

## BAB III

### PENERAPAN RUMUS TRIGONOMETRI DALAM TEORI PENENTUAN ARAH KIBLAT

#### A. Pengertian Arah Kiblat

Kata al-Qiblah terulang sebanyak 4 kali di dalam al-Qur'an. Dari segi bahasa, kata tersebut terambil dari akar kata *qobala-yaqbulu* yang berarti menghadap. Dalam kamus besar bahasa Indonesia, kiblat diartikan arah ke Ka'bah di Makkah (pada waktu sholat) dan di dalam kamus al-Munawwir diartikan sebagai Ka'bah. Sementara itu, dalam ensiklopedi hukum Islam kiblat diartikan sebagai bangunan Ka'bah atau arah yang dituju kaum muslimin dalam melaksanakan sebagian ibadah.<sup>50</sup>

Masalah kiblat tiada lain adalah masalah arah, yakni arah Ka'bah di Makkah. Arah Ka'bah ini dapat ditentukan dari setiap titik atau tempat dipermukaan bumi dengan melakukan perhitungan dan pengukuran. Oleh sebab itu, perhitungan arah kiblat pada dasarnya adalah perhitungan untuk mengetahui guna menetapkan ke arah mana Ka'bah di Makkah itu dilihat dari suatu tempat di permukaan bumi ini. Sehingga semua gerakan orang yang sedang melaksanakan ibadah sholat, baik ketika berdiri, ruku', maupun sujud selalu berimpit dengan arah yang menuju Ka'bah.<sup>51</sup>

Arah kiblat setiap tempat itu berbeda-beda, tergantung pada letak tempat tersebut. Apakah tempat tersebut terletak di sebelah timur, selatan, barat, ataukah utara bangunan Ka'bah yang terletak di kota Makkah. Bila suatu tempat itu terletak di sebelah barat Ka'bah maka arah kiblatnya adalah menghadap ke timur, bila terletak di sebelah timur Ka'bah maka arah kiblatnya adalah menghadap ke barat. Begitu juga dengan tempat yang terletak di sebelah utara dan selatan Ka'bah maka arah kiblatnya menghadap

---

<sup>50</sup> Susiknan Azhari, *Ilmu Falak (Perjumpaan Khazanah Islam dan Sains Modern)*, hlm.39.

<sup>51</sup> Muhyidin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, (Yogyakarta: Buana Pustaka, 2004), hlm. 47.

ke selatan dan utara. Hal demikian didasarkan pada peta atau gambar bumi yang ada.

Akan tetapi sebenarnya tidak mesti demikian. Salah satu contohnya adalah arah kiblat kota Sanfransisco ( $\phi = +37^{\circ}45'$  LU dan  $\lambda = -122^{\circ}30'$  BB) sebesar  $18^{\circ}45'38.11''$  (U-T), artinya orang-orang di Sanfransisco ketika melaksanakan sholat menghadap ke arah utara serong ke timur sebesar  $18^{\circ}45'11''$ . Padahal kota Sanfransisco berada di sebelah barat kota Makkah. Hal demikian dapat terjadi karena bentuk bumi yang tidak datar seperti di peta.<sup>52</sup>

Sementara yang dimaksud dengan arah kiblat adalah arah atau jarak terdekat sepanjang lingkaran besar yang melewati kota Makkah (Ka'bah) dengan tempat kota yang bersangkutan. Dengan demikian tidak dibenarkan misalkan orang-orang Jakarta melakukan sholat menghadap ke arah timur serong ke selatan sekalipun bila diteruskan juga akan sampai kota Makkah. Sebab jarak terdekat ke Makkah bagi orang yang di Jakarta adalah arah barat serong ke utara sebesar  $24^{\circ}12'39''$  (B-U).<sup>53</sup>

Persoalan arah kiblat erat kaitanya dengan letak geografis suatu tempat, berapa derajat jarak suatu tempat dari khatulistiwa yang lebih dikenal dengan istilah lintang ( $\phi$ ) dan berapa derajat letak suatu tempat dari garis bujur ( $\lambda$ ). Lintang tempat ( $\phi$ ) diukur dari garis khatulistiwa ke arah kutub bumi (dari khatulistiwa sampai ke suatu tempat), lintang yang berada di sebelah utara khatulistiwa disebut lintang utara diberi tanda (+) yang berarti positif, Sedangkan yang berada di sebelah selatan khatulistiwa disebut lintang selatan dan diberi tanda (-) yang berarti negatif. Sementara garis khatulistiwa adalah  $0^{\circ}$ .<sup>54</sup>

Bujur tempat ( $\lambda$ ) biasanya diukur dari meridian *Greenwich* di Inggris sebagai titik pusat garis bujur. Garis bujur dari kota Greenwich ke arah barat di sebut dengan bujur barat dan bertanda positif (+) dari  $0^{\circ}$  sampai dengan

---

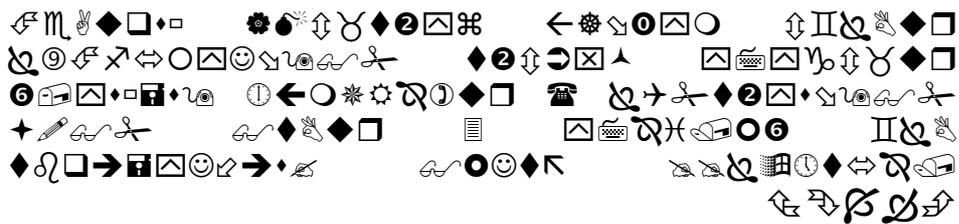
<sup>52</sup> Muhyidin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, hlm. 48.

<sup>53</sup> Muhyidin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, hlm. 48.

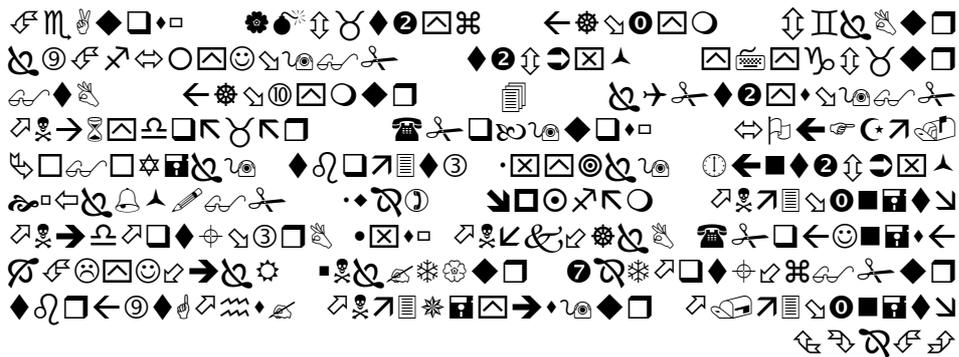
<sup>54</sup> A. Jamil, *Ilmu Falak (Teori dan aplikasi)*, (Jakarta: Amzah, 2009), hlm. 109.

180°. Sebaliknya, garis bujur dari kota Greenwich ke arah timur di sebut bujur timur yang bertanda (-). Jadi garis bujur diukur dari 0° sampai dengan 180°, baik ke arah barat maupun ke arah timur. Hal ini berarti bujur timur dan bujur barat yang diukur dari 0° berlawanan arah bertemu pada meridian 180° sebagai batas penanggalan (*date line*) internasional.<sup>55</sup>

Adapun beberapa dalil syar'i yang terkait dengan arah kiblat adalah sebagai berikut.<sup>56</sup>



Artinya: “Dan dari mana saja kamu keluar (*datang*), Maka Palingkanlah wajahmu ke arah Masjidil haram, Sesungguhnya ketentuan itu benar-benar sesuatu yang hak dari Tuhanmu. dan Allah sekali-kali tidak lengah dari apa yang kamu kerjakan”. (Al-Baqarah : 149)



Artinya : “Dan dari mana saja kamu (*keluar*), Maka Palingkanlah wajahmu ke arah Masjidil Haram. dan dimana saja kamu (*sekalian*) berada, Maka Palingkanlah wajahmu ke arahnya, agar tidak ada hujjah bagi manusia atas kamu, kecuali orang-orang yang zalim diantara mereka. Maka janganlah kamu takut kepada mereka dan takutlah kepada-Ku (*saja*). dan agar Ku-sempurnakan nikmat-Ku atasmu, dan supaya kamu mendapat petunjuk”.(Al-Baqarah : 150)

Kesimpulan yang dapat diterik dari uraian di atas adalah bahwa definisi arah kiblat pada dasarnya adalah arah menghadap sebuah bangunan yang bernama Ka'bah yang berada di kota Makkah. Bagi orang muslim, ketika mereka sedang melaksanakan sholat maka wajib hukumnya menghadap

<sup>55</sup> A. Jamil, *Ilmu Falak (Teori dan aplikasi)*, hlm. 109.

<sup>56</sup> Muhyidin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, hlm. 49.

kiblat. Sedangkan untuk menentukan arah kiblat tidak hanya sekadar ditentukan berdasarkan arah pada peta saja. Namun, perlu adanya perhitungan dan prosedur untuk menentukan arah kiblat tersebut. Teori untuk perhitungan arah kiblat yang sudah ada adalah trigonometri bola, geodesi dan navigasi.

## **B. Metode Penentuan Arah Kiblat**

Metode untuk menentukan arah kiblat ada yang secara alami dan ada pula yang menggunakan alat bantu. Secara alami biasanya adalah menggunakan cahaya matahari atau bintang. Sedangkan yang menggunakan alat bantu diantaranya adalah dengan menggunakan alat seperti kompas, theodolit, global positioning system (GPS), segitiga kiblat dan lain-lain.

Metode penentuan arah kiblat juga mengalami perkembangan seiring dengan perkembangan zaman dan kecanggihan teknologi. Aplikasi modern yang digunakan sebagai metode untuk menentukan arah kiblat diantaranya adalah aplikasi *google earth*, *qibla locator*, *mizwala* dan lain sebagainya.

### **1. Metode melihat benda-benda langit**

Menggunakan benda langit sebagai pedoman penentuan arah kiblat sebenarnya sudah tampak pada masa nabi dan para sahabatnya. Pada zaman itu, ketika nabi berada di Madinah, nabi melaksanakan ibadah sholat dengan berijtihad menghadap ke arah selatan. Hal ini dikarenakan posisi atau letak kota Madinah yang berada di sebelah utara kota Makkah, sehingga arah kiblatnya menghadap ke selatan. Kemudian nabi mengatakan dalam salah satu haditsnya bahwa “*antara timur dan barat terletak kiblat (Ka’bah)*”. Acuan menghadap arah selatan inilah yang dijadikan patokan arah kiblat oleh kaum muslimin di berbagai wilayah.

Tidak hanya di Andalusia, di Siria dan Palestina, patokan arah selatan menjadi acuan utama arah kiblat, tapi juga Masjidil Aqsha (berdiri 715 M) yang dibangun hampir tepat menghadap selatan. Masjid ini bertahap selama beberapa abad. Bahkan melalui penelitian dan perhitungan praktisi falak

dengan sumbangsih data geografi, terbukti bahwa arah kiblat di Quds (Palestina) terletak sekitar 45 derajat bujur timur menuju barat.<sup>57</sup>

Adapula masjid Amru bin Ash, masjid yang pertama berdiri di Mesir dan terletak di Fushthath berpedoman pada arah terbitnya matahari pada *solstice* (titik balik matahari) musim dingin. Patokan ini berkembang dan bertahan selama kurun abad pertengahan. Masjid al-Khalifah al-Hakim dan masjid al-Azhar terhitung sebagai masjid pertama yang dibangun pada masa dinasti Fatimiyah yang ternyata melenceng 10 derajat. Kemudian ada seorang ahli falak Mesir yaitu Ibnu Yunus yang menemukan bahwa kiblat sebenarnya berada pada 37 derajat lintang selatan menuju timur berdasarkan hitungan matematika astronomi.<sup>58</sup>

Sedangkan di Iraq, masjid-masjid dibangun tepat menghadap arah terbenamnya matahari pada *solstice* musim dingin dengan menjadikannya searah dengan arah tembok utara-timur tiang Ka'bah dimana jika seseorang berdiri menghadap tiang tersebut, maka secara persis akan menghadap arah terbenamnya matahari di musim tersebut.

Pada abad pertengahan, penentuan arah kiblat pada umumnya memakai empat pola pergerakan angin. Di samping itu juga menggunakan petunjuk arah munculnya bintang Canopus (*najm suhayl*) yang kebanyakan terbit di belahan bumi bagian selatan. Sedangkan di tempat lain, arah kiblat ditentukan melalui arah terbitnya matahari pada *solstice* musim panas.<sup>59</sup>

Pada zaman para sahabat, kedudukan bintang-bintang dan matahari dimanfaatkan sebagai petunjuk arah untuk menentukan arah kiblat. Di tanah Arab, bintang utama yang dijadikan rujukan dalam penentuan arah adalah bintang *Qutbi/Polaris* (bintang utara), yaitu satu-satunya bintang yang menunjuk tepat ke arah utara bumi. Dengan bantuan bintang ini dan beberapa bintang lain, arah kiblat dapat ditentukan dengan mudah.

---

<sup>57</sup> Ahmad Izzuddin, "Abu Raihan Al-Biruni dan Teori Penentuan Arah Kiblat (Studi Penelusuran Asal Teori Panentuan Arah Kiblat)", *Laporan Penelitian Individual*, hlm.52.

<sup>58</sup> Ahmad Izzuddin, "Abu Raihan Al-Biruni dan Teori Penentuan Arah Kiblat (Studi Penelusuran Asal Teori Panentuan Arah Kiblat)", *Laporan Penelitian Individual*, hlm.53.

<sup>59</sup> Ahmad Izzuddin, "Abu Raihan Al-Biruni dan Teori Penentuan Arah Kiblat (Studi Penelusuran Asal Teori Panentuan Arah Kiblat)", *Laporan Penelitian Individual*, hlm.55.

Rasi bintang yang lain yang dapat digunakan untuk menentukan arah kiblat adalah rasi bintang orion. Pada rasi ini terdapat tiga bintang yaitu, mintaka alnilam alnitak. Arah kiblat dapat ditentukan dengan memanjangkan arah tiga bintang berderet ke arah barat. Rasi bintang orion ini akan berada di langit Indonesia ketika waktu subuh pada bulan Juli dan kemudian akan kelihatan lebih awal pada bulan Desember.<sup>60</sup>

Adapun bintang yang paling dekat dengan bumi adalah matahari. Bayangan dari bintang matahari ini dapat digunakan untuk penentuan titik koordinat (lintang dan bujur) suatu tempat yang berada di permukaan bumi ini. Di samping itu, bintang matahari juga digunakan untuk menentukan arah kiblat pada beberapa waktu yang diperhitungkan dengan metode rashdul kiblat<sup>61</sup> dan penentuan posisi azimuth<sup>62</sup> matahari untuk mengetahui arah kiblat dengan menggunakan berbagai alat bantu.

## 2. Metode dengan alat bantu

Penentuan arah kiblat selain menggunakan metode melihat benda-benda langit juga dapat menggunakan metode dengan alat bantu. Setelah mengetahui azimuth kiblat, maka untuk aplikasi penentuan arah kiblat dapat digunakan alat bantu seperti kompas, astrolabe, rubu' mujayyab, busur derajat, theodolit.

### a. Kompas

Kompas adalah alat penunjuk arah mata angin oleh jarum yang ada padanya. Jarum kompas ini terbuat dari logam magnetis yang dipasang sedemikian rupa sehingga dengan mudah bergerak menunjukkan arah utara. Hanya saja arah utara yang ditunjukkan olehnya bukan arah utara sejati (titik

---

<sup>60</sup> Ahmad Izzuddin, "Abu Raihan Al-Biruni dan Teori Penentuan Arah Kiblat (Studi Penelusuran Asal Teori Panentuan Arah Kiblat)", *Laporan Penelitian Individual*, hlm.57.

<sup>61</sup> Rashdul kiblat adalah posisi matahari persis atau mendekati persis pada titik zenith Ka'bah, lihat Ahmad Izzuddin, "Abu Raihan Al-Biruni dan Teori Penentuan Arah Kiblat (Studi Penelusuran Asal Teori Panentuan Arah Kiblat)", *Laporan Penelitian Individual*, hlm.96.

<sup>62</sup> Azimuth sebuah benda langit adalah jarak dari titik utara ke lingkaran vertical yang dilalui oleh benda langit tersebut, diukur sepanjang lingkaran horizon searah perputaran jarum jam; melalui titik timur, selatan sampai ke titik barat, lihat A. Jamil, *Ilmu Falak (Teori dan aplikasi)*, hlm. 17.

kutub utara), sehingga untuk mendapatkan arah utara sejati perlu adanya koreksi deklinasi kompas terhadap arah jarum kompas.

Deklinasi kompas sendiri juga selalu berubah-ubah tergantung pada posisi tempat dan waktu. Oleh karenanya, pengukuran arah kiblat dengan kompas seperti ini memerlukan ekstra hati-hati dan penuh kecermatan. Mengingat jarum kompas itu kecil dan peka terhadap daya magnet. Untuk mendapatkan informasi tentang deklinasi kompas dapat menghubungi BMG (Badan Meteorologi dan Geofisika).<sup>63</sup>

Kompas sebagai alat bantu untuk menentukan arah kiblat macamnya juga ada beberapa jenis. Di antaranya adalah kompas transparan, kompas magnet dan kompas kiblat.

1) Kompas transparan

Langkah untuk menentukan arah kiblat dengan menggunakan kompas transparan adalah sebagai berikut:

- ✓ Kompas diletakan pada bidang datar yang telah ditentukan titik utara dan titik selatan.
- ✓ Titik pusat kompas berada di titik pusat perpotongan garis utara selatan dan timur barat, jarum kompas tepat mengarah utara, lalu kompas diputar sebesar sudut yang dicari atau yang dikehendaki.
- ✓ Setelah kompas diputar dan jarum jam kompas telah tepat pada derajat sudut yang dicari, diberi tanda atau titik katakanlah titik Q, dan itulah arah kiblat yang dicari.
- ✓ Dari titik Q, tarik garis ke titik pusat perpotongan garis utara selatan dan timur barat, itulah arah kiblat yang dicari. Selanjutnya dari titik utara, tarik garis lengkung ke titik Q maka akan membentuk sudut arah kiblat dan itulah arah kiblat.

---

<sup>63</sup> Muhyidin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, hlm. 59.

## 2) Kompas magnet

Langkah untuk menentukan arah kiblat dengan menggunakan kompas transparan adalah sebagai berikut:

- ✓ Kompas diletakan pada bidang datar yang telah ditentukan titik utara dan titik selatan.
- ✓ Titik pusat kompas berada di titik pusat perpotongan garis utara selatan dan timur barat, jarum kompas tepat mengarah utara, lalu kompas diputar sebesar sudut yang dicari atau yang dikehendaki.
- ✓ Setelah kompas diputar dan jarum jam kompas telah tepat pada derajat sudut yang dicari, diberi tanda atau titik katakanlah titik P, dan itulah arah kiblat yang dicari.
- ✓ Dari titik P, tarik garis ke titik pusat perpotongan garis utara selatan dan timur barat, itulah arah kiblat yang dicari. Selanjutnya dari titik utara, tarik garis lengkung ke titik P maka akan membentuk sudut arah kiblat dan itulah arah kiblat.

## 3) Kompas kiblat

Kompas kiblat merupakan alat yang sangat mudah digunakan untuk menentukan arah kiblat suatu tempat, sebab dengan meletakan kompas tersebut pada suatu tempat, maka jarumnya akan secara otomatis mengarah atau menunjukkan arah kiblat yang dicari.

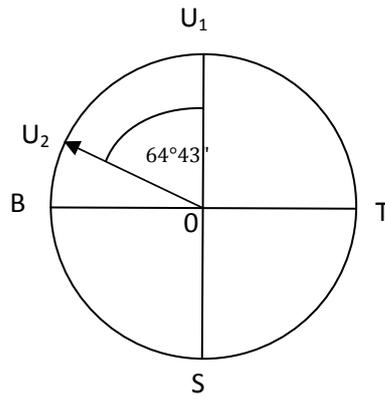
Teknisnya sama dengan kompas transparan dan kompas magnetic. Bedanya hanya jika pada kompas kiblat tidak diputar dan caranya dimulai dari 10 tidak 0.<sup>64</sup>

Meskipun demikian, hasil yang diperoleh tetap merupakan perkiraan sebab pengaruh dari gravitasi dan gaya magnet sangat besar sehingga menyebabkan adanya penyimpangan yang relatif besar.

Gambar berikut adalah ilustrasi dari penggunaan alat bantu kompas kiblat untuk menentukan arah kiblat:

---

<sup>64</sup> A. Jamil, *Ilmu Falak (Teori dan aplikasi)*, hlm. 122.



Gambar 18

Gambar di atas O adalah suatu tempat yang dicari arah kiblatnya. O-U<sub>1</sub> merupakan arah utara dari lokasi. O-U<sub>2</sub> adalah arah kiblat yang dicari. Sedangkan U<sub>1</sub>-U<sub>2</sub> adalah besar sudut arah kiblat yang dicari, yaitu 64°43".

Contoh dari beberapa gambar kompas di antaranya adalah sebagai berikut:



Gambar 19. Gambar kompas

b. Astrolabe

Astrolabe merupakan alat perhitungan yang penting pada abad pertengahan bertepatan dengan awal-awal renaisains. Asteolabe merupakan peralatan yang digunakan untuk mengukur kedudukan benda langit pada bola langit. Alat ini diciptakan oleh orang Arab dan pada umumnya terdiri dari satu buah lubang pengintai dan dua buah piringan dengan skala derajat yang diletakan sedemikian rupa untuk menyatakan ketinggian dan azimuth suatu benda langit.

Astrolabe berfungsi seperti computer analog, untuk memecahkan banyak masalah astronomi dan persoalan penentuan waktu. Selain untuk menentukan waktu sholat dan arah Makkah, astrolabe pada abad pertengahan dengan piringan yang dapat diganti-ganti, yang disesuaikan untuk penggunaan pada lokasi geografi yang berbeda, dapat dimanipulasi untuk memberikan berbagai bentuk data penentu waktu dan perputaran tahunan benda-benda langit, pengukuran di atas bumi, dan informasi astrologi.

Adapun contoh gambar dari astrolabe di antaranya adalah sebagai berikut:



Gambar 20. Gambar astrolabe.

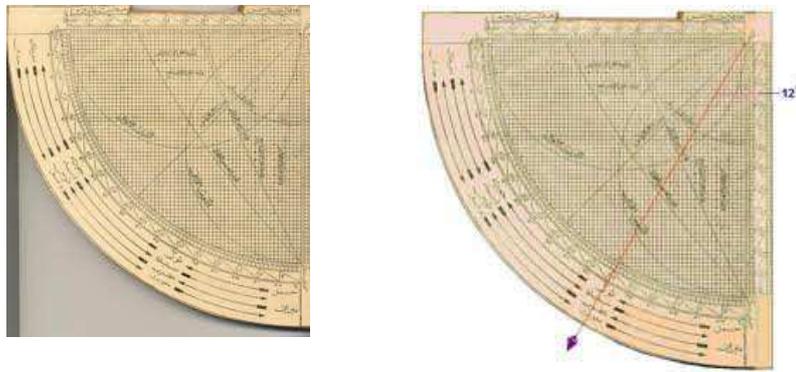
c. Rubu' Mujayyab (Kuadrant)

Rubu' mujayyab dibuat oleh seorang ahli falak Syiria bernama Ibnu Asy-Syatir pada abad ke 14. Melihat alat ini perputaran harian yang terlihat pada ruang angkasa dapat disimulasikan dengan gerakan benang yang terletak di pusat alat ini. Sebuah bandul yang bergerak pada benang ke posisi yang

berhubungan dengan matahari atau bintang tertentu dapat dibaca pada tanda-tanda dalam kuadrant. Alat ini jauh lebih mudah digunakan untuk memecahkan masalah-masalah standar pada astronomi ruang untuk garis lintang tertentu.

Rubu' mujayyab pada dasarnya digunakan untuk menentukan arah kiblat setelah diketahui arah utara dengan mengaplikasikan sudut kiblat yang sudah diperhitungkan. Alat ini mulai dikembangkan oleh kaum muslimin di Mesir pada abad ke 11 dan 12. Sedangkan pada abad 16 alat ini telah menggantikan astrolabe di dunia muslim kecuali di Persia dan India.<sup>65</sup>

Contoh gambar rubu' mujayyab di antaranya adalah sebagai berikut:



Gambar 21. Gambar rubu' mujayyab

#### d. Busur Derajat

Busur derajat atau yang sering dikenal dengan nama busur merupakan alat pengukur sudut yang berbentuk setengah lingkaran (sebesar  $180^\circ$ ). Busur juga bisa berbentuk lingkaran (sebesar  $360^\circ$ ). Cara penggunaan busur hampir sama dengan rubu' mujayyab, yaitu cukup dengan meletakkan pusat busur pada titik perpotongan garis utara-selatan dan barat-timur. Kemudian tandai berapa derajat sudut kiblat tempat yang dicari. Tarik garis dari titik pusat menuju tanda dan itulah arah kiblat.

---

<sup>65</sup> Ahmad Izzuddin, "Abu Raihan Al-Biruni dan Teori Penentuan Arah Kiblat (Studi Penelusuran Asal Teori Penentuan Arah Kiblat)", *Laporan Penelitian Individual*, hlm.72.

e. Theodolit

Theodolit merupakan instrument optik survei yang digunakan untuk mengukur sudut dan arah yang dipasang pada tripod. Sampai saat ini theodolit dianggap sebagai alat yang paling akurat di antara metode-metode yang sudah ada dalam penentuan arah kiblat. Dengan bantuan pergerakan benda langit yaitu matahari, theodolit dapat menunjukkan sudut hingga satuan detik busur. Dengan mengetahui posisi matahari yaitu memperhitungkan azimuth matahari, maka utara sejati ataupun azimuth kiblat dari suatu tempat akan dapat ditentukan secara akurat.

Theodolit dilengkapi dengan teropong yang mempunyai pembesaran lensa yang bervariasi, juga ada yang sudah menggunakan laser untuk mempermudah dalam penunjukan garis kiblat. Oleh karena itu penentuan arah kiblat dengan menggunakan alat ini akan menghasilkan data yang akurat.

Langkah-langkah pengukuran arah kiblat dengan menggunakan alat bantu theodolit adalah sebagai berikut:

- 1) Persiapan:
  - ✓ Menentukan kota yang akan diukur arah kiblatnya.
  - ✓ Menyiapkan data lintang tempat ( $\varphi$ ) dan bujur tempat ( $\lambda$ ).
  - ✓ Melakukan perhitungan arah kiblat untuk tempat yang bersangkutan. Data arah kiblat hendaklah diukur dari arah titik utara ke barat.<sup>66</sup>
  - ✓ Menyiapkan data astronomis, Ephemeris hisab rukyat pada hari atau tanggal pengukuran.
  - ✓ Membawa jam penunjuk waktu yang akurat.
  - ✓ Menyiapkan theodolit.
- 2) Pelaksanaan
  - ✓ Pasang theodolit pada penyangganya.
  - ✓ Periksa waterpass yang ada padanya supaya theodolit benar-benar datar.

---

<sup>66</sup> Muhyidin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, hlm. 60.

- ✓ Beri tanda atau titik pada tempat berdirinya theodolit. Misalkan titik T.
- ✓ Bidiklah matahari dengan theodolit.
- ✓ Kunci theodolitnya agar tidak bergerak-gerak.
- ✓ Tekan tombol “0-Set” pada theodolit, agar angka pada layar (HA; horizontal angle) menunjukkan 0 (nol).
- ✓ Mencatat waktu kapan membidik matahari (W).
- ✓ Mengkonversi waktu yang dipakai GMT, misalnya WIB dikurangi 7 jam.
- ✓ Melacak nilai deklinasi matahari ( $\delta_0$ ) pada waktu hasil konversi tersebut (GMT) dan nilai equation of time (e) pada saat matahari berkulminasi (misalnya pada jam 5 GMT) dari ephemeris.
- ✓ Menghitung waktu meridian pass (MP) pada hari itu dengan rumus:
 
$$\mathbf{MP = ((105 - \lambda) : 15) + 12 - e}^{67}$$

$\lambda$  = bujur tempat Ka’bah  
 $e$  = equation of time
- ✓ Menghitung sudut waktu ( $t_0$ ) dengan menggunakan rumus;
 
$$\mathbf{t_0 = (MP - W) \times 15}^{68}$$
- ✓ Menghitung azimuth matahari ( $A_0$ ) dengan rumus:
 
$$\mathbf{cot A_0 = [((cos \varphi tan \delta_0) : sin t_0) - (sin \varphi : tan t_0)]}^{69}$$
- ✓ Arah kiblat (AK) dengan theodolit adalah:
  - i. Jika deklinasi matahari ( $\delta_0$ ) positif dan pembidikan dilakukan sebelum matahari berkulminasi maka;  $AK = 360^0 - A_0 - Q$ .  
Sedangkan jika matahari sudah berkulminasi maka;  $AK = 360^0 - A_0 - Q$ .
  - ii. Jika deklinasi matahari ( $\delta_0$ ) negative dan pembidikan dilakukan sebelum matahari berkulminasi maka;  $AK = 360^0 - (180^0 - A_0) -$

---

<sup>67</sup> Muhyidin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, hlm. 61.

<sup>68</sup> Muhyidin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, hlm. 62.

<sup>69</sup> Muhyidin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, hlm. 62.

Q. Sedangkan jika matahari sudah berkulminasi maka;  $AK = 180^{\circ} - A_0 - Q$ .

- ✓ Bukalah kunci horizontal tadi (kendurkan skrup horizontal clamp).
- ✓ Putar theodolit sedemikian rupa hingga layar theodolit menampilkan angka senilai perhitungan AK tersebut. Apabila theodolit diputar ke kanan (searah jarum jam) maka angkanya semakin membesar atau bertambah. Sebaliknya jika theodolit diputar ke kiri (berlawanan arah jarum jam) maka angkanya akan semakin mengecil atau berkurang.
- ✓ Turunkan sasaran theodolit sampai menyentuh tanah pada jarak sekitar 5 meter dari theodolit. Lalu berilah tanda atau titik tepat pada sasaran itu, misalnya titik Q.
- ✓ Hubungkan antara titik sasaran (Q) tersebut dengan tempat berdirinya theodolit (T) dengan garis lurus atau benang.
- ✓ Garis lurus itulah arah kiblat untuk tempat tersebut.
- ✓ Adapun contoh dari gambar theodolit di antaranya adalah sebagai berikut:



Gambar 22. Gambar theodolit

## C. Rumus Trigonometri dalam Perhitungan Arah Kiblat

### 1. Rumus Trigonometri dalam Teori Trigonometri Bola

Selama ini teori yang digunakan untuk menghitung sudut kiblat adalah teori trigonometri bola. Teori ini banyak digunakan untuk menghitung persoalan-persoalan yang terkait dengan ilmu falak seperti penentuan awal bulan qamariyah, waktu sholat, gerhana matahari dan bulan, arah kiblat dan lain sebagainya.

Trigonometri bola merupakan ilmu ukur sudut bidang datar yang bisa diaplikasikan pada permukaan yang berbentuk bola seperti bumi. Sebab antara keduanya sama-sama berkaitan dengan polygon (khususnya bentuk segitiga) pada bola dan terdapat hubungan antara sisi dan sudut.<sup>70</sup>

Geometri bola menunjukkan bentuk geometri pada permukaan sebuah bola, yaitu sebuah geometri dua dimensi. Geometri sebuah bola terdiri dari lingkaran besar (*great circle*), lingkaran kecil (*small circle*), dan busur di permukaan. Jarak sepanjang lingkaran utama umumnya dinyatakan sebagai derajat di mana radius bola sering dianggap sama dengan satu.

Lingkaran besar (*great circle*) adalah lingkaran yang berpusat di titik pusat bola dan didefinisikan sebagai sebuah titik dengan jarak yang sama ke seluruh permukaan. Sedangkan lingkaran yang titik tengahnya bukan titik pusat bola atau tidak melalui titik pusat bola disebut sebagai lingkaran kecil (*small circle*). Sebuah lingkaran yang memotong tegak lurus lingkaran besar disebut kutub lingkaran besar.<sup>71</sup>

Suatu tempat yang berada di permukaan bumi dapat digambarkan dengan titik-titik. Titik tersebut didefinisikan oleh dua koordinat, yaitu bujur dan lintang. Bujur ( $\lambda$ ) menggambarkan lokasi sebuah tempat yang berada di sebelah timur dan barat bumi dari sebuah garis utara selatan yang disebut meridian utama (Greenwich). Nilai bujur dihitung berdasarkan pengukuran

---

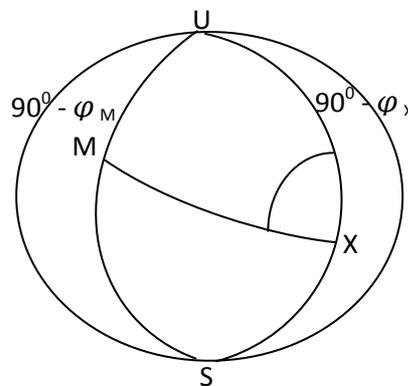
<sup>70</sup> Ahmad Izzuddin, "Abu Raihan Al-Biruni dan Teori Penentuan Arah Kiblat (Studi Penelusuran Asal Teori Panentuan Arah Kiblat)", *Laporan Penelitian Individual*, hlm.36.

<sup>71</sup> Ahmad Izzuddin, "Abu Raihan Al-Biruni dan Teori Penentuan Arah Kiblat (Studi Penelusuran Asal Teori Panentuan Arah Kiblat)", *Laporan Penelitian Individual*, hlm.37.

sudut yang berkisar antara  $0^0$  di Greenwich sampai  $+180^0$  arah timur dan  $-180^0$  arah barat. Bujur di sebelah barat Greenwich disebut bujur barat (BB), dan bujur di sebelah timur Greenwich disebut bujur timur (BT). Sedangkan lintang ( $\varphi$ ) merupakan garis khayal yang menggambarkan lokasi sebuah tempat di bumi terhadap garis khatulistiwa (utara atau selatan). Nilai lintang dihitung berdasarkan perhitungan sudut dari  $0^0$  di khatulistiwa sampai ke  $+190^0$  di kutub utara dan  $-190^0$  di kutub selatan. Lintang yang terletak di sebelah utara khatulistiwa dinamakan lintang utara (LU), dan lintang yang terletak di sebelah selatan khatulistiwa disebut lintang selatan (LS).<sup>72</sup>

Penentuan arah kiblat pada dasarnya adalah menghitung sudut yang dibentuk dari titik daerah yang diukur arah kiblatnya dari titik Ka'bah. Sehingga dalam penentuan arah kiblat ini ada beberapa titik yang digunakan yaitu titik utara sejati, titik koordianat Ka'bah ( $21^025'21,17''$  LU dan  $39^049'34,56''$  BT<sup>73</sup>), dan titik koordinat tempat yang akan diukur. Setiap tempat mempunyai arah kiblat yang berbeda tergantung pada posisinya.

Gambar berikut mengilustrasikan sudut kiblat suatu tempat atau daerah tertentu terhadap titik Ka'bah yang berada di kota Makkah:



Gambar 23. Gambar sudut kiblat suatu tempat

Gambar 23 di atas menunjukkan arah kiblat kota X, di mana X adalah kota yang diukur arah kiblatnya. Sedangkan M adalah kota Makkah (posisi Ka'bah berada). Arah kiblat kota X ditunjukkan oleh garis XM .

<sup>72</sup> Ahmad Izzuddin, "Abu Raihan Al-Biruni dan Teori Penentuan Arah Kiblat (Studi Penelusuran Asal Teori Panentuan Arah Kiblat)", *Laporan Penelitian Individual*, hlm.39.

<sup>73</sup> Ahmad Izzuddin, "Abu Raihan Al-Biruni dan Teori Penentuan Arah Kiblat (Studi Penelusuran Asal Teori Panentuan Arah Kiblat)", *Laporan Penelitian Individual*, hlm.41.

Garis itu merupakan busur lingkaran besar yang melalui kedua tempat tersebut. Dari situ juga dapat diketahui sebuah segitiga bola XMU. Jika posisi kota X dinyatakan dengan  $(\varphi^X, \lambda^X)$  dan untuk kota Makkah dinyatakan dengan  $(\varphi^M, \lambda^M)$ , maka sisi MU =  $90^\circ - \varphi^M$  dan sisi XU =  $90^\circ - \varphi^X$ . Selain itu juga sudut U juga dapat diketahui yaitu  $(\lambda^X - \lambda^M)$ . dalam hal ini sudut U biasa juga disebut dengan sudut C.<sup>74</sup>

Rumus penentuan arah kiblat dengan trigonometri bola tersebut adalah sebagai berikut:

$$\cot X = \tan \varphi^M \cos \varphi^X : \sin C - \sin \varphi^X : \tan C$$
<sup>75</sup>

Persamaan atau rumus tersebut biasanya digunakan untuk mengetahui sudut kiblat kota X dihitung dari utara ke barat. Dari persamaan ini dapat diketahui bahwa sudut X akan bernilai positif bila  $(\lambda^X - \lambda^M)$  positif, yaitu untuk tempat-tempat yang berada di sebelah barat kota Makkah. Sebaliknya, sudut X bernilai negatif manakala  $(\lambda^X - \lambda^M)$  bernilai negatif, yaitu untuk wilayah atau kota yang terletak di sebelah timur kota Makkah.

Rumus trigonometri yang digunakan dalam perhitungan (*hisab*) arah kiblat selain rumus tersebut di atas masih ada rumus lain seperti rumus :  $\cot B = \cot b \sin a \div \sin c - \cos a \cot c$ <sup>76</sup>. Adapun contoh perhitungan arah kiblat dengan menggunakan rumus tersebut adalah sebagai berikut:

a. Persiapan

- 1) Tentukan kota atau tempat yang akan dicari arah kiblatnya.
- 2) Siapkan data geografis yang diperlukan.
- 3) Ambil data yang diperlukan.
- 4) Tentukan rumus yang akan digunakan.
- 5) Mencari nilai sisi a, b, dan c.

---

<sup>74</sup> Ahmad Izzuddin, "Abu Raihan Al-Biruni dan Teori Penentuan Arah Kiblat (Studi Penelusuran Asal Teori Panentuan Arah Kiblat)", *Laporan Penelitian Individual*, hlm.42.

<sup>75</sup> Ahmad Izzuddin, "Abu Raihan Al-Biruni dan Teori Penentuan Arah Kiblat (Studi Penelusuran Asal Teori Panentuan Arah Kiblat)", *Laporan Penelitian Individual*, hlm.42.

<sup>76</sup> A. Jamil, *Ilmu Falak (Teori dan aplikasi)*, (Jakarta: Amzah, 2009), hlm. 111.

- 6) Mencari arah kiblatnya (cotan B).  
 b. Pelaksanaan (hisab arah kiblat kota Bantul, Yogyakarta)<sup>77</sup>

1) Data yang diperlukan:

$$\varphi_B = -07^{\circ}56'$$

$$\varphi_A = 21^{\circ}25'$$

$$\lambda_B = 110^{\circ}20' \text{ timur}$$

$$\lambda_A = 39^{\circ}50' \text{ timur}$$

2) Rumus yang digunakan

$$\cot B = \cot b \sin a \div \sin c - \cos a \cot c$$

3) Mencari nilai sisi a, b, dan sudut c

$$a = 90^{\circ} - \varphi_B = 90^{\circ} - (-07^{\circ}56') = 97^{\circ}56'$$

$$b = 90^{\circ} - \varphi_A = 90^{\circ} - (21^{\circ}25') = 68^{\circ}35'$$

$$c = (\lambda_B - \lambda_A) = 110^{\circ}20' - 39^{\circ}51' = 70^{\circ}30'$$

4) Mencari arah kiblat Bantul dengan rumus :

$$\cot B = (\cot b \sin a : \sin c) - (\cos a \cot c)$$

$$\cot(68^{\circ}35') = 0,39922 (\times)$$

$$\sin(97^{\circ}56') = 0,9904 (\div)$$

$$\sin(70^{\circ}30') = 0,9426 (=)$$

$$\cot b \sin a \div \sin c = \quad \quad \quad \mathbf{0,4121}$$

$$\cos(97^{\circ}56') = -0,1380 (\times)$$

$$\cot(70^{\circ}30') = 0,3541 (=)$$

$$\cos a \cot c = \quad \quad \quad \mathbf{-0,0489 (-)}$$

$$\cot B = \quad \quad \quad \mathbf{0,4610}$$

$$\mathbf{B = 65^{\circ}15' (U - B)}$$

Dengan demikian, arah kiblat kota Bantul daerah istimewa Yogyakarta sebesar ;65°15' dari utara ke barat atau 24°45' dari barat ke utara.

---

<sup>77</sup> A. Jamil, *Ilmu Falak (Teori dan aplikasi)*, (Jakarta: Amzah, 2009), hlm. 113.

## 2. Rumus Trigonometri dalam Teori Geodesi

Pada dasarnya ada tiga macam system referensi koordinat yang banyak digunakan dalam bidang geodesi satelit yaitu:<sup>78</sup>

- CIS (*Conventional Inertial System*)
- CTS (*Conventional Terrestrial System*)
- Sistem *Ellipsoid*

Sistem CIS umumnya digunakan untuk mendefinisikan posisi dan pergerakan satelit. Sedangkan sistem-sistem CTS dan sistem Ellipsoid dipakai untuk mendefinisikan posisi dan pergerakan titik di permukaan bumi.

Permukaan bumi dapat didekati secara baik dengan suatu ellipsoid putaran, yaitu ellips meridian yang diputar mengelilingi sumbu pendeknya. Oleh sebab itu secara geometrik, koordinat titik-titik di permukaan bumi juga dapat dinyatakan koordinatnya dalam sistem referensi ellipsoid. Seperti halnya dengan sistem CTS, sistem referensi ellipsoid ini berotasi dengan bumi dan juga berevolusi bersama dengan bumi mengelilingi matahari.

Karakteristik dari sistem referensi ellipsoid adalah sebagai berikut:

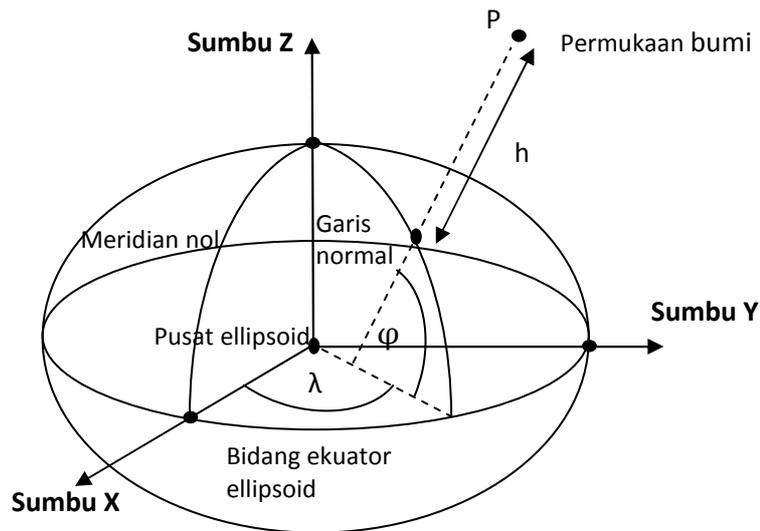
- Titik nol sistem koordinat adalah pusat ellipsoid.
- Sumbu X berada dalam bidang meridian nol dan terletak pada bidang ekuator ellipsoid.
- Sumbu Z berimpit dengan sumbu pendek ellipsoid.
- Sumbu Y tegak lurus dengan sumbu-usmbu X dan Z, dan membentuk sistem koordinat tangan-tangan (*right-handed system*).

Dalam sistem referensi ellipsoid koordinat suatu titik umumnya dinyatakan sebagai  $(\varphi, \lambda, h)$  dimana  $\varphi$  adalah lintang geodetik,  $\lambda$  adalah bujur geodetik, dan  $h$  adalah tinggi ellipsoid. Dalam hal ini koordinat juga dapat dinyatakan dengan besaran-besaran jarak (X, Y, Z). kedua koordinat ini dapat saling ditransformasikan satu dengan yang lainnya dengan menggunakan formulasi matematis. Ilustrasinya dapat dilihat pada gambar berikut:<sup>79</sup>

---

<sup>78</sup> Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit*, (Jakarta : PT Pradnya paramita, 2001), hlm. 31.

<sup>79</sup> Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit*, (Jakarta : PT Pradnya paramita, 2001), hlm. 36.



Gambar 24. Sistem koordinat referensi ellipsoid

Formulasi matematis yang dapat diperoleh dari gambar tersebut adalah sebagai berikut:<sup>80</sup>

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} (R_n + h) \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda \\ (R_n + h) \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda \\ ((1 - e^2)R_n + \varphi) \cdot \sin \varphi \end{bmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

Rumus di atas, di mana  $R_n$  dan  $e$  adalah jari-jari kelengkungan vertikal dan eksentrisitas ellipsoid referensi yang keduanya juga dapat dihitung sebagai berikut:

$$R_n = \frac{a}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}, \quad e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana  $a$  dan  $b$  adalah setengah sumbu panjang dan setengah sumbu pendek dari ellipsoid referensi yang digunakan. Dari rumus tersebut terlihat jelas bahwa transformasi dari  $(X, Y, Z)$  ke  $(\varphi, \lambda, h)$  tidak dapat dilakukan secara langsung. Demikian pula sebaliknya, transformasi dari  $(\varphi, \lambda, h)$  ke  $(X, Y, Z)$  juga tidak bisa dilakukan secara langsung, karena kedua persamaan tersebut tidak linear.<sup>81</sup>

<sup>80</sup> Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit*, (Jakarta : PT Pradnya paramita, 2001), hlm. 36.

<sup>81</sup> Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit*, hlm. 36.

Adapun perhitungan arah kiblat dengan teori geodesi rumus yang digunakan adalah bentuk matematis ellipsoid metode vincenty. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:<sup>82</sup>

$$\alpha_1 = \text{arc. tan2}(\cos U_2 \cdot \sin \lambda, \cos U_1 \cdot \sin U_2 - \sin U_1 \cdot \cos U_2 \cdot \cos \lambda)$$

$$\alpha_2 = \text{arc. tan2}(\cos U_1 \cdot \sin \lambda, -\sin U_1 \cdot \cos U_2 + \cos U_1 \cdot \sin U_2 \cdot \cos \lambda)$$

Penentuan arah kiblat dalam teori geodesi tidak lain berbicara tentang penentuan azimuth dua titik yang diketahui titik koordinatnya. Berikut merupakan contoh perhitungan penentuan azimuth dengan menggunakan metode *inverse geodetic problem* vincenty untuk menentukan azimuth satu titik ke titik lain dalam wilayah yang lebih luas. Contoh perhitungan menggunakan metode Vincenty adalah sebagai berikut:<sup>83</sup>

$$\cot B = \frac{\cot b \sin a - \cos a \cos C}{\sin C} \dots\dots\dots (1.1)$$

Ellipsoid referensi : WGS 1984

$$a = 6\,378\,137 \text{ m}$$

$$b = 6\,356\,752,3142 \text{ m}^{84}$$

$$f = \frac{(a - b)}{a} = 0,00335281067183099 \text{ m}$$

$$L = \lambda_B - \lambda_A = BL - BK = 110^\circ 26' 15,2'' - 39^\circ 49' 34,05'' = 70,6114305555556 \text{ derajat. Karena } 1^\circ = \frac{\pi}{180} \text{ radian, maka :}$$

$$L = 1,23240195273777 \text{ radian}$$

$$U_1 = \text{Atan}((1-f) \cdot \tan \phi_A) = 0,372752906463265 \text{ radian}$$

.....(1.2)

---

<sup>82</sup> Guna Putri Widyati, *Perbandingan Penentuan Arah Kiblat antara Bentuk Matematis Bola dengan Bentuk Matematis Ellipsoid*, dalam majalah *Zenit* edisi V/tahun III/ Desember 2010, (Semarang: Fakultas Syari'ah IAIN Walisongo, 2010), hlm.25

<sup>83</sup> Ahmad Izzuddin, "Kajian Terhadap Metode-Metode Penentuan Arah Kiblat dan Akurasinya", *Disertasi* (Semarang : Program Doktor IAIN Walisongo, 2011), hlm. 160.

<sup>84</sup> Parameter *ellipsoida* tersebut diperoleh dari ([www.latlong-vicenty.com](http://www.latlong-vicenty.com))

$$U_2 = \text{Atan}((1-f) \cdot \tan \phi_B) = -0,122731525362272 \text{ radian} \dots\dots\dots (1.3)$$

$\lambda = \text{Lamda} = 1,23636882231941 \text{ radian}$ , hasil ini diperoleh dari proses iterasi. Penjabaran rumus dapat dilihat pada lampiran

$$\begin{aligned} \sin \sigma &= \text{Sin\_Sigma} \\ &= \sqrt{(\cos U_2 \cdot \sin \lambda)^2 + (\cos U_1 \cdot \sin U_2 - \sin U_1 \cdot \cos U_2 \cdot \cos \lambda)^2} \\ &= 0,965929665703138 \text{ radian} \dots\dots\dots (1.4) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos \sigma &= \text{Cos\_Sigma} \\ &= \sin U_1 \cdot \sin U_2 + \cos U_1 \cdot \cos U_2 \cdot \cos \lambda \\ &= 0,258804715788999 \text{ radian} \dots\dots\dots (1.5) \end{aligned}$$

$$\sigma = \text{Sigma} = \text{atan2}(\sin \sigma, \cos \sigma) = 1,30901177376323 \text{ radian} \dots\dots\dots (1.6)$$

$$\begin{aligned} \sin \alpha &= \text{Sin\_Alpha} = \cos U_1 \cdot \cos U_2 \cdot \sin \lambda / \sin \sigma \\ &= 0,903910349918506 \text{ radian} \dots\dots\dots (1.7) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos^2 \alpha &= \text{CosKuadrat\_Alpha} = 1 - \sin^2 \alpha \\ &= 0,182946079310204 \text{ radian} \dots\dots\dots (1.8) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \cos 2\sigma_m &= \text{Cos2Sigma\_m} = \cos \sigma - 2 \cdot \sin U_1 \cdot \sin U_2 / \cos^2 \alpha \\ &= 0,746208687025363 \text{ radian} \dots\dots\dots (1.9) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= C\_Vin = f/16 \cdot \cos^2 \alpha \cdot [4 + f \cdot (4 - 3 \cdot \cos^2 \alpha)] \\ &= 0,000153789486625063 \text{ radian} \dots\dots\dots (1.10) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \lambda' &= \text{Lamda Aksen} \\ &= L + (1-C) \cdot f \cdot \sin \alpha \cdot \{ \sigma + C \cdot \sin \sigma \cdot [\cos 2\sigma_m + C \cdot \cos \sigma \cdot (-1 + 2 \cdot \cos^2 2\sigma_m)] \} \\ &= 1,23636882231902 \text{ radian, hasil ini diperoleh dari proses iterasi.} \\ &(1.11) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u^2 &= u\_VinKuadrat = \cos^2 \alpha \cdot (a^2 - b^2) / b^2 \\ &= 0,00123296450814141 \text{ radian} \dots\dots\dots (1.12) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A &= A\_Vin = 1 + u^2 / 16384 \cdot \{ 4096 + u^2 \cdot [-768 + u^2 \cdot (320 - 175 \cdot u^2)] \} \\ &= 1,00030816990417 \text{ radian} \dots\dots\dots (1.13) \end{aligned}$$

$$B = B_{\text{Vin}} = u^2/1024 \cdot \{256 + u^2 \cdot [-128 + u^2 \cdot (74 - 47 \cdot u^2)]\}$$

$$= 0,000308051237195886 \text{ radian} \dots\dots\dots (1.14)$$

$$\Delta\sigma = \text{Delta\_Sigma}$$

$$= B \cdot \sin\sigma \cdot \{ \cos 2\sigma + B/4 \cdot [\cos\sigma \cdot (-1 + 2 \cdot \cos^2\sigma) -$$

$$B/6 \cdot \cos 2\sigma \cdot (-3 + 4 \cdot \sin^2\sigma) \cdot (-3 + 4 \cdot \cos^2\sigma)] \}$$

$$= 0,000222039418695096 \text{ rad} \dots\dots\dots (1.15)$$

$$\alpha_1 = \text{AZ1} = \text{atan2}(\cos U_2 \cdot \sin \lambda, \cos U_1 \cdot \sin U_2 - \sin U_1 \cdot \cos U_2 \cdot \cos \lambda)$$

$$= 103,93718718721 \text{ derajat} = 103^\circ 56' 13,8738739569214'' \dots\dots\dots$$

(1.16)

$$\alpha_2 = \text{AZ2} = \text{atan2}(\cos U_1 \cdot \sin \lambda, -\sin U_1 \cdot \cos U_2 + \cos U_1 \cdot \sin U_2 \cdot \cos \lambda)$$

$$= 114,389249806233 \text{ derajat} = 114^\circ 23' 21,2993024'' \dots\dots\dots (1.17)$$

$$\text{Arah Kiblat} = \alpha_2 + 180^\circ = 294^\circ 23' 21,2993024''$$

### 3. Rumus Trigonometri dalam Teori Navigasi

#### a) Sistem Navigasi GPS

GPS adalah sistem radio navigasi dan penentuan posisi dengan menggunakan satelit navigasi yang dimiliki dan dikelola oleh Departemen Pertahanan Amerika Serikat. Nama formalnya adalah **NAVSTAR GPS** (*Navigation Satellite Timing and Ranging Global Positioning System*). Sistem ini digunakan untuk memberikan informasi mengenai posisi, waktu dan kecepatan kepada siapa saja secara global tanpa ada batasan waktu dan cuaca. Satelit GPS pertama diluncurkan pada tahun 1978 dan secara resmi sistem GPS dinyatakan operasional pada tahun 1994.

## **b) Segmen Penyusun Sistem GPS**

Sistem GPS terdiri atas tiga segmen utama, yaitu segmen angkasa (*space segment*), segmen sistem kontrol (*control system segment*), dan segmen pengguna (*user segment*).<sup>85</sup>

### **1. Segmen Angkasa**

Segmen angkasa terdiri dari 24 buah satelit GPS yang secara kontinyu memancarkan sinyal – sinyal yang membawa data kode dan pesan navigasi yang berguna untuk penentuan posisi, kecepatan dan waktu. Satelit-satelit tersebut ditempatkan pada enam bidang orbit dengan periode orbit 12 jam dan ketinggian orbit 20.200 km di atas permukaan bumi. Keenam orbit tersebut memiliki jarak spasi yang sama dan berinklinasi  $55^{\circ}$  terhadap ekuator dengan masing-masing orbit ditempati oleh empat buah satelit dengan jarak antar satelit yang tidak sama.

### **2. Segmen Sistem Kontrol**

Segmen sistem kontrol terdiri dari *Master Control Station* (MCS), *Ground Station*, dan beberapa *Monitor Station* (MS) yang berfungsi untuk mengontrol dan memonitor pergerakan satelit.

### **3. Segmen Pengguna**

Segmen pengguna terdiri dari para pengguna satelit GPS baik yang ada di darat, laut maupun udara Dalam hal ini *receiver* GPS dibutuhkan untuk menerima dan memproses sinyal-sinyal dari GPS untuk digunakan dalam penentuan posisi, kecepatan, dan waktu. 9

---

<sup>85</sup> Hasanuddin Z. Abidin, *Geodesi Satelit*, hlm. 171.

### c) Sinyal GPS

Sinyal GPS yang dipancarkan oleh satelit-satelit GPS menggunakan *band* frekuensi L pada spektrum gelombang elektromagnetik. Setiap satelit GPS memancarkan dua (2) gelombang pembawa yaitu L1 dan L2 yang berisi data kode dan pesan navigasi. Pada dasarnya sinyal GPS terdiri dari tiga komponen, yaitu: penginformasi jarak (kode), penginformasi posisi satelit (*navigation message*) dan gelombang pembawanya (*carrier wave*).

### d) Penginformasi Jarak

Penginformasi jarak yang dikirimkan oleh satelit GPS terdiri dari dua buah kode PRN (*Pseudo Random Noise*) yaitu kode-C/A (*Coarse Acquisition/Clear Access*) yang dimodulasikan pada gelombang pembawa L1 dan kode-P(Y) (*Private*) yang dimodulasikan baik pada gelombang pembawa L1 maupun L2. Kedua kode tersebut disusun oleh rangkaian kombinasi bilangan-bilangan biner (0 dan 1). Setiap satelit GPS mempunyai struktur kode yang unik dan berbeda antara satu satelit dengan satelit lainnya yang memungkinkan *receiver* GPS untuk membedakan sinyal-sinyal yang datang dari satelit-satelit GPS yang berbeda. Sinyal-sinyal tersebut dapat dibedakan oleh *receiver* dengan menggunakan teknik yang dinamakan CDMA (*Code Division Multiple Access*).

### e) Penginformasi Posisi

Pesan navigasi yang dibawa oleh sinyal GPS terdiri dari informasi *ephemeris* (orbit) satelit yang biasa disebut *broadcast ephemeris* yang terdiri dari parameter waktu, parameter orbit satelit dan parameter perturbasi dari orbit satelit. Parameter – parameter tersebut digunakan untuk menentukan koordinat dari satelit. Disamping *broadcast ephemeris*, pesan navigasi juga berisi almanac satelit yang memberikan informasi tentang orbit nominal satelit yang berguna bagi *receiver* dalam proses akuisasi awal data satelit maupun bagi para pengguna dalam perencanaan waktu pengamatan yang optimal. Informasi lain yang dibawa oleh pesan navigasi adalah koefisien koreksi jam satelit, parameter koreksi ionosfer, status konstelasi satelit dan informasi kesehatan satelit.

#### **f) Gelombang Pembawa**

Kode dan pesan navigasi agar dapat mencapai pengamat harus dimodulasikan terlebih dahulu pada gelombang pembawa. Gelombang pembawa yang digunakan terdiri atas dua gelombang, yaitu gelombang  $L1$  dan  $L2$ . Gelombang  $L1$  (1575.42 Mhz) membawa kode-P(Y) dan kode-C/A sedangkan gelombang  $L2$  (1227.60 Mhz) hanya membawa kode-P(Y) saja. Teknik modulasi yang digunakan dalam sinyal GPS adalah BPSK (*Binary Phase Shift Keying*) yang menggunakan modulasi.

#### **g) Penentuan Posisi Absolut dengan GPS**

Penentuan posisi dengan GPS adalah penentuan posisi tiga dimensi yang dinyatakan dalam sistem koordinat kartesian (X,Y,Z) dalam datum WGS (*World Geodetic System*) 1984. Untuk keperluan tertentu, koordinat kartesian tersebut dapat dikonversi ke dalam koordinat geodetik ( $\phi, \lambda, h$ ). Titik yang akan ditentukan posisinya dapat diam (*static positioning*) maupun bergerak (*kinematic positioning*). Penentuan posisi absolut merupakan metode penentuan posisi yang paling mendasar dan paling banyak digunakan untuk aplikasi-aplikasi yang tidak memerlukan tingkat ketelitian posisi yang tinggi dan tersedia secara instant (*real-time*) seperti pada aplikasi navigasi wahana bergerak (darat, laut dan udara).

#### **h) Prinsip Penentuan Posisi Absolut dengan GPS.**

Prinsip dasar penentuan posisi absolut dengan GPS adalah dengan reseksi jarak ke beberapa satelit GPS sekaligus yang koordinatnya telah diketahui. Pada penentuan posisi absolut dengan data *pseudorange*, jarak pengamat (*receiver*) ke satelit GPS ditentukan dengan mengukur besarnya waktu tempuh sinyal GPS dari satelit ke *receiver* pengamat. Waktu tempuh ditentukan dengan menggunakan teknik korelasi kode (*code correlation technique*) dimana sinyal GPS yang datang dikorelasikan dengan sinyal replika yang diformulasikan dalam *receiver*. Jarak dari *receiver* ke pengamat kemudian dapat ditentukan

dengan mengalikan waktu tempuh dengan kecepatan cahaya. Karena ada perbedaan waktu pada jam satelit dan jam *receiver* maka data jarak yang diperoleh bukan merupakan jarak yang sebenarnya melainkan jarak *pseudorange*.

#### D. Istilah-istilah dalam Ilmu Falak

1) Meridian

Meridian adalah lingkaran vertikal yang menghubungkan titik utara, selatan, zenith, nadir melalui kutub utara dan kutub selatan.<sup>86</sup>

2) Lintang

Lintang ( $\varphi$ ) adalah jarak dari khatulistiwa ke kutub, diukur melalui lingkaran kutub ke arah utara disebut lintang utara diberi tanda positif (+) dan ke arah selatan yang diberi tanda negatif (-).<sup>87</sup>

3) Bujur

Bujur adalah jarak suatu tempat dari kota Greenwich di Inggris yang diukur melalui lingkaran meridian. Ke arah timur di sebut dengan bujur timur dan bertanda negatif (-), dan ke arah barat yang disebut dengan bujur barat dan diberi tanda positif (+). Baik bujur timur ataupun bujur barat diukur melalui lingkaran meridian dari kota Greenwich di Inggris, yaitu pada bujur ( $0^0$ ) sampai dengan bujur ( $180^0$ ).<sup>88</sup>

4) Horizon

Horizon adalah lingkaran pada bola langit yang menghubungkan titik utara, titik timur, titik selatan dan titik barat samapi ke titik utara. Horizon merupakan batas pemisah antara belahan langit yang tampak dan tidak tampak.<sup>89</sup>

---

<sup>86</sup> A. Jamil, *Ilmu Falak (Teori dan aplikasi)*, (Jakarta: Amzah, 2009), hlm. 8

<sup>87</sup> A. Jamil, *Ilmu Falak (Teori dan aplikasi)*, (Jakarta: Amzah, 2009), hlm. 9

<sup>88</sup> A. Jamil, *Ilmu Falak (Teori dan aplikasi)*, (Jakarta: Amzah, 2009), hlm. 10

<sup>89</sup> A. Jamil, *Ilmu Falak (Teori dan aplikasi)*, (Jakarta: Amzah, 2009), hlm. 11

5) Deklinasi

Deklinasi matahari atau *Maylus Syams* adalah sepanjang lingkaran deklinasi dihitung dari equator sampai matahari. Dalam astronomi dilambangkan dengan ( $\delta_0$ ).<sup>90</sup>

6) Azimuth

Azimuth atau *as-Samtu* adalah arah, yaitu harga suatu sudut untuk matahari atau bulan dihitung sepanjang horizon atau ufuk. Biasanya diukur dari titik utara ke timur (searah dengan jarum jam) sampai titik perpotongan antara lingkaran vertical yang melewati matahari atau bulan itu dengan lingkaran horizon.<sup>91</sup>

---

<sup>90</sup>Muhyidin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, hlm. 65.

<sup>91</sup>Muhyidin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktik*, hlm. 135.