BAB III

ALGORITMA *EQUATION OF TIME*

VERSI JEAN MEEUS DAN NEWCOMB

A. ALGORITMA *EQUATION OF TIME* VERSI JEAN MEEUS

1. Biografi Jean Meeus

Jean Meeus lahir pada tanggal 12 Desember 1928 M. Ia adalah seorang ahli Astronomi asal Belgia yang memfokuskan diri dalam mempelajari Mekanika langit, Matematika, dan Astronomi Bola. Jean Meeus mempelajari Matematika di University of Leuven, Belgia dan mendapatkan gelar sarjana pada tahun 1953. Pada tahun 1986, Jean Meeus memenangkan *Amateur Achivement Award* dari Astronomical Society of Pasific[1]. Jean Meeus juga merupakan Anggota Astronomical Society of France (ASF) sejak tahun 1948. Jean Meeus telah menerbitkan lebih dari 100 artikel dari ASF. Jean Meeus juga menjadi editor dalam Almanak perusahaannya selama 25 tahun. Salah satu temuan dari Jean Meeus adalah Asteroid 2213 Meeus. Hingga akhir hayatnya, Jean Meeus mengabdikan dirinya menjadi seorang meteorologist di Airport, Brussel. [2]

---

[1] *Amateur Achievement Award* adalah suatu penghargaan tahunan yang diberikan sejak 1976 M sebagai bentuk penghargaan terhadap para Astronom atau para Astronom amatir yang tidak bekerja di dunia Astronomi secara professional atas kontribusinya yang signifikan. Lihat https://www.astrosociety.org/about-us/awards/amateur-achievement-award-of-astronomical-, diakses pada tanggal 29 April 2016 pukul 16.59 WIB.

[2] Jean Meeus, *Mathematical Astronomy Morsels*, Virginia: Willman-Bell, Inc., 1997, hlm. iii.

2. Hasil Karya Jean Meeus

Karya-karya dari Jean Meeus antara lain:

a. Canon of Solar Eclipses (1966)
b. Astronomical Formulae for Calculators (1979)
c. Astronomical Tables of the Sun, Moon, and Planets (1983)
d. Transits (1989)
e. Elements of Solar Eclipses (1951 – 2200) (1989)
f. Astronomical Algorithms (1991)
g. Mathematical Astronomy Morsels (1997)
h. More Mathematical Astronomy Morsels (2002)
i. Mathematical Astronomy Morsels III (2004)
j. Mathematical Astronomy Morsels IV (2007)
k. Mathematical Astronomy Morsels V (2009)

3. Algoritma *Equation of Time* versi Jean Meeus

Algoritma *equation of time* versi Jean Meeus mengacu pada data-data pergerakan Matahari ditambah dengan koreksi-koreksi. Koreksi-koreksi yang digunakan dalam algoritma *equation of time* versi Jean Meeus adalah reduksi dari koreksi-koreksi yang ada pada teori VSOP87. Untuk dapat menghitung algoritma *equation of time* versi Jean Meeus, maka terlebih dahulu harus memperhatikan data-data yang akan digunakan dalam algoritma tersebut. Data-data tersebut dapat ditemukan dalam buku *Astronomical Algorithm* karya Jean Meeus sendiri.

Data-data yang diperlukan adalah:

a. Menghitung *Julian Day* (JD)[3], Selisih antara *Universal Time* dan *Dynamical Time* (ΔT), *Julian Day Ephemeris* (JDE)[4], *Julian Centuries* (T), dan *Julian Millenia* (τ).

- Menghitung *Julian Day*

Untuk menghitung *Julian Day* bisa dilakukan dengan menggunakan rumus:[5]

$$JD = INT (365,25 (Y + 4716)) + INT (30,6001 (M+1)) + D + B - 1524,5$$

Y adalah Tahun (*Year*), M adalah Bulan (*Month*) secara numerik (1 untuk Januari, 2 untuk Februari, dan seterusnya), dan D adalah Tanggal (*Date*). Jika M > 2, maka nilai Y dan M tidak berubah, sedangkan jika nilai M = 1 atau 2, maka nilai Y berubah menjadi Y – 1, dan nilai M berubah menjadi M + 12.[6]

Untuk menentukan nilai B dapat menggunakan rumus:[7]

$$B = 2 - A + INT (A/4)$$

---

[3] Julian Day adalah banyaknya hari yang telah dilalui sejak hari Senin tanggal 1 Januari tahun 4713 SM pada pertengahan hari atau pukul 12.00 Universal Time atau GMT. Tahun 4713SM ini sama dengan -4712. Lihat Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*, Yogyakarta: Jurusan Fisika MIPA Universitas Gajah Mada, 2012, hlm. 8.

[4] Julian Day Ephemeris (JDE) adalah waktu JD yang berkaitan dengan waktu yang dihitung menurut Dynamical Time atau atau Ephemeris Time. Lihat Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 8.

[5] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm*, Virginia: William. Inc, 1991, hlm. 61.

[6] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm* ..., hlm. 61.

[7] Rumus tersebut dihitung jika menggunakan kalender Gregorian. Jika menggunakan kalender Julian, maka nilai B = 0. Lihat Jean Meeus, *Astronomical Algorithm* ..., hlm. 61.

Untuk nilai A bisa diperoleh dengan rumus A = INT (Y/100).

- Menghitung ΔT

Untuk menghitung ΔT secara akurat, dapat menggunakan rumus logika *polynominal expression for ΔT* yang dikenalkan oleh Jean Meeus dan Fred Espenak.[8] Interval waktu pada perhitungan *polynominal* ini adalah dari tahun -1999 s/d 3000 atau sekitar lima milenium. Bentuk logika *polynominal* adalah:[9]

– Jika tahun < -500, maka:
 $\Delta T = -20 + 32 \times U^2$
 Di mana U = (Y – 1820) / 100

– Jika tahun di antara -500 s/d +500, maka:
 $\Delta T = 10583{,}6 - 1014{,}41 \times U + 33{,}78311 \times U^2 - 5{,}952053 \times U^3 - 0{,}1798452 \times U^4 + 0{,}022174192 \times U^5 + 0{,}0090316521 \times U^6$
 Di mana U = Y / 100

– Jika tahun di antara +500 s/d +1600, maka:
 $\Delta T = 1574{,}2 - 556{,}01 \times U + 71{,}23472 \times U^2 + 0{,}319781 \times U^3 - 0{,}8503463 \times U^4 - 0{,}005050998 \times U^5 + 0{,}0083572073 \times U^6$
 Di mana U = (Y – 1000) / 100

– Jika tahun di antara +1600 s/d +1700, maka:
 $\Delta T = 120 - 0{,}9808 \times t - 0{,}01532 \times t^2 + t^3 / 7219$
 Di mana t = Y – 1600

[8] Fred Espenak adalah seorang ahli Astrofisika di NASA Goddard Space Flight Center yang terletak di Greenbelt, Maryland. Karir Espenak di Nasa lebih dari 30 tahun. Penelitian utamanya melibatkan spektroskopi inframerah dari atmosfer, meskipun ia lebih dikenal sebagai pakar gerhana (Mr. Eclipse). Kecintaannya pada gerhana berawal ketika ia menyaksikan Gerhana Total pada tahun 1970. Sejak saat itu, ia telah berpartisipasi dalam 34 ekspedisi Gerhana di seluruh dunia, bahkan di Antartika. Lebih lanjut lihat http://melitatrips.com/lecturers/fred_espenak.html, diakses pada tanggal 29 April 2016 pukul 17.32 WIB.

[9] http://eclipse.gsfc.nasa.gov/SEcat5/deltatpoly.html, diakses pada tanggal 29 April 2016 pukul 17.14 WIB.

– Jika tahun di antara +1700 s/d +1800, maka:
$\Delta T = 8{,}83 + 0{,}1603 \times t - 0{,}0059285 \times t^2 + 0{,}00013336 \times t^3 - t^4 / 1174000$.
Di mana t = Y – 1700

– Jika tahun di antara +1800 s/d +1860, maka:
$\Delta T = 13{,}72 - 0{,}332447 \times t + 0{,}0068612 \times t^2 + 0{,}0041116 \times t^3 - 0{,}00037436 \times t^4 + 0{,}0000121272 \times t^5 - 0{,}0000001699 \times t^6 + 0{,}000000000875 \times t^7$
Di mana t = Y – 1800

– Jika tahun di antara 1860 s/d 1900, maka:
$\Delta T = 7{,}62 + 0{,}5737 \times t - 0{,}251754 \times t^2 + 0{,}01680668 \times t^3 - 0{,}0004473624 \times t^4 + t^5 / 233174$
Di mana t = Y – 1860

– Jika tahun di antara 1900 s/d 1920, maka:
$\Delta T = -2{,}79 + 1{,}494119 \times t - 0{,}0598939 \times t^2 + 0{,}0061966 \times t^3 - 0{,}000197 \times t^4$
Di mana t = Y – 1900

– Jika tahun di antara 1920 s/d 1941, maka:
$\Delta T = 21{,}20 + 0{,}84493 \times t - 0{,}076100 \times t^2 + 0{,}0020936 \times t^3$
Di mana t = Y – 1920

– Jika tahun di antara 1941 s/d 1961, maka:
$\Delta T = 29{,}07 + 0{,}407 \times t - t^2 / 233 + t^3 / 2574$
Di mana t = Y – 1950

– Jika tahun di antara 1961 s/d 1986, maka:
$\Delta T = 45{,}45 + 1{,}067 \times t - t^2 / 260 - t^3 / 718$
Di mana t = Y – 1975

– Jika tahun di antara 1986 s/d 2005, maka:
$\Delta T = 63{,}86 + 0{,}3345 \times t - 0{,}060374 \times t^2 + 0{,}0017275 \times t^3 + 0{,}000651814 \times t^4 + 0{,}00002373599 \times t^5$
Di mana t = Y – 2000

– Jika tahun di antara 2005 s/d 2050, maka:
$\Delta T = 62{,}92 + 0{,}32217 \times t + 0{,}005589 \times t^2$
Di mana t = Y – 2000

– Jika tahun di antara 2050 s/d 2150, maka:
$\Delta T = -20 + 32 \times ((Y - 1820) / 100)^2 - 0{,}5628 \times (2150 - Y)$

– Jika tahun ≥ 2150, maka:
$\Delta T = -20 + 32 \times U^2$
Di mana U = (Y – 1280) / 100

- Menghitung *Julian Day Ephemeris* (JDE), *Julian Centuries* (T) dan *Julian Milenia* (τ)

Rumus yang digunakan untuk menghitung JDE, T dan τ adalah:[10]

$$JDE = JD + \Delta T$$

$$T = JD - 2451545{,}0 / 36525.$$

$$\tau = (JDE - 2451545{,}0) / 365250.$$

b. Koreksi Posisi Matahari

Penentuan posisi Matahari versi Jean Meeus merupakan bentuk reduksi dari teori VSOP87[11] yang lengkap.[12] Dari ribuan suku koreksi yang terdapat pada teori VSOP87 yang digunakan oleh Jean Meeus adalah sekitar ratusan suku-suku yang besar dan penting. Adapun suku-suku lainnya yang kecil

---

[10] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 83. Lihat juga Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit...*, hlm. 64.

[11] VSOP87 (*Variations Seculaires des Orbites Planetaires*) adalah teori dan solusi modern yang diterapkan untuk menghitung posisi Matahari dan Planet–Planet secara akurat dan efisien. Teori ini dikenalkan oleh Pierre Bretagnon dan Gerard Francou dari Bureau des Longitudes. VSOP87 ini merupakan algoritma yang paling akurat dan tersedia saat ini untuk menentukan posisi–posisi Planet tanpa menggunakan interpolasi. Lihat http://www.caglow.com/info/compute/vsop87, diakses pada tanggal 13 Maret 2016 pukul 09. 08 WIB.

[12] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit...*, hlm. 68.

tidak dihitung.[13] Koreksi-koreksi yang digunakan pada penentuan ini antara lain:

- Koreksi Bujur Ekliptika Bumi (L)

  Bujur ekliptika Bumi mempunyai sekitar 129 suku koreksi yang terbagi menjadi 6 bagian, yaitu L0 (64 suku), L1 (34 suku), L2 (20 suku), L3 (7 suku), L4 (3 suku), dan L5 (1 suku).[14] Setiap suku memiliki rumus:[15]

  $$A \times \cos (B + C \times \tau)$$

  Variabel A, B dan C adalah dalam satuan radian (1 radian = 57,2957795 derajat). Rinto Anugraha dalam bukunya *Mekanika Benda Langit* menjelaskan bahwa untuk L0, suku dengan A terbesar adalah 175347046, dimana nilai B dan C berturut–turut adalah 0 dan 0. Jadi suku terbesar ini bentuknya adalah 175347046 x cos (0 + 0 x τ) = 17534706. Selanjutnya, suku dengan A terbesar kedua adalah 3341656, dimana B = 4,6692568 dan C = 6283,07585 sehingga suku ini berbentuk 3341656 x cos (4,6692568 + 6283,07585 x τ). Perhitungan suku ini terus berlanjut, hingga untuk L0, suku ke 64 berbentuk 25 x cos (3,16 + 4690,48 x τ). Akhirnya, 64 suku dalam L0 tersebut dijumlahkan yang hasilnya adalah Total L0. Begitu pula untuk L1 yang

---

[13] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 68.
[14] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 69.
[15] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 206.

berisi 34 suku, suku dengan A terbesar mempunyai nilai sebesar 628331966747, berikutnya 206059 x cos (2,678235 + 6283,07585 x τ) dan seterusnya, hingga suku ke 34 berbentuk 6 x cos (4,67 + 4690,48 x τ). Akhirnya 34 suku dalam L1 dijumlahkan, hasilnya adalah Total L1. Demikian seterusnya untuk L2, L3, L4 dan L5 yang pada akhirnya menghasilkan Total L2, Total L3, Total L4 dan Total L5.[16]

Jika semuanya telah dijumlahkan, maka kita dapat menentukan koreksi bujur ekliptika dengan rumus:[17]

$$L = (\text{Total L0} + \text{Total L1} \cdot tau + \text{Total L2} \cdot tau^2 + \text{Total L3} \cdot tau^3 + \text{Total L4} \cdot tau^4 + \text{Total L5} \cdot tau^5) : 100000000.$$

Dalam rumus di atas terdapat angka pembagi yaitu 100000000 yang berasal dari seluruh nilai A bersatuan 0,00000001 radian. Hanya saja menurut Rinto Anugraha, untuk mempermudah penulisan, semua nilai A dikalikan dengan 100 juta, baru kemudian dibagi dengan 100 juta. Nilai L yang masih dalam radian tersebut lalu dikonversi menjadi derajat.[18] Setelah memperoleh nilai L, maka didapatkanlah rumus

---

[16] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 70.
[17] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 70.
[18] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 70.

perhitungan bujur ekliptika matahari diukur dari pusat bumi (θ) yaitu:[19]

$$\theta = L + 180°.$$

Nilai θ dalam rumus di atas masih harus dikoreksi oleh $\Delta\theta$. Koreksi $\Delta\theta$ ini terjadi akibat perbedaan kecil antara koordinat FK5 dan ekliptika geosentrik yang memberikan hasil θ terkoreksi. Selanjutnya, θ terkoreksi masih harus ditambahkan dengan koreksi nutasi dan koreksi aberasi. Dengan menjumlahkan θ terkoreksi dengan dua koreksi tersebut, maka diperoleh bujur ekliptika nampak Matahari dilihat dari pusat bumi (*Apparent geocentric longitude* atau λ).[20]

- Koreksi Lintang ekliptika

  Dalam koreksi lintang ekliptika, terdapat 7 buah suku yang dikelompokkan ke dalam B0 (5 suku) dan B1 (2 suku).[21] Setiap suku juga memiliki bentuk rumus:[22]

$$A \text{ x } \cos (B + C \text{ x } \tau).$$

  Variabel A, B dan C adalah dalam bentuk radian. Untuk B0, kelima suku tersebut dijumlahkan dan

[19] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 70.
[20] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 71.
[21] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 388.
[22] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 206.

menghasilkan Total B0 yang dirumuskan sebagai berikut:[23]

Total B0 = 280 x cos (3,199 + 84334,662 x τ) + 102 x cos (5,422 + 5507,553 x τ) + 80 x cos (3,88 + 5223,69 x τ) + 44 x cos (3,7 + 2352,87 x τ) + 32 x cos (4 + 1577,34 x τ).

Untuk Total B1 rumusnya adalah:[24]

Total B1 = 9 x cos (3,9 + 5507,55 x τ) + 6 x cos (1,73 + 5223,69 x τ).

Akhirnya, koreksi lintang ekliptika B dapat dihitung dengan cara:[25]

Lintang ekliptika B = (Total B0 + Total B1 x τ) / 100000000.

Dari nilai B tersebut yang merupakan lintang ekliptika bumi dilihat dari matahari, maka secara geosentris lintang ekliptika adalah β = –B. Nilai β ini harus dikoreksi lagi dengan $\Delta\beta$, sehingga mendapatkan hasil β terkoreksi = β + $\Delta\beta$.[26]

- Koreksi jarak Bumi – Matahari

Untuk koreksi jarak Bumi–Matahari dalam algoritma Meeus, terdapat sekitar 59 suku koreksi yang

[23] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 71.
[24] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 71.
[25] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 71.
[26] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 71.

dikelompokkan ke dalam R0 (40 suku), R1 (10 suku), R2 (6 suku), R3 (2 suku) dan R4 (1 suku).[27] Seluruh suku juga memiliki rumus:[28]

$$A \text{ x } \cos (B + C \text{ x } \tau).$$

Setelah itu, rumus jarak pusat Bumi–pusat Matahari adalah:[29]

$$\text{Jarak pusat Bumi–pusat Matahari} = (\text{Total R0} + \text{Total R1 x } + \text{Total R2} \,.\, tau^2 + \text{Total R3} \,.\, tau^3 + \text{Total R4} \,.\, tau^4)\ /100000000.$$

Jarak Bumi–Matahari ini dinyatakan dalam satuan AU (astronomical unit). 1 AU = 149598000 km, yang merupakan jarak rata-rata Bumi–Matahari. Jika bujur dan lintang ekliptika Matahari sudah dihitung, maka selanjutnya asensio rekta Matahari dan deklinasi Matahari dalam koordinat ekuator geosentrik juga dapat dihitung.[30]

c. Bujur rata–rata Matahari (L_o)

Berdasarkan algoritma VSOP87, nilai bujur rata–rata Matahari bisa didapatkan dengan rumus:[31]

$$Lo = 280.466\,4567 + 360\,007.698\,2779\ \tau + 0.030\,320\,28\ \tau^2 + \tau^3/49931 - \tau^4/15299 - \tau^5/1988\,000$$

---

[27] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 388 – 389.
[28] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 206.
[29] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm.72.
[30] Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 72.
[31] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 171.

Hasil Lo harus direduksi menjadi kurang dari 360° dengan cara menambah atau mengurangi dengan kelipatan 360°. Selain dengan cara di atas, Jean Meeus juga memperkenalkan rumus untuk menghitung bujur rata-rata Matahari secara *low accuracy*[32], yaitu dengan rumus:[33]

$$Lo = 280{,}46645° + 36000{,}76983° \times T + 0{,}0003032° \times T^2$$

d. Nutasi dalam Bujur ($\Delta\psi$)

Untuk menghitung nutasi dalam bujur ($\Delta\psi$), maka terlebih dahulu menghitung nilai T dan juga *multiple arguments* berikut ini:[34]

- Elongasi rata-rata Bulan dari Matahari dengan rumus:

  $$D = 297{,}85036 + 445267{,}111480\ T - 0{,}0019142\ T^2 + T^3 / 189474.$$

- Anomali rata-rata Matahari dengan rumus:

  $$M = 357{,}\ 52772 + 35999{,}050340\ T - 0{,}0001603\ T^2 - T^3 / 300000\ .$$

- Anomali rata-rata Bulan dengan rumus:

  $$M' = 134{,}96298 + 477198{,}867398\ T + 0{,}0086972\ T^2 + T^3 / 56250.$$

---

[32] Menurut Rinto Anugraha, kategori *low accuracy* yang dikatakan oleh Jean Meeus bisa dinilai cukup akurat untuk keperluan praktis. Lihat Rinto Anugraha, *Mekanika Benda Langit*..., hlm. 69.

[33] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm*..., hlm. 151.

[34] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm*..., hlm. 132.

- Argumen lintang Bulan dengan rumus:

  $F = 93{,}27191 + 483202{,}017538\ T – 0{,}0036825\ T^2 + T^3 / 327270.$

- *Ascending node* orbit rata–rata bulan pada ekliptika, diukur dari rata-rata ekuinoks pada tanggal tertentu dengan rumus:

  $\Omega = 125{,}04452 – 1934{,}136261\ T + 0{,}0020708\ T^2 + T^3 / 450000.$

Selanjutnya menghitung koreksi $\Delta\psi$ pada tabel berikut dengan menggunakan rumus:[35]

(Koefisien 1 + Koefisien 2 x T) x Sin (*multiple arguments*)

D	M	M'	F	Ω	koefisien 1	koefisien 2
0	0	0	0	1	-171996	-174,2 T
-2	0	0	2	2	-13187	-1,6 T
0	0	0	2	2	-2274	-0,2 T
0	0	0	0	2	2062	0,2 T
0	1	0	0	0	1426	-3,4 T
0	0	1	0	0	712	0,1 T
-2	1	0	2	2	-517	1,2 T
0	0	0	2	1	-386	-0,4 T
0	0	1	2	2	-301	
-2	-1	0	2	2	217	-0,5
-2	0	1	0	0	-158	
-2	0	0	2	1	129	0,1
0	0	-1	2	2	123	
2	0	0	0	0	63	
0	0	1	0	1	63	0,1
2	0	-1	2	2	-59	
0	0	-1	0	1	-58	-0,1
0	0	1	2	1	-51	
-2	0	2	0	0	48	
0	0	-2	2	1	46	
2	0	0	2	2	-38	

[35] M. Yakub Mubarok, *Pemrograman Data Ephemeris Matahari dan Bulan Berdasarkan Perhitungan Jean Meeus Menggunakan Bahasa Program PHP (Personal Homepage Hypertext PreProcessor) dan MySQL (My Structure Query language)*, Semarang: Program Studi Ilmu Falak, 2013, hlm. 81.

0	0	2	2	2	-31	
0	0	2	0	0	29	
-2	0	1	2	2	29	
0	0	0	2	0	26	
-2	0	0	2	0	-22	
0	0	-1	2	1	21	
0	2	0	0	0	17	-0,1 T
2	0	-1	0	1	16	0
-2	2	0	2	2	-16	0,1 T
0	1	0	0	1	-15	0
-2	0	1	0	1	-13	0
0	-1	0	0	1	-12	0
0	0	2	-2	0	11	0
2	0	-1	2	1	-10	0
2	0	1	2	2	-8	0
0	1	0	2	2	7	0
-2	1	1	0	0	-7	0
0	-1	0	2	2	-7	0
2	0	0	2	1	-7	0
2	0	1	0	0	6	0
-2	0	2	2	2	6	0
-2	0	1	2	1	6	0
2	0	-2	0	1	-6	0
2	0	0	0	1	-6	0
0	-1	1	0	0	5	0
-2	-1	0	2	1	-5	0
-2	0	0	0	1	-5	0
0	0	2	2	1	-5	0
-2	0	2	0	1	4	0
-2	1	0	2	1	4	0
0	0	1	-2	0	4	0
-1	0	1	0	0	-4	0
-2	1	0	0	0	-4	0
1	0	0	0	0	-4	0
0	0	1	2	0	3	0
0	0	-2	2	2	-3	0
-1	-1	1	0	0	-3	0
0	1	1	0	0	-3	0
0	-1	1	2	2	-3	0
2	-1	-1	2	2	-3	0
0	0	3	2	2	-3	0
2	-1	0	2	2	-3	0

Tabel 3.1. Data Periodik Nutasi Pada Bujur.[36]

[36] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 133 – 134.

Setelah seluruh koreksi dijumlahkan, kemudian koreksi tersebut digunakan untuk menghitung Nutasi. Rumus untuk menghitung nutasi adalah:[37]

$$\Delta\psi = \text{Jumlah koreksi} / 1000 / 3600$$

e. Kemiringan ekliptika (ε)

Kemiringan ekliptika bisa diperoleh dengan menggunakan rumus:[38]

$$\varepsilon = 23°26'21''.448 - 46''.8150\ T - 0''.00059\ T2 + 0''.001813\ T3$$

Tingkat akurasi rumus di atas tidak relevan untuk jangka waktu yang panjang. Kesalahan pada ε dapat mencapai 1” dalam jangka waktu 2000 tahun, dan sekitar 10” selama jangka waktu 4000 tahun. Rumus tentang kemiringan ekliptika dengan akurasi yang lebih baik dijelaskan oleh Laskar sebagai berikut:[39]

$$\begin{aligned}\varepsilon_o = 23°\ 26'\ 21{,}488'' &- 4680{,}93''\ U\\ &- 1{,}55''\ U^2\\ &+ 1999{,}25''\ U^3\\ &- 51{,}38''\ U^4\\ &- 249{,}67''\ U^5\\ &- 39{,}05''\ U^6\\ &+ 7{,}12''\ U^7\\ &+ 27{,}87''\ U^8\end{aligned}$$

---

[37] M. Yakub Mubarok, *Pemrograman Data Ephemeris...*, hlm. 81.
[38] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 135.
[39] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 135.

$$+ \quad 5{,}79'' \, U^{9}$$
$$+ \quad 2{,}45'' \, U^{10}$$

Akurasi rumus yang dikenalkan oleh Laskar ini diperkirakan mencapai 0,01” setelah 1000 tahun, yaitu antara tahun 1000 M dan 3000 M dan menjadi beberapa detik busur setelah 10000 tahun. Rumus ini berlaku untuk jangka waktu 10000 tahun sebelum dan sesudah *epoch* J2000,0.

Langkah selanjutnya adalah memperhatikan koreksi koreksi dan *multiple arguments* menggunakan tabel berikut.

D	M	M'	F	Ω	koefisien 1	koefisien 2
0	0	0	0	1	92025	8,9 T
-2	0	0	2	2	5736	-3,1 T
0	0	0	2	2	977	-0,5 T
0	0	0	0	2	-895	0,5 T
0	1	0	0	0	54	-0,1 T
0	0	1	0	0	-7	
-2	1	0	2	2	224	-0,6 T
0	0	0	2	1	200	
0	0	1	2	2	129	-0,1 T
-2	-1	0	2	2	-95	0,3 T
-2	0	1	0	0		
-2	0	0	2	1	-70	
0	0	-1	2	2	-53	
2	0	0	0	0		
0	0	1	0	1	-33	
2	0	-1	2	2	26	
0	0	-1	0	1	32	
0	0	1	2	1	27	
-2	0	2	0	0		
0	0	-2	2	1	-24	
2	0	0	2	2	16	
0	0	2	2	2	13	
0	0	2	0	0		
-2	0	1	2	2	-12	
0	0	0	2	0		

-2	0	0	2	0		
0	0	-1	2	1	-10	
0	2	0	0	0		
2	0	-1	0	1	-8	
-2	2	0	2	2	7	
0	1	0	0	1	9	
-2	0	1	0	1	7	
0	-1	0	0	1	6	
0	0	2	-2	0		
2	0	-1	2	1	5	
2	0	1	2	2	3	
0	1	0	2	2	-3	
-2	1	1	0	0		
0	-1	0	2	2	3	
2	0	0	2	1	3	
2	0	1	0	0		
-2	0	2	2	2	-3	
-2	0	1	2	1	-3	
2	0	-2	0	1	3	
2	0	0	0	1	3	
0	-1	1	0	0		
-2	-1	0	2	1	3	
-2	0	0	0	1	3	
0	0	2	2	1	3	
-2	0	2	0	1		
-2	1	0	2	1		
0	0	1	-2	0		
-1	0	1	0	0		
-2	1	0	0	0		
1	0	0	0	0		
0	0	1	2	0		
0	0	-2	2	2		
-1	-1	1	0	0		
0	1	1	0	0		
0	-1	1	2	2		
2	-1	-1	2	2		
0	0	3	2	2		
2	-1	0	2	2		

Tabel 3. 2. Tabel Periodik Untuk Nutasi Pada Kemiringan Ekliptika (Δε).[40]

[40] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm.133 – 134.

Cara menghitung koreksi $\Delta\varepsilon$ dapat dinyatakan dengan rumus:[41]

(Koefisien 1 + Koefisien 2 x T) x cos x (*multiple arguments*)

Setelah seluruh koreksi dijumlahkan, kemudian hasil koreksi tersebut digunakan untuk menghitung $\Delta\varepsilon$ dengan rumus:[42]

$$\Delta\varepsilon = \text{Koreksi} / 10000 / 3600$$

Untuk menghitung kemiringan ekliptika sejati, maka digunakanlah rumus:[43]

$$\varepsilon = \varepsilon_o + \Delta\varepsilon$$

f. Asensio Rekta Matahari (α)

Untuk mencari asensio rekta Matahari menggunakan rumus:[44]

$$\text{Tan } \alpha = \frac{\sin \lambda \times \cos \varepsilon - \tan \beta \times \sin \varepsilon}{\cos \lambda}$$

Setelah semua data terpenuhi, maka *equation of time* bisa dihitung dengan rumus:[45]

$$\mathbf{e = Lo - 0{,}0057183° - \alpha + \Delta\psi \times \cos \varepsilon}$$

[41] M. Yakub Mubarok, *Pemrograman Data Ephemeris...*, hlm. 80.
[42] M. Yakub Mubarok, *Pemrograman Data Ephemeris...*, hlm. 81.
[43] Jean Meeus, *Astronomical Algorithm...*, hlm. 135.
[44] Jean Meeus, *Astromomical Algorithm...*, hlm. 89.
[45] Jean Meeus, *Astromomical Algorithm...*, hlm. 171.

Jumlah dari Lo, α dan $\Delta\psi$ harus dinyatakan dalam satuan derajat.[46] Nilai 0,0057183° merupakan nilai konstan dari jumlah nilai rata rata aberasi pada bujur (-20,49552") dan koreksi reduksi pada sistem FK5 (-0,09033).[47] *Equation of time* bisa bernilai positif maupun negatif. Jika e > 0, artinya Matahari sejati melintasi meridian pengamat sebelum Matahari rata–rata. *Equation of time* selalu bernilai kurang dari 20 menit dalam bentuk absolut. Jika hasil e yang didapatkan terlalu besar, maka tambahkan atau kurangkan dengan 24 jam pada hasil yang didapatkan.[48]

B. ALGORITMA *EQUATION OF TIME* VERSI NEWCOMB

1. Biografi Simon Newcomb

Simon Newcomb dilahirkan di Wallace, Nova Scotia, Kanada pada tanggal 12 Maret 1835. Ia merupakan anak sulung dari pasangan John Burton Newcomb, seorang guru sekolah Negeri keliling dan Emily Prince, putri dari seorang Hakim di New Brunsick.[49] Pada usia 16 tahun, Newcomb masuk pada sekolah *Medical Botany* dengan ketentuan ia menjadi asisten umum dari Dr. Foshay selama 5 tahun. Setelah 2 tahun melayani Dr. Foshay, ia kemudian bertemu dengan seorang kapten kapal laut dan membawanya ke Salem, Massachusetts.

Pada tahun 1856 M, Newcomb menjadi tutor pribadi dan sering mengunjungi Ibu Kota. Ia mengunjungi perpustakaan milik

---

[46] Jean Meeus, *Astromomical Algorithm...*, hlm. 172.
[47] Jean Meeus, *Astromomical Algorithm...*, hlm. 172.
[48] Jean Meeus, *Astromomical Algorithm...*, hlm. 172.
[49] http://www.encyclopedia.com/topic/Simon_Newcomb.aspx, diakses pada tanggal 04 Maret 2016 pukul 09. 39 WIB.

Smithsonian Institut dan meminjam buku atas izin dari Joseph Henry. Buku pertama yang ia pinjam adalah *Laplace's Mécanique céleste* hasil terjemahan dari Bowditch yang membuka wawasannya untuk lebih mendalami Matematika. Setelah berkelana di Washington, Newcomb melanjutkan pekerjaannya di Survei Coast, hingga kemudian pada tahun 1857 M, ia direkomendasikan untuk bekerja di Nautical Almanac Office yang terletak di Cambridge, Massachusetts. Pada tahun yang sama pula ia diberi kesempatan untuk belajar Matematika di bawah bimbingan Benjamin Peirce di Lawrence Scientific School, Univesitas Harvard dan lulus pada tahun berikutnya.[50]

Peristiwa pecahnya perang saudara pada tahun 1861 berimplikasi pada banyaknya pengunduran diri para Professor Matematika di Angkatan laut Amerika Serikat. Hal ini memberikan kesempatan pada Newcomb untuk mengisi kekosongan posisi yang ditinggalkan oleh para Professor tersebut. Di Observatorium Angkatan laut ini lah Newcomb ditugaskan untuk membantu dalam mengamati asensio rekta bintang-bintang. Dalam pengamatan ini Newcomb merasa kecewa karena tidak adanya peneliti yang meneliti tentang deklinasi. Pada tahun 1863 ia ditugaskan untuk mengamati deklinasi di Observatorium Eropa yang mana dilakukannya agar lebih sistematis.

[50] http://www.encyclopedia.com/topic/Simon_Newcomb.aspx, diakses pada tanggal 04 Maret 2016 pukul 09. 39 WIB.

Pada tahun 1865 akhirnya Newcomb memulai program pengamatan posisi–posisi Bintang dan lama siang–malam selama 4 tahun.[51]

Pada tahun 1875 Newcomb mendapatkan tawaran dari Universitas Harvard untuk mengisi posisi direktur, akan tetapi ia menolaknya. Setelah itu pada tahun 1877 Newcomb kembali lagi ke Almanac Nautical Office yang saat itu telah berpindah lokasi ke Washington. Setelah menyelesaikan proyek *American Ephemeris*, Newcomb memulai dua proyek besar yaitu mendiskusikan pengamatan Matahari, Bulan, dan Planet-planet yang diperoleh sejak tahun 1750 di tiga belas observatorium terkemuka di seluruh dunia dan mengembangkannya hingga merumuskannya ke dalam bentuk tabel.

Newcomb merupakan sosok sentral dalam organisasi sains. Ia menjabat sebagai *Vice–President* di National Academy of Science pada tahun 1883. Pada periode 1876–1878, Newcomb menjabat sebagai Presiden di American Association for the Advancement of Science. Selain itu ia juga menjadi Anggota terhormat di berbagai akademi asing.[52] Selama hidupnya, Newcomb mendapatkan banyak penghargaan dari berbagai Universitas di dunia. Ia merupakan salah satu dosen pertama yang mengajar di Universitas John Hopkins dan mendapatkan gelar Professor di Universitas yang sama pada tahun

---

[51] http://www.encyclopedia.com/topic/Simon_Newcomb.aspx, diakses pada tanggal 04 Maret 2016 pukul 09. 39 WIB.

[52] http://www.biographi.ca/en/bio.php?id_nbr=6961, diakses pada tanggal 04 Maret 2016 pukul 19. 28 WIB.

1884. Pada tahun 1901 ia mendapatkan penghargaan Sylverster. Penghargaan–penghargaan lainnya yang ia peroleh antara lain:[53]

- Copley Medal dari Royal Society atas kontribusinya tentang Gravitasi Astronomi. (1890)
- Gold Medal dari Royal Astronomical Society atas penelitiannya tentang orbit dari Neptunus dan Uranus serta kontribusinya dalam bidang Matematika Astronomi. (1874)
- Huygens Gold Medal dari Holland Society of Science. (1878)

Akhirnya, pada tahun 1895 Newcomb telah menyelesaikan pekerjaannya dalam bidang Astronomi dan pensiun dari angkatan laut pada tahun 1906 dengan gelar Admiral.[54]

2. Hasil Karya Newcomb

Hasil karya Newcomb menjadi sumbangsih ilmu pengetahuan khususnya dalam bidang Astronomi dan Sains. Karya-karya tersebut antara lain:[55]

- The A B C of finance; or, The money and labor questions familiarly explained to common people, in short and easy lessons. (New York, Harper & brothers, 1878)

---

[53] W. W. Campbell, *Biographical Memoir Simon Newcomb*, dipresentasikan pada pertemuan tahunan Nasional Academy of Science, 1916, hlm. 17.

[54] http://www.encyclopedia.com/topic/Simon_Newcomb.aspx, diakses pada tanggal 04 Maret 2016 pukul 09. 39 WIB.

[55] http://onlinebooks.library.upenn.edu/webbin/book/lookupname?key=Newcomb%2c%20Simon%2c%201835-1909&c=x, diakses pada tanggal 05 Maret 2016 pukul 14. 04 WIB.

- Algebra for schools and colleges. (New York, H. Holt and company, 1881)
- Aspects of American astronomy (Chicago : University of Chicago Press, 1897)
- Astronomy (New York : H. Holt, 1885)
- Astronomy for everybody. (New York, McClure, Phillips, 1903)
- Astronomy for high schools and colleges (New York, H. Holt and company, 1885)
- Astronomy for students and general readers. (New York : H. Holt and company, 1880)
- Catalogue of fundamental stars for the epochs 1875 and 1900 reduced to an absolute system. (Washington, 1898)
- A compendium of spherical astronomy with its applications to the determination and reduction of positions of the fixed stars, (New York, The Macmillan company; London, Macmillan and co., ltd., 1906)
- Corrections to Hansen's tables of the moon (Washington : G.P.O., 1878)
- A critical examination of our financial policy during the Southern rebellion. (New York, D. Appleton and company, 1865)
- Description of the transit circle of the United States Naval Observatory : with an investigation of its constants (Washington : G.P.O., 1867)

- Elements of differential and integral calculus. (New York, Holt, 1887)
- Development of the perturbative function and its derivatives, in sines and cosines of multiples of the eccentric anomalies, and in powers of the eccentricities and inclinations. (Washington : Bureau of Navigation, Navy Dept., 1891)
- Elements of analytic geometry, (New York, H. Holt and company, 1884)
- Elements of astronomy (New York; Cincinnati : American Book Co., c1900)
- Elements of geometry. (New York, H. Holt & Company, 1881)
- Elements of plane and spherical trigonometry / by Simon Newcomb (New York : H. Holt and company, 1887)
- Elements of plane and spherical trigonometry with Logarithmic and other mathematical tables and examples of their use and hints on the art of computation (New York, H. Holt and Company, 1883)
- Elements of the differential and integral calculus (New York : Holt, 1887)
- The elements of the four inner planets and the fundamental constants of astronomy (Washington : G.P.O., 1895)
- Investigation of corrections to Hansen's Tables of the moon: with tables for their application (Washington : G.P.O., 1876).

- An investigation of the orbit of Neptune, with general tables of its motion. (Washington, Smithsonian institution, 1866)
- An investigation of the orbit of Uranus, with general tables of its motion. (Washington, Smithsonian Institution, 1873)
- Logarithmic and other mathematical tables, with examples of their use and hints on the art of computation, (New York, H. Holt and Company, 1889)
- Memoir of Joseph Henry, (Washington, National Academy of Sciences, 1905)
- On the general integrals of planetary motion (Washington : Smithsonian Institution, 1874)
- On the position of the galactic and other principal planes toward which the stars tend to crowd. (Washington, Carnegie institution, 1904)
- On the right ascensions of the equatorial fundamental stars and the corrections necessary to reduce the right ascensions of different catalogues to a mean homogeneous system. (Washington : Govt. print. off., 1872)
- A plain man's talk on the labor question, (New York, Harper, 1886)
- Popular astronomy... (N.Y., Harper, 1880)
- Popular astronomy.: With one hundred and twelve engravings and five maps of the stars. (New York, Harper & brothers, 1878)

- Positions of fundamental stars deduced from observations made at the U.S. Naval observatory between the years 1862 and 1867. (Washington, Gov't. print. off., 1870)
- Principles of political economy, (New York, Harper & brothers, [c1885.])
- Report to the Secretary of the Navy on recent improvements in astronomical instruments / by Simon Newcomb. (Washington : G.P.O., 1884)
- A search for fluctuations in the sun's thermal radiation through their influence on terrestrial temperature, (Philadelphia, The American Philosophical Society, 1908)
- Side-lights on astronomy and kindred fields of popular science; (New York, London, Harper & brothers, 1906)
- The stars; a study of the universe, (New York : Putnam, [1901])
- A statistical inquiry into the probability of causes of the production of sex in human offspring, (Washington : Carnegie institution of Wasington, 1904)
- Tables of the motion of the earth on its axis and around the sun. (Washington, 1898)
- The Uranian and Neptunian systems, investigated with the 26-inch equatorial of the United States naval observatory. (Washington : Govt. print. off., 1875)

Hasil karya yang terkenal dari Newcomb antara lain *Astronomical Papers Prepared for the Use of the American Ephemeris and Nautical Almanac* pada tahun 1880, *The Elements of the Four Inner Planets and the Fundamental Constants of Astronomy* (1895) yang merupakan data-data astronomis bernilai konstan yang digunakan oleh *ephemeris* di seluruh dunia, dan juga *A Compendium of Spherical Astronomy* (1906) .

3. Algoritma *Equation of Time* versi Newcomb

Dalam menghitung *equation of time*, Newcomb merumuskan data-data astronomi berdasarkan observasi yang ia lakukan sepanjang karirnya. Data-data astronomi tersebut dapat ditemukan dalam berbagai literatur Newcomb, salah satunya pada buku *A Compendium of Spherical Astronomy*. Oleh karena data-data dalam buku *A Compendium of Spherical Astronomy* tidak memuat rumusan algoritma *equation of time* secara sistematis, maka penulis menggunakan data sekunder yaitu makalah *Perhitungan Awal Bulan Menurut Sistem Newcomb* karangan Abdur Rachim. Dalam buku ini dijelaskan tentang algoritma untuk mencari *equation of time* secara sistematis berdasarkan sistem Newcomb.

Ketentuan yang digunakan untuk menentukan posisi Matahari versi Newcomb ini berdasarkan pada *epoch*[56] jam 00 Januari 1960 dan

[56] *Epoch* adalah pangkal tolak untuk menghitung. Dalam bahasa Arab dikenal dengan *mabda,* sedangkan dalam bahasa Inggris disebut *principle of motion*. Lihat Susiknan Azhari, *Ensiklopedi Hisab Rukyat,* Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2008, hlm. 62.

masih menganut pada waktu Jawa, yaitu waktu yang didasarkan pada bujur 120° 30.[57] Oleh karena itu, perlu penyesuaian bujur tempat jika hendak melakukan perhitungan. Bagi seseorang yang melakukan perhitungan di sebelah timur bujur tersebut, maka dikurangi sebanyak gerak benda langit selama selisih waktu yang seimbang dengan selisih bujurnya, begitupula sebaliknya.[58]

Untuk menghitung data astronomis pada algoritma Newcomb dilakukan dengan menjumlahkan nilai jarak astronomis Matahari (S),

jarak Matahari saat *perigee* (P), dan *Node* atau suplemen simpul (N) pada waktu yang diinginkan. Untuk *epoch* 1960, jarak astronomis Matahari (S) mempunyai nilai sebesar 278° 22’ 17,84”, jarak Matahari saat *perigee* mempunyai nilai sebesar 282° 15’ 8,66”, dan nilai *Node* atau suplemen simpul mempunyai nilai sebesar 2014.[59] Nilai nilai S, P, dan N bisa diperoleh melalui tabel:[60]

Tahun	**S**	**P**	**N**
1	359 45' 40,6"	1' 1,3"	215
2	359 31' 21,2"	2' 3,7"	430
3	359 17' 1,8"	3' 5,6"	645

[57] Data yang dibuat pada epoch ini, terjadi sebelum zona waktu Indonesia dibagi menjadi tiga bagian, dan masih terbagi ke dalam enam bagian. Enam bagian zona waktu tersebut adalah: waktu Irian pada garis bujur 135°, waktu Maluku pada garis bujur 137° 30’, waktu Sulawesi pada garis bujur 120°, waktu Jawa pada garis bujur 112° 30’, waktu Sumatera Selatan pada garis bujur 105°, dan waktu Sumatera Utara pada garis bujur 97° 30’. Lihat pada Badan Hisab Rukyah Depag RI, *Almanak Hisab Rukyat*, Jakarta: Proyek Pembinaan Badan Peradilan Agama Islam, 1981, hlm. 170 – 171.

[58] 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. 5.

[59] Abdur Rachim, *Perhitungan Awal Bulan...*, hlm. 29.

[60] Abdur Rachim, *Perhitungan Awal Bulan...*, hlm. 29.

4	359 2' 42,4"	4' 7,4"	860
5	358 48' 23,4"	5' 9,3"	1075
6	358 34' 3,6"	6' 11,1"	1290
7	358 19' 44,2"	7' 13"	1505
8	358 5' 24,3"	8' 14,8"	1720
9	357 51' 5,4"	9' 16,7"	1955
10	357 36' 46"	10' 18,5"	2150
20	355 13' 32"	20' 37"	4300
30	352 50' 18"	30' 55,5"	6450

Tabel 3. 3. Tahun dalam Sistem Newcomb

Untuk tahun 2000, nilai S ditambahkan 1,1”. Untuk tahun 2023, nilai S ditambahkan 1,7”. Untuk tahun 2050, nilai S ditambahkan 2,5”. Untuk tahun 2075, nilai S ditambahkan 3,5”. Untuk tahun Kabisat, maka harus ditambahkan satu hari dimulai dengan tahun 1960.

Bulan	**S**	**P**	**N**
Januari	00 00' 00"	00 00' 00"	0
Februari	30 33' 18,2"	5,6"	18
Maret	58 9' 11,4"	10,6"	35
April	88 42' 29,7"	16,2"	53
Mei	118 16' 39,6"	21,6"	71
Juni	148 49' 57,8"	27,2"	89
Juli	178 24' 7,7"	32,6"	107
Agustus	208 57' 25,9"	38,2"	125
September	239 30' 44,1"	43,6"	143
Oktober	269 4' 54"	49,2"	161
November	299 36' 12,2"	54,5"	179
Desember	329 12' 22,3"	0,2"	198

Tabel 3. 4. Bulan dalam Sistem Newcomb

Hari	S	N
1	00 59' 8,33"	1
2	1 58' 16,7"	1
3	2 57' 25"	2
4	3 56' 33"	2
5	4 55' 41,7"	3
6	5 54' 50"	3
7	6 53' 58,3"	4
8	7 53' 6,6"	4
9	8 52' 15"	5
10	9 51' 23,3"	5
20	19 42' 46,6"	12

Tabel 3. 5. Hari dalam Sistem Newcomb

Setelah semuanya dijumlahkan, maka selanjutnya mencari nilai K”, R”, K’, R’. Menurut Laverier, cara untuk menghitung nilai K’ dan K” adalah:[61]

K’ = +17,264” x sin N + 0,206” x sin 2N

K” = -1,264” x sin 2S

Sedangkan untuk nilai R’ dan R”, Leverier telah memberikan rumus sebagai berikut:[62]

R’ = 9,23” x cos N – 0,090” x cos 2N

R” = 0,548” x cos 2S

[61] Abdur Rachim, *Perhitungan Awal Bulan...*, hlm. 25.
[62] Abdur Rachim, *Perhitungan Awal Bulan...*, hlm. 26.

Setelah nilai K’, K”, R’, dan R” didapatkan, maka selanjutnya adalah mencari nilai kemiringan ekliptika Matahari hakiki (Q’) pada waktu tersebut dengan cara:[63]

$$Q' = Q + R' + R''$$

Setelah itu, menghitung nilai *equation of center* (E) dengan cara menghitung terlebih dahulu nilai anomali rata-rata Matahari (m), yaitu selisih antara Jarak astronomis Matahari (S’) dengan Jarak Matahari saat *perigee* (P). Setelah anomali rata-rata Matahari diperoleh, kemudian menghitung *equation of center* dengan rumus dari Leverier, yaitu:[64]

$$E = 6898{,}06'' \cdot \sin m + 72{,}095'' \cdot \sin 2m + 0{,}966'' \cdot \sin 3m$$

kemudian menghitung nilai bujur rata-rata Matahari (S’) dengan rumus:[65]

$$S' = (S + E + K' + K'') - 20{,}47''$$

Setelah menghitung nilai S’, kemudian menghitung Asensio rekta Matahari atau panjatan tegak Matahari (PT) dengan rumus:[66]

$$PT = S + (\cos Q' \times (K' + K''))$$

[63] Abdur Rachim, *Perhitungan Awal Bulan...*, hlm. 7.
[64] Abdur Rachim, *Perhitungan Awal Bulan...*, hlm. 24.
[65] Abdur Rachim, *Perhitungan Awal Bulan...*, hlm. 26.
[66] Abdur Rachim, *Perhitungan Awal Bulan...*, hlm. 26.

Setelah nilai Asensio Rekta Matahari telah dihitung, maka kita dapat menghitung nilai Asensio rekta rata rata Matahari (PT') dengan rumus:[67]

Tg PT' = cos Q' x tg S'

Selisih antara asensio rekta Matahari dengan asensio rekta rata-rata Matahari (PT – PT') ini lah yang dinamakan dengan *equation of time*.

[67] Abdur Rachim, *Perhitungan Awal Bulan...*, hlm. 26. Lihat juga sumber asli perhitungan asensio rekta dalam buku Simon Newcomb, *A Compendium of Spherical Astronomy*, hlm. 328.