

## BAB II

### TINJAUAN UMUM TENTANG *EQUATION OF TIME*

#### A. Hukum Kepler

Johannes Kepler adalah seorang ilmuwan yang lahir pada tahun 1571 M di Wurtemberg. Ia merupakan asisten sekaligus murid dari Tycho Brahe.<sup>1</sup> Pada tahun 1605 M, Kepler menyampaikan gagasannya terkait peredaran benda langit sekaligus merevisi anggapan-anggapan sebelumnya yang dicetus oleh Aristoteles dan Copernicus. Kepler menjelaskan bahwa lintasan yang dilalui planet ketika mengitari Matahari bukanlah berbentuk *epicycle*<sup>2</sup>, akan tetapi berbentuk elips.

Anggapan Kepler ini berdasarkan pada hasil penemuan dari Tycho Brahe yang tersusun dalam tabel *Rudolphine*<sup>3</sup>. Berangkat dari temuan tersebut, Kepler merumuskan tiga hukum yang menjelaskan gerakan planet di tata surya atau biasa disebut dengan Hukum Kepler.

---

<sup>1</sup> Tycho Brahe dilahirkan pada tahun 1546 M, 3 tahun setelah kematian Copernicus. Pengalaman pertamanya dalam bidang Astronomi bermula ketika ia mengobsevasi sebuah gerhana pada tanggal 21 Agustus 1560 M. Sejak 1576 M, Tycho Brahe memfokuskan penelitiannya selama 20 tahun tentang posisi benda-benda langit. Lihat Simon Newcomb, *Popular Astronomy*, London: Macmillan and Co, hlm. 1878.

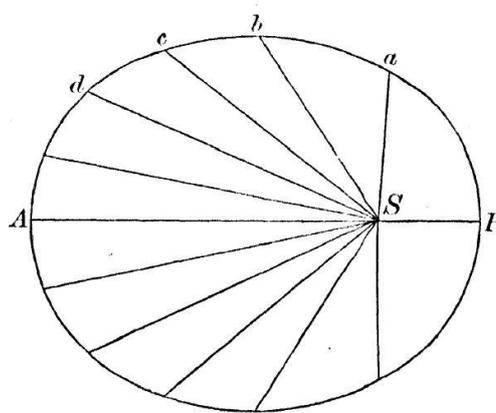
<sup>2</sup> *Epicycle* adalah sebuah lingkaran orbit yang mengelilingi suatu titik yang menjadikannya sebagai suatu orbit bagi titik lain. Gagasan ini diprakarsai oleh Ptolomeus. Lihat Kenneth R. Lang, *A Companion to Astronomy and Astrophysics*, New York: Springer, t.t, hlm. 161.

<sup>3</sup> Tabel *Rudolphine* atau dalam bahasa latin *Tabulae Rudolphine* yaitu sebuah tabel yang berisi tentang planet-planet dan katalog Bintang yang dipublikasikan oleh Johannes Kepler pada tahun 1627 yang pada prinsipnya mengacu pada hasil observasi Tycho Brahe. Tabel ini memuat posisi 1005 buah Bintang (hasil observasi dari Tycho Brahe hanya memuat 777 Bintang) dan arah untuk menentukan planet – planet. Tabel ini juga merupakan tabel pertama kali yang memuat tentang koreksi refraksi atmosfer dan tabel logaritma. Lihat <http://www.britannica.com/topic/Rudolphine-Tables>, diakses pada tanggal 01 Maret 2016 pukul 09. 58 WIB.

Hukum Kepler tersebut adalah:

1. Hukum Kepler I : *The Law of Ellipses*

“*The orbit of each planet is an ellipse, having the sun in one focus*” (Setiap planet bergerak mengelilingi Matahari dalam lintasan berbentuk elips dimana Matahari terletak pada salah satu titik fokusnya).<sup>4</sup>



Gambar 2. 1. Ilustrasi Hukum Kepler 1.<sup>5</sup>

Gambar di atas mengilustrasikan bahwa  $PA$  berbentuk elips yang mana terdapat planet planet yang bergerak disekitarnya. Matahari tidak berada di tengah tengah pusat tersebut, akan tetapi pada satu titik fokus, yaitu  $S$ . Ketika suatu planet<sup>6</sup> berada di titik  $P$ , yaitu titik terdekat dengan Matahari, maka disebut dengan *Perihellion*. Kemudian planet tersebut terus bergerak

<sup>4</sup> Simon Newcomb, *Popular Astronomy...*, hlm. 69.

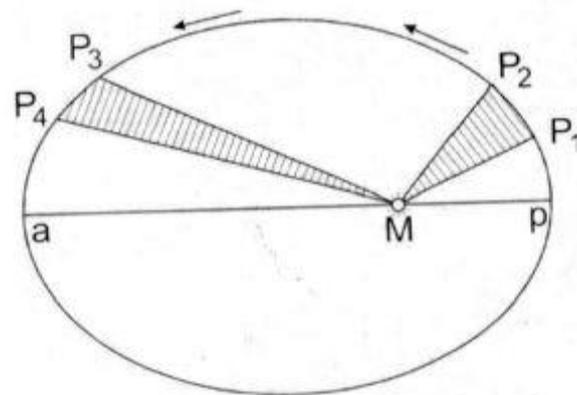
<sup>5</sup> Simon Newcomb, *Popular Astronomy...*, hlm. 69.

<sup>6</sup> Planet adalah sebuah objek (benda langit) yang mengorbit pada Matahari atau bintang lain yang merefleksikan cahaya yang mengenainya. Lihat Kenneth R. Lang, *A Companion...*, hlm. 264.

hingga pada titik A, yaitu titik terjauh dari Matahari atau *Aphelion*. Terakhir planet tersebut kemudian terus bergerak kembali ke titik P dan seterusnya.<sup>7</sup>

## 2. Hukum Kepler II : *The Law of Equal Area*

“As the planet moves round the sun, its radius sector (or the line joining it to the sun) passes over equal areas in equal times” (Luas daerah yang disapu oleh garis penghubung antara planet dan Matahari dalam waktu yang sama adalah sama).<sup>8</sup>



Gambar 2. 2. Ilustrasi Hukum Kepler II

Hukum Kepler yang kedua mengilustrasikan bahwa sebuah garis yang menghubungkan planet dengan Matahari menyapu suatu area dengan nilai konstan. Dengan kata lain, waktu yang dibutuhkan suatu objek untuk bergerak dari P<sub>1</sub> ke P<sub>2</sub> bernilai sama dengan pergerakan suatu objek dari P<sub>3</sub> ke P<sub>4</sub>.<sup>9</sup>

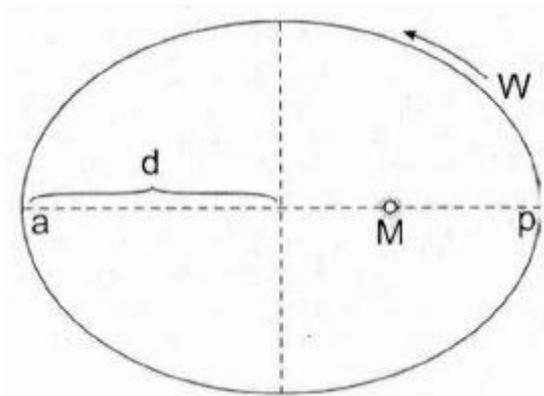
<sup>7</sup> Simon Newcomb, *Popular Astronomy...*, hlm. 69.

<sup>8</sup> Simon Newcomb, *Popular Astronomy...*, hlm. 69.

<sup>9</sup> Charles J. Peterson, *Astronomy*, Foster City: IDG Books Worldwide. Inc, t.t., hlm. 18.

### 3. Hukum Kepler III : *The Law of Harmonies*

“*The square of the time of revolution of each planet is proportional to the cube of its mean distance from the sun*”<sup>10</sup> (Kuadrat periode revolusi suatu planet berbanding dengan pangkat tiga jarak rata-ratanya dari Matahari).<sup>11</sup>



Gambar 2. 3. Ilustrasi Hukum Kepler III<sup>12</sup>

Hukum Kepler yang ketiga menjelaskan hubungan matematis secara eksplisit antara periode orbit suatu planet dengan ukuran orbitnya. Kuadrat periode suatu planet yang berevolusi mengelilingi Matahari ( $P$ ) adalah sebanding dengan pangkat tiga jarak rata-ratanya dari Matahari ( $a$ ). Hal ini bisa dirumuskan dengan bentuk:<sup>13</sup>

$$P^2 = a^3 \text{ (konstan)}$$

Penjelasan dari hukum Kepler yang ketiga ini diperkuat oleh Newcomb melalui gambar tabel berikut.<sup>14</sup>

<sup>10</sup> Simon Newcomb, *Popular astronomy...*, hlm. 70.

<sup>11</sup> Bayong Tjasyono HK, *Ilmu Kebumihan dan Antariksa*, Bandung: Pascasarjana UPI, 2009, hlm. 25.

<sup>12</sup> Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak: Menyimak Proses Pembentukan Alam Semesta*, Banyuwangi: Bismillah Publisher, 2012, hlm.191.

<sup>13</sup> <http://kafeastronomi.com/materi-2/tiga-hukum-kepler>, diakses pada tanggal 02 Maret 2016 pukul 02. 07 WIB.

<sup>14</sup> Simon Newcomb, *Popular Astronomy...*, hlm. 70.

Planets,	(1) Distance.	(2) Cube of Dis- tance.	(3) Period (Years).	(4) Square of Period.
Mercury.....	0.387	0.058	0.241	0.058
Venus.....	0.723	0.378	0.615	0.378
Earth.....	1.000	1.000	1.000	1.000
Mars.....	1.524	3.540	1.881	3.538
Jupiter.....	5.203	140.8	11.86	140.66
Saturn.....	9.539	868.0	29.46	867.9

Gambar 2. 4. Tabel hasil observasi Kepler tentang hukum ketiga dengan satuan *AU*.

Dengan adanya ketiga Hukum Kepler ini semakin membantu para ilmuwan dan peneliti lainnya dalam mempelajari pergerakan benda langit, baik secara nyata maupun semu yang belum pernah dibahas oleh peneliti peneliti sebelumnya. Selain itu, Hukum Kepler pun memotivasi para ilmuwan lain untuk menyempurnakan dan menemukan teori-teori lain, seperti Issac Newton<sup>15</sup> yang mencetuskan hukum medan gravitasi benda langit.

## B. Gerak Matahari dan Bumi

Matahari adalah sebuah benda langit yang memancarkan cahaya dan panas sendiri yang mempunyai suhu sangat tinggi. Menurut penyelidikan, suhu permukaan bola matahari sekitar 6000° C.<sup>16</sup> Tidak bisa dipungkiri bahwa Matahari merupakan reaktor nuklir terbesar yang

<sup>15</sup> Sir Isaac Newton (1642 – 1727) adalah seorang ahli Matematika dan Fisika. Ia dilahirkan di kota Woolsthorpe, Inggris. Penelitiannya yang terkenal adalah hukum gravitasi yang menjadi salah satu instrumen dalam revolusi sains pada abad ke 17. Lihat <http://www.biography.com/people/isaac-newton-9422656>, diakses pada tanggal 02 Maret 2016 pukul 08. 26 WIB.

<sup>16</sup> M. S. L. Toruan, *Ilmu Falak...*, hlm. 8.

memberikan makhluk hidup energi. Matahari mempunyai radius sekitar 695.000 km, atau lebih dari 100 kali radius Bumi.<sup>17</sup> Besar Matahari adalah 1378000 kali besar Bumi. Sinar Matahari berkecepatan 300.000 km, yang berarti tiap detiknya menempuh jarak jauh di antara Bumi dan Matahari dalam waktu 8 menit.<sup>18</sup>

Matahari merupakan pusat tata surya. Anggapan ini pertama kali diprakarsai oleh Aristarchus, namun tidak dipublikasikan secara umum.<sup>19</sup> Anggapan ini diprakarsai oleh Copernicus<sup>20</sup> (1473–1543) dan merevisi anggapan anggapan sebelumnya terkait peredaran benda benda langit, seperti anggapan *egocentris*<sup>21</sup> dan *geocentris*<sup>22</sup>.

Secara heliosentris, Matahari menjadi pusat peredaran benda benda langit di sekitarnya. Berdasarkan Hukum Kepler, selain berputar pada porosnya sendiri, Bumi juga bergerak mengitari Matahari melalui lintasan khayal berbentuk elips. Jika dilihat dari Bumi, maka pergerakan tersebut bersifat semu dan dapat dimanfaatkan oleh manusia untuk perhitungan waktu.

---

<sup>17</sup> Stan Gilibisco, *Astronomy Demystified*, US: McGraw-Hill, 203, hlm. 98.

<sup>18</sup> KR. M. Wardan, *Kitab Ilmu Falak dan Hisab*, Jogjakarta: 1957, hlm. 18.

<sup>19</sup> Slamet Hambali, *Astronomi Islam dan Teori Heliocentris Nicolaus Copernicus*, Jurnal al-Ahkam, Volume 23, No.2, Oktober 2013, hlm. 228.

<sup>20</sup> Copernicus lahir di Thorn, Prussia pada tahun 1473 M. Ia dikenal sebagai pelopor *heliosentris*. Memang anggapan *heliosentris* pernah dicetuskan oleh Phytagoras, akan tetapi tidak dipublikasikan secara umum. Lihat Simon Newcomb, *Popular Astronomy...*, hlm. 51 - 52.

<sup>21</sup> *Ego* berarti saya. Pada zaman primitif atau purbakala, bangsa-bangsa yang telah mempelajari dan memperhatikan benda benda langit menyangka bahwa orang yang melihat ke langit sendirilah yang merupakan pusat dari segalanya. Lihat M. S. L. Toruan, *Ilmu Falak (Kosmografi)*, Semarang: Banteng Timur, 1957, hlm. 6.

<sup>22</sup> *Geo* berarti Bumi. Segala benda langit yang terdapat di angkasa semuanya kita proyeksikan pada bidang lengkung langit. Jadi menurut *observer*, tempat kita berdiri (Bumi) adalah pusat dari segalanya. Anggapan ini diprakarsai oleh Claudius Ptolomeus. Lihat M. S. L. Toruan, *Ilmu Falak...*, hlm. 6.

Gerak Matahari dan Bumi tersebut antara lain:

#### 1. Gerak Matahari

Dalam Astronomi, kita mengenal dua gerak matahari, yaitu:

##### a. Gerak Matahari hakiki

Gerak Matahari hakiki adalah gerak Matahari sebenarnya.

Gerak ini terbagi menjadi dua, yaitu:

##### 1) Rotasi Matahari.

Matahari berputar pada porosnya dengan waktu rotasi yang berbeda beda. Pada bidang ekuator, Matahari membutuhkan waktu rotasi selama 25, 5 hari, sedangkan pada daerah kutubnya, Matahari membutuhkan waktu rotasi selama 27 hari.<sup>23</sup>

##### 2) Gerak Matahari di antara gugusan bintang.

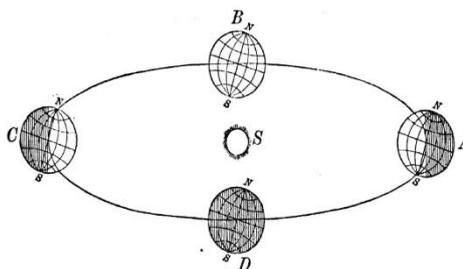
Matahari beserta benda benda langit lainnya bergerak di alam semesta dari satu tempat ke tempat yang lain mengitari pusat galaksi Bimasakti dengan kecepatan sekitar 20 km/ detik atau 72.000 km/ jam atau 600.000 km / tahun. Daerah yang dituju oleh matahari disebut dengan *apeks*, sedangkan daerah yang ditinggalkan oleh Matahari disebut dengan *anti-apeks*.

---

<sup>23</sup> Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak...*, hlm. 212 – 213.

### b. Gerak Semu Matahari

Gerak semu Matahari jika dilihat dari Bumi, maka Matahari seolah-olah bergerak dari timur ke barat mengitari Bumi. Posisi terbit dan terbenam Matahari tidak selalu tetap, melainkan berubah secara gradual dari satu titik ke titik lainnya, hingga kembali lagi ke titik awal. Lintasan Matahari tersebut kemudian membentuk lingkaran besar yang disebut lingkaran ekliptika<sup>24</sup>. Lingkaran ekliptika ini tidak berhimpit dengan ekuator, akan tetapi membentuk sudut sekitar  $23^{\circ} 27'$ .<sup>25</sup>



Gambar 2. 5. Kemiringan ekliptika Bumi sebesar  $23,5^{\circ}$ <sup>26</sup>

Gambar di atas menjelaskan bahwa Bumi bergerak mengitari Matahari di sepanjang ekliptika. Ekliptika dan ekuator langit saling beriklinasi oleh sudut sebesar  $23,5^{\circ}$ . Gambar ini juga menunjukkan bahwa poros Bumi tidaklah

<sup>24</sup> Pada lingkaran ekliptika, terdapat 12 rasi Bintang yang terkenal dalam dunia Astrologi, yaitu Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo, Libra, Scorpio, Sagitarius, Capricornus, Aquarius, Pisces. Lihat makalah Abdur Rachim, *Perhitungan Awal Bulan Menurut Sistem Newcomb*, disampaikan pada penataran tenaga hisab rukyat tingkat nasional 6–10 Juli 1993 di Tugu Bogor, hlm. 1.

<sup>25</sup> Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak dalam Teori dan Praktek*, Yogyakarta: Buana Pustaka, 2004, hlm. 126.

<sup>26</sup> Simon Newcomb, *Practical Astronomy...*, hlm. 63.

tegak lurus pada orbitnya, akan tetapi beriklinasi sebesar  $23,5^\circ$ .

Gerak semu Matahari secara umum terbagi menjadi dua, yaitu:

- 1) Gerak semu harian (*Diurnal*) yang terjadi akibat rotasi Bumi dan membutuhkan waktu sekitar 24 jam. Arah pergerakan dari gerak semu harian ini adalah dari timur ke barat.
- 2) Gerak semu tahunan (*Annual*) yaitu arah gerak semu tahunan Matahari ke arah timur sekitar  $0^\circ 59'$  setiap hari. Periode gerak semu tahunan ini memerlukan waktu sekitar 365, 25 hari dan berakibat pada arah terbit dan terbenam Matahari selalu berubah letaknya sepanjang tahun.<sup>27</sup>

Selain itu, setiap tanggal 21 Maret dan 23 September Matahari terbit tepat di titik timur dan tenggelam tepat di titik barat. Pada tanggal 22 Juni Matahari terbit dan tenggelam sejauh  $23, 5^\circ$  ke arah utara dari titik timur dan barat. Sebaliknya, pada tanggal 22 Desember Matahari berada pada  $23, 5^\circ$  ke arah selatan dari titik timur dan barat. Posisi Matahari ketika berada di dua titik terakhir ini disebut *soltitium* atau pemberhentian Matahari. Hal ini dikarenakan pada saat itu perubahan deklinasi Matahari sangat

---

<sup>27</sup> Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak...*, hlm. 126.

lambat hingga seolah-olah berhenti. Sebaliknya pada titik *equinox* perubahan deklinasi sangat cepat.<sup>28</sup>

## 2. Gerak Bumi

Bumi adalah planet ketiga dari Matahari dan terbesar diantara keempat planet yang masuk dalam kategori planet bagian dalam (*inner planet*). Bumi memiliki diameter sekitar 12.769 km. Radius rata-rata bumi sekitar 6371 km. Massa Bumi sekitar 5515 kg.<sup>29</sup> Besar Bumi adalah 1079,5 milyar meter kubik. Garis tengahnya dari kutub ke kutub adalah 12711 km. Luas permukaannya adalah 511 juta km persegi, dimana 384 juta km persegi adalah lautan.<sup>30</sup> Antara Bumi dan Matahari memiliki jarak sekitar 149.597.871 km, atau disebut dengan *Astronomical Unit* (*AU*), dimana 1 *AU* = 149.597.871 km.<sup>31</sup> Jarak Bumi–Matahari ini tidak selalu sama, melainkan terkadang jauh, terkadang dekat, sesuai dengan posisi Bumi pada ekliptika. Ketika Bumi berada pada titik terdekat dengan Matahari disebut dengan *perihelium*. Sedangkan ketika Bumi berada pada titik terjauh dengan Matahari disebut dengan *aphelium*. Jarak Bumi ketika pada *perihelium* adalah sekitar 147 Juta km. Sedangkan Jarak Bumi ketika pada

---

<sup>28</sup> Abdur Rochim, *Ilmu Falak*, Yogyakarta: Liberty, hlm. 45–46.

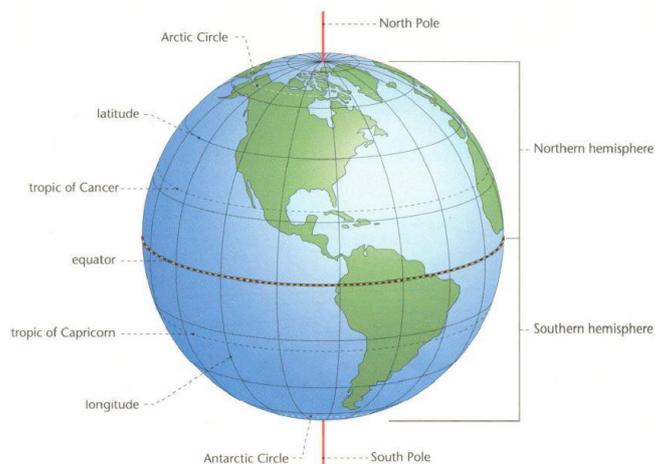
<sup>29</sup> Kenneth R. Lang, *Astronomy...*, hlm. 155.

<sup>30</sup> KR. M. Wardan, *Kitab Ilmu Falak...*, hlm. 21.

<sup>31</sup> <http://neo.jpl.nasa.gov/glossary/au.html>.

*aphelium* sekitar 152 Juta km. Jarak antara keduanya adalah sekitar 5.000.000 km.<sup>32</sup>

Selain itu, permukaan Bumi secara aktual berbentuk *geoid*<sup>33</sup>, bukan *elipsoid* (pipih telur). Hal ini dikarenakan banyak permukaan Bumi yang merupakan gunung gunung dan lembah lembah yang sangat heterogen. Kekurangan dari bentuk *geoid* ini untuk kajian Geodesi ataupun Astronomi sulit untuk didefinisikan dan dikalkulasikan secara matematik. Oleh karena itu dalam Geodesi maupun Astronomi diasumsikan bahwa Bumi berbentuk *elipsoid*.<sup>34</sup>



Gambar 2. 6. Sistem Koordinat Bumi<sup>35</sup>

<sup>32</sup> Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak...*, hlm. 125.

<sup>33</sup> *Geoid* adalah bentuk permukaan yang ideal yang mengacu pada permukaan laut rata rata yang dimodelkan melalui benua, yang mana di setiap titik di permukaannya tegak lurus ke garis *plumb-line* (unting – unting) lokal. Lihat Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 77.

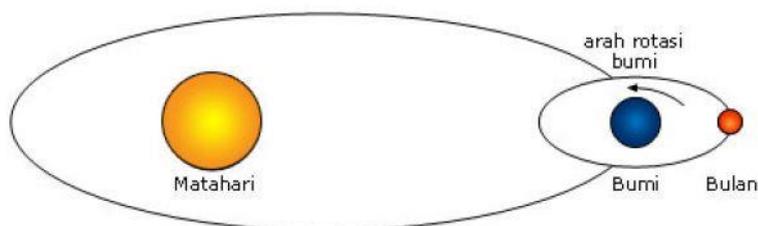
<sup>34</sup> Lihat Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 77.

<sup>35</sup> [www.google.com](http://www.google.com), diakses pada tanggal 04 Mei 2016 pada pukul 17.30 WIB.

Selama pergerakannya, Bumi tidak hanya melakukan satu gerakan, akan tetapi lima gerakan sekaligus. Kelima gerakan itu adalah:

a) Rotasi

Rotasi Bumi adalah gerakan Bumi pada porosnya dari arah barat ke timur. Bumi memerlukan waktu rata-rata sekitar 23 jam 56 menit 4 detik. Waktu rata-rata tersebut terkadang bisa kurang ataupun lebih tergantung pada posisi Bumi saat itu.<sup>36</sup>



Gambar 2. 7. Rotasi Bumi<sup>37</sup>

Akibat dari rotasi Bumi antara lain:<sup>38</sup>

- a. Gerak harian benda langit dari timur ke barat.
- b. Terjadinya pergantian siang dan malam.
- c. Terjadi pempatan Bumi di arah kutubnya.
- d. Efek koriolis pada arah angin.<sup>39</sup>
- e. Perubahan arah arus laut sepanjang ekuator Bumi.

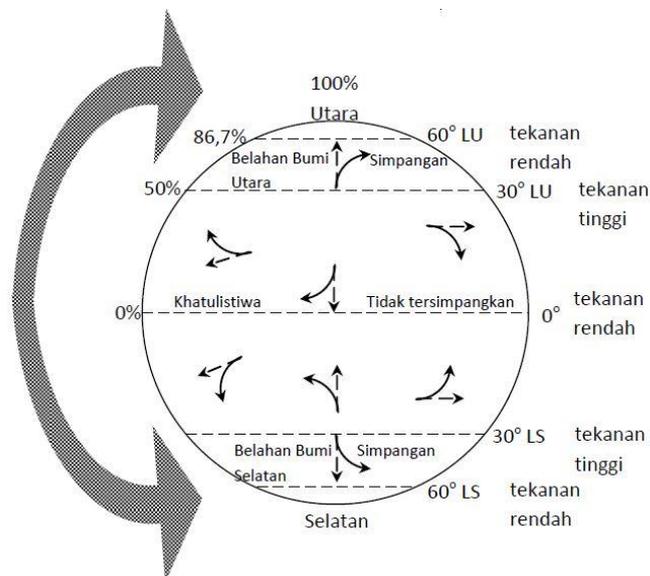
<sup>36</sup> Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak...*, hlm. 197.

<sup>37</sup> Sabar Nurohman, *Astronomi*, hlm. 10. Ppt.

<sup>38</sup> Sabar Nurohman, *Astronomi*, hlm. 11. Ppt. Lihat Juga Agus Fany Chandra Wijaya, *Gerak Bumi dan Bulan*, Digital Learning Lesson Study Jayapura, 2010, hlm. 2.

<sup>39</sup> Efek atau gaya koriolis adalah gaya yang membelokkan arah arus yang berasal dari rotasi Bumi. Pembelokan tersebut akan mengarah ke kanan di belahan Bumi utara dan mengarah ke kiri di belahan bumi selatan. Lihat <http://blogs.unpad.ac.id/rianhermawan/2012/11/13/gaya-coriolis-analisi-kasus/> diakses pada 03 Maret 2016 pukul 07. 05 WIB.

- f. Perbedaan waktu.
- g. Perbedaan percepatan gravitasi di permukaan Bumi.



Gambar 2. 8. Efek Koriolis dari Rotasi Bumi yang Mengakibatkan Pembelokan Arah Angin.<sup>40</sup>

#### b) Revolusi

Revolusi Bumi adalah pergerakan Bumi mengelilingi Matahari. Dalam revolusinya, posisi Bumi miring sekitar  $66,5^\circ$  terhadap bidang ekliptika sehingga bidang ekliptika tidak sejajar dengan Bumi melainkan membentuk sudut sebesar  $23,5^\circ$ .<sup>41</sup>

Periode rata rata revolusi Bumi adalah 365 hari 5 jam 48 menit 45,2 detik yang disebut dengan satu tahun

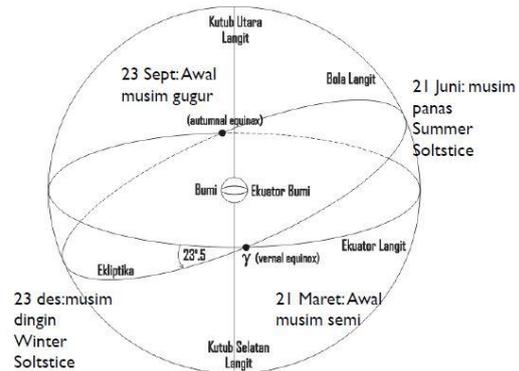
<sup>40</sup> Agus Fany Chandra Waijaya, *Gerak Bumi dan Bulan...*, hlm. 3.

<sup>41</sup> Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak...*, hlm. 203–205.

sideris. Arah dari revolusi bumi adalah dari barat ke timur, berlawanan dengan arah jarum jam.<sup>42</sup>

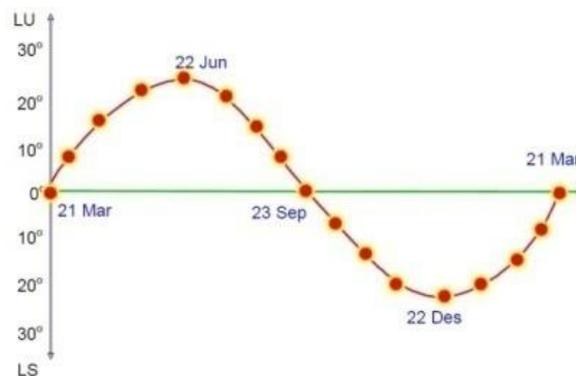
Akibat dari revolusi di antaranya adalah:<sup>43</sup>

a. Pergantian Musim.



Gambar 2. 9. Pergantian Musim Akibat Revolusi<sup>44</sup>

b. Gerak semu tahunan Matahari.



Gambar 2. 10. Gerak Semu Tahunan Matahari<sup>45</sup>

c. Terlihatnya rasi bintang yang berbeda setiap bulan.

d. Terjadinya aberasi cahaya bintang.<sup>46</sup>

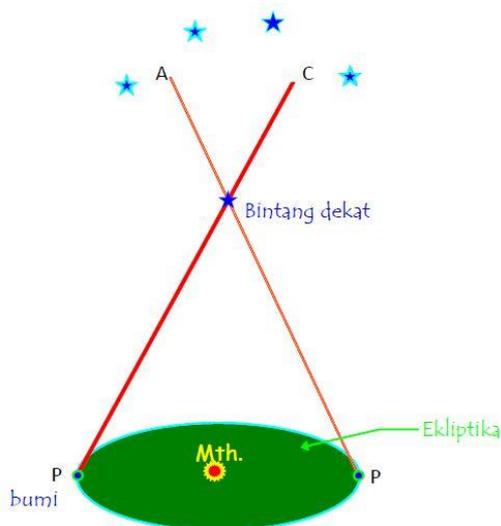
<sup>42</sup> Slamet Hambali, *Pengantar Ilmu Falak...*, hlm. 202 – 203.

<sup>43</sup> Sabar Nurohman, *Astronomi*, hlm. 15. Ppt.

<sup>44</sup> [www.duniaastronomi.com](http://www.duniaastronomi.com)

<sup>45</sup> Agus Fany Chandra Wijaya, *Gerak Bumi dan Bulan...*, hlm. 6.

## e. Terjadinya paralaks Bintang

Gambar 2. 11. Paralaks Bintang<sup>47</sup>

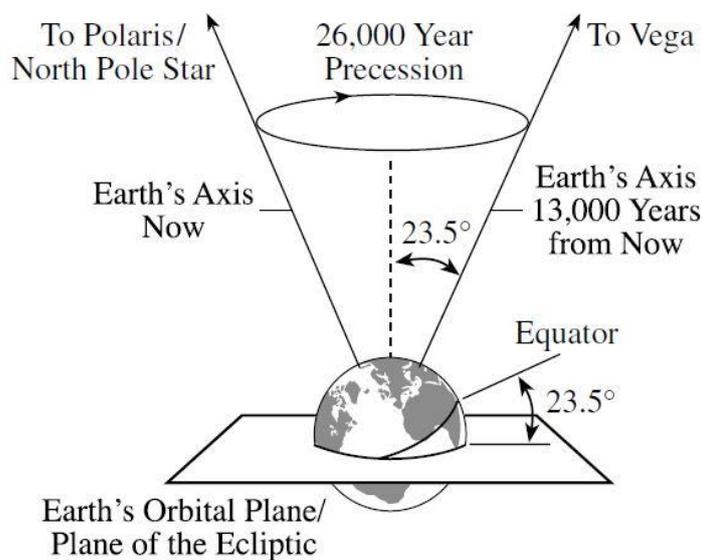
## c) Presisi

Presisi adalah perubahan secara perlahan dari sumbu rotasi Bumi yang disebabkan oleh gaya tarik Matahari dan Bulan pada tonjolan ekuator Bumi.<sup>48</sup> Gerak presisi ini menyebabkan sumbu rotasi Bumi membentuk sebuah kerucut di angkasa dengan sudut yang sama dengan kemiringan ekliptika, yaitu  $23,5^\circ$ . Presisi dikenalkan pertama kali oleh seorang ahli Astronomi dari Yunani yang bernama Hipparchus (190–120 SM).

<sup>46</sup> Aberasi adalah pergeseran optik yang terjadi karena perbandingan antara cahaya dan Bumi. Lihat T. Graham Gribble, *Handy Method of Geodetic Astronomy for Land Surveyors*, London: J. D. Potter, 1921, hlm. 4. Fenomena aberasi ini dikenalkan oleh ahli Astronomi asal Inggris yaitu James Bradley (1693–1762) pada tahun 1728 M. Lihat Joseph A. Angelo J. R., *Encyclopedia of Space and Astronomy*, New York: Facts on File, Inc, 2006, hlm. 2.

<sup>47</sup> Agus Fany Chandra Wijaya, *Gerak Bumi dan Bulan...*, hlm. 5.

<sup>48</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 131.



Gambar 2. 12. Presisi<sup>49</sup>

Arah gerak presisi yaitu dari arah timur ke barat jika dilihat dari kutub utara langit dan akan kembali ke posisi semula dalam jangka waktu sekitar 25.796 tahun.<sup>50</sup>

#### d) Nutasi

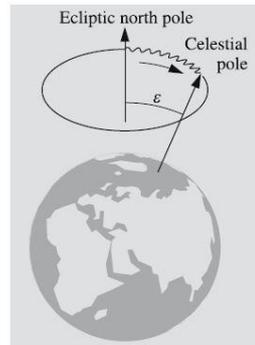
Gerak Nutasi dikenalkan oleh ahli Astronomi asal Inggris, James Bradley (1693–1762). Ia mendefinisikan nutasi sebagai osilasi periodik dari sumbu rotasi Bumi di sekitar posisi rata-ratanya.<sup>51</sup> Gerak nutasi adalah gerak gelombang yang terjadi pada gerak presisi. Hal ini dikarenakan gerak presisi tidaklah lurus, melainkan bergelombang membentuk lingkaran-lingkaran kecil. Untuk membentuk satu lingkaran penuh ( $360^\circ$ ), gerak nutasi

<sup>49</sup> Kenneth R. Lang, *A Companion...*, hlm. 270.

<sup>50</sup> Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak...*, hlm. 130 – 131.

<sup>51</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 131.

memerlukan waktu sekitar 18,66 tahun. Sehingga besar gerak nutasi adalah  $0^{\circ} 03' 10,05''$  / hari.<sup>52</sup>



Gambar 2. 13. Nutasi<sup>53</sup>

e) Apsiden

Gerak apsiden adalah gerak pergeseran pada titik *perihelium* dan *aphelium* dari timur ke barat. Untuk menempuh satu kali putaran, gerak apsiden memerlukan waktu sekitar 21.000 tahun, sehingga besar gerak apsiden adalah  $0,17''$  / hari.<sup>54</sup>

### C. Equation of Time

*Equation of time* adalah selisih antara waktu Matahari rata-rata (*Mean Solar Time*) dan waktu Matahari tampak (*Apparent Mean Time*). *Equation of time* juga bisa berarti selisih antara asensio rekta Matahari tampak dikurangi asensio rekta Matahari rata-rata.<sup>55</sup>

<sup>52</sup> Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak...*, hlm. 130 - 131.

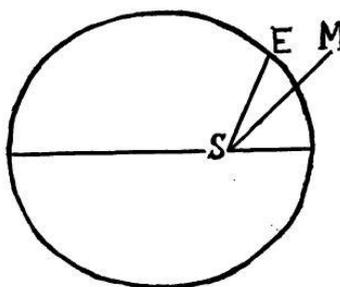
<sup>53</sup> H. Karttunen, *et. All, Fundamental Astronomy*, New York: Springer, 2007, hlm. 22.

<sup>54</sup> Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak...*, hlm. 130 -131.

<sup>55</sup> Caroline J. Furner dan Irma J. Courtess, *Equation of Time*, *NASA Astropyhsics Data System*, hlm. 580.

Dalam perjalan orbitnya, Matahari sejati bergerak secara tidak teratur sepanjang ekliptika, sedangkan Matahari rata-rata bergerak secara teratur sepanjang ekliptika. Hal ini sesuai dengan Hukum Kepler II, yaitu Hukum Area (*The Law of Areas*). Ketidakteraturan pergerakan Matahari tampak ini dipengaruhi oleh dua sebab, yaitu eksentrisitas orbit Bumi<sup>56</sup> dan kemiringan ekliptika.<sup>57</sup>

Sebab yang pertama, yaitu eksentrisitas orbit Bumi diasumsikan melalui pergerakan Matahari yang teratur di sepanjang ekliptika atau bisa disebut dengan waktu Matahari rata-rata dinamis (*dynamic mean Sun*) dan membandingkannya dengan pergerakan Matahari sejati. Perbedaan garis bujur keduanya mengacu pada pergerakan orbit Bumi atau perbedaan antara anomali Matahari sejati dan anomali Matahari rata-rata, atau biasa disebut dengan *equation center*.



Gambar 2. 14. *Equation Center* (Sudut ESM)

<sup>56</sup> Eksentrisitas Bumi mempunyai nilai sekitar 0,0167. Lihat H. Karttunen, *et. All, Fundamental Astronomy...*, hlm. 134. Wardan juga menjelaskan bahwa 100.000 tahun yang lalu, nilai eksentrisitas Bumi adalah sebesar 0,0473 yang berarti corong orbit Bumi makin berkurang dan mendekati bundar. Lihat KR. M. Wardan, *Kitab Ilmu Falak...*, hlm. 35.

<sup>57</sup> Caroline J. Furner dan Irma J. Courtess, *Equation...*, hlm. 580.

Kedua Matahari bergerak bersamaan pada saat *perihelion*<sup>58</sup> dan kembali bersamaan pada saat *aphelion*.<sup>59</sup> Akan tetapi selama perjalanannya, Matahari sejati bergerak lebih cepat ke arah timur daripada Matahari rata rata dan nilai dari asensio rektanya lebih besar, sehingga nilai dari *equation of time* tersebut positif.<sup>60</sup> Hasil terbalik terjadi pada saat Matahari berjalan dari *aphelion* menuju *perihelion*.

Sebab yang kedua adalah kemiringan ekliptika. Jean Meeus mendefinisikan kemiringan ekliptika adalah sudut antara ekuator dan ekliptika.<sup>61</sup> Nilai dari kemiringan ekliptika sendiri menurut Newcomb adalah sebesar  $23^{\circ} 27' 8,26''$ . KR. M. Wardan dalam bukunya yang berjudul *Kitab Ilmu Falak dan Hisab* menjelaskan bahwa pada 1100 tahun SM, ahli bintang Tionghoa mengukur kemiringan ekliptika dan mendapatkan nilai sebesar  $22^{\circ} 54'$ . Kemudian pada tahun 350 SM, diukur kembali oleh Piceas di Marseille dan mendapatkan hasil sebesar  $23^{\circ} 49'$ . Kemudian pada tahun 1800 M nilai kemiringan ekliptika adalah sebesar  $23^{\circ} 27' 55''$  dan pada tahun 1900 M nilai kemiringan ekliptika adalah sebesar  $23^{\circ} 27' 9'$ . Dengan demikian berarti bahwa perubahan nilai tersebut kurang dari setengah detik setiap tahunnya.<sup>62</sup>

---

<sup>58</sup> Caroline J. Furner dan Irma J. Courtess, *Equation...*, hlm. 580.

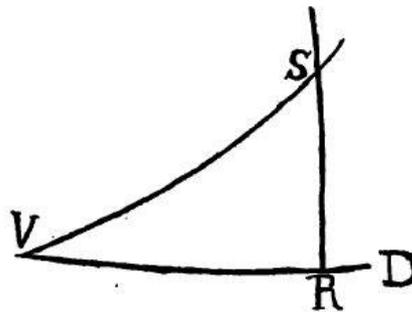
<sup>59</sup> Caroline J. Furner dan Irma J. Courtess, *Equation...*, hlm. 580.

<sup>60</sup> Caroline J. Furner dan Irma J. Courtess, *Equation...*, hlm. 580.

<sup>61</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 135. Ekliptika sendiri berarti proyeksi orbit Bumi mengitari Matahari pada lingkaran bola langit. Kemiringan ekliptika ini bernilai  $23,5^{\circ}$ . Lihat lebih lanjut pada Kenneth R. Lang, *A Companion...*, hlm. 156 dan 255.

<sup>62</sup> KR. M. Wardan, *Kitab Ilmu Falak...*, hlm. 35.

Untuk menentukan efek dari pengaruh kemiringan ekliptika, maka diilustrasikan dengan membandingkan pergerakan ke arah timur dari Matahari rata-rata dinamis (*dynamic mean time*) yang bergerak secara teratur sepanjang ekliptika dengan pergerakan Matahari sejati yang tidak teratur sepanjang ekliptika. Perhatikan gambar berikut.



Gambar 2. 15. Ilustrasi *Vernal Equinox*<sup>63</sup>

$V$  adalah *Vernal equinox*<sup>64</sup>,  $S$  adalah Matahari rata-rata dinamis, dan  $D$  adalah Matahari sejati.  $VS$  dan  $VD$  bernilai sama (sejajar).  $SR$  adalah lingkaran waktu dari  $S$  yang mana terproyeksi pada ekuator,  $VS$  adalah garis bujur,  $VR$  adalah asensio rekta, dan  $DR$  adalah *equation of time* yang merupakan hasil dari ilustrasi ini. Jika kita melihat gambar di atas, maka terlihat bahwa dari *equinox* ke arah titik balik matahari,  $VD$  lebih besar daripada  $VR$ , dan *equation of time* bernilai negatif. Begitupun jika sebaliknya dari titik balik matahari ke arah *equinox*, maka hasilnya adalah kebalikannya.

<sup>63</sup> Caroline J. Furner dan Irma J. Courtess, *Equation...*, hlm. 581.

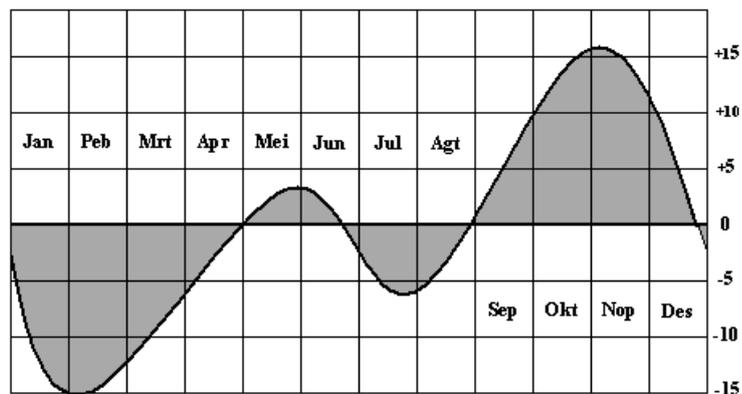
<sup>64</sup> *Vernal equinox* atau titik pertama aries adalah titik dimana Matahari melintasi ekuator langit ke arah utara pada musim semi pada tanggal 21 Maret. Lihat Kenneth R. Lang, *A Companion...*, hlm. 338.

Jean Meeus menjelaskan bahwa nilai *equation of time* berubah dari abad ke abad yang disebabkan oleh kemiringan ekliptika, eksentrisitas orbit Bumi, dan bujur *perihelion* orbit. Sebagaimana *equation of time* dengan interval waktu 1600–2100 M dalam bentuk tabel berikut.

Tahun	Minimum Februari	Maksimum Mei	Minimum Juli	Maksimum November
	m s	m s	m s	m s
1600	-15 01	+4 19	-5 40	+ 16 03
1700	-14 50	+4 09	-5 53	+16 09
1800	-14 38	+3 59	-6 05	+16 15
1900	-14 27	+3 50	-6 18	+ 16 20
2000	-14 15	+3 41	-6 31	+ 16 25
2100	-14 03	+3 32	-6 44	+ 16 30
1246	-15 39	+4 58	-4 58	+15 39

Tabel 2. 1. *Equation of Time* Hasil Penelitian Jean Meeus.<sup>65</sup>

Muhyiddin Khazin juga mengilustrasikan rata rata *equation of time* dalam bentuk grafik berikut.



Gambar 2. 16. Grafik *Equation of Time* Versi Muhyiddin Khazin<sup>66</sup>

<sup>65</sup> Jean Meeus, *Astronomical Algorithm.....*, hlm. 175.

Dari grafik di atas juga dapat kita ketahui bahwa *equation of time* mempunyai nilai 0 empat kali dalam setahun, yaitu pada 16 April, 14 Juni, 2 September, dan 25 Desember.<sup>67</sup>

#### D. Almanak Nautika

Almanak Nautika adalah sejenis buku yang memuat daftar posisi Matahari, Bulan, Planet, dan Bintang-Bintang penting pada saat-saat tertentu setiap siang dan malam pada suatu hari sepanjang tahun, dengan maksud untuk mempermudah menentukan posisi posisi kapal.<sup>68</sup> Almanak Nautika menggunakan rumus rumus segi tiga bola dan memperhatikan koreksi-koreksi pergerakan benda langit dengan teliti. Almanak Nautika dapat menentukan kapan terjadinya kulminasi atas benda-benda langit bagi setiap meridian Bumi, deklinasi dan asensio rekta benda-benda langit dan *equation of time*. Data-data pada Almanak Nautika bersumber dari hasil kerjasama antara *Her Majesty's Nautical Almanac Office, Royal Naval Observatory*, dan *United State Naval Observatory*, yang mana keduanya merupakan lembaga-lembaga bertaraf Internasional yang sangat ahli dalam bidang Astronomi.<sup>69</sup>

*Her Majesty's Nautical Almanac Office, Royal Naval Observatory* menerbitkan Almanak Nautika setiap tahunnya di Cambridge, Inggris. Penerbitan pertama kali di London pada tahun 1766 untuk data tahun

---

<sup>66</sup> Muhyiddin Khazin, *Ilmu Falak...*, hlm.32.

<sup>67</sup> Günter D. Roth (ed), *Handbook of Practical Astronomy*, New York: Springer, 2009, hlm. 13.

<sup>68</sup> P. Simamora, *Ilmu Falak (Kosmografi) "Teori, Perhitungan, Keterangan, dan Lukisan"*, cet XXX Jakarta: C.V Pedjuang Bangsa, 1985, hlm. 66.

<sup>69</sup> Badan Hisab Rukyah Depag RI, *Almanak Hisab Rukyat*, Jakarta: Proyek Pembinaan Badan Peradilan Agama Islam, 1981, hlm. 107.

1767, dengan lokasi observasi di Greenwich, London. Sementara *United State Naval Observatory* menerbitkan Almanak Nautika setiap tahunnya di Amerika Serikat untuk angkatan laut sejak tahun 1852.<sup>70</sup> Pada tahun 1958, *United State Naval Observatory* bersama dengan *Her Majesty's Nautical Almanac Office, Royal Naval Observatory* menerbitkan Almanak Nautika terpadu untuk digunakan oleh Angkatan Laut kedua Negara. Almanak Nautika juga dipakai di beberapa negara untuk kepentingan pelayaran, dan telah diterjemahkan ke dalam bahasa-bahasa Brazilia, Danish, Greek, India, Italia, Korea, Meksiko, Norwegia, Peru, dan Swedia.<sup>71</sup>

Di Indonesia, Almanak Nautika diterbitkan ulang sesuai dengan naskah aslinya oleh Markas Besar TNI Angkatan Laut dinas Hidro Oseonografi. Meskipun Almanak Nautika pada awalnya hanya diperuntukkan bagi kalangan Angkatan Laut, akan tetapi Sa'doeddin Djambek<sup>72</sup> melalui karyanya yang berjudul *Hisab Awal Bulan Qomariyyah* berhasil mengembangkan Almanak Nautika untuk kepentingan Ilmu Falak. Pemikiran Sa'doeddin ini berdasarkan pada data data Almanak Nautika yang mengandung pergerakan dan posisi benda langit yang tentunya menjadi instrumen dalam kajian ilmu falak. Selain itu

---

<sup>70</sup> [http://aa.usno.navy.mil/publications/docs/na\\_history.php](http://aa.usno.navy.mil/publications/docs/na_history.php)

<sup>71</sup> Badan Hisab Rukyah RI, *Almanak Hisab Rukyah...*, hlm. 107.

<sup>72</sup> Sa'doeddin atau biasa disebut dengan Datuk Sampono Radjo lahir pada 24 Maret 1911 M di Bukit Tinggi, Sumatera Barat. Sa'doeddin dikenal dalam keilmuan Falak di Indonesia atas sumbangsinya dalam memperkenalkan teori *Spherical Trigonometry* (Segitiga Bola) dan menjadi dasar baginya dalam menyusun teori hisab arah kiblat, awal waktu salat, dan awal bulan kamariah. Lihat Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak...*, hlm. 47. Lihat juga Susiknan Azhari, *Pembaharuan Pemikiran Hisab di Indonesia (Studi atas pemikiran Sa'doeddin Djambek)*, Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2002, hlm. 50.

Sa' doeddin juga mengkombinasikan data data tersebut dengan perhitungan *sperichal trigonometry* hingga tidak diragukan lagi tingkat akurasinya.<sup>73</sup>

Day	Sun		Mer. Pass
	Eqn.of Time 00 <sup>h</sup>	12 <sup>h</sup>	
13	09:29	09:21	12:09
14	09:13	09:05	12:09
15	08:56	08:48	12:08

Gambar 2. 18. *Equation of Time* dalam Almanak Nautika.<sup>74</sup>

<sup>73</sup> Badan Hisab Rukyah RI, *Almanak Hisab Rukyah...*, hlm. 107.

<sup>74</sup> Enno Rodegerdts, *The Nautical Almanac 2016*, TheNauticalAlmanac.com, hlm. 53.