

TRANSFORMASI KOORDINAT BOLA LANGIT KE DALAM SEGITIGA BOLA (EQUATORIAL DAN EKLIPTIKA) DALAM PENENTUAN AWAL WAKTU SALAT

Muthmainnah

Universitas Cokroaminoto Yogyakarta
inna.faiz@gmail.com

Abstract

There are four coordinate systems to determine the position of celestial bodies, namely: horizon coordinate system, equatorial coordinate system, the clock angle coordinate system and the ecliptic coordinate system. The crucial point to ask is the way to connect between those coordinate systems and how does it work. The way to connect between the coordinate system is called transformation. Celestial coordinate transformation from one coordinate system to another coordinate system can be done by using the spherical triangle formulas or using the rotation matrix. Both ways of coordinate transformation are essentially the same. This paper discusses the celestial coordinate transformation into a spherical triangle for determining the starting time of prayer. The focus of the study is limited and technically directed to dissect the transformation of the ecliptic geocentric (No. 2) to the equatorial geocentric (No. 3) and vice versa.

The author concludes that the sky spherical coordinate system is the basis of reference to determine the position of celestial objects. The results of the transformation in the spherical triangle formula obtained sin, cos and tangent. These are actually the three forms of data which are useful to calculate the times on earth, including the time of prayer. Position of a star (in this case the sun) is very important in the beginning of the prayer time calculations because the data required are; the declination calculation, the height of the sun, and the sun angle. Besides, transformation also calculates the ecliptic longitude ecliptic latitude, the longitude of the sun. Position of the sun can also be used to calculate the direction of Qibla, the initial determination moon and eclipse. Thus, this transformation turned out to be a staple in subsequent calculations.

Keywords: transformasi koordinat, posisi matahari, waktu shalat

A. Pendahuluan

Diperlukan suatu tata koordinat untuk dapat menyatakan secara pasti kedudukan benda langit. Ada empat sistem koordinat untuk menentukan posisi benda langit yaitu: Tata koordinat horison, tata koordinat ekuator, tata koordinat ekliptika dan tata koordinat sudut jam¹. Koordinat benda langit dari satu sistem koordinat ke sistem koordinat yang lain bisa ditransformasikan menggunakan rumus-rumus segitiga bola

atau menggunakan matrik rotasi. Perputaran itu berdasarkan pada bumi berevolusi mengelilingi matahari menurut lintasan berbentuk ellips yang dikenal dengan ekliptika. Jalur itu dilalui oleh suatu benda langit dalam mengelilingi suatu titik pusat sistem koordinat tertentu yang bisa dilihat dari bumi. Ekliptika pada benda langit kemudian merupakan suatu bidang edar berupa garis khayal yang menjadi jalur lintasan benda-benda langit dalam mengelilingi suatu titik pusat sistem tata surya.

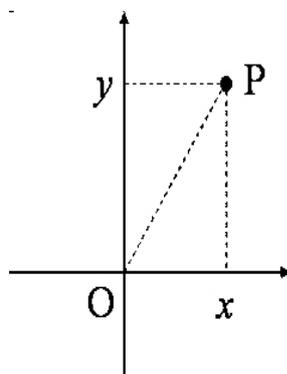
Menurut sistem koordinat ekliptika heliosentrik, bumi mengitari matahari di bidang ekliptika. Sebaliknya menurut sistem koordinat ekliptika geosentrik, matahari tampak bergerak mengitari bumi yang tentu saja juga di bidang ekliptika yang sama. Karena itu, baik bumi maupun matahari secara praktis memiliki nilai $\beta = 0$ derajat. Dikatakan secara praktis memiliki nilai $\beta = 0$, karena sebenarnya nilainya tidak benar-benar tepat sama dengan 0. Akibat pengaruh gravitasi dari planet-planet lain, nilai maksimum β untuk bumi atau matahari bisa mencapai (positif/negatif) satu detik busur atau $1/3600$ derajat.

Manfaat mengetahui fungsi transformasi antar tata kordinat ini adalah untuk menghitung posisi matahari bagi penentuan waktu-waktu shalat yang akan dijelaskan lebih lanjut dalam penelitian ini. Fokus bahasan adalah mengenai transformasi antara koordinat ekliptika dan equatorial. Rumus-rumus dalam menentukan awal waktu shalat dari koordinat equator lalu ditransformasikan dalam rumus segitiga bola lalu diterapkan dalam perhitungan awal waktu shalat.

B. Mengenal Sistem Koordinat

Untuk memudahkan pemahaman terhadap posisi benda-benda langit, diperkenalkan beberapa sistem koordinat. Setiap sistem koordinat memiliki koordinat masing-masing. Posisi benda langit seperti matahari dapat dinyatakan dalam sistem koordinat tertentu. Selanjutnya nilainya dapat diubah ke dalam sistem koordinat yang lain melalui suatu transformasi koordinat.

1. Sistem Koordinat 2 dan 3 dimensi²

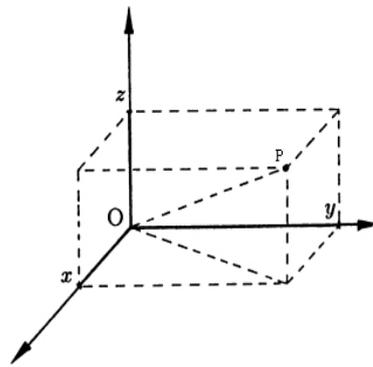


Gambar 1. Koordinat Kartesian 2 dimensi (x, y)

**TRANSFORMASI KORDINAT BOLA LANGIT KE DALAM SEGITIGA BOLA
(EQUATORIAL DAN EKLIPTIKA) DALAM PENENTUAN AWAL WAKTU SHALAT**

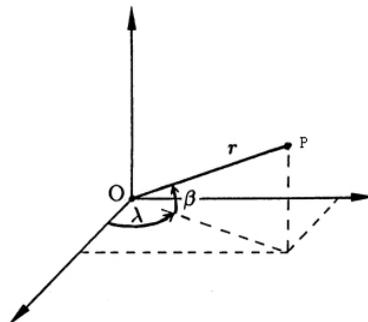
Untuk menyatakan posisi sebuah benda di dalam ruang, dibutuhkan suatu sistem koordinat yang memiliki pusat koordinat (origin) dan sumbu koordinat (axis). Sistem koordinat yang paling dasar/sederhana adalah Kartesian (Cartesian). Jika kita berbicara ruang 2 dimensi, maka koordinat Kartesian 2 dimensi memiliki pusat di O dan 2 sumbu koordinat yang saling tegak lurus, yaitu x dan y. Dalam Gambar 1, titik P dinyatakan dalam koordinat x dan y.³

Selanjutnya koordinat Kartesian 2 dimensi dapat diperluas menjadi Kartesian 3 dimensi yang berpusat di O dan memiliki sumbu x, y dan z. Pada Gambar 2, titik P dapat dinyatakan dalam x, y dan z. OP adalah jarak titik P ke pusat O.



Gambar 2. Koordinat Kartesian 3 dimensi (x, y, z)

Koordinat Kartesian 3 dimensi (x, y, z) pada Gambar 2 dapat diubah menjadi Koordinat Bola (Spherical Coordinate) 3 dimensi (r, Alpha, Beta) seperti pada Gambar 3. Dalam koordinat Kartesian 3 dimensi, seluruh koordinat (x, y dan z) berdimensi panjang. Sedangkan dalam koordinat bola, terdapat satu koordinat yang berdimensi panjang (yaitu r) dan dua koordinat lainnya berdimensi sudut (yaitu Alpha dan Beta). Titik P masih tetap menyatakan titik yang sama dengan titik P pada Gambar 2. Jarak titik P ke pusat O sama dengan r. Jika titik P diproyeksikan ke bidang datar xy, maka sudut antara garis OP dengan bidang datar xy adalah Beta. Selanjutnya sudut antara proyeksi OP pada bidang xy dengan sumbu x adalah Alpha.⁴



Gambar 3. Koordinat Bola tiga dimensi (r, Alpha, Beta)

Hubungan antara (x, y, z) dengan $(r, \text{Alpha}, \text{Beta})$ dinyatakan dalam transformasi koordinat berikut:

$$x = r \cos(\beta) \cos(\alpha)$$

$$y = r \cos(\beta) \sin(\alpha)$$

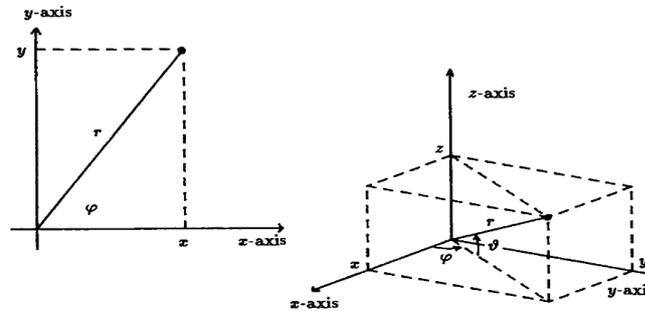
$$z = r \sin(\beta)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{y}{x}\right)$$

$$\beta = \arctan\left(\frac{z}{\sqrt{x^2 + y^2}}\right)$$

2. Konsep Sistem Koordinat



Gambar.4 Konsep Sistem Koordinat

3. Transformasi Koordinat

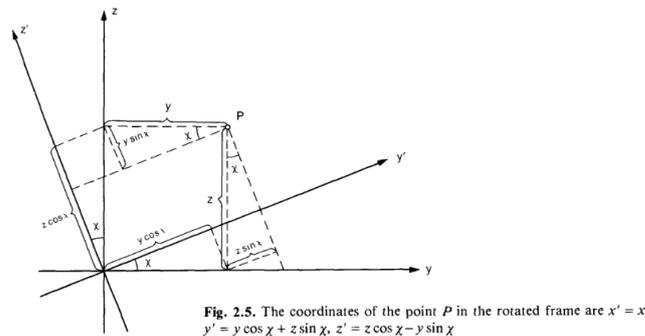


Fig. 2.5. The coordinates of the point P in the rotated frame are $x' = x$, $y' = y \cos \chi + z \sin \chi$, $z' = z \cos \chi - y \sin \chi$

Gambar. 5 Transformasi Koordinat

Sumbu-sumbu koordinat kartesi 3D dalam sistem koordinat assensio rekta didefinisikan sebagai berikut:⁶

1. Origin berimpit dengan pusat bola langit
2. Sumbu Z positif kearah kutub utara langit
3. Sumbu X positif kearah titik musim semi (VE), dan
4. Sumbu Y melengkapi sumbu X dan sumbu Z, shingga membentuk sistem tangan kanan.

**TRANSFORMASI KORDINAT BOLA LANGIT KE DALAM SEGITIGA BOLA
(EQUATORIAL DAN EKLIPTIKA) DALAM PENENTUAN AWAL WAKTU SHALAT**

Adapun komponen koordinat kartesi (X,Y,Z) dan transformasinya kembali ke komponen koordinat (δ, α) ialah sebagai berikut:⁷

$$X = \cos \delta \cos \alpha$$

$$Y = \cos \delta \sin \alpha$$

$$Z = \sin \delta$$

$$\alpha = \tan^{-1}(Y/X)$$

$$\delta = \sin^{-1}Z$$

Sumbu-sumbu koordinat kartesi 3D dalam sistem koordinat ekliptika didefinisikan sebagai berikut:⁸

1. Origin berimpit dengan pusat bola langit
2. Sumbu Z positif ke arah kutub utara ekliptika
3. Sumbu X positif ke arah titik musim semi (VE), dan
4. Sumbu Y positif ke arah titik musim panas, melengkapi sumbu X dan sumbu Z, sehingga membentuk sistem tangan kanan.

Adapun komponen koordinat kartesi (X,Y,Z) dan transformasinya kembali ke komponen koordinat (β, λ) ialah sebagai berikut:⁹

$$X = \cos \beta \cos \lambda$$

$$Y = \cos \beta \sin \lambda$$

$$Z = \sin \beta$$

$$\beta = \tan^{-1}(Y/X)$$

$$\lambda = \sin^{-1}Z$$

Di atas telah dibahas transformasi dari koordinat Kartesian ke koordinat bola. Berikut ini dibahas beberapa sistem koordinat yang penting dalam ilmu hisab, yaitu:¹⁰

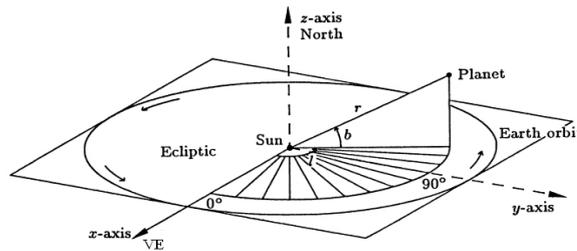
1. Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik (Heliocentric Ecliptical Coordinate).
2. Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik (Geocentric Ecliptical Coordinate).
3. Sistem Koordinat Ekuator Geosentrik (Geocentric Equatorial Coordinate).
4. Sistem Koordinat Horison (Horizontal Coordinate).

Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik dan Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik sebenarnya identik. Yang membedakan keduanya hanyalah manakah yang menjadi pusat koordinat. Pada Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik, yang menjadi pusat koordinat adalah matahari (helio = matahari). Sedangkan pada Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik, yang menjadi pusat koordinat adalah bumi (geo = bumi). Karena itu keduanya dapat digabungkan menjadi Sistem Koordinat Ekliptika. Pada Sistem Koordinat Ekliptika, yang menjadi bidang datar

sebagai referensi adalah bidang orbit bumi mengitari matahari (heliosentrik) yang juga sama dengan bidang orbit matahari mengitari bumi (geosentrik).¹¹

1. Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik

Pada koordinat ini, matahari (sun) menjadi pusat koordinat. Benda langit lainnya seperti bumi (earth) dan planet bergerak mengitari matahari. Bidang datar yang identik dengan bidang xy adalah bidang ekliptika yaitu bidang bumi mengitari matahari.¹²

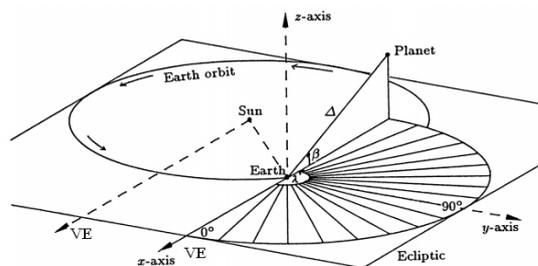


Gambar 4. Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik

- Pusat koordinat: Matahari (Sun).
- Bidang datar referensi: Bidang orbit bumi mengitari matahari (bidang ekliptika) yaitu bidang xy.
- Titik referensi: Vernal Ekuinoks (VE), didefinisikan sebagai sumbu x.
- Koordinat:
 - r = jarak (radius) benda langit ke matahari
 - l = sudut bujur ekliptika (ecliptical longitude), dihitung dari VE berlawanan arah jarum jam
 - b = sudut lintang ekliptika (ecliptical latitude), yaitu sudut antara garis penghubung benda langit-matahari dengan bidang ekliptika.

2. Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik

Pada sistem koordinat ini, bumi menjadi pusat koordinat. Matahari dan planet-planet lainnya nampak bergerak mengitari bumi. Bidang datar xy adalah bidang ekliptika, sama seperti pada ekliptika heliosentrik.¹³



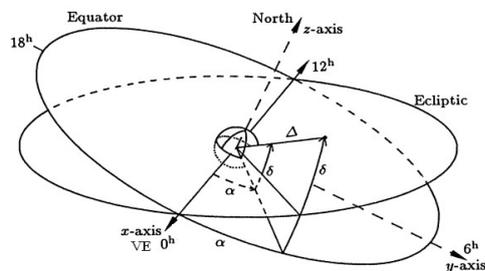
Gambar 5. Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik

**TRANSFORMASI KORDINAT BOLA LANGIT KE DALAM SEGITIGA BOLA
(EQUATORIAL DAN EKLIPTIKA) DALAM PENENTUAN AWAL WAKTU SHALAT**

- Pusat Koordinat: Bumi (Earth)
- Bidang datar referensi: Bidang Ekliptika (Bidang orbit bumi mengitari matahari, yang sama dengan bidang orbit matahari mengitari bumi) yaitu bidang xy.
- Titik referensi: Vernal Ekuinoks (VE) yang didefinisikan sebagai sumbu x.
- Koordinat:
 - Jarak benda langit ke bumi (seringkali diabaikan atau tidak perlu dihitung)
 - Lambda = Bujur Ekliptika (Ecliptical Longitude) benda langit menurut bumi, dihitung dari VE.
 - Beta = Lintang Ekliptika (Ecliptical Latitude) benda langit menurut bumi yaitu sudut antara garis penghubung benda langit-bumi dengan bidang ekliptika

3. Sistem Koordinat Ekuator Geosentrik

Ketika bumi bergerak mengitari matahari di bidang Ekliptika, bumi juga sekaligus berotasi terhadap sumbunya. Penting untuk diketahui, sumbu rotasi bumi tidak sejajar dengan sumbu bidang ekliptika. Atau dengan kata lain, bidang ekuator tidak sejajar dengan bidang ekliptika, tetapi membentuk sudut kemiringan (epsilon) sebesar kira-kira 23,5 derajat. Sudut kemiringan ini sebenarnya tidak bernilai konstan sepanjang waktu. Nilainya semakin lama semakin mengecil.¹⁴



Gambar 6. Sistem Koordinat Ekuator Geosentrik

- Pusat koordinat: Bumi
- Bidang datar referensi: Bidang ekuator, yaitu bidang datar yang mengiris bumi menjadi dua bagian melewati garis khatulistiwa
- Koordinat:
 - jarak benda langit ke bumi.
 - Alpha = Right Ascension = Sudut antara VE dengan proyeksi benda langit pada bidang ekuator, dengan arah berlawanan jarum jam. Biasanya Alpha bukan dinyatakan dalam satuan derajat, tetapi jam (hour disingkat h).

- Delta = Declination (Deklinasi) = Sudut antara garis hubung benda langit-bumi dengan bidang ekliptika. Nilainya mulai dari -90 derajat (selatan) hingga 90 derajat (utara). Pada bidang ekuator, deklinasi = 0 derajat.

C. Transformasi Sistem Koordinat¹⁵

1. Sistem Koordinat Ekliptika Heliosentrik (Heliocentric Ecliptical Coordinate)
2. Sistem Koordinat Ekliptika Geosentrik (Geocentric Ecliptical Coordinate).
3. Sistem Koordinat Ekuator Geosentrik (Geocentric Equatorial Coordinate).
4. Sistem Koordinat Horison (Horizontal Coordinate).

Pertanyaan penting dalam transformasi antar system koordinat adalah bagaimana cara menghubungkan antar sistem koordinat tersebut. Suatu sistem koordinat dapat dihubungkan dengan sistem koordinat lainnya melalui transformasi koordinat. Disini penulis hanya akan membatasi pada transformasi dari ekliptika geosentrik (no 2) ke ekuator geosentrik (no 3) dan sebaliknya.

Transformasi koordinat benda langit dari satu sistem koordinat ke sistem koordinat yang lain dapat dilakukan dengan menggunakan rumus-rumus segitiga bola atau menggunakan matrik rotasi. Kedua cara transformasi koordinat ini pada dasarnya sama.¹⁶ Disini hanya akan diuraikan transformasi koordinat dengan menggunakan rumus segitiga bola.

1. Transformasi Koordinat dari Ekliptika Geosentrik (Lambda, Beta) ke Ekuator Geosentrik (Alpha, Delta)

Dalam koordinat ekliptika geosentrik, sudut lambda adalah bujur ekliptika (ecliptical longitude) yang dihitung dari vernal ekuinoks (VE), sedangkan sudut beta adalah lintang ekliptika (ecliptical latitude) atau sudut ketinggian yang dihitung dari bidang ekliptika.¹⁷

Vernal ekuinoks ditunjukkan oleh $\lambda = \beta = 0$ derajat. Semua benda yang terletak pada bidang ekliptika memiliki nilai $\beta = 0$. Nilai beta positif menunjukkan posisi benda di atas (arah utara) bidang ekliptika. Beta negatif berarti benda di bawah bidang ekliptika.¹⁸

Menurut sistem koordinat ekliptika heliosentrik, bumi mengitari matahari di bidang ekliptika. Sebaliknya menurut sistem koordinat ekliptika geosentrik, matahari nampak bergerak mengitari bumi yang tentu saja juga di bidang ekliptika yang sama. Karena itu, baik bumi maupun matahari secara praktis memiliki nilai $\beta = 0$ derajat. Dikatakan secara praktis memiliki nilai $\beta = 0$, karena sebenarnya nilainya tidak

**TRANSFORMASI KORDINAT BOLA LANGIT KE DALAM SEGITIGA BOLA
(EQUATORIAL DAN EKLIPTIKA) DALAM PENENTUAN AWAL WAKTU SHALAT**

benar-benar tepat sama dengan 0. Akibat pengaruh gravitasi dari planet-planet lain, nilai maksimum beta untuk bumi atau matahari bisa mencapai (positif/negatif) satu detik busur atau 1/3600 derajat.¹⁹

Pada bidang ekuator geosentrik, bidang yang menjadi referensi adalah bidang ekuator bumi, yaitu bidang yang mengiris bumi menjadi dua bagian sama besar yang melewati garis ekuator atau garis khatulistiwa. Dua koordinat sudut dalam koordinat ekuator geosentrik adalah sudut alpha dan delta. Sudut alpha (right ascension) mirip seperti bujur ekliptika (lambda), hanya saja disini bidang referensinya adalah bidang ekuator. Sudut delta (declination) juga mirip seperti lintang ekliptika (beta), hanya saja disini bidang referensinya juga bidang ekuator.²⁰

Sangat penting untuk diketahui, bidang ekuator tidak sejajar dengan bidang ekliptika, tetapi membentuk sudut kemiringan (obliquity) sebesar epsilon yang besarnya kira-kira sebesar 23,5 derajat. Sudut ini sebenarnya tidak konstan sepanjang masa, tetapi ada kecenderungan untuk terus mengecil. Saat ini, angka sudut kemiringan adalah sebesar 23,43808 derajat = 23:26:17 derajat = 23d 26m 17s (dibaca 23 derajat 26 menit busur 17 detik busur). Angka sudut kemiringan yang lebih akurat jika memperhitungkan faktor koreksi seperti nutasi (osilasi sumbu rotasi bumi di sekitar nilai rata-ratanya) adalah 23,439607 derajat = 23:26:23 derajat.²¹

Rumus transformasi koordinat dari Ekliptika Geosentrik (Lambda, Beta) ke Ekuator Geosentrik (Alpha, Delta) adalah sebagai berikut.²²

$$\lambda = \text{lambd}, \beta = \text{beta}$$

$$\alpha = \text{alpha}, \delta = \text{delta}$$

$$\epsilon = \text{epsilon}$$

$$\tan(\alpha) = \frac{\sin(\lambda) \cos(\epsilon) - \tan(\beta) \sin(\epsilon)}{\cos(\lambda)}$$

$$\sin(\delta) = \sin(\beta) \cos(\epsilon) + \sin(\lambda) \cos(\beta) \sin(\epsilon).$$

2. Transformasi koordinat dari Ekuator Geosentrik (Alpha, Delta) ke Ekliptika Geosentrik (Lambda, Beta)

Ini adalah kebalikan dari transformasi koordinat sebelumnya. Rumus transformasi koordinat dari Ekuator Geosentrik (Alpha, Delta) ke Ekliptika Geosentrik (Lambda, Beta) adalah:²³

$$\tan(\lambda) = \frac{\sin(\alpha) \cos(\epsilon) + \tan(\delta) \sin(\epsilon)}{\cos(\alpha)}$$

$$\sin(\beta) = \sin(\delta) \cos(\epsilon) - \sin(\alpha) \cos(\delta) \sin(\epsilon).$$

3. Transformasi Koordinat Equator dan Ekliptika²⁴

Muthmainnah

$$\sin \lambda \cos \beta = \sin \delta \sin \varepsilon + \cos \delta \cos \varepsilon \sin \alpha ,$$

$$\cos \lambda \cos \beta = \cos \delta \cos \alpha ,$$

$$\sin \beta = \sin \delta \cos \varepsilon - \cos \delta \sin \varepsilon \sin \alpha .$$

$$\sin \alpha \cos \delta = -\sin \beta \sin \varepsilon + \cos \beta \cos \varepsilon \sin \lambda ,$$

$$\cos \alpha \cos \delta = \cos \lambda \cos \beta ,$$

$$\sin \delta = \sin \beta \cos \varepsilon + \cos \beta \sin \varepsilon \sin \lambda .$$

4. Fungsi Transformasi Tata Koordinat

Diantara fungsi transformasi ini adalah untuk menghitung posisi matahari bagi penentuan waktu-waktu shalat. Data dan Rumus yang Digunakan untuk menghitung awal waktu shalat:²⁵

Dalam melakukan hisab awal waktu shalat, ada beberapa hal yang harus diperhatikan yaitu :

a. Data yang harus diketahui

- 1). Lintang tempat (ϕ)
- 2). Bujur tempat (λ)
- 3). Deklinasi matahari (δ°)
- 4). Equation of time/perata waktu (e°)
- 5). Tinggi matahari (h°)
- 6). Koreksi waktu daerah (Kwd) : $(\lambda_{dh} - \lambda_{tp})/15$
- 7). Ikhtiyat

b. Rumus yang dipergunakan

1). Rumus sudut waktu matahari

$$\cos t = -\tan \phi \tan \delta + \sin h / \cos \phi / \cos \delta$$

2). Rumus awal waktu

$$12 - e + t + \text{Kwd} + i$$

3). Rumus tinggi matahari (h°)

$$\text{Ashar} : \cotan h = \tan z_m + 1 \text{ atau } z_m = [p - d]$$

$$\text{Maghrib} : - 1^\circ$$

$$\text{Isya} : - 18^\circ$$

$$\text{Subuh} : - 20^\circ$$

$$\text{Terbit} : 1^\circ$$

$$\text{Dhuha} : 4.5^\circ$$

4). Rumus koreksi waktu daerah

$$\text{Kwd} = (\lambda_{dh} - \lambda_{tp})/15$$

c. Keterangan rumus :

**TRANSFORMASI KORDINAT BOLA LANGIT KE DALAM SEGITIGA BOLA
(EQUATORIAL DAN EKLIPTIKA) DALAM PENENTUAN AWAL WAKTU SHALAT**

- 1). Untuk menghitung awal waktu Dhuhur, rumus (b) dipergunakan tanpa t, sehingga menjadi : $12 - e + Kwd + i$
- 2). Untuk menghitung awal waktu Ashar, rumus (b) dapat dipergunakan sepenuhnya, sedangkan dalam menggunakan rumus (a), h° hendaknya dihitung tersendiri dengan rumus :

$$\text{Cotan } h^{\circ} = \tan z_m + 1 \text{ atau } z_m = | \phi - \delta |$$

$$12 - e + t + Kwd + i$$
- 3). Untuk menghitung awal waktu Maghrib, Isya, Subuh, Terbit dan Dhuha rumus (b) dapat dipergunakan sepenuhnya, rumus (a) h° disesuaikan dengan waktunya. Dengan catatan khusus untuk t waktu Subuh, Terbit dan Dhuha (dikurangkan), sehingga rumusnya menjadi: $12 - e - t + Kwd + i$. Sedang untuk Terbit i dikurangkan, rumusnya menjadi : $12 - e - t + Kwd - i$
- 4.) untuk menghitung deklinasi matahari menggunakan rumus transformasi yaitu:

$$\begin{aligned} \sin \lambda \cos \beta &= \sin \delta \sin \epsilon + \cos \delta \cos \epsilon \sin \alpha , \\ \cos \lambda \cos \beta &= \cos \delta \cos \alpha , \\ \sin \beta &= \sin \delta \cos \epsilon - \cos \delta \sin \epsilon \sin \alpha . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin \alpha \cos \delta &= -\sin \beta \sin \epsilon + \cos \beta \cos \epsilon \sin \lambda , \\ \cos \alpha \cos \delta &= \cos \lambda \cos \beta , \\ \sin \delta &= \sin \beta \cos \epsilon + \cos \beta \sin \epsilon \sin \lambda . \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin \delta &= \sin \epsilon \sin \lambda \\ \delta &= \arcsin(\sin \epsilon \sin \lambda) \end{aligned}$$

$$\epsilon_o = 23^{\circ}26'21".448 - 46".8150 T - 0".00059T^2 + 0".001813T^3$$

- 5.) menghitung equation of time dengan rumus

$$\begin{aligned} E &= -105.8 \sin(\lambda_{\odot}) + 596.2 \sin(2\lambda_{\odot}) + 4.4 \sin(3\lambda_{\odot}) - 12.7 \sin(4\lambda_{\odot}) \\ &\quad - 429 \cos(\lambda_{\odot}) - 2.1 \cos(2\lambda_{\odot}) + 19.3 \cos(3\lambda_{\odot}) \end{aligned}$$

- 6.) menghitung bujur matahari

$$\lambda_{\odot} = 280.46645^{\circ} + 36000.76983^{\circ} T + 0.0003032^{\circ} T^2$$

Dimana T adalah waktu Julian Century dengan epoch 2000²⁶

$$T = \frac{JD - 2451545.0}{36525}$$

D. Kesimpulan

Dari uraian diatas bisa kita tarik kesimpulan bahwasannya sistem koordinat bola langit itu menjadi dasar acuan untuk mengetahui kedudukan benda-benda langit. Di samping itu, antar sistem koordinat itu

Muthmainnah

bisa ditransformasikan ke dalam rumus segitiga bola. Dari segitiga bola kita mendapatkan rumus sin, cos dan tangen. Semua itu kemudian di transformasikan untuk menghitung waktu-waktu di bumi. Kedudukan sebuah bintang (dalam hal ini matahari) misalnya sangatlah penting dalam perhitungan awal waktu shalat karena data yang dibutuhkan adalah; menghitung deklinasinya, tinggi matahari, sudut waktu matahari. Selain itu transformasi juga menghitung bujur ekliptika lintang ekliptika, bujur matahari. Kedudukan matahari bisa digunakan untuk menghitung arah kiblat, penentuan awal bulan dan gerhana. Jadi transformasi ini ternyata menjadi pokok dalam perhitungan-perhitungan selanjutnya.

Catatan Akhir

¹ Maskufa, *Ilmu Falak*, (Jakarta: Gaung Persada Press, 2009), h. 68.

² http://www.erasmuslim.com/bola_langit/mengenal-sistem-koordinat.htm, diakses tanggal 28 Januari 2016.

³ *Ibid.*

⁴ *Ibid.*

⁵ Hannu Karttunen, *dkk, Fundamental Astronomy*, (Springer Berlin Heidelberg New York, 2007), h. 13.

⁶ Djawahir Fahrurrazi & Bilal Ma'ruf, *Sistem Koordinat: Sistem Koordinat Terrestrial, Sistem Koordinat Langit, Transformasi Koordinat*, (Yogyakarta: Teknik Geodesi Fakultas Teknik UGM, 2010), h. 56.

⁷ *Ibid.*

⁸ *Ibid.*, h. 57.

⁹ *Ibid.*

¹⁰ http://www.erasmuslim.com/bola_langit/mengenal-sistem-koordinat.htm, diakses tanggal 28 Januari 2016.

¹¹ *Ibid.*

¹² *Ibid.*

¹³ *Ibid.*

¹⁴ *Ibid.*

¹⁵ http://www.erasmuslim.com/bola_langit/transformasi-sistem-koordinat.htm, diakses tanggal 28 Januari 2016

¹⁶ Fahrurrazi & Ma'ruf, *Sistem Koordinat...*, h. 56.

¹⁷ http://www.erasmuslim.com:/bola_langit/transformasi-sistem-koordinat.htm, diakses tanggal 28 Januari 2016.

¹⁸ *Ibid.*

¹⁹ *Ibid.*

²⁰ *Ibid.*

²¹ *Ibid.*

²² *Ibid.*

²³ *Ibid.*

²⁴ Karttunen, *dkk, Fundamental Astronomy ...*, h. 21.

²⁵ Sriyatin Shadiq Al Falaky, *Contoh Perhitungan Awal Waktu Shalat dengan Data Ephemeris Hisab Rukyat (Hisabwin Version 1.0/1993 atau Winhisab Version 2.0/1996) disampaikan pada kegiatan "Penataran/ Pelatihan/ Orientasi/ Kuliah/ Pertemuan/Diklat Hisab Rukyat" Sejak Tahun 1993 Sampai dengan Sekarang.*

²⁶ Karttunen, *dkk, Fundamental Astronomy ...*, h. 42

Daftar Pustaka

Azhari, Susiknan, *Ilmu Falak; Perjumpaan Khazanah Islam dan Sains Modern*, (Yogyakarta: Suara Muhammadiyah, 2007).

**TRANSFORMASI KORDINAT BOLA LANGIT KE DALAM SEGITIGA BOLA
(EQUATORIAL DAN EKLIPTIKA) DALAM PENENTUAN AWAL WAKTU SHALAT**

- Fahrurrazi, Djawahir & Bilal Ma'ruf, *Sistem Koordinat: Sistem Koordinat Terrestrial, Sistem Koordinat Langit, Transformasi Koordinat*, Yogyakarta: Teknik Geodesi Fakultas Teknik UGM, 2010.
- Hannu Karttunen, dkk, *Fundamental Astronomy*, (Springer Berlin Heidelberg New York, 2007)
- K.J. Villanueva, *Astronomi Geodesi* (Bandung: Departemen Geodesi: Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan ITB, 1978).
- Maskufa, *Ilmu Falak*, (Jakarta: Gaung Persada Press, 2009)
- Sriyatin Shadiq Al Falaky, *Contoh Perhitungan Awal Waktu Shalat dengan Data Ephemeris Hisab Rukyat (Hisabwin Version 1.0/1993 atau Winhisab Version 2.0/1996) disampaikan pada kegiatan Penataran/ Pelatihan/ Orientasi/ Kuliah/ Pertemuan/ Diklat Hisab Rukyat” Sejak Tahun 1993 Sampai dengan Sekarang*.
http://wapedia.mobi/id/Sistem_koordinat_ekuator.htm, diakses tanggal 27 Januari 2016.
- http://id.wikipedia.org/wiki/ekuator_langit/Sistem_koordinat_ekuator.htm, diakses tanggal 27 Januari 2016.
- http://id.wikipedia.org/wiki/ekuator_langit/ekliptika.htm, diakses tanggal 27 Januari 2016.
- http://id.wikipedia.org/wiki/Asensio_rekta.htm, diakses tanggal 27 Januari 2016.
- http://www.eramuslim.com/bola_langit/mengenal-sistem-koordinat.htm, diakses tanggal 28 Januari 2016.
- http://www.eramuslim.com:/bola_langit/transformasi-sistem-koordinat.htm, diakses tanggal 28 Januari 2016.