

**ANALISIS KOMPARASI PERHITUNGAN WAKTU SALAT
DALAM TEORI GEOSENTRIK DAN GEODETIK**



TESIS MAGISTER

Dibuat guna memenuhi salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Magister Ilmu Falak

Oleh:

AHMAD FADHOLI

NIM. 115112075

**PROGRAM MAGISTER
PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT AGAMA ISLAM NEGERI WALISONGO SEMARANG
2013**

A. Latar Belakang

Posisi Matahari, Bumi dan Bulan sangat berkaitan dengan pelaksanaan ibadah umat Islam, dan hampir seluruhnya berkaitan dengan waktu, sehingga muncullah istilah ibadah *muwaqqāt*. Ibadah *muwaqqāt* adalah ibadah yang telah ditentukan waktunya, seperti ibadah salat yang diwajibkan ketika sudah masuk waktunya, penentuan awal bulan (Ramadan, Syawal dan Zulhijjah), dan terjadinya gerhana (Khazin, 2004: 3-4).

Mengerjakan salat lima waktu dalam sehari semalam adalah kewajiban yang harus dilaksanakan bagi orang Islam sampai akhir hayatnya. Selain itu, salat adalah ibadah yang paling utama di antara ibadah yang lain, karena perintah salat langsung dari Allah melalui peristiwa Isra' dan Mi'raj¹ yang dialami Rasulullah saw tanpa melalui perantara malaikat Jibril.

Salat adalah ibadah yang pelaksanaannya telah ditentukan batasan waktu masing-masing. Pada ayat di atas secara jelas diterangkan bahwa difardukan dan ditentukan waktunya maksudnya, jika waktu salat pertama habis maka salat yang kedua tidak lagi sebagai waktu salat pertama, namun ia milik waktu salat berikutnya, apabila seseorang kehabisan waktu suatu salat, kemudian melaksanakannya diwaktu lain, maka sesungguhnya dia telah melakukan dosa besar. Pendapat lain mengatakan “silih berganti jika yang satu tenggelam, maka yang lain muncul” artinya jika suatu waktu berlalu, maka muncul waktu yang lain. Dan seseorang tidak boleh mengakhirkan waktu dan mendahulukan waktu shalat seenaknya baik dalam keadaan aman atau takut.

Secara garis besar, menentukan awal waktu salat menjadi bagian dalam ilmu falak. Ilmu falak adalah ilmu yang mempelajari pergerakan benda-benda langit, termasuk diantaranya Matahari, Bumi dan Bulan (Hambali, 2011: 1). Seiring perkembangan ilmu pengetahuan, pergerakan Matahari baik di atas ufuk (horizon) maupun di bawah ufuk mempunyai dampak terhadap waktu salat. Efek pergerakan Matahari diantaranya, berubahnya panjang bayangan

¹ Ulama dan cendekiawan berbeda pendapat tentang terjadinya peristiwa Isra' dan Mi'raj. Perselisihan ini apakah Mi'raj terjadi langsung setelah Isra' ataukah peristiwa itu keduanya terjadi pada waktu yang berbeda. Banyak yang mengatakan bahwa Isra' dan Mi'raj terjadi pada waktu yang berurutan. Isra' dan Mi'raj terjadi sebelum Nabi hijrah, tetapi mereka berselisih pendapat terkait dengan tanggal dan tahun kejadiannya. Adapun yang populer terjadi pada tanggal 27 Rajab tahun kesepuluh kenabian (Shihab, 2011: 433). Ibnu Sa'ad meriwayatkan dalam kitab *Ṭabaqāh kubrā*, bahwa Isra' Mi'raj terjadi 18 bulan sebelum hijrah (Būṭi, 2003: 108).

benda, terbit dan terbenamnya Matahari, munculnya fajar di pagi hari, dan berakhirnya mega merah di malam hari. Semua itu nyaris bisa diketahui kapan akan terjadi (Anugraha, 2012: 89).

Penjelasan sebelumnya menyebutkan bahwa waktu salat senantiasa didasarkan pada perjalanan harian Matahari² akibat gerak rotasi³ dan revolusi Bumi sendiri, kecuali Bulan yang memiliki gerak tambahan akibat memiliki gerak sendiri mengedari Bumi, karena Bulan merupakan satelit Bumi (Nurwendana, 2006: 1). Sebagai akibat adanya rotasi Bumi dari barat ke timur, akan nampak benda langit pada malam hari yang berubah-ubah sejajar dengan ekuator, sedangkan arah revolusi Bumi sama seperti arah rotasinya, yaitu ke arah timur langit. Ketika berada di ruang angkasa di atas kutub utara Bumi, akan terlihat Bumi beredar mengelilingi Matahari berlawanan arah dengan pergerakan jarum jam (Shodiq, 1994: 37).

Matahari sebagai obyek langit terbesar dalam sistem tata surya, Matahari mempunyai pengaruh gravitasi paling dominan terhadap seluruh obyek langit dalam sistem tata surya. Oleh karena itu, semua planet, termasuk Bumi, mempunyai orbit mengelilingi pusat tata surya, dalam hal ini adalah Matahari (Broms, 2010: 97-98).

Posisi astronomis setiap titik di permukaan Bumi, yaitu lintang dan bujur astronomis ditentukan berdasarkan hasil pengamatan bintang. Lintang dan bujur astronomis ini disebut juga koordinat geografis astronomi yang merupakan sistem koordinat dua dimensi. Posisi astronomis yang ditunjukkan oleh posisi zenit astronomis di bola langit (Kahar, 2008: 23).

Bumi sebenarnya bukan berbentuk bulat rapi, melainkan berbentuk tidak rata. Hal ini dikarenakan pada bentuk permukaan Bumi yang berupa dataran rendah, dataran tinggi, pegunungan, sungai, laut, dan sebagainya. Bentuk Bumi yang tidak rata ini dalam geodesi digambarkan dengan *geoid*.

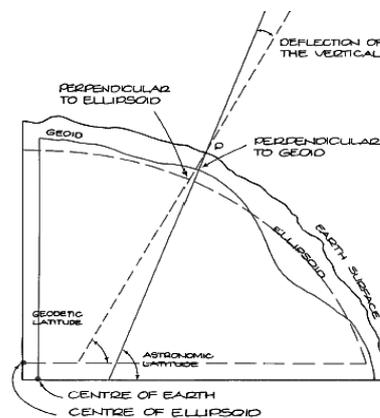
² Peristiwa peredaran semu Matahari relatif terhadap Bumi yang mengakibatkan waktu salat berbeda dari hari ke hari, dan antara tempat satu dengan lainnya juga bervariasi. Dalam revolusinya sumbu Bumi miring $66,5^\circ$ terhadap bidang ekliptika, sehingga gerakan revolusi Bumi tidak sejajar dengan ekuator Bumi, melainkan membentuk sudut sebesar $23,5^\circ$. Arah kemiringan tersebut relatif tetap. Bentuk lintasan Bumi adalah elips (Clarke, 1978: 79-80).

³ Periode rotasi Bumi dalam sehari semalam membutuhkan waktu $23^j 56^m 4^d$, ini berarti ada kekurangan dalam sehari semalam sebesar $3^m 56^d$. Padahal dalam jangka sehari memerlukan waktu 24^j , jika dihitung mulai dari kulminasi sampai keesokan harinya. Inilah yang ditempuh Bumi dalam sehari semalam (Hambali, 2012: 197).

Geoid adalah bidang ekuipotensial gaya berat Bumi yang berimpit dengan permukaan laut ideal. *Geoid* ini dianggap bentuk yang paling mendekati *mean sea level* (permukaan laut rata-rata). Sedangkan rumus-rumus yang ada merupakan rumus yang dibuat berdasarkan bentuk *ellipsoid* Bumi, yaitu bentuk pendekatan untuk *geoid* yang mana bentuk Bumi digambarkan bulat agar memudahkan dalam perumusan suatu formulasi perhitungan-perhitungan Bumi (Nainggolan, 2012: 8).

Penentuan awal waktu salat merupakan salah satu perhitungan hisab yang ditetapkan berdasarkan garis edar Matahari atau penelitian posisi Matahari terhadap Bumi (gerak semu Matahari), dan semua hal itu sangat erat kaitannya dengan posisi suatu tempat yang dinyatakan dengan lintang dan bujur tempat. Penentuan koordinat lintang dan bujur yang berada di permukaan Bumi (*toposentris*) berimbas pula pada penentuan waktu salat, karena berkaitan dengan posisi Matahari terhadap permukaan Bumi terhadap pancaran sinar Matahari masih menggunakan konsep geosentrik.

Gambar. 1. Lintang Astronomik dan geodetik (Priyatna, 2003: 14)



Faktor yang mempengaruhi waktu salat antara daerah satu dengan daerah lainnya ialah tinggi tempat. Tinggi secara geodetik (h) adalah jarak titik yang bersangkutan dari *ellipsoid* referensi di dalam arah garis normal terhadap *ellipsoid* referensi⁴ (Prahasta, 2002: 140). Ketinggian tempat dapat diperoleh sebagai hasil pengukuran dari ilmu ukur tanah, yaitu ilmu yang mempelajari tentang teknik-teknik pengukuran di permukaan Bumi dan bawah tanah dalam

⁴ *Ellipsoid referensi* ialah pendekatan model geometrik bentuk Bumi yang diperlukan untuk hitungan-hitungan geodesi yang akurat dengan jangkauan yang sangat jauh (Prahasta, 2002: 120).

areal yang terbatas untuk keperluan pemetaan dan lain-lain. Ketinggian tempat dalam geodesi lebih dikenal dengan sebutan beda tinggi. (Basuki, 2006: 139-140).

Dalam perkembangan perhitungan waktu salat, konsep yang digunakan masih mengacu pada data deklinasi Matahari yang didasarkan atas asumsi bahwa bentuk Bumi diyakini seperti bola (*geosentrik*). Akan tetapi data lintang (*latitude*) tempatnya menggunakan data *geodetik*, artinya ketidaksesuaian dengan posisi sebenarnya. Seharusnya data deklinasinya harus menggunakan data lintang geosentrik atau sebaliknya.⁵

Teori yang mempelajari tentang Bumi (lintang dan bujur tempat) dengan pendekatan *ellipsoid* yang paling akurat dan banyak digunakan saat ini adalah *World Geodetic System 1984* (WGS-84). Perbedaan nilai posisi suatu tempat akan berimplikasi pada hasil perhitungan awal waktu salat. Namun dalam penerapannya untuk menghitung awal waktu salat menjadi tidak eksak, disebabkan oleh koordinat tempat yang masih mengandung faktor kesalahan, meskipun kecil dan dapat diabaikan.

Dalam perhitungan awal waktu salat yang selama ini mengacu pada kedudukan Matahari yang masih menggunakan asumsi Bumi sebagai pusat (*geosentris*), padahal dalam proses perhitungan lintang yang digunakan sudah mengacu pada *ellipsoid*, yang dimodelkan bahwa Bumi tidak bulat dengan mempertimbangkan adanya laut, gunung, dataran rendah dan dataran tinggi.

Perhatikan contoh pada lintang Semarang - 7°, (lintang geodetik). Dalam perhitungan waktu salat sudah di jelaskan sebelumnya, bahwa data yang digunakan pada perhitungan menggunakan deklinasi yang masih mengacu pada geosentris. Untuk menjadikan lintang geosentrik, terlebih dahulu mengubah lintang geodetik ke geosentrik, menjadi - 6° 57' 12,96", sehingga terdapat perbedaan, dari perbedaan akan berakibat hasil dalam perhitungan tinggi Matahari pada saat-saat membuat atau mewujudkan keadaan yang pertanda bagi awal atau akhir waktu salat (Khazin, 2005:89).

⁵ Sistem Koordinat WGS 84 adalah *Conventional Terrestrial Reference System* (CTRS). Definisi dari sistem koordinat ini mengikuti kriteria yang digariskan dalam *International Earth Rotation Service* (IERS) (NIMA, 2000: 2-1).

Dari uraian tersebut, kajian atas perhitungan waktu salat dalam teori geosentrik dan geodetik merupakan salah satu kajian yang menarik untuk diangkat dan menjadikannya sebagai salah satu sistem perhitungan waktu salat yang dapat diberlakukan di dunia Islam dalam memulai ibadah salat.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian yang telah dipaparkan di dalam latar belakang, maka pokok permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan dalam dua hal:

1. Bagaimanakah metode perhitungan awal waktu salat dalam teori geosentrik dan geodetik?
2. Bagaimana komparasi perhitungan waktu salat dalam teori geosentrik dan geodetik?

C. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, metode yang penulis gunakan adalah sebagai berikut:

1. Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini termasuk penelitian lapangan (*field research*). Selain itu, penelitian ini menggunakan pendekatan verifikasi teori yang sudah ada dengan kenyataan di lapangan. Penelitian ini menggunakan paradigma metode penelitian yang bersifat kualitatif⁶ (Azwar, 2004: 5) dengan menggunakan pendekatan *arithmetic* (ilmu hitung).

Pendekatan ini diperlukan untuk menguji kembali metode hisab yang dipergunakan dalam menentukan awal waktu salat berdasar pada kebenaran ilmiah astronomi modern melalui pendekatan penghitungan aritmetis (kajian yang bersifat ilmiah) atau tidak. Sehingga penelitian dapat digunakan sebagai pedoman penentuan awal waktu salat yang akurat.

2. Sumber Data

Sumber data pada penelitian ini diperoleh langsung dari subjek penelitian dengan menggunakan alat pengukuran atau alat pengambilan data langsung pada subjek yang diteliti, yang di dalamnya terdapat dua

⁶ Metode penelitian kualitatif adalah metode penelitian yang berlandaskan filsafat postpositivisme, digunakan untuk meneliti pada obyek yang alamiah, dimana peneliti adalah sebagai instrumen kunci. Teknik pengumpulan data dilakukan secara triangulasi, analisis data bersifat kualitatif, dan hasil penelitian kualitatif lebih menekankan pada makna daripada generalisasi (Sugiyono, 2009: 9).

sumber data, yaitu data primer dan data sekunder. Sumber data primer dalam penelitian ini adalah data-data hasil observasi langsung di lapangan tentang jarak zenit Matahari (z_m) saat kulminasi, Asar, tenggelam, dan Matahari pada pagi hari. Observasi tersebut dilakukan mulai tanggal 14 sampai 28 Februari, dan 17 sampai 31 Mei 2013, di Semarang.

Sedangkan data sekunder yang digunakan adalah data-data jarak zenit dan deklinasi Matahari yang terdapat dalam *software Ephemeris Versi 2.0, Starry Night Pro 6, dan Astronomical algorithms Jean Meeus*, yang telah teruji sebagai data yang akurat saat ini.

Selain itu juga terdapat beberapa Jurnal, diantaranya: *Astronomy and Astrophysics* vol. 124 (1983), program *Accurate Times 5,3* yang disusun Muhammad Odeh, *Mawaaqit 2001* karya Dr. Ing. Khafid, *Winhisab Version 2.0* yang kemudian disempurnakan dengan *Winhisab 1996* yang dikeluarkan oleh Kementerian agama RI.

Sementara itu sumber sekunder lainnya diambil dari hasil penelitian lain yang mendukung tema yang dimaksud, diantaranya: *Ilmu Falak Perjumpaan Khazanah Islam dan Sains Modern* yang ditulis Susiknan Azhari. Muhyiddin Khazin menulis buku *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik* (2008), *Ilmu Falak (Teori dan Aplikasi)* karya A. Jamil (2009), buku yang ditulis Encup Supriyatna dengan Judul *Hisab Rukyat dan Aplikasinya* (2007), *Ilmu Falak* karya Ahmad Izzuddin (2006), *Dasar-Dasar Astronomi Bola* oleh Djoni N. Dawanas. Serta wawancara dengan para pihak yang berkaitan atau yang menguasai materi objek penelitian waktu salat, yaitu dengan ahli falak, diantaranya, Thomas Djamaluddin, Slamet Hambali, Rinto Anugraha, Ing. Khafid dan yang berkompeten dalam ilmu ke-Bumian dan antariksa.

3. Teknik Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data-data yang diperlukan dalam penelitian ini, maka teknik pengumpulan data yang dipergunakan oleh penulis antara lain:

Observasi (*observation*), yakni pengumpulan data melalui observasi dan informasi pengetahuan yang berhubungan dengan penelitian, terlebih

sumber utama, yaitu buku-buku dan program atau *software* astronomi yang berkaitan dengan pembahasan komponen-komponen perhitungan awal waktu salat sebagai data primer, di samping data sekunder yang berkaitan dengan penelitian ini. Kemudian diproses melalui pengamatan dan tinjauan atas berbagai konsep pemikiran para ahli atau ulama dalam menghitung awal waktu salat, baik melalui studi kepustakaan maupun lapangan.

Sumber-sumber data tersebut dikumpulkan dan ditelaah untuk melihat isi bahan pustaka yang berhubungan dengan pertanyaan penelitian. Dalam kajian ini, isi bahan pustaka berupa data-data tentang perhitungan awal waktu salat beserta sistem koreksi yang digunakan dan tingkat akurasi. Pengumpulan data juga dilakukan dengan *interview* (wawancara), yang berupa pengumpulan informasi tentang penelitian dengan bertatap muka pada obyek penelitian ini, seperti: kegiatan belajar mengajar, wawancara, seminar, konferensi, dan lain-lain.

4. Teknik Analisis Data

Metode analisis yang dipakai dalam penelitian ini adalah metode deskriptif, eksperimen, serta komparatif. Metode deskriptif digunakan sebagai cara menggambarkan dan menganalisis data mengenai ketentuan syar'i tentang penentuan awal waktu salat, serta komponen-komponen perhitungan awal waktu salat. Pada akhirnya dapat diketahui dan dipahami secara menyeluruh hasil dari penelitian ini.

Sementara itu, metode komparatif digunakan untuk melihat kelebihan dan kekurangan dari metode-metode yang dipakai dalam menentukan awal waktu salat, yaitu dengan cara membandingkan persamaan dan perbedaan masing-masing metode penetapan, termasuk tingkat akurasi.

D. Hasil Penelitian

Dari beberapa perhitungan yang penulis lakukan, menunjukkan bahwa pengaruh lintang geosentrik dan geodetik, atau sebaliknya deklinasinya terdapat perbedaan beberapa busur saja (detik). Berdasarkan data perhitungan

penentuan waktu salat dengan geosentrik dan geodetik, maka penulis menyimpulkan bahwa deklinasi selama ini (geosentrik) tidak terdapat pengaruh yang besar karena adanya transformasi koordinat dari ekliptika geosentrik ke ekuator geosentrik dan transformasi koordinat dari ekuator geosentrik ke horizon.

Untuk lebih jelasnya perhatikan tabel. 1., yang didalamnya terdapat hasil perhitungan tinggi Matahari waktu salat dan sudut waktu antara lintang geosentrik dan lintang geodetik.

Tabel. 1. Tinggi Matahari waktu salat dan sudut waktu pada tanggal 21 Mei 2013

Waktu	Tinggi Matahari Geodetik	Sudut waktu	Tinggi Matahari Geosentrik	Sudut waktu
Zuhur pk. 11.36.05 Deklinasi 21° 47' 21" PW: 0 ^j 02 ^m 28 ^d	61° 13' 28,22" 00° 00' 32,87" 61° 14' 01,79"	00° 00' 00,07"	61° 16' 15,64" 00° 00' 32,8" 61° 16' 48,44"	00° 00' 00,07"
Asar pk. 14.57.41 Deklinasi 21° 48' 26,15" PW: 00 ^j 02 ^m 27,04 ^d	32° 50' 06,72" 00° 01' 32,47" 32° 51' 39,67"	50° 24' 02,12" 14 ^j 57 ^d 42,01 ^m	32° 51' 10,55" 00° 01' 32,66" 32° 48' 20,74"	50° 24' 30,03" 14 ^j 57 ^d 43,96 ^m
	32° 50' 07,83" 00° 01' 32,46" 32° 51' 40,29"	50° 24' 00,82" 14 ^j 57 ^d 42,01 ^m	32° 51' 10,51" 00° 01' 32,37" 32° 53' 20,42"	50° 24' 30,07" 14 ^j 57 ^d 43,96 ^m
Magrib pk. 17.29.22 Deklinasi 21° 59' 21,77" PW: 00 ^j 02 ^m 26,51 ^d	-0° 55' 33,94"	88° 10' 14,62" 17 ^j 28 ^d 47,46 ^m	-0° 55' 33,94"	88° 11' 33,73" 17 ^j 28 ^m 51,99 ^d
	-0° 55' 33,94"	88° 10' 14,62" 17 ^j 28 ^d 47,46 ^m	-0° 55' 36,46"	88° 11' 22,57" 17 ^j 28 ^m 51,99 ^d
Isya pk. 18.40.35 Deklinasi 21° 49' 47,88" PW: 00 ^j 02 ^m 26 ^d	-17° 24' 43,69"	106° 00' 09" 18 ^j 40 ^m 07,66 ^d	-17° 24' 43,69"	106° 01' 13" 18 ^j 40 ^m 11,9 ^d
	-17° 24' 43,74"	106° 00' 09" 18 ^j 40 ^m 07,66 ^d	-17° 24' 43,7"	106° 01' 13" 18 ^j 40 ^m 11,9 ^d
Subuh pk. 04.22.58 Deklinasi 21° 53' 18,42" PW: 0 ^j 02 ^m 22,62 ^d	-19° 24' 23,71"	108° 09' 05" 04 ^j 23 ^m 34,02 ^d	-19° 24' 23,71"	108° 10' 09" 04 ^j 23 ^m 29,77 ^d
	-19° 24' 23,77"	108° 09' 05" 04 ^j 23 ^m 34,02 ^d	-19° 24' 23,71"	108° 10' 09" 04 ^j 23 ^m 29,77 ^d

Pada tabel di atas dalam perhitungan pengujian, penulis melakukannya dengan cara membandingkan dua rumus sudut waktu salat dan tinggi Matahari. Pada waktu Zuhur sudut waktunya 0°, karena Matahari berada di zenit (Zuhur),

untuk tinggi Matahari terdapat perbedaan pada lintang geosentrik dan geodetik. Selanjutnya untuk tinggi Matahari waktu Asar.

Pada tabel 2. adalah hasil pengamatan penulis yang dilakukan beberapa kali pengujian dengan menggunakan lintang geosentrik dan geodetik, dan dari hasil pengamatan tersebut menunjukkan bahwa tinggi Matahari yang tepat adalah menggunakan lintang geodetik.

Tabel. 4.2. Tinggi Matahari salat dan sudut waktu

Tanggal	Waktu	Tinggi Matahari Geodetik	Sudut waktu	Tinggi Matahari Geosentrik	Sudut waktu
17 Mei 2013	pk. 07.10 Deklinasi 19° 18' 53,67" PW: 0 ^j 3 ^m 37 ^d	19° 42' 39,57" 00° 02' 45,05" 19° 45' 24,62"	-66° 13' 59,93"	19° 43' 35,88" 00° 02' 44,89" 19° 46' 30,77"	-66° 13' 59,93"
17 Mei 2013	pk. 07.34.55. Deklinasi 19° 19' 07,79" PW: 0 ^j 3 ^m 37 ^d	25° 20' 37,11" 00° 02' 05,54" 25° 22' 42,65"	-61° 00' 14,93"	25° 21' 48,24" 00° 02' 05,43" 25° 23' 53,67"	-61° 00' 14,93"
17 Mei 2013	pk. 08.00 Deklinasi 19° 19' 48" PW: 0 ^j 3 ^m 27 ^d	30° 55' 00,58" 00° 01' 39,57" 30° 56' 40,15"	-53° 43' 59,93"	30° 56' 17,59" 00° 01' 39,49" 30° 57' 57,08"	-53° 43' 59,93"
21 Mei 2013	pk. 07.30 Deklinasi 20° 10' 31,05" PW: 0 ^j 3 ^m 25,05 ^d	23° 56' 12,06" 00° 02' 13,81" 23° 58' 26,41"	-61° 16' 52,43"	23° 57' 25,03" 00° 02' 13,68" 23° 59' 38,71"	-61° 16' 52,43"
21 Mei 2013	pk. 07.35 Deklinasi 20° 10' 34,08" PW: 0 ^j 3 ^m 25,42 ^d	25° 03' 06,71" 00° 02' 07,18" 25° 05' 13,89"	-61° 01' 53,68"	25° 04' 20,23" 00° 02' 07,07" 25° 06' 27,29"	-60° 01' 53,63"
21 Mei 2013	pk. 07.45 Deklinasi 20° 10' 39,25" PW: 0 ^j 3 ^m 25,25 ^d	27° 16' 11,94" 00° 01' 55,49" 27° 18' 07,43"	-57° 31' 56,18"	27° 17' 27,62" 00° 01' 55,38" 27° 19' 23"	-57° 31' 56,18"
21 Mei 2013	pk. 08.00 Deklinasi 20° 10' 47" PW: 0 ^j 3 ^m 25 ^d	30° 33' 49,5" 00° 01' 40,96" 30° 35' 30,46"	-53° 46' 59,93"	30° 35' 08,82" 00° 01' 40,87" 30° 36' 49,7"	-53° 46' 59,93"

Proses perhitungan awal waktu salat yang pertama yaitu dengan menentukan tinggi Matahari (h_0) saat terbit atau terbenam dengan rumus:

$$h_0 \text{ terbit/terbenam} = - (ku + ref + sd)$$

Keterangan:

- ref singkatan dari refraksi, yaitu pembiasan atau pembelokan cahaya Matahari, karena Matahari tidak dalam posisi tegak, refraksi untuk Magrib dan terbit digunakan $0^{\circ} 34'$, Isya ketika Matahari -17° , maka refraksi = $00^{\circ} 03' 09,75''$ dan Subuh -19 , refraksi = $00^{\circ} 2' 49,77''$.

Refraksi diperoleh dengan rumus:

$$R = \frac{1}{\tan\left(h_o + \frac{7.31}{h_o + 4.4}\right)} \quad (\text{Meeus, 1991: 102})$$

- sa singkatan dari semi diameter Matahari. Semi diameter atau jari-jari⁷ adalah jarak titik pusat Matahari dengan piringan luarnya. Besar kecil semi diameter tidak menentu tergantung jauh dekatnya Bumi-Matahari. Sedangkan semi diameter Matahari rata-rata adalah $0^{\circ} 16'$. Hasil ini merupakan jarak dari garis ufuk ke titik pusat Matahari, besarnya adalah $\frac{1}{2}$ diameter Matahari, yaitu $32^{\circ} \times \frac{1}{2} = 16^{\circ}$. Data ini diperlukan untuk menghitung secara tepat saat Matahari terbenam dan terbit.

Dalam proses perhitungan ini penulis menggunakan lintang geodetik dan geosentrik. Sedangkan yang menyangkut data astronomis untuk Matahari, yang meliputi deklinasi dan *equation of time*, diperoleh dari data tabel Ephemeris Hisab Rukyat (winhisab version 2.0). Perhatikan sebagai berikut:

1. Pengujian pada 31 Mei 2013 dilakukan di depan rumah tempat penulis selama melaksanakan studi di Jerakah, tepatnya di belakang MI Walisongo Semarang. Letak geografis (bujur timur $\lambda = 110^{\circ} 21' 45,07''$ dan lintang (ϕ) = $-06^{\circ} 59' 10,08''$). Dengan menggunakan Garmin 76CSx, pada tanggal 14 Februari 2013. Perhatikan proses perhitungan awal waktu salat sebagai berikut:

- a. Awal waktu salat Zuhur

Pada dasarnya waktu salat Zuhur = pukul 12 Waktu Hakiki (WH), untuk menjadikan Waktu Daerah (WIB) dengan menggunakan rumus:

$$\text{WIB} = \text{WH} - e + (\lambda^d - \lambda^x) \div 15$$

$$\text{WIB} = 12 - (+0^j 02^m 20^d) + (105^{\circ} - 110^{\circ} 21' 45,07'') \div 15$$

$$= 11.36.13 \text{ WIB}$$

⁷ Dalam bahasa Inggris disebut *radius*, dan bahasa arab disebut *Nisfu al-Qutr*.

Dalam perhitungan waktu Zuhur tidak terdapat perbedaan antara geosentrik dan geodetik, karena dalam proses perhitungannya data yang digunakan adalah *equation of time*, selisih bujur tempat dan bujur daerah, serta tidak terkait dengan data lintang dan deklinasi. Sementara itu penulis merasa perlu untuk menghitung awal waktu salat Zuhur guna untuk mengetahui tinggi Matahari ketika transit⁸, mana yang lebih tepat dari keduanya dalam perhitungan, antara lintang geosentrik atau lintang geodetik.

Pada kesempatan kali ini penulis menganalisis tinggi Matahari, diantaranya:

- 1) Menghitung tinggi Matahari waktu Zuhur dengan menggunakan lintang geodetik.

Menentukan deklinasi Matahari dan *equation of time* pada pukul 11.36.13 WIB⁹ dengan deklinasi $21^{\circ} 55' 52,68''$, dan *equation of time* $0^j 02^m 20^d$. (Ephemeris Hisab Rukyat 2013 atau winhisab version 2.0). Pertama, mendapatkan jarak zenit Matahari dengan rumus:

$$\begin{aligned} z_m &= (\phi^x - \delta^m) \\ &= -6^{\circ} 59' 10,08'' - 21^{\circ} 55' 52,68'' \\ &= -28^{\circ} 55' 02,76'' \text{ (absolut)} \end{aligned}$$

Kedua, menentukan tinggi Matahari dengan menggunakan rumus: $h_a = 90^{\circ} - z_m$, berarti: $90^{\circ} - 28^{\circ} 55' 02,76''$, mendapatkan hasil $61^{\circ} 04' 57,24''$. Tinggi Matahari ini belum dikoreksi dengan refraksi. Jika menggunakan koreksi refraksi¹⁰ sebesar $0^{\circ} 00' 33,06''$, dan hasilnya ditambahkan dengan tinggi hakiki $61^{\circ} 04' 57,24''$,

⁸ Istilah transit di sini menunjuk pada saat Matahari tepat berada di garis meridian. Garis meridian adalah garis setengah lingkaran langit yang menghubungkan titik arah utara, zenit (tepat di atas kepala) dan titik selatan. Pada saat transit, matahari memiliki *hour angle* sama dengan nol derajat. Sementara, azimut Matahari pada saat transit menurut suatu tempat pengamatan tertentu bisa bernilai 0 derajat atau 180 derajat. Jika pada saat transit, Matahari terletak di belahan langit utara atau tepat di titik pada garis yang menghubungkan titik zenit dengan titik arah utara, nilai azimut Matahari sama dengan nol. Sementara jika terletak di belahan langit selatan, atau tepat di titik pada garis yang menghubungkan titik zenit dengan titik arah selatan, nilai azimut Matahari sama dengan 180 derajat (Anugraha, 2012: 75).

⁹ Untuk mendapatkan deklinasi dengan cara interpolasi (*ta'dil*) sesuai jam transit (Zuhur) menggunakan rumus: $\delta_o = \delta_o^1 + k (\delta_o^2 - \delta_o^1)$. $\delta_o = 21^{\circ} 55' 40 + 00^j 36^m 13^d (21^{\circ} 56' 01 - 21^{\circ} 55' 40) = 21^{\circ} 55' 52,68''$ (Kementerian Agama RI, 2003: 168).

¹⁰ $0.0167 \div \tan (h + 7,31 \div (h + 4,4))$

diperoleh hasil sebesar $61^{\circ} 05' 30,3''$. Tinggi tersebut yang dijadikan acuan untuk membidik Matahari pada waktu Zuhur.

Dalam melakukan pengamatan penulis menggunakan filter Matahari, yang bertujuan untuk membantu dalam pengamatan, didapatkan hasil bahwa pembidikan Matahari sesuai dengan hasil perhitungan. Dengan kata lain hasilnya tepat dan tidak ada selisih.

Setelah mendapatkan tinggi Matahari, untuk menentukan sudut waktu Matahari (t_0) awal waktu Zuhur bisa menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}\cos t_0 &= \sin h_a \div \cos \phi^x \div \cos \delta^m - \tan \phi^x \times \tan \delta^m \\ \cos t_0 &= \sin 61^{\circ} 04' 57,24'' \div \cos -6^{\circ} 59' 10,08'' \div \cos 21^{\circ} 55' 52,68'' \\ &\quad - \tan -6^{\circ} 59' 10,08'' \times \tan 21^{\circ} 55' 52,68'' \\ t_0 &= 00^{\circ}\end{aligned}$$

Penulis mencoba membandingkan rumus di atas untuk mendapatkan sudut waktu Matahari (t_0) pada pukul 11.36.13 WIB dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}t &= WD + e - (BT^d - BT^x) \div 15 - 12 \times 15 \\ &= (11.36.13 + 0^j 2^m 20^d - (105^{\circ} - 110^{\circ} 21' 45,07'')) \div 15 - 12) \times 15 \\ &= 00^{\circ}\end{aligned}$$

Pengujian dua rumus di atas memberikan jawaban bahwa untuk menentukan sudut waktu Matahari tidak terdapat perbedaan, sehingga dalam pengujian keakurasian dalam perhitungan bisa dibuktikan dan menandakan dalam perhitungan sudut waktu, serta bisa dilakukan kapan saja pada waktu yang diinginkan. Dalam proses untuk mendapatkan tinggi Matahari, data yang harus diketahui diantaranya sudut waktu Matahari (t_0). Untuk mendapatkan tinggi Matahari menggunakan rumus:

$$\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t.$$

- 2) Tinggi Matahari waktu Zuhur dengan menggunakan lintang geosentrik.

Pada kesempatan yang sama penulis juga menghitung tinggi Matahari pada pukul 11.36.13 WIB, dan mendapatkan $z_m = -6^\circ 56' 23,36'' - 21^\circ 55' 52,68'' = -28^\circ 52' 16,04''$.

Setelah mendapatkan jarak zenit Matahari (z_m), untuk menghitung tinggi Matahari menggunakan rumus: $90^\circ - z_m$, berarti: $90^\circ - 28^\circ 55' 16,04''$ hasilnya $61^\circ 07' 43,96''$. Tinggi pengamatan diperoleh penulis dengan melakukan koreksi dengan refraksi dan hasil sebesar $00^\circ 00' 33''$. Dari hasil tersebut kemudian ditambahkan tinggi hakiki diperoleh hasil $61^\circ 08' 16,96''$. Hasil ini yang dijadikan pengamatan (pembidikan) Matahari.

Setelah penulis membuktikan di lapangan, hasil yang didapatkan hampir sama atau nyaris tidak ada perbedaan, karena posisi Matahari berada di zenit, dengan perbedaan $0^\circ 02' 46,66''$. Selisih tersebut tidak kelihatan, karena sinar yang masuk pada lensa sangat terang disebabkan Matahari berada di zenit.

b. Awal waktu salat Asar

- 1) Perhitungan awal waktu salat Asar dengan menggunakan lintang geodetik.

Sebagaimana dalam proses perhitungan awal waktu salat Asar, yang telah dijelaskan pada bab III, mendapatkan jarak zenit Matahari sebesar $28^\circ 56' 14,08''$, tinggi Matahari waktu salat Asar (h_a) $32^\circ 46' 48,5''$, sudut waktu Matahari (t_0) awal waktu Asar $50^\circ 23' 42,47''$, dan awal waktu Asar 14.57.48.83 WIB.

- 2) Perhitungan awal waktu salat Asar dengan menggunakan lintang geosentrik.

Proses perhitungan awal waktu salat Asar, sebagaimana dijelaskan sebelumnya pada bab III, mendapatkan jarak zenit Matahari sebesar $28^\circ 53' 27,36''$, tinggi Matahari waktu salat Asar = $32^\circ 47' 52,32''$, sudut waktu Matahari (t_0) awal Asar $50^\circ 24' 10,9''$, dan awal waktu Asar 14.57.50.72 WIB.

Dari hasil perhitungan waktu Asar di atas, baik menggunakan lintang geodetik maupun geosentrik terdapat selisih $0^j 00^m 01,89^d$.

Sementara selisih antara lintang geodetik dan geosentrik sangat bervariasi, mulai dari 0'' sampai 1'. Variasi tersebut disebabkan adanya pengaruh terhadap lintang tempat.

Penulis melakukan perhitungan selama satu tahun, mulai dari lintang 0° sampai 50°, dan ternyata terdapat selisih setiap hari. Selisih tersebut tidak konstan, karena pengaruh deklinasi Matahari pada tiap harinya yang berubah, maka hal ini yang berdampak terhadap adanya perbedaan jarak zenit Matahari.

Dalam proses perhitungan waktu Asar, baik menggunakan lintang geodetik dan geosentrik melalui proses menentukan jarak zenit Matahari. Jarak zenit Matahari setiap harinya bervariasi, yang berdampak pada tinggi Matahari terhadap waktu salat Asar.

Untuk mendapatkan tinggi Matahari terlebih dahulu menentukan *equation of time* dan deklinasi pada waktu Asar, baik lintang geodetik maupun geosentrik. Untuk mendapatkan sudut waktu menggunakan rumus:

$$t = WD + e - (BT^d - BT^x) \div 15 - 12 \times 15$$

Rumus di atas berguna untuk menguji ketepatan tinggi Matahari pada waktu Asar (geodetik dan geosentrik). Adapun untuk mendapatkan tinggi Matahari dengan menggunakan rumus: $\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t$. Pengujian perhitungan tinggi Matahari dilakukan dengan langkah:

Pertama, pengujian tinggi waktu Asar dengan menggunakan lintang geodetik terjadi pada pukul 14.57.48.83 WIB, dengan deklinasi 21° 57' 03,23'' (interpolasi) dan *equation of time* 00^j 02^m 19^d (Ephemeris Hisab Rukyat 2013 atau winhisab version 2.0). Untuk mendapatkan sudut waktu Matahari t_0 Asar sebagaimana yang telah dijelaskan di atas, menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} t &= WD + e - (BT^d - BT^x) \div 15 - 12 \times 15 \\ &= (14.57.48.83 + 0^j 2^m 19^d - (105^\circ - 110^\circ 21' 45,07'') \div 15 - 12) \times 15 \\ &= 50^\circ 23' 42,52'' \end{aligned}$$

Setelah mendapatkan sudut waktu, kemudian menghitung tinggi Matahari dengan lintang geodetik, menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \sin h &= \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t \\ &= \sin -6^\circ 59' 10,08'' \sin 21^\circ 57' 03,23'' + \cos -6^\circ 59' 10,08'' \cos \\ &\quad 21^\circ 57' 03,23'' \cos 50^\circ 23' 42,52'' \\ &= 32^\circ 46' 48,78'' \end{aligned}$$

Hasil perhitungan di atas belum dikoreksi dengan refraksi. Untuk mendapatkan koreksi refraksi sebagaimana telah dijelaskan pada bab II. Setelah dikoreksi refraksi mendapatkan hasil tinggi Matahari sebesar $0^\circ 01' 32,66''$, hasil tersebut kemudian ditambahkan dengan tinggi hakiki dan mendapatkan hasil $32^\circ 48' 21,44''$. Hasil ini dijadikan acuan dalam pengamatan Matahari.

Kedua, pengujian waktu Asar dengan menggunakan lintang geosentrik terjadi pada pukul 14.57.50.72 WIB, dengan deklinasi $21^\circ 57' 03,25''$ (interpolasi) dan *equation of time* $00^j 02^m 19^d$ (Ephemeris Hisab Rukyat 2013 atau winhisab version 2.0). Setelah mendapatkan deklinasi dan *equation of time*, kemudian melakukan perhitungan sudut waktu (t_0) Matahari. Untuk mendapatkan sudut waktu Matahari menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t &= WD + e - (BT^d - BT^x) \div 15 - 12 \times 15 \\ &= (14.57.50.72 + 0^j 2^m 19^d - (105^\circ - 110^\circ 21' 45,07'')) \div 15 - 12 \times 15 \\ &= 50^\circ 24' 10,87'' \end{aligned}$$

Hasil perhitungan sudut waktu Matahari di atas sebesar $50^\circ 24' 10,87''$. Untuk menentukan tinggi Matahari sebagaimana dijelaskan pada bab III. Tinggi Matahari (h) mendapatkan hasil $32^\circ 47' 52,66''$. Hasil tersebut belum termasuk koreksi refraksi. Koreksi refraksi sebesar $0^\circ 01' 32,6''$. Koreksi ini untuk ditambahkan dengan tinggi Matahari hakiki sebesar $32^\circ 47' 52,66''$, hasilnya $32^\circ 49' 25,25''$. Hasil ini dijadikan acuan pengamatan Matahari ketika waktu Asar.

Setelah mendapatkan hasil tersebut, penulis melakukan pengujian tinggi Matahari waktu Asar sesuai dengan hasil perhitungan

untuk membuktikan ketepatan posisi Matahari, baik menggunakan lintang geodetik atau lintang geosentrik. Ini dilakukan dengan cara:

Pertama, penulis mengarahkan lensa ke Matahari sesuai dengan hasil perhitungan lintang geodetik dan geosentrik. Setelah dilakukan pengamatan dari keduanya, ternyata lintang geodetik yang paling tepat, dengan posisi Matahari berada di tengah lensa theodolit. Apabila menggunakan lintang geosentrik posisi Matahari belum tepat berada di tengah lensa theodolit, dan masih ada kekurangan 15 detik untuk tepat berada di tengah lensa.

Pada saat waktu Asar tiba, yang diamati adalah pusat Matahari yang nampak, padahal pusat Matahari yang sebenarnya sedikit lebih rendah. Yang dihitung seharusnya adalah posisi Matahari yang sebenarnya, sehingga pada akhirnya koreksi ini membuat waktu Asar menjadi sedikit lebih lambat. Ini dapat dengan mudah dipahami karena Matahari beranjak untuk turun sehingga dibutuhkan waktu agar altitudenya berkurang.

c. Awal waktu salat Magrib

- 1) Perhitungan awal waktu salat Magrib dengan menggunakan lintang geodetik.

Proses perhitungan awal waktu salat Magrib, pertama yang harus diperhatikan adalah menentukan ketinggian tempat. Tinggi tempat lokasi penelitian adalah 10 meter dari permukaan air laut (diperoleh dari GPS). Tinggi tempat digunakan untuk mendapatkan kerendahan ufuk (dip). Kerendahan ufuk yang dihasilkan sebesar $0^{\circ} 05' 33,94''$. Kedua, tinggi Matahari (h_0) waktu Magrib sebesar $-0^{\circ} 55' 33,94''$ (terbit/terbenam). Untuk mendapatkannya sebagaimana telah dijelaskan pada bab III. Sudut waktu Matahari (t_0) awal waktu Magrib adalah $88^{\circ} 10' 24,74''$, dan awal waktu Magrib pada pk. 17.28.56,64 WIB.

- 2) Perhitungan awal waktu salat Magrib dengan menggunakan lintang geosentrik.

Tinggi Matahari waktu salat Magrib tidak terdapat perbedaan antara lintang geodetik dan geosentrik. Sebagaimana pada perhitungan di atas yaitu tinggi Matahari Magrib (h_a) sebesar $-0^\circ 55' 33,94''$, sudut waktu Matahari (t_0) awal Magrib sebesar $88^\circ 11' 32,68''$, dan awal waktu Magrib pada pk. 17.29.01,17 WIB.

Perhitungan awal waktu Magrib di atas terdapat perbedaan antara lintang geodetik dan geosentrik sebesar $00^j 0^m 04,53^d$. Dalam Perbedaan untuk waktu Magrib antara lintang geodetik dan geosentrik bervariasi mulai dari $4''$ sampai $1'$. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan lintang tempat.

Tinggi Matahari waktu Magrib, penulis tidak menggunakan -1° sebagaimana yang terdapat pada Ephemeris Hisab Rukyat 2013 halaman 406. Untuk mendapatkan tinggi Matahari sebagaimana yang sudah dijelaskan di atas dengan koreksi tinggi tempat, guna mendapatkan kerendahan ufuk. Kerendahan ufuk ditambahkan dengan refraksi ketika Matahari terbit atau Magrib sebesar $0^\circ 34'$ dan semidiameter $0^\circ 16'$, dan hasilnya tinggi Matahari terbit atau Magrib sebesar $-0^\circ 55' 33,94''$.

Tinggi Matahari waktu Magrib tidak terdapat perbedaan, karena dalam proses perhitungannya menggunakan koreksi tinggi tempat. Tinggi tempat di permukaan Bumi yang berbeda yang mengakibatkan pada kerendahan ufuk (Dip), dan berpengaruh terhadap tinggi Matahari awal waktu Magrib.

Untuk menguji tinggi Matahari (h_a) awal waktu Magrib sebesar $-0^\circ 55' 33,94''$, dilakukan dengan cara menghitung sudut waktu pada awal waktu Magrib menggunakan rumus lain (sebagaimana telah dijelaskan di atas). Hal ini dilakukan dengan maksud untuk menguji tingkat akurasi dalam posisi tinggi Matahari ketika masuk waktu salat Magrib baik menggunakan lintang geodetik atau geosentrik. Adapun langkahnya adalah sebagai berikut:

Waktu Magrib pada pukul 17.28.56,64 WIB (lintang geodetik), dengan deklinasi $21^\circ 57' 56,13''$, dan *equation of time* $0^j 2^m 18^d$

(interpolasi). Pertama menghitung sudut waktu Matahari (t_0) Magrib, sebagaimana rumus di atas, mendapatkan hasil $88^\circ 10' 24,67''$. Setelah mendapatkan sudut waktu, untuk menghitung tinggi Matahari Magrib dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \sin h &= \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t. \\ &= \sin -6^\circ 59' 10,08'' \sin 21^\circ 57' 56,13'' + \cos -6^\circ 59' 10,08'' \cos \\ &\quad 21^\circ 57' 56,13'' \cos 88^\circ 10' 24,67'' \\ &= -0^\circ 55' 32,51'' \end{aligned}$$

Hasil tinggi Matahari di atas terdapat perbedaan sebesar $0^\circ 00' 01,43$ dari tinggi Matahari setelah Dip, refraksi, semidiameter.

Waktu Magrib pada pukul 17.29.01,17 WIB (lintang Geosentrik), dengan deklinasi $21^\circ 57' 56,16''$, dan *equation of time* $0^j 2^m 18^d$ (interpolasi). Pertama menghitung sudut waktu Matahari, sebagaimana rumus di atas, mendapatkan hasil $88^\circ 11' 32,62''$. Setelah mendapatkan sudut waktu, menghitung tinggi Matahari waktu Magrib dengan menggunakan rumus di atas, dan hasilnya $-0^\circ 55' 32,54''$, sehingga terdapat perbedaan $0^\circ 00' 01,4$ dari tinggi Matahari di atas.

Dalam proses menghitung tinggi Matahari Magrib di atas, penulis tidak menggunakan koreksi refraksi, karena hasil perhitungan waktu Magrib sudah menggunakan koreksi kerendahan ufuk (Dip), refraksi dan semidiameter. Setelah dilakukan perhitungan ternyata hasilnya tidak jauh berbeda. Perbedaannya hanya satu detik. Ini menandakan bahwa ketinggian tempat mempunyai pengaruh yang besar dalam perhitungan awal waktu Magrib.

Pada rumus Matahari terbit (*sunrise*) maupun waktu Magrib (*sunset*), faktor ketinggian lokasi (h) di atas permukaan laut juga sudah diperhitungkan. Seseorang yang berada cukup tinggi di atas permukaan laut akan menyaksikan *sunrise* yang lebih awal serta *sunset* yang lebih telat, dibandingkan dengan orang yang berada di permukaan laut.

Secara astronomi, ketinggian tempat mempengaruhi *atmospheric extinction*, yaitu pengurangan kecerahan suatu benda

langit sebagai foton benda langit tersebut untuk menembus atmosfer. Efek dari *atmospheric extinction* ini tergantung pada transparansi, ketinggian pengamat, dan sudut puncak (sudut dari puncak untuk satu baris dari penglihatan). Ketika sudut puncak meningkat, cahaya dari objek bintang harus melalui suasana yang lebih, sehingga mengurangi kecerahan. Oleh karena itu, bintang yang dekat dengan zenit terlihat lebih terang daripada saat mendekati horizon (Hudhoifah, 2010: 81).

d. Awal waktu salat Isya

- 1) Perhitungan awal waktu salat Isya dengan menggunakan lintang geodetik.

Proses perhitungan awal waktu salat Isya antara lain, pertama yang harus diperhatikan adalah menentukan ketinggian tempat sebagaimana sudah dijelaskan di atas. Tinggi tempat digunakan untuk mendapatkan kerendahan ufuk (Dip). Kerendahan ufuk sebesar $0^{\circ} 05' 33,94''$. Tinggi Matahari (h_a) awal waktu Isya yaitu $-17^{\circ} 24' 43,69''$. Hasil ini diperoleh dari: $-(17^{\circ} + 0^{\circ}05'33,94'' + 0^{\circ}03' 09,75 + 0^{\circ}16')$. Sudut waktu Matahari (t_0) awal waktu Isya sebesar $106^{\circ} 00' 03''$, dan awal waktu Isya pk. 18.40.16,23 WIB.

- 2) Perhitungan awal waktu salat Isya dengan menggunakan lintang geosentrik.

Untuk tinggi Matahari waktu salat Isya tidak ada perbedaan antara geodetik dengan geosentrik, dan tinggi Matahari (h_a) waktu Isya sebesar $-17^{\circ} 24' 43,69''$ hasil ini diperoleh sebagaimana di atas. Sudut waktu Matahari (t_0) awal waktu Isya $106^{\circ} 01' 07''$, dan awal waktu Isya (waktu daerah) 18.40.20,51 WIB.

Hasil perhitungan awal waktu Isya di atas antara geodetik dan geosentrik terdapat perbedaan sebesar $0^{\circ} 00' 04,28''$. Dalam perhitungan lintang geodetik dan geosentrik terdapat perbedaan yang bervariasi mulai berkisar $4''$ sampai $1'$. Perbedaan tersebut disebabkan perbedaan lintang di setiap tempat. Di Indonesia perbedaan paling besar $6''$ sampai $7''$.

Perbedaan sudut waktu Matahari akan mempengaruhi hasil tinggi Matahari. Penulis membandingkan perhitungan tinggi Matahari dengan menggunakan rumus lain, dengan maksud untuk menguji akurasi dalam posisi Matahari ketika masuk waktu salat.

Pertama, awal waktu salat Isya lintang geodetik pada pukul 18.40.16,23 WIB, dengan *equation of time* = $0^j 2^m 17^d$ dan deklinasi $21^\circ 58' 42,09''$ (hasil ini telah diinterpolasi). Untuk mendapatkan sudut waktu Matahari menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} t &= WD + e - (BT^d - BT^x) \div 15 - 12 \times 15 \\ &= (18.40.16,23 + 0^j 2^m 17^d - (105^\circ - 110^\circ 21' 45,07'')) \div 15 - 12) \times 15 \\ &= 106^\circ 00' 03'' \end{aligned}$$

Hasil sudut waktu di atas sebagai proses untuk menentukan tinggi Matahari. Adapun rumusnya adalah:

$$\begin{aligned} \sin h &= \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t \\ &= \sin -6^\circ 59' 10,08'' \sin 21^\circ 58' 42,09'' + \cos -6^\circ 59' 10,08'' \cos \\ &\quad 21^\circ 58' 42,09'' \cos 106^\circ 00' 03'' \\ &= -17^\circ 24' 43,79'' \end{aligned}$$

Tinggi Matahari pada awal waktu Isya sebesar $-17^\circ 24' 43,79''$. Dari hasil tersebut penulis tidak melakukan koreksi, karena perhitungan awal waktu salat Isya hasilnya sudah dilakukan koreksi, sebagaimana dijelaskan pada bab III.

Hasil perhitungan tinggi Matahari pada awal waktu Isya sebesar $-17^\circ 24' 43,69''$. Hasil ini sudah memperhitungkan koreksi, sebagaimana telah dijelaskan pada bab III. Setelah dibandingkan dengan perhitungan di atas, sebagaimana perhitungan awal waktu Isya pada pukul yang telah ada yaitu $-17^\circ 24' 43,79''$, terdapat perbedaan sebesar $0^\circ 00' 00,07''$. Dari hasil tersebut hampir tidak ada perbedaan dalam sistem perhitungan dengan lintang geodetik.

Kedua, awal waktu salat Isya lintang geosentrik pada pukul 18.40.20,51 WIB, dengan *equation of time* $0^j 2^m 17^d$ dan deklinasi $21^\circ 58' 42,12''$ (hasil ini telah diinterpolasi). Dari data di atas mendapatkan sudut waktu Matahari sebesar $106^\circ 01' 07''$, dan

mendapatkan tinggi Matahari pada awal waktu Isya sebesar $-17^{\circ} 24' 43,82''$. Hasil tersebut penulis tidak melakukan koreksi, karena perhitungan awal waktu salat Isya hasilnya sudah dilakukan koreksi, sebagaimana dijelaskan pada bab III.

Hasil perhitungan tinggi Matahari ketika awal waktu Isya sebesar $-17^{\circ} 24' 43,69''$. Hasil ini sudah memperhitungkan koreksi, sebagaimana telah dijelaskan pada bab III. Setelah dibandingkan dengan perhitungan di atas, sebagaimana perhitungan awal waktu Isya pada waktu yang telah ditentukan yaitu $-17^{\circ} 24' 43,82''$, terdapat perbedaan sebesar $0^{\circ} 00' 00,13''$. Dari hasil tersebut hampir tidak ada perbedaan dalam sistem perhitungan dengan lintang geosentrik.

Tingkat akurasi sistem perhitungan awal waktu salat, baik dengan menggunakan lintang geodetik maupun geosentrik, jika melihat dari hasil pengamatan Matahari, dengan menghitung tinggi Matahari yang paling tepat adalah menggunakan lintang geodetik. Hal ini bisa dilihat pada tabel di atas (tabel. 4.1.) menghitung tinggi Matahari.

e. Awal waktu salat Subuh

- 1) Perhitungan awal waktu salat Subuh dengan menggunakan lintang geodetik.

Dalam proses perhitungan awal waktu Subuh, pertama yang ditentukan adalah tinggi tempat, sebagaimana yang telah dijelaskan pada bab III pada perhitungan awal waktu salat Subuh. Tinggi Matahari (h_0) untuk awal waktu Subuh sebesar $-19^{\circ} 24' 23,71''$.

Mendapatkan sudut waktu Matahari (t_0) awal waktu Subuh dengan menggunakan rumus yang telah dijelaskan sebelumnya memperoleh hasil sebesar $108^{\circ} 09' 06''$. Setelah mendapatkan waktu hakiki (WH), kemudian diubah ke waktu daerah, sehingga mendapatkan hasil 04.23.42,54 WIB.

- 2) Perhitungan awal waktu salat Subuh dengan menggunakan lintang geosentrik.

Untuk tinggi Matahari waktu salat Subuh tidak ada perbedaan antara geodetik dengan geosentrik, sebagaimana pada perhitungan di atas yaitu tinggi Matahari Subuh (h) sebesar $-19^{\circ} 24' 23,71''$.

Sudut waktu Matahari (t_0) awal waktu Subuh sebesar $108^{\circ} 10' 11''$. Mengubah waktu hakiki (WH) ke waktu daerah (WIB) menjadi = 04.23.38,25 WIB.

Hasil perhitungan awal waktu subuh di atas antara geodetik dan geosentrik terdapat perbedaan sebesar $0^{\circ} 00' 04,29''$. Dalam perhitungan lintang geodetik dan geosentrik terdapat perbedaan yang bervariasi mulai berkisar $4''$ sampai $1'$. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbedaan lintang setiap tempat. Di Indonesia perbedaan paling besar antara $6''$ sampai $7''$.

Dalam perhitungan awal waktu salat perbedaan sudut waktu Matahari akan mempengaruhi hasil tinggi Matahari. Penulis membandingkan perhitungan tinggi Matahari dengan menggunakan rumus lain, dengan maksud untuk menguji akurasi dalam posisi Matahari ketika masuk waktu salat.

Pertama, awal waktu salat Subuh lintang geodetik pada pukul 04.23.42,54 WIB, dengan *equation of time* $0^j 2^m 13,6^d$ dan deklinasi $22^{\circ} 01' 42,3''$ (hasil ini telah diinterpolasi). Untuk mendapatkan sudut waktu Matahari dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} t &= WD + e - (BT^d - BT^x) \div 15 - 12 \times 15 \\ &= (04.23.42,54 + 0^j 2^m 13,6^d - (105^{\circ} - 110^{\circ} 21' 45,07'')) \div 15 - 12 \times 15 \\ &= -108^{\circ} 09' 12'' \end{aligned}$$

Hasil sudut waktu di atas sebagai proses untuk menentukan tinggi Matahari. Rumus yang digunakan adalah:

$$\begin{aligned} \sin h &= \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t \\ &= \sin -6^{\circ} 59' 10,08'' \sin 22^{\circ} 01' 42,3'' + \cos -6^{\circ} 59' 10,08'' \cos 22^{\circ} 01' 42,3'' \cos -108^{\circ} 09' 12'' \\ &= -19^{\circ} 24' 29,21'' \end{aligned}$$

Tinggi Matahari pada awal waktu Subuh sebesar $-19^{\circ} 24' 29,21''$. Dari hasil tersebut penulis tidak melakukan koreksi, karena perhitungan awal waktu salat Subuh hasilnya sudah dilakukan koreksi, sebagaimana dijelaskan pada bab III.

Hasil perhitungan tinggi Matahari ketika awal waktu Subuh sebesar $-19^{\circ} 24' 23,71''$. Hasil ini sudah memperhitungkan koreksi, sebagaimana telah dijelaskan pada bab III. Setelah dibandingkan dengan perhitungan di atas, sebagaimana perhitungan awal waktu Subuh pada pukul 04.23.42,54, tinggi Matahari sebesar $-19^{\circ} 24' 29,21$, terdapat perbedaan $0^{\circ} 00' 05,5''$. Dari hasil tersebut hampir tidak ada perbedaan dalam sistem perhitungan dengan lintang geodetik.

Kedua, awal waktu salat Subuh lintang geosentrik pada pukul 04.23.38,25 WIB, dengan *equation of time* $0^j 2^m 13,61^d$, dan deklinasi $22^{\circ} 01' 42,27''$ (hasil ini telah diinterpolasi), dari data di atas mendapatkan sudut waktu Matahari $108^{\circ} 10' 17''$, dan mendapatkan tinggi Matahari pada awal waktu Subuh sebesar $-19^{\circ} 24' 28,4''$. Hasil tersebut penulis tidak melakukan koreksi karena perhitungan awal waktu salat Subuh hasilnya sudah dilakukan koreksi, sebagaimana dijelaskan pada bab III.

Hasil perhitungan tinggi Matahari ketika awal waktu Subuh sebesar $-19^{\circ} 24' 23,71''$. Hasil ini sudah memperhitungkan koreksi, sebagaimana telah dijelaskan pada bab III. Setelah dibandingkan dengan perhitungan di atas, sebagaimana perhitungan awal waktu Subuh pada pukul yang telah ada yaitu $-19^{\circ} 24' 28,4''$, terdapat perbedaan sebesar $0^{\circ} 00' 04,69''$. Dari hasil tersebut hampir tidak ada perbedaan dalam sistem perhitungan dengan lintang geosentrik.

Tingkat akurasi sistem perhitungan awal waktu salat, baik dengan menggunakan lintang geodetik atau geosentrik, jika melihat dari hasil pengamatan Matahari dengan menghitung tinggi Matahari yang paling tepat adalah menggunakan lintang geodetik. Hal ini dapat dilihat pada tabel 4.1. menghitung tinggi Matahari dan sudut waktu.

Dari beberapa pengujian di atas dapat disimpulkan bahwa metode perhitungan lintang geodetik dan lintang geosentrik pada tanggal 17, 21, 22, 30, 31, Mei 2013, dengan melakukan pengamatan tinggi Matahari, baik menggunakan lintang geodetik maupun geosentrik. Dari pengamatan tersebut mendapatkan hasil bahwa yang sama dan sesuai perhitungan adalah menggunakan lintang geodetik. Pada pengamatan dengan menggunakan lintang geodetik Matahari tepat berada di tengah lingkaran lensa theodolite, sedangkan pengamatan menggunakan lintang geosentrik posisi Matahari piringan bawah masih berada di bawah lensa teropong. Untuk mencapai tengah lensa teropong membutuhkan waktu selama 5".

Secara garis besar perhitungan waktu salat selama ini sudah tepat, tidak ada perbedaan. Perbedaan tersebut tidak signifikan, di Indonesia perbedaan mulai dari 5-7 detik pada waktu salat Magrib, Isya, dan Subuh, sedangkan Asar hanya berkisar 0-3 menit.

E. Kesimpulan

Berdasarkan dari pembahasan yang dipaparkan dalam bab-bab sebelumnya, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam metode perhitungan awal waktu salat (tinggi Matahari) dengan metode geosentrik dan geodetik yang harus diperhatikan merubah lintang geodetik ke geosentrik dengan rumus sederhana berikut: $\tan \phi' = b^2 / a^2 \times \tan \phi$,. dimana: $a = 6\,378\,137$ m, $b = 6\,356\,752$ m. Dalam proses perhitungan awal waktu salat yang pertama, yaitu dengan menentukan tinggi Matahari (h_0) saat terbit atau terbenam dengan rumus: $h_0 \text{ terbit/terbenam} = - (k_u + \text{ref} + \text{sd})$. Untuk menentukan tinggi Matahari waktu Zuhur bisa juga dengan menggunakan rumus: $\sin h = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t$. Tinggi Matahari awal waktu Asar dilakukan dengan cara: pertama, yaitu mencari jarak zenit Matahari, ketika Matahari berada di meridian langit (z_m) yang bertepatan dengan datangnya awal waktu Zuhur. Mencari jarak zenit Matahari menggunakan rumus: $z_m = \delta^m - \phi^x$, setelah mendapatkan untuk mendapatkan (h_a) Asar dengan menggunakan rumus: $h_a = \text{tg } z_m + 1$. Catatan: z_m harus selalu positif, jika negatif harus diubah menjadi positif. Kedua, menentukan

tinggi Matahari awal waktu Asar setelah mendapatkan jarak zenit Matahari. Selanjutnya untuk mendapatkan sudut waktu Matahari (t_0) awal waktu salat bisa menggunakan rumus: $\cos t_0 = \sin ha \div \cos \phi^x \div \cos \delta^m - \tan \phi^x \tan \delta^m$ (Hambali, 2011: 142) dan bisa menggunakan rumus: $\cos t_0 = -\tan \phi^x \tan \delta^m + \sin ha \div \cos \phi^x \div \cos \delta^m$ (Khazin, 2004: 95).

2. Dalam perhitungan awal waktu salat dengan menggunakan teori geosentrik dan geodetik terdapat perbedaan dalam menentukan tinggi Matahari pada awal waktu salat berkisar antara lima sampai enam detik apabila menggunakan lintang geosentrik ini berlaku untuk daerah yang berada di Indonesia. Perhitungan waktu salat antara lintang geodetik dan geosentris tidak terdapat perbedaan yang signifikan jika terjadi di Indonesia, berkisar antara satu sampai tujuh detik kecuali awal waktu salat Zuhur tidak terdapat perbedaan, karena dalam perhitungannya tidak terkait dengan lintang.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, Hasanuddin Z., 2007, *System of Coordinates*, Bandung: ITB.
- _____, 2001, *Geodesi Satelit*, Jakarta: Pradnya Paramita.
- Alfani, Khozin, *Analisis Perhitungan Awal Waktu Salat dengan Basis Algoritma VSOP87 dan ELP2000*, (tesis tidak diterbitkan) Semarang: Program Pascasarjana IAIN Walisongo Semarang.
- Anugraha, Rinto, 2012, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Asqalani, Ibnu Hajar al-, t.t, Fathul Bārī, Juz II, Libanon: Dār Fikr.
- Basuki, Slamet, 2006, *Ilmu Ukur Tanah*, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Dawanas, Djani N., 1996, *Dasar Astronomi Bola*, Bandung: ITB.
- Departemen Agama RI, 1995, *Pedoman Penentuan Jadwal Waktu Salat Sepanjang Masa*, Jakarta.
- _____, 2010, *al-Qur'an dan Terjemahnya*, Bandung: Jumanatul Ali Art (J-Art).
- Djamaluddin, T., 2005, *Menggagas Fiqih Astronomi, Telaah Hisab-Rukyat dan Pencarian Solusi Perbedaan Hari Raya*, Bandung: Kaki Langit.
- _____, et all. 2010, *Hisab Rukyat di Indonesia serta Permasalahannya*, Jakarta: Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- _____, “Hisab Waktu Salat Dalam Kajian Astronomi”, Lokakarya Imsakiyah Ramadhan 1432 H, pada hari Senin, 27 Juni 2011 diselenggarakan oleh PPM IAIN Walisongo Semarang di Hotel Muria Semarang.
- Djambek, Sa'adoeddin, 1947, *Pedoman Penentuan Jadwal Waktu Salat Sepanjang Masa*, Jakarta: Bulan Bintang.
- _____, 1974, *Pedoman Waktu Shalat Sepanjang Masa (Guna Mengetahui Waktu-Waktu Shalat yang Lima bagi Setiap Tempat di antara Lintang 7° Utara dan Lintang 10° Selatan)*, Jakarta: Penerbit Bulan Bintang.
- _____, 1974, *Shalat dan Puasa di Daerah Kutub*, Jakarta: Bulan Bintang.
- Fahrurrazi, Djawahir, 2011, *Sistem Acuan Geodesi dari Bigbang sampai Kerangka Acuan Terrestrial*, Yogyakarta: Gadjah Mada Universitas Press.
- Fahmi, M. Riza, *Studi Analisis Jadwal Salat Sepanjang Masa H. Abdurrani Mahmud dalam Perspektif Astronomi*, (tesis tidak diterbitkan) Semarang: Program Pasca Sarjana IAIN Walisongo Semarang.
- Hambali, Slamet, 2006, “Altitude dan Azimut” Seminar Pendidikan dan Pelatihan Nasional Pelaksanaan Rukyat NU, di Masjid Agung Jawa Tengah, Semarang, 17-23 Desember.

- _____, 2011, *Ilmu Falak I Penentuan Awal Waktu Salat dan Arah Kiblat Seluruh Dunia*, Semarang: Program Pascasarjana IAIN Walisongo Semarang.
- _____, 2012, *Pengantar Ilmu Falak Menyimak Proses Pembentukan Alam Semesta*, Banyuwangi: Bismillah Publisher.
- _____, 2012, *Arah Kiblat Setiap Saat*, Semarang: el_wafa.
- _____, 2013, “Imsakiyah Ramadhan 1434 H.”, di Hotel New Metro Semarang 12 Juni.
- Hollander, H.G. Den, 1951, *Ilmu Falak*, Jakarta: J.B. Wolters.
- Hudhoifah, Yuyun, 2011, *Formulasi Penentuan Awal Waktu Shalat yang Ideal*, (skripsi tidak diterbitkan), Semarang: Fakultas Syariah IAIN Walisongo.
- Kahar, Joenil, 2008, *Geodesi*, Bandung: ITB.
- Kementerian Agama RI, 2010, *Almanak Hisab Rukyat*, Jakarta: Direktorat Jenderal Bimbingan Masyarakat Islam Kementerian Agama Republik Indonesia.
- _____, 2013, *Ephemeris Hisab Rukyat*, Jakarta: Direktorat Jenderal Bimbingan Masyarakat Islam Kementerian Agama Republik Indonesia.
- Khafid, 2010, “Sistem Koordinat”, Makalah Kuliah Astronomi IAIN Walisongo, Semarang, 15 Mei.
- _____, 2012, *Modul Kuliah Astronomi dan Hisab Kontemporer*, Semarang: Pascasarjana IAIN Walisongo
- Khazin, Muhyiddin, 2004, *Ilmu Falak; dalam Teori dan Praktik*, Yogyakarta: Buana Pustaka.
- _____, 2008, *Kamus Ilmu Falak*, Yogyakarta: Buana Pustaka.
- Koesdiono, 1983, *Ilmu Ukur Segitiga Bola*, Bandung: ITB.
- Meeus, Jean, 1983, *Astronomical Tables of the Sun, Moon and Planets*, Virginia: William-Bell Inc.
- _____, 1991, *Astronomical Algorithms*, Virginia: William-Bell Inc.
- Munir, Ahmad, t.t, *Bahan Kuliah: Ilmu Ukur Wilayah*, Makasar: Universitas Hasanuddin.
- Nainggolan, Ivo Sofyan, U.P, 2012, *Sistem penentuan Posisi Berbasis Satelit*, Bandung: ITB.
- NIMA, 2000, *Defense Mapping Agency, 1984, Geodesy For The Layman Geodesy For The Layman*, Washington: Building 56 U S Naval Bservatory.
- Nurwendana, Cecep 2010, “Aplikasi Segitiga Bola dalam Rumus-rumus Hisab Rukyat” disampaikan pada: Kegiatan Pembinaan dan Orientasi Hisab Rukyat Hisab dan Rukyat di Lingkungan PA/MA Direktorat Pranata dan Tata Laksana Perkara Perdata Agama Ditjen Badilag Mahkamah Agung

RI Tanggal 25 – 27 Mei 2010 di Hotel Sahid Manado, Jl. Baba Palar No. 1 Manado, Sulawesi Utara.

Prahasta, Eddy, 2002, *Konsep-konsep Dasar Sistem Informasi Geografis*, Bandung: Penerbit Informatika.

_____, 2003, *Sistem Koordinat & Datum Geodetik*, Bandung: Penerbit Informatika.

Prijatna, Kosasih, 2006, *Geometri Elipsoid*, Bandung: ITB.

Rachim, Abd, 1983, *Ilmu Falak*, Yogyakarta: Liberty.

Raharto, Mioeji, 2000, “Astronomi Islam dalam Perspektif Astronomi Modern”, disampaikan pada Pendidikan dan Pelatihan Hisab Rukyat Negara-negara MABIMS di Observatorium Bosscha ITB, 10 Juli - 7 Agustus.

Ṣan’ānī, Muhammad bin Isma’il Amir Yamani As-, 1187 H, *Subulussalam, Syarah Bulūgul Marām min Jami’ Adilatil Ahkām*, Juz I, Libanon: Dārul Ahyā’.

Shihab, M. Quraish, 2005, *Tafsir Al-Misbah*, vol. 2, Jakarta: Lentera Hati.

_____, 2011, *Membaca Sirah Nabi Muhammad saw dalam Sorotan al-Qur’an dan Hadis-Hadis Shahih*, Ciputat: Lentera Hati.

Shodiq, Sriyatin, 1994, *Ilmu Falak I*, Surabaya: Suara Muhammadiyah.

Simamora, P., 1985, *Ilmu Falak Kosmografi*, Jakarta : CV. Pustaka Bangsa.

Sudarsono, Bambang, 1978, *Astronomi Geodesi*, Bandung: ITB.

Sugiyono, 2009, *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*, Bandung: Penerbit Alfabeta.

Suryabrata, Sumadi, 1997, *Metodologi Penelitian*, Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.

Tanudidjaja, Muh. Ma’mur, 1996, *Bumi dan Antariksa*, Semarang: Diknas.

Tjasyono, Bayong, 2001, *Catatan Kuliah; GM-322 Meteorologi Fisis*, Bandung: ITB.

_____, 2009, *Ilmu Kebumian dan Antariksa*, Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.

TNI Angkatan Laut, 1995, *Almanak Nautika*, Jakarta: Dinas Hidro Oceanografi.

Wangsojtiro, Soetomo, 1981, *Ilmu geodesi Tinggi I*, Yogyakarta: Kanisius.

Software

Software Winhisab Version 2.0 Badan Hisab Rukyat Kementerian Agama RI

Software Sary Night Orion Special Edition Pro.06