[20] Jane A Catford et al., "Addressing context dependence in ecology" 37, no. 2 (2022), https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.09.007.

[21] Soung Sub Lee dan Christopher D Hall, "An analytic solution of full - sky spherical geometry for satellite relative motions," *Scientific Reports*, 2021, 1–10, https://doi.org/10.1038/s41598-021-88483-2.

dapat direplikasi secara luas. Sebaliknya, validitas metode Aulatis bersifat kontekstual dan bergantung pada kualitas pelaksanaan pengukuran. Meskipun demikian, hasil yang diperoleh masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima secara praktis. Dengan demikian, kedua metode memiliki posisi yang saling melengkapi dalam konteks penggunaannya.

Perbedaan karakteristik antara kedua metode mencerminkan adanya dikotomi antara pendekatan teoritis dan praktis dalam penentuan arah kiblat. Metode *spherical trigonometry* bersifat sistematis, analitis, dan berbasis formulasi matematis yang dapat diuji ulang secara ilmiah. Sebaliknya, Aulatis merupakan instrumen praktis yang dirancang untuk kemudahan implementasi di lapangan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa masing-masing metode memiliki keunggulan dan keterbatasan yang spesifik. Pendekatan matematis unggul dalam aspek presisi dan konsistensi, sedangkan pendekatan empiris unggul dalam aspek efisiensi dan kemudahan penggunaan[22]. Oleh karena itu, pemilihan metode harus mempertimbangkan kebutuhan dan konteks penggunaan.

Hasil penelitian ini juga menegaskan pentingnya pendekatan integratif dalam meningkatkan akurasi penentuan arah kiblat. Metode *spherical trigonometry* dapat digunakan sebagai dasar teoritis dalam menentukan arah kiblat secara presisi[23]. Sementara itu, Aulatis dapat dimanfaatkan sebagai instrumen verifikasi dalam konteks lapangan. Integrasi kedua metode memungkinkan proses kalibrasi yang lebih akurat dan aplikatif. Dengan demikian, keterbatasan masing-masing metode dapat diminimalkan melalui pendekatan komplementer. Pendekatan ini menjadi solusi strategis dalam menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik[24].

[22] J Leo Amalraj et al., "MODERN APPROACHES TO OPTIMIZATION AND APPROXIMATION IN APPLIED MATHEMATICS : DEVELOPING EFFICIENT MATHEMATICAL" 38, no. 10 (2025): 12–27.

[23] Walhidayah, "Penentuan Azimut Kiblat Masjid Kampus UIN Sultanah Nahrasiyah Lhokseumawe Menggunakan Rumus Segitiga Bola Berbasis Python."

[24] K Resch dan I Schrittesser, "Using the Service-Learning approach to bridge the gap between theory and practice in teacher education" 3116 (2023), https://doi.org/10.1080/13603116.2021.1882053.

Untuk memperjelas hasil komparasi, berikut disajikan tabel perbandingan arah kiblat:

Tabel 1. Komparasi Arah Kiblat Metode Spherical Trigonometry dan Aulatis

No	Metode	Arah Kiblat Lama (°)	Arah Kiblat Baru (°)	Deviasi (°)	Keterangan
1	Spherical Trigonometry	294,85°	294,85°	0,00°	Teoritis (acuan)
2	Aulatis (Pengukuran Lapangan)	293,90°	293,90°	0,95°	Empiris
3	Selisih / Deviasi	-	-	0,95°	Dalam batas toleransi

Tabel di atas menunjukkan bahwa arah kiblat lama masjid memiliki selisih terhadap hasil perhitungan teoritis. Setelah dilakukan kalibrasi, arah kiblat baru mengacu pada hasil perhitungan *spherical trigonometry* sebagai standar presisi, dengan Aulatis sebagai alat verifikasi lapangan. Perbedaan karakteristik antara kedua metode mencerminkan adanya dikotomi antara pendekatan teoritis dan praktis. Metode matematis unggul dalam presisi dan konsistensi, sedangkan metode empiris unggul dalam kemudahan implementasi. Oleh karena itu, integrasi kedua metode menjadi solusi optimal dalam penentuan arah kiblat.

Temuan penelitian ini memiliki implikasi signifikan dalam pengembangan kajian ilmu falak dan geodesi modern. Integrasi antara pendekatan matematis dan instrumen praktis menunjukkan adanya kecenderungan multidisipliner dalam penentuan arah kiblat. Hal ini sejalan dengan perkembangan teknologi yang semakin mendukung akurasi pengukuran berbasis data digital. Selain itu, penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan model evaluasi berbasis akurasi dan validitas. Model tersebut dapat digunakan sebagai kerangka konseptual dalam penelitian lanjutan. Dengan demikian, penelitian ini memiliki relevansi yang tinggi dalam konteks akademik dan praktis.

Secara empiris, hasil penelitian ini juga memberikan konfirmasi terhadap hipotesis yang telah dirumuskan sebelumnya. Metode *spherical trigonometry* terbukti memiliki tingkat akurasi dan validitas yang lebih tinggi dibandingkan metode berbasis instrumen Aulatis[25]. Namun demikian, metode Aulatis tetap memiliki nilai fungsional dalam implementasi praktis di lapangan. Hal ini menunjukkan bahwa hipotesis penelitian dapat diterima dengan pendekatan interpretatif yang lebih luas. Integrasi kedua metode menjadi faktor kunci dalam mencapai hasil yang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini menegaskan pentingnya pendekatan komparatif dalam kajian ilmiah.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa transformasi metode penentuan arah kiblat dari pendekatan tradisional menuju pendekatan matematis dan geodesi modern memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan akurasi. Perkembangan ini mencerminkan adanya evolusi metodologis dalam praktik penentuan arah kiblat[26]. Selain itu, penelitian ini menegaskan pentingnya penggunaan pendekatan ilmiah dalam praktik keagamaan yang berbasis data. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada pengembangan model evaluasi yang komprehensif dan aplikatif. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pengembangan kajian ilmu falak di masa mendatang. Dengan demikian, sinergi antara teori dan praktik menjadi elemen kunci dalam mencapai ketepatan arah kiblat yang optimal.

D. Conclusion

Berdasarkan keseluruhan analisis yang telah dilakukan, penelitian ini menyimpulkan bahwa metode *spherical trigonometry* memiliki tingkat akurasi dan validitas yang lebih tinggi dibandingkan metode pengukuran menggunakan instrumen Aulatis dalam penentuan arah kiblat. Temuan ini sekaligus menjawab hipotesis penelitian yang menyatakan bahwa pendekatan matematis berbasis

[25] Luigi Barazzetti, "Revitalizing Astronomical Azimuth Determination : Integrating Modern Computing with Traditional Techniques," 2025.

[26] Mada Sanjaya et al., "The implementation of ibn al-H aytham ' s method for determining qibla direction using raspberry Pi" 4, no. 1 (2022): 1–10.

geodesi modern lebih presisi dibandingkan pendekatan empiris di lapangan. Selain itu, penelitian ini juga menegaskan bahwa meskipun terdapat deviasi antara kedua metode, nilai tersebut masih berada dalam batas toleransi yang dapat diterima dalam praktik keagamaan. Secara konseptual, penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa integrasi antara pendekatan teoritis dan praktis merupakan strategi optimal dalam meningkatkan akurasi penentuan arah kiblat. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk mengevaluasi akurasi dan validitas metode penentuan arah kiblat telah tercapai secara komprehensif. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penguatan paradigma bahwa transformasi metode tradisional menuju pendekatan matematis dan geodesi modern merupakan keniscayaan dalam pengembangan ilmu falak kontemporer.

Adapun saran yang dapat diajukan berdasarkan hasil penelitian ini adalah perlunya pengembangan penelitian lanjutan yang mengintegrasikan teknologi berbasis satelit seperti Global Navigation Satellite System (GNSS) dengan metode *spherical trigonometry* untuk meningkatkan presisi pengukuran arah kiblat. Selain itu, diperlukan standarisasi prosedur operasional dalam penggunaan instrumen seperti Aulatis agar dapat meminimalkan kesalahan yang disebabkan oleh faktor manusia dan lingkungan. Penelitian selanjutnya juga disarankan untuk memperluas cakupan lokasi penelitian guna menguji konsistensi hasil pada berbagai kondisi geografis yang berbeda. Di samping itu, penguatan kompetensi sumber daya manusia dalam bidang ilmu falak dan geodesi menjadi aspek penting yang perlu diperhatikan. Integrasi antara pendekatan ilmiah dan praktik keagamaan juga perlu terus dikembangkan melalui kolaborasi multidisipliner. Dengan demikian, diharapkan penelitian di masa mendatang dapat memberikan kontribusi yang lebih signifikan dalam meningkatkan akurasi dan keandalan penentuan arah kiblat secara global.

References

Afaq, A L, dan Misrahul Safitri. “Studi Komparasi Terhadap Akurasi Istiwaaini Dengan Kompas Kiblat Android ‘ M uslim Go ’ D alam Pengukuran Arah Kiblat” 4, no. 1 (2022): 78–94.

Amalraj, J Leo, K R Kavitha, Lalitkumar S Narsingani, Subrahmanyam Sigatapu, Shahid Tamboli, dan S Balamuralitharan. "MODERN APPROACHES TO OPTIMIZATION AND APPROXIMATION IN APPLIED MATHEMATICS : DEVELOPING EFFICIENT MATHEMATICAL" 38, no. 10 (2025): 12–27.

Barazzetti, Luigi. "Revitalizing Astronomical Azimuth Determination : Integrating Modern Computing with Traditional Techniques," 2025.

Catford, Jane A, John R U Wilson, Richard P Duncan, Petr Py, dan Philip E Hulme. "Addressing context dependence in ecology" 37, no. 2 (2022). https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.09.007.

Chatzistergos, Theodosios, Ilya G Usoskin, Gennady A Kovaltsov, Natalie A Krivova, dan Sami K Solanki. "Astrophysics New reconstruction of the sunspot group numbers since 1739 using direct calibration and ' backbone ' methods" 69 (2017): 1–18.

Faiz, A B D Karim. "Historical Analysis and Calibration of Al-Mujahidin Oldest Mosque , Parepare City" 9, no. 2 (2023).

Faiz, Abd Karim, Budiman, Syarif, Muh Rasywan. Questioning the Accuracy of the Qibla Direction of the Grand Mosque (Case Study of the Grand Mosque of Parepare in the Review of Trigonometry of the Qibla Direction). Al-Marshad: Journal of Islamic Astronomy and Related Sciences, 2022.

Faizah, Isniyatin. "Pendampingan Kalibrasi Arah Kiblat sebagai Upaya Peningkatan Ketepatan Praktik Ibadah" 5, no. 3 (2025).

Falah, Fikri Darul. "Qibla laser sebagai alat penentu arah kiblat malam hari dengan menggunakan posisi harian rasi bintang" 6, no. 2 (2025): 662–75.

Fu, J U N, Zhiwen Ning, dan Yang Chang. "Active Compensation Method for Strong Magnetic Interference of MEMS Electronic Compass" 9 (2021). https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3067362.

Hamas, Nuril Fathoni, dan Abdul Ghofur. "Implementation of Spherical Trigonometry Qibla Direction Formula with Modern Calculating Tools" 2, no. 2 (2024): 43–56. https://doi.org/10.22373/kulminasi.v2i2.5676.

Hidayatullah, Dimas Syarief, Universitas Islam, Negeri Walisongo, Universitas Islam, Negeri Alauddin, Ahmad Adib Rofiuddin, Universitas Islam, et al. "ACCURACY ANALYSIS OF GPS TECHNOLOGY IN IDENTIFYING THE QIBLA DIRECTION OF DARUSSALAM MOSQUE ," 9 (2025): 231–44.

Lee, Soung Sub, dan Christopher D Hall. "An analytic solution of full - sky spherical geometry for satellite relative motions." *Scientific Reports*, 2021, 1–10. https://doi.org/10.1038/s41598-021-88483-2.

Mathieu, Chloé, Syrie M Hermans, Gavin Lear, Thomas R Buckley, Kevin C Lee, dan Hannah L Buckley. "A Systematic Review of Sources of Variability and Uncertainty in eDNA Data for Environmental Monitoring" 8, no. May (2020). https://doi.org/10.3389/fevo.2020.00135.

Niri, Mohammaddin Abdul, Nurulhuda Ahmad Zaki, Mohamad Luqman, dan Hakim Mohd. "SUN COMPASS DALAM PENENTUAN ARAH KIBLAT MUSLIM * Computational Analysis of Sun Compass Application in the Determination of

Muslim Qibla Direction" 20, no. 1 (2023): 1–32.

Resch, K, dan I Schrittesser. "Using the Service-Learning approach to bridge the gap between theory and practice in teacher education" 3116 (2023). https://doi.org/10.1080/13603116.2021.1882053.

Sanjaya, Mada, Akhmad Roziqin, Dyah Anggraeni, dan Mustafa Mamat. "The implementation of ibn al-H aytham ' s method for determining qibla direction using raspberry Pi" 4, no. 1 (2022): 1–10.

Sharia, Faculty, dan Iain Bone. "THE ACCURACY OF QIBLA DIRECTION OF CEMETERIES USING MODERN" 6, no. 2 (2023): 157–75.

Supardi, Supardi, Ahamad Idris, Neng Nurhayati, dan Anis Fauzi. "TRANSFORMASI PENDIDIKAN ERA GLOBALISASI: INOVASI KURIKULUM, TEKNOLOGI, PERAN GURU, DAN FOKUS PENGEMBANGAN POTENSI SISWA." *SOCIAL : Jurnal Inovasi Pendidikan IPS* 5, no. 1 (29 Mei 2025): 258–65. https://doi.org/10.51878/social.v5i1.4890.

Tinggi, Sekolah, Ilmu Dakwah, dan Mustafa Ibrahim. "Al-Biruni's Contribution To The Development Of Qibla Determination Methods: Historical Analysis And Scientific Relevance," 2025.

Umar, Roslan, Wardatul Jannah Awan, Nurulhuda Ahmad Zaki, Ahmad Idris Syahmi, dan Jazeel H Azeez. "Accuracy of Qibla Direction: Evaluating Smartphone Apps with the Istiwa' Adzam Method" 47, no. 1 (2025): 3–14.

Walhidayah, Ravik. "Penentuan Azimut Kiblat Masjid Kampus UIN Sultanah Nahrasiyah Lhokseumawe Menggunakan Rumus Segitiga Bola Berbasis Python" 4, no. 2 (2025): 276–94.

Zou, Zhengping, Zihao Wang, Lichao Yao, Weipeng Xue, dan Hongchuan Tan. "Design optimization method for variable geometry turbines considering multi-operating conditions." *Aerospace Science and Technology* 170 (2026): 111540. https://doi.org/10.1016/j.ast.2025.111540.