

**PERHITUNGAN DATA EPHEMERIS KOORDINAT MATAHARI
MENGUNAKAN ALGORITMA JEAN MEEUS *HIGHER ACCURACY* DAN
KETERKAITANNYA DENGAN PENGEMBANGAN ILMU FALAK**

Reza Akbar

Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang

Email: reza_akbar34@yahoo.com

Abstrak

Data koordinat Matahari seperti bujur dan lintang ekliptika, deklinasi, serta asensiorekta merupakan data yang sering dilibatkan dalam hisab astronomi dan ilmu falak. Data ini sering dijumpai di dalam tabel ephemeris seperti Ephemeris Hisab Rukya Kementerian Agama RI, Almanak Nautikadan lain-lain. Salah satu algoritma yang digunakan dalam penyusunan tabel data ephemeris adalah algoritma Jean Meeus Higher Accuracy. Perhitungan data ephemeris koordinat Matahari Menggunakan algoritma ini dimulai dengan menghitung Julian Day (JD) dan Julian Day Ephemeris (JDE). Dengan menggunakan algoritma lanjutan berdasarkan teori VSOP87, selanjutnya dapat dihitung bujur dan lintang ekliptika Matahari, jarak bumi ke Matahari, true obliquity (sudut antara ekuator langit dan ekliptika), asensio rekta dan deklinasi, serta perata waktu (equation of time) dan semidiameter Matahari. Perhitungan koordinat Matahari di dalam artikel ini adalah untuk tanggal 7 Juni 2017 pukul 19.00 WIB atau 12.00 GMT. Hasil perhitungannya kemudian akan dibandingkan dengan data koordinat Matahari Ephemeris Hisab Rukyat 2017 pada waktu yang sama.

Kata Kunci: *Ephemeris; Algoritma; Jean Meeus*

Abstract

Data of solar coordinate such as longitude and latitude of the ecliptic, declination, and right ascension are the data that are often involved in astronomical reckoning and practical islamic astronomy. These data are often found in ephemeris tables such as the ephemeris of Hisab Rukyat by Ministry of Religious Affairs of the Republic of Indonesia, Nautica Almanac and others. One of the algorithms used in the preparation of ephemeris data tables is the Jean Meeus Higher Accuracy algorithm. Calculation of ephemeris data of solar coordinates using these algorithms starts with counting Julian Day (JD) and Julian Day Ephemeris (JDE). By using advanced algorithms based on VSOP87 theory, we can then calculate the longitude and latitude of the solar ecliptic, the distance of the earth to the Sun, the true obliquity (angle between the celestial equator and the ecliptic), the right ascension and declination, the equation of time and the Sun's semi diameter. The calculation of the solar coordinate in this paper is for June 7, 2017 at 19.00 WIB or 12.00 GMT. The results will then be compared with the data of solar coordinate in Ephemeris Hisab Rukyat 2017 at the same time.

Keywords: *Ephemeris; Algorithm; Jean Meeus*

مستخلص

إن البيانات مثل إحداثيات خطوط الطول والعرض مسير الشمس الشمس، الانحراف وصعود اليمين هي البيانات التي غالبا ما تشارك في علم الفلك والحساب الفلكي. وغالبا ما توجد هذه البيانات في الجدول على النحو التقويم الفلكي والتقويم الفلكي في حساب ورؤية وزارة الشؤون الدينية، التقويم بحريا وغيرها. الخوارزميات المستخدمة في إعداد جدول بيانات التقويم الفلكي هي خوارزمية دقة جان ميوس العالي. حساب إحداثيات بيانات التقويم الفلكي للشمس باستخدام هذه الخوارزمية يبدأ عن طريق حساب يوم جوليان (JD) وجوليان يوم التقويم الفلكي (JDE). باستخدام خوارزميات متطورة تستند إلى نظرية VSOP87، ثم يتم حساب خطوط الطول والعرض للمسير الشمس الشمس، والمسافة من الأرض إلى الشمس، وميل حقيقي (الزاوية بين خط الاستواء السماوي ومسير الشمس)، صعود اليمين والانحراف، والوقت الدرجات (معادلة من الزمن) ونصف قطرها من الشمس، حساب إحداثيات الشمس في هذه الورقة هو مؤرخة 7 يونيو 2017 في الساعة 19:00 مساءً أو الساعة 12:00 بتوقيت غرينتش. وتمت مقارنة النتائج مع حساب إحداثيات بيانات الشمس التقويم الفلكي حساب ورؤية 2017 في نفس الوقت.

الكلمات الرئيسية: التقويم الفلكي؛ والخوارزميات؛ جان ميوس

A. Pendahuluan

Sejak lama manusia telah mengamati dan melacak pergerakan lima planet paling terang yaitu Merkurius, Venus, Mars, Jupiter dan Saturnus, termasuk pergerakan (semu) Matahari dan Bulan. Seiring kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, para astronom mampu memprediksi pergerakan benda-benda langit. Dengan algoritma seperti algoritma Jean Meeus dan VSOP87, kita dapat memprediksi posisi planet hingga ribuan tahun ke depan. Salah satu contohnya adalah data ephemeris yang kita kenal saat ini yang memuat data-data Bulan dan Matahari, termasuk *Nautica Almanac* yang memuat data-data planet, Bulan, dan Matahari yang lebih lengkap.

Data koordinat Matahari merupakan data yang sangat penting bagi penggiat ilmu falak, khususnya “ahli hisab”. Hal ini dikarenakan data ini merupakan bagian dari data ephemeris yang sering dipergunakan dalam hisab waktu salat, awal bulan,

dan gerhana. Tanpa data ephemeris, ahli hisab akan mengalami kendala dalam hisab falak. Hisab awal Bulan misalnya, data mengenai bujur (*ecliptic longitude*) dan lintang (*ecliptic latitude*) Bulan dan Matahari, *apparent right ascension*, dan *equation of time*, dan data-data lainnya mutlak diperlukan.

Sudah dimaklumi bahwa di dalam praktik falak, tidak mutlak dibutuhkan *basic knowledge* (pengetahuan dasar) dari suatu data astronomis, melainkan sisi *practical usage* (pemakaian praktis) lebih menonjol. Namun, untuk menambah wawasan keilmuan di bidang astronomi, perlu kiranya mempelajari algoritma dari suatu data astronomis sehingga diharapkan membuka wacana yang lebih dinamis terutama berkaitan dengan begitu luasnya cakupan algoritma Jean Meeus dalam memecahkan masalah-masalah astronomi, salah satunya adalah koordinat Matahari.

Artikel ini bertujuan memaparkan algoritma Jean Meeus tentang beberapa data Matahari yang merupakan data-data yang terdapat di dalam data ephemeris yang dikenal di dalam ilmu falak. Agar pembahasannya lebih aplikatif dan terarah, akan diberikan contoh aplikasi algoritma Jean Meeus *higher accuracy* untuk menghitung data Matahari pada hari Rabu, tanggal 7 Juni 2017 pukul 19.00 WIB (12 GMT). Adapun rujukan utama algoritma yang digunakan bersumber dari buku *Astronomical Algorithm* Jean Meeus.

B. Pembahasan

1. Julian Day (JD)

Julian Day adalah jumlah hari yang telah berlalu sejak hari Senin tanggal 1 Januari 4713 SM (dinamakan pula tahun -4712). JD sangat berguna karena memudahkan untuk menentukan jumlah hari antara dua kejadian dengan mengurangi jumlah hari Juliannya.¹ JD dihitung sejak pertengahan hari atau pukul 12:00:00 UT (*Universal Time*) atau GMT.² Tanggal-tanggal yang dinyatakan di dalam JD dan pecahan-pecahannya menyatakan waktu yang telah berlalu dari sejak epok ini (1 Januari 4713 SM pukul 12:00:00 UT).³

Adapun algoritma untuk menghitung JD adalah sebagai berikut.⁴

- a. D, M, dan Y secara berturut-turut adalah tanggal, bulan, dan tahun yang akan dihitung JDnya.

¹ John Cirillo, <https://docs.kde.org>, diakses tanggal 1 Juni 2017.

² Rinto Anugraha, <http://rintoanugraha.staff.ugm.ac.id>, diakses tanggal 1 Juni 2017.

³ Jean Meeus, *Elements of Solar Eclipses 1951-2200* (Virginia: Willman-Bell Inc, 1989), 6.

⁴ Jean Meeus, *Astronomical Algorithms*, edisi kedua (Virginia: Willman-Bell Inc, 1998), 61.

PERHITUNGAN DATA EPHEMERIS KOORDINAT MATAHARI

- b. Jika $M = 1$ (Januari) atau 2 (Februari) maka $Y =$ tahun yang dihitung $- 1$, $M =$ Bulan yang dihitung $+ 12$. Selain Bulan Januari dan Februari, $Y =$ tahun yang dihitung dan $M =$ Bulan yang dihitung.
- c. $A = INT \left(\frac{Y}{100} \right)$
- d. $B = 2 - A + INT \left(\frac{A}{4} \right)$, untuk kalender Julian nilai $B = 0$
- e. $JD = INT 365,25 Y + 4716 + INT 30,6001 M + 1 + D + B - 1524,5$

Berikut ini adalah contoh menghitung JD tanggal 7 Juni 2017 pukul 19.00 WIB(12.00 GMT).

- a. $D = 7,5$ (tanggal tujuh koma lima)⁵, $M = 6$ dan $Y = 2017$
- b. $A = INT \frac{Y}{100} = INT \frac{2017}{100} = 20$
- c. $B = 2 - A + INT \frac{A}{4} = 2 - 20 + INT \frac{20}{4} = -13$
- d. $JD = INT 365,25 Y + 4716 + INT 30,6001 M + 1 + D + B - 1524,5 = INT 365,25 2017 + 4716 + INT 30,6001 6 + 1 + 7,5 + -13 - 1524,5 = 2459228 + 214 + 7,5 - 13 - 1524,5 = 2457912$

2. Julian Day Ephemeris (JDE)

JDE adalah JD yang sesuai dengan waktu yang diukur dalam skala *Terrestrial Dynamical Time* (TDT/TT).⁶ Di dalam TT/TDT, satu detik diartikan sebagai durasi dari 9192631770 kali radiasi yang sesuai dengan transisi antara dua tingkat *hyperfine* (tingkat energi terendah) dari keadaan dasar atom Cesium-133.⁷

Adapun persamaan menghitung JDE adalah:⁸

$$JDE = JD + \frac{\Delta T}{86400}$$

⁵ Di dalam perhitungan JD, pada tanggal yang sama dengan jam yang berbeda maka nilai JD akan berbeda. Misalkan pada tanggal 7 Juni pukul 10.30 GMT. Pada hari itu, tanggal harinya adalah $7 + (10 + 30/60) : 24 = 7.4375$. Jadi, tanggal 7 Juni pukul 10.30 GMT = tanggal 7.4375 Juni. Nilai ini yang akan dimasukkan ke dalam algoritma mencari JD sebagai nilai D.

⁶ Oran Ofek, <http://wise-obs.tau.ac.il>, diakses tanggal 1 Juni 2017.

⁷ Jean Kovalevsky dan P. Kenneth Seidelmann, *Fundamentals of Astronomy* (Cambridge: Cambridge University Press, 2004), 115.

⁸ Ibrahim Reda and Afshin Andreas, *Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications* (Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2008), 10.

Di mana ΔT (dalam sekon) merupakan selisih antara TT dan UT yang nilainya meningkat sekitar 0.5 hingga 1.0 sekon per tahun.⁹ ΔT dapat dihitung dengan persamaan¹⁰:

$$\Delta T = 102 + 102t + 25,3t^2$$

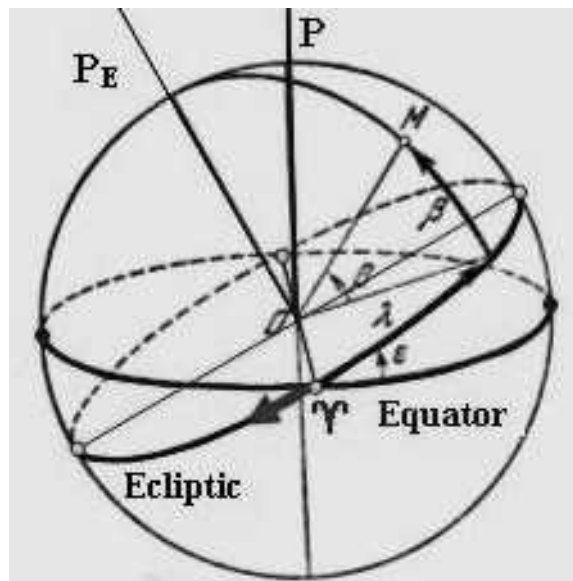
Di mana $t = \frac{\text{year}-2000}{100}$

Dengan demikian, jika kita hitung melalui algoritma di atas, untuk tahun 2017, nilai $t = \frac{2017-2000}{100} = 0,17$. Kemudian, nilai ΔT adalah:

$\Delta T = 102 + 102(0,17) + 25,3(0,17)^2 = 120,07117$ detik , dengan Koreksi = $+0,37 \times (2017-2100) = -30,71$ detik, sehingga $\Delta T(\text{terkoreksi}) = 120,07117 - 30,71 = 89,36117$ detik. Dengan demikian:

$$JDE = JD + \frac{\Delta T}{86400} = 2457912 + \frac{89,36117}{86400} = 2457912,001$$

3. Bujur ekliptika (λ) dan lintang ekliptika (β) Matahari



Gambar 1. Koordinat Ekliptika¹¹

Ekliptika merupakan lintasan yang ditempuh bumi dan planet-planet mengitari Matahari yang berbentuk elips. Bidang lintasannya dinamakan bidang ekliptika. Sama seperti koordinat ekuator, di dalam koordinat ekliptika, dikenal pula titik aries (*vernal equinox/Y*) yaitu titik perpotongan antara lingkaran ekuator dan ekliptika.

⁹Oliver Montenbruck dan Thomas Pflieger, *Astronomy on the Personal Computer*, edisi kedua (Berlin: Springer-Verlag, 1994),43.

¹⁰*Ibid.*

¹¹ <http://www.soulsofdistortion.nl>, diakses tanggal 6 Juni 2017

PERHITUNGAN DATA EPHEMERIS KOORDINAT MATAHARI

Di dalam koordinat ekliptika dikenal istilah lintang ekliptika atau lintang cakrawala yaitu jarak sudut dari ekliptika ke bintang tertentu yang diwakili oleh (β). Nilai positif jika ke arah utara dan negatif ke arah selatan. Selain itu, dikenal pula istilah garis bujur ekliptika atau panjang cakrawala yang diwakili oleh (λ) yaitu panjang sudut yang diukur dari titik aries (*vernal equinox*) ke lingkaran bujur ekliptika ke arah timur dari 0° sampai 360° . Sedangkan pengertian lingkaran bujur ekliptika itu sendiri ialah lingkaran besar yang menghubungkan kutub utara ekliptika (pada gambar di atas disimbolkan dengan PE) dengan kutub selatan ekliptika.

Adapun langkah-langkah menghitung nilai lintang dan bujur ekliptika Matahari adalah sebagai berikut.

- 1) Julian millennia (τ) dihitung dengan rumus:

$$\tau = \frac{JDE - 2451545}{365250} = \frac{2457912,001 - 2451545}{365250} = 0,0174318987$$

- 2) Menghitung L (*heliocentric longitude*/bujur ekliptika bumi di dalam sistem heliosentris):

$$L = \frac{(L_0 + L_1\tau + L_2\tau^2 + L_3\tau^3 + L_4\tau^4 + L_5\tau^5)}{10^9}$$

Adapun nilai L_0 hingga L_5 adalah sebagai berikut.

$$L_0 = 176834266.318685$$

$$L_1 = 628332095152.077$$

$$L_2 = 46314.2517189939$$

$$L_3 = -153.136721760254$$

$$L_4 = -108.20337155484$$

$$L_5 = -0,999999$$

Nilai-nilai di atas merupakan hasil olahan data berdasarkan teori VSOP87. Sebagaimana kita ketahui, VSOP87 adalah teori dan solusi modern yang ditetapkan untuk menghitung posisi dari 8 planet (dan Matahari) secara efisien dan akurat.¹² Adapun persamaannya adalah¹³

$$\mathbf{term} = \mathbf{Acos(B + C\tau)}$$

¹² Anonim, <https://www.caglow.com>, diakses tanggal 3 Juni 2017

¹³ Jean Meeus, *Astronomical ...*, 218

REZA AKBAR

Nilai A, B, dan C diambil dari Buku *Astronomical Algorithm* Jean Meeus di bagian Apendix III, sebagai contoh adalah menghitung nilai L0, di mana kita harus menghitung masing nomor (1 – 64). Masing-masing dihitung nilai *termnya* dan kemudian dijumlahkan. Demikian juga untuk menghitung nilai L1 hingga L5.

Tabel 1
Perhitungan L (Bujur Ekliptika), B (Lintang Ekliptika), dan R (Jarak Bumi-Matahari)
Berdasarkan Teori VSOP87
Dengan nilai $\tau = 0.017431898700$ (berdasarkan perhitungan sebelumnya)

		A	B	C	A x cos (B + C x τ)
L0	1	175347046	0	0	175347046
	2	3341656	4.6692568	6283.07585	1522122.91568552
	3	34894	4.6261	12566.1517	-28299.6849212558
	4	3497	2.7441	5753.3849	-2813.1876668983
	5	3418	2.8289	3.5231	-3310.65896068782
	6	3136	3.6277	77713.7715	1257.31220056228
	7	2676	4.4181	7860.4194	-2669.73057656644
	8	2343	6.1352	3930.2097	1711.1393091526
	9	1324	0.7425	11506.7698	1277.6382135049
	10	1273	2.0371	529.691	345.735077261834
	11	1199	1.1096	1577.3435	-1133.77601597682
	12	990	5.233	5884.927	531.311288813418
	13	902	2.045	26.298	-724.475690422788
	14	857	3.508	398.149	-445.808573495145
	15	780	1.179	5223.694	-331.582427401772
	16	753	2.533	5507.553	-307.086666504536
	17	505	4.583	18849.228	499.176561832326
	18	492	4.205	775.523	211.820261768278
	19	357	2.92	0.067	-348.362269196484
	20	317	5.849	11790.629	-198.204732347199
	21	284	1.899	796.298	-283.263724004417
	22	271	0.315	10977.079	-270.88465517392
	23	243	0.345	5486.778	-41.4423404676118
	24	206	4.806	2544.314	92.1057636001641
	25	205	1.869	5573.143	12.1484819756852
	26	202	2.458	6069.777	24.0231758862191
	27	156	0.833	213.299	-25.0357242459213
	28	132	3.411	2942.463	-35.7367696040105
	29	126	1.083	20.775	15.7901029748903
	30	115	0.645	0.98	90.7020221273901
	31	103	0.636	4694.003	73.225847376407
	32	102	0.976	15720.839	13.2950683940176
	33	102	4.267	7.114	-32.2192232539326
	34	99	6.21	2146.17	92.6370656237533

PERHITUNGAN DATA EPHEMERIS KOORDINAT MATAHARI

	35	98	0.68	155.42	-95.0095786593451
	36	86	5.98	161000.69	-59.7751122231419
	37	85	1.3	6275.96	-62.4158072879376
	38	85	3.67	71430.7	5.06696106927928
	39	80	1.81	17260.15	36.6940855652662
	40	79	3.04	12036.46	56.7177465918081
	41	75	1.76	5088.63	-60.0807607390402
	42	74	3.5	3154.69	-26.9507141958798
	43	74	4.68	801.82	72.6358231926855
	44	70	0.83	9437.76	-28.1888252933322
	45	62	3.98	8827.39	44.1404453948941
	46	61	1.82	7084.9	57.4989347642482
	47	57	2.78	6286.6	42.4764172020724
	48	56	4.39	14143.5	51.8086709922951
	49	56	3.47	6279.55	55.2590212830457
	50	52	0.19	12139.55	-12.9706947366456
	51	52	1.33	1748.02	48.1860738435677
	52	51	0.28	5856.48	-13.4953742166851
	53	49	0.49	1194.45	-38.1128556575935
	54	41	5.37	8429.24	2.44157655247611
	55	41	2.4	19651.05	33.3671359269343
	56	39	6.17	10447.39	38.1616825346136
	57	37	6.04	10213.29	-10.7172375789061
	58	37	2.57	1059.38	-21.3973786369991
	59	36	1.71	2352.87	11.1017179493468
	60	36	1.78	6812.77	14.4093636261761
	61	33	0.59	17789.85	-31.3577277160518
	62	30	0.44	83996.85	23.2817704478105
	63	30	2.74	1349.87	12.5808064741374
	64	25	3.16	4690.48	-24.8726700395238
					176834266.318685
L1	1	628331966747	0	0	628331966747.
	2	206059	2.678235	6283.07585	129189.573204009
	3	4303	2.6351	12566.1517	-874.69149998024
	4	425	1.59	3.523	-34.2248080531629
	5	119	5.796	26.298	118.95078447819
	6	109	2.966	1577.344	63.0637971287364
	7	93	2.59	18849.23	-24.8200971824035
	8	72	1.14	529.69	-41.9558514241046
	9	68	1.87	398.15	-55.5693180504216
	10	67	4.41	5507.55	66.5657815948842
	11	59	2.89	5223.69	56.383221572745
	12	56	2.17	155.42	9.30178297080579
	13	45	0.4	796.3	-6.45112597634853
	14	36	0.47	775.52	5.32213127283264

REZA AKBAR

	15	29	2.65	7.11	-27.0620431112716
	16	21	5.34	0.98	12.6200363082041
	17	19	1.85	5486.78	-18.8941186536427
	18	19	4.97	213.3	-14.0749679550589
	19	17	2.99	6275.96	12.9425857064192
	20	16	0.03	2544.31	14.7378665485746
	21	16	1.43	2146.17	6.64214468880259
	22	15	1.21	10977.08	-9.0371627435236
	23	12	2.83	1748.02	-3.71305897829893
	24	12	3.26	5088.63	-7.84473708152952
	25	12	5.27	1194.45	6.89412774931764
	26	12	2.08	4694	-7.29207525633525
	27	11	0.77	553.57	-5.98954836798995
	28	10	1.3	6286.6	-5.96525350878729
	29	10	4.24	1349.87	-8.75881452019483
	30	9	2.7	242.73	7.17531016281538
	31	9	5.64	951.72	-8.74388250395212
	32	8	5.3	2352.87	-5.52236763682874
	33	6	2.65	9437.76	-4.72643679985892
	34	6	4.67	4690.48	0.240980609168777
					628332095152.077
L2	1	52919	0	0	52919
	2	8720	1.0721	6283.0758	-6982.28964427391
	3	309	0.867	12566.152	308.99153284551
	4	27	0.05	3.52	26.8327579177669
	5	16	5.19	26.3	12.8837436269339
	6	16	3.68	155.42	15.9100599980192
	7	10	0.76	18849.23	-8.63130084707833
	8	9	2.06	77713.77	8.25602302861746
	9	7	0.83	775.52	-1.47030235504865
	10	5	4.66	1577.34	3.69199025722796
	11	4	1.03	7.11	1.61954903359758
	12	4	3.44	5573.14	3.9929341881625
	13	3	5.14	796.3	2.95600756484782
	14	3	6.05	5507.55	0.134077993951748
	15	3	1.19	242.73	1.95289686024741
	16	3	6.12	529.69	-2.8135012722684
	17	3	0.31	398.15	1.70251183005765
	18	3	2.28	553.57	2.41237464311088
	19	2	4.38	5223.69	0.741359892204393
	20	2	3.75	0.98	-1.62135193804345
					46314.2517189939
L3	1	289	5.844	6283.076	-186.579239559723
	2	35	0	0	35
	3	17	5.49	12566.15	-1.39279212794305

PERHITUNGAN DATA EPHEMERIS KOORDINAT MATAHARI

	4	3	5.2	155.42	-0.165767715748294
	5	1	4.72	3.52	0.0689166328290586
	6	1	5.3	18849.23	0.645554925191741
	7	1	5.97	242.73	-0.713393914860266
					-153.136721760254
L4	1	114	3.142	0	-113.999990541928
	2	8	4.13	6283.08	6.78365043627478
	3	1	3.84	12566.15	-0.987031449187361
					-108.20337155484
L5	1	1	3.14	0	-0.99999873172754
B0	1	280	3.199	84334.662	-278.746208837108
	2	102	5.422	5507.553	63.5526347351398
	3	80	3.88	5223.69	61.6459072006801
	4	44	3.7	2352.87	32.7084966348683
	5	32	4	1577.34	31.8973870402727
					-88.9417832261469
B1	1	9	3.9	5507.55	7.3043970772799
	2	6	1.73	5223.69	0.669711358631289
					7.974108
R0	1	100013989	0	0	100013989
	2	1670700	3.0984635	6283.07585	1487319.58284689
	3	13956	3.05525	12566.1517	-8163.93568405397
	4	3084	5.1985	77713.7715	-2825.2855889373
	5	1628	1.1739	5753.3849	966.267600892369
	6	1576	2.8469	7860.4194	-107.182341245052
	7	925	5.453	11506.77	240.953700541607
	8	542	4.564	3930.21	-370.400811169474
	9	472	3.661	5884.927	397.962312126509
	10	346	0.964	5507.553	-316.172900450711
	11	329	5.9	5223.694	-298.985565529338
	12	307	0.299	5573.143	-306.445871663402
	13	243	4.273	11790.629	-188.849673139638
	14	212	5.847	1577.344	-73.9629997987295
	15	186	5.022	10977.079	-4.42420660793907
	16	175	3.012	18849.228	26.4644974150236
	17	110	5.055	5486.778	108.433002862113
	18	98	0.89	6069.78	97.3373039093152
	19	86	5.69	15720.84	-85.2479543020393
	20	86	1.27	161000.69	61.9725203439357
	21	65	0.27	17260.15	58.6498577289513
	22	63	0.92	529.69	-46.9995380643875
	23	57	2.01	83996.85	-35.9123995096525
	24	56	5.24	71430.7	55.9030538298614
	25	49	3.25	2544.31	-43.5019579741024

REZA AKBAR

	26	47	2.58	775.52	-43.456008393184
	27	45	5.54	9437.76	41.2331644472246
	28	43	6.01	6275.96	-29.1137955300242
	29	39	5.36	4694	27.7458676256824
	30	38	2.39	8827.39	26.1606074312739
	31	37	0.83	19651.05	-21.476692568497
	32	37	4.9	12139.55	-35.8083229185024
	33	36	1.67	12036.46	-19.4010661652831
	34	35	1.84	2942.46	-33.6904791141936
	35	33	0.24	7084.9	-11.3047994328415
	36	32	0.18	5088.63	19.3890866212596
	37	32	1.78	398	-24.3324935477926
	38	28	1.21	6286.6	-18.6549176502784
	39	28	1.9	6279.55	-4.51783583576373
	40	26	4.59	10447.39	-5.59576127666605
					101490322.395758
R1	1	103109	1.10749	6283.07585	-80324.3717758016
	2	1721	1.0644	12566.1517	1685.03478229361
	3	702	3.142	0	-701.999941758186
	4	32	1.02	18849.23	-30.8461191177296
	5	31	2.84	5507.55	-3.49908903962437
	6	25	1.32	5223.69	-7.34376906187076
	7	18	1.42	1577.34	-14.4194586333051
	8	10	5.91	10977.08	-7.90610712538628
	9	9	1.42	6275.96	-5.82983809280049
	10	9	0.27	5486.78	-0.866411075037092
					-79412.0477274119
R2	1	4359	5.7846	6283.0758	-2611.59008811718
	2	124	5.579	12566.152	0.869726529182367
	3	12	3.14	0	-11.9999847807305
	4	9	3.63	77713.77	3.58960053257147
	5	6	1.87	5573.14	0.361241398041484
	6	3	5.47	18849.23	1.52112659397721
					-2617.24837784414
R3	1	145	4.273	6283.076	110.751690632686
	2	7	3.92	12566.15	-6.97692169264289
					103.774768940043
R4	1	4	2.56	6283.08	2.12296486168248

Dengan memasukkan nilai τ , L0, L1, L2, L3, L4, dan L5 ke dalam persamaan di atas, diperoleh nilai $L = 111.298557130$ radian = 256.937589 derajat = 256°55'48''. Dengan demikian, *geocentric longitude* Matahari adalah:

$$\odot = L + 180^\circ = 256^\circ 55' 48'' + 180^\circ - 360^\circ = 76^\circ 55' 48''^{14}$$

PERHITUNGAN DATA EPHEMERIS KOORDINAT MATAHARI

Selanjutnya dilakukan konversi ke dalam *FK5 system*:

$$\lambda' = \odot - 1,397^{\circ}T - 0,00031^{\circ}T^2 = 76^{\circ}41'38.6''$$

Di mana T merupakan $10\tau = 0,174318987$

Kemudian, λ' dikoreksi dengan $-0,09033''$ sehingga didapat hasil akhir:

$$\lambda'_{\text{koreksi}} = 76^{\circ}41'38.6'' - 0,09033'' = 76^{\circ}41', 38.5''$$

3) Menghitung B (*heliocentric latitude*/lintang bumi di dalam sistem heliosentris)

$$B = \frac{(B0 + B1\tau)}{10^8}$$

Di mana nilai $B0$ dan $B1$ juga dihitung dengan teori VSOP87 seperti persamaan *term* sebelumnya yang kemudian dihasilkan:

$$B0 = -88.9417832261469$$

$$B1 = 7.974108$$

Jika nilai $B0$, $B1$, dan τ disubstitusikan ke dalam persamaan di atas maka diperoleh:

$$B = \frac{(B0+B1\tau)}{10^8} = 0.000002781251740 \text{ radian} = -0.000050906 \text{ derajat}$$

(dinegatifkan) = $0.000050906^{\circ} = 0.183261787''$ (detik)

Koreksi:

$$\Delta B = +0,03916'' \cos \lambda' - \sin \lambda' = -0,03''$$

$$\beta = B - \Delta B = 0,213'' = 0,21$$

4. Jarak Bumi ke Matahari (R)

Hasil perhitungan berdasarkan teori VSOP87 berdasarkan persamaan *term* sebelumnya (seperti menghitung $L0, L1, L2, L3, L4, L5$ dan $B0, B1$) diperoleh nilai-nilai berikut.

$$R0 = 101490322.395758$$

$$R1 = -79412.0477274119$$

$$R2 = -2617.24837784414$$

$$R3 = 103.774768940043$$

$$R4 = 2.12296486168248$$

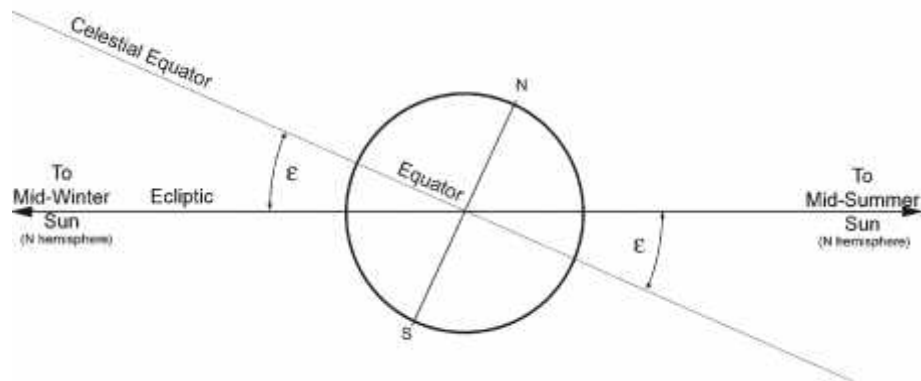
Dengan demikian, dapat dihitung nilai R dengan persamaan:

$$R = \frac{(R0 + R1\tau + R2\tau^2 + R3\tau^3 + R4\tau^4)}{10^8}$$

Dengan mensubstitusikan nilai-nilai di atas, diperoleh $R = 1,014889373 \text{ AU}$

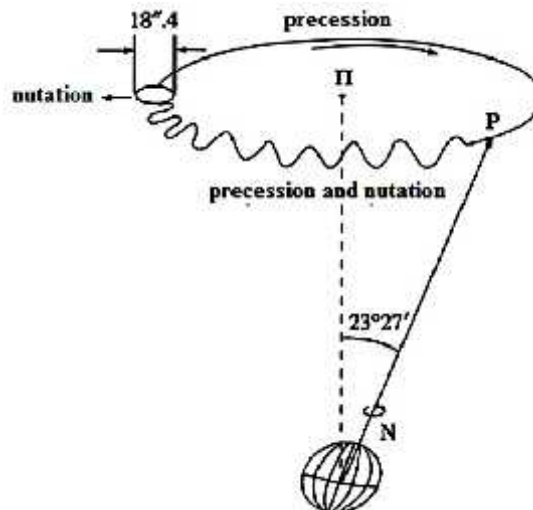
¹⁴ Nilai ini yang digunakan di dalam tabel data epehemeris Hisab Rukyat

5. *True Obliquity* (ϵ)



Gambar 2. *Obliquity of ecliptic*

Medan gravitasi Matahari dan Bulan yang berinteraksi terhadap bumimenyebabkan arah sumbu rotasi bumi berputar perlahan dengan jangka waktu sekitar 25800 tahun. Efek ini disebut presesi. Selain itu, ada juga istilah periodik kecil yang disebabkan oleh jarak yang bervariasi dan arah relatif Bulan dan Matahari, yang terus menerus mengubah kekuatan dan arah medan gravitasi. Gerakan goyah ringan ini disebut nutasi, dan dapat diperhitungkan dengan menghitung pengaruhnya terhadap bujur ekliptika ψ , dan pada kemiringan rata-rata ekliptika ϵ .¹⁵ Gerak nutasi akan mempengaruhi sudut *true obliquity of ecliptic*.



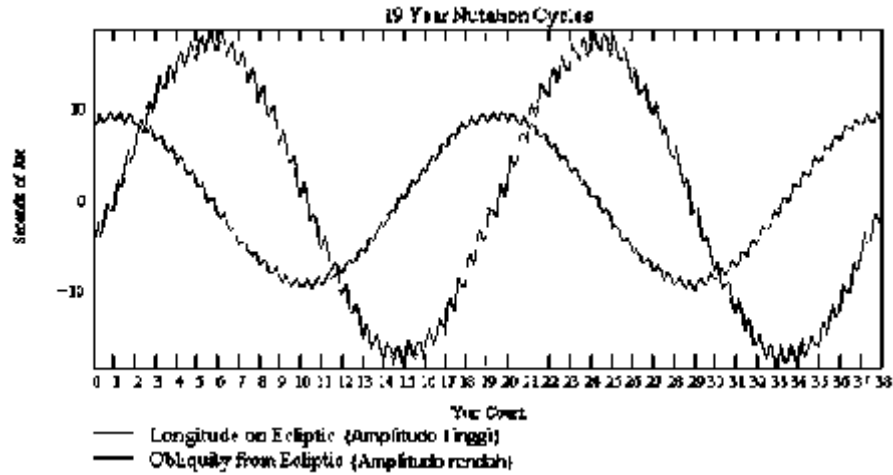
Gambar 3. Gerak presisi dan nutasi bumi¹⁶

Nilai *eclipticobliquity* bervariasi dalam siklus 19 tahun sebagaimana diilustrasikan oleh gambar berikut.

¹⁵ Peter Duffet Smith, *Practical Astronomy with Your Calculator* (Cambridge University Press: Cambridge UK, 1988), 60.

¹⁶ <https://www.researchgate.net>, diakses tanggal 6 Juni 2017.

PERHITUNGAN DATA EPHEMERIS KOORDINAT MATAHARI



Gambar 4. Grafik siklus 19 tahun nutasi¹⁷

Adapun algoritma *true obliquity* adalah:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon$$

ε_0 merupakan *mean obliquity* (sudut kemiringan rata-rata antara ekliptika dan ekuator langit) yang dihitung dengan algoritma:

$$\varepsilon_0 = 23^{\circ}26'21.448'' - 4680.93U - 1.55U^2 + 1999.25U^3 - 51.38U^4 \\ - 249.67U^5 - 39.05U^6 + 7.12U^7 + 27.87U^8 + 5.79U^9 + 2.45U^{10}$$

Di mana $U = \frac{T}{100} = \frac{0.174318987}{100} = 0.00174318987$

Jika disubstitusikan nilai-nilai di atas maka didapatkan:

$$\varepsilon_0 = 23^{\circ}26'13.28826''$$

Kemudian sebagai koreksi dihitung nilai ε yaitu dengan menghitung terlebih dahulu unsur-unsur berikut.

- a. Elongasi rata-rata Bulan dari Matahari (D) dengan persamaan:

$$D = 297.86036 + 445267.111480T - 0.0019142T^2 + \frac{T^3}{189474} =$$

- b. Anomali rata-rata Matahari (M) dengan persamaan:

$$M = 357.52772 + 35999.050340T - 0.0001603T^2 - \frac{T^3}{300000}$$

- c. Anomali rata-rata Bulan (M') dengan persamaan:

$$M' = 134.96298 + 477198.867398T + 0.0086972T^2 + \frac{T^3}{56250}$$

- d. *Moon's argument of latitude* (F) dengan persamaan:

$$F = 93.27191 + 483202.017538T - 0.0036825T^2 + \frac{T^3}{327270}$$

- e. Bujur *ascending node* orbit Bulan rata-rata pada ekliptika diukur dari *mean equinox* tanggal yang bersangkutan () dengan persamaan:

¹⁷ <http://astro.pietro.org>, diakses tanggal 6 Juni 2017

REZA AKBAR

$$= 125.04452 - 1934.136261T + 0.0020708T^2 + T^3/4500000$$

Hasil perhitungan nilai-nilai di atas menghasilkan:

Tabel 1. Hasil perhitungan sesuai dengan poin a, b, c, d, dan e di atas.

T	D	M	M'	F	
0.174318987	156.3621195°	152.8457033°	159.7864067°	84.5580117°	147.8879092°
	2.729033811 radian	2.66766077 radian	2.788798897 radian	1.475815713 radian	2.581130939 radian

Selanjutnya adalah perhitungan nilai *periodic terms in obliquity* (ϵ) dengan menggunakan tabel di bawah ini.¹⁸

Tabel 2. *Periodic terms* nutasi pada *obliquity* (ϵ)

No	D	M	M'	F		Koef ϵ	
1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	92025.00	8.90
2	-2.00	0.00	0.00	2.00	2.00	5736.00	-3.10
3	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	977.00	-0.50
4	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-895.00	0.50
5	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	54.00	-0.10
6	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	-7.00	0.00
7	-2.00	1.00	0.00	2.00	2.00	224.00	-0.60
8	0.00	0.00	0.00	2.00	1.00	200.00	0.00
9	0.00	0.00	1.00	2.00	2.00	129.00	-0.10
10	-2.00	-1.00	0.00	2.00	2.00	-95.00	0.30
11	-2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
12	-2.00	0.00	0.00	2.00	1.00	-70.00	0.00
13	0.00	0.00	-1.00	2.00	2.00	-53.00	0.00
14	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
15	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	-33.00	0.00
16	2.00	0.00	-1.00	2.00	2.00	26.00	0.00
17	0.00	0.00	-1.00	0.00	1.00	32.00	0.00
18	0.00	0.00	1.00	2.00	1.00	27.00	0.00
19	-2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20	0.00	0.00	-2.00	2.00	1.00	-24.00	0.00
21	2.00	0.00	0.00	2.00	2.00	16.00	0.00
22	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	13.00	0.00
23	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00
24	-2.00	0.00	1.00	2.00	2.00	-12.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
26	-2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00
27	0.00	0.00	-1.00	2.00	1.00	-10.00	0.00
28	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	2.00	0.00	-1.00	0.00	1.00	-8.00	0.00
30	-2.00	2.00	0.00	2.00	2.00	7.00	0.00

¹⁸ Jean Meeus, *Astronomical...*, 145-146

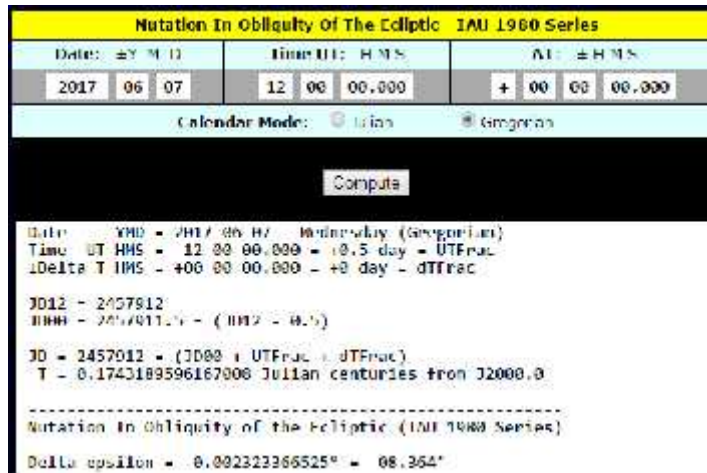
PERHITUNGAN DATA EPHEMERIS KOORDINAT MATAHARI

31	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	9.00	0.00
32	-2.00	0.00	1.00	0.00	1.00	7.00	0.00
33	0.00	-1.00	0.00	0.00	1.00	6.00	0.00
34	0.00	0.00	2.00	-2.00	0.00	0.00	0.00
35	2.00	0.00	-1.00	2.00	1.00	5.00	0.00
36	2.00	0.00	1.00	2.00	2.00	3.00	0.00
37	0.00	1.00	0.00	2.00	2.00	-3.00	0.00
38	-2.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
39	0.00	-1.00	0.00	2.00	2.00	3.00	0.00
40	2.00	0.00	0.00	2.00	1.00	3.00	0.00
41	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
42	-2.00	0.00	2.00	2.00	2.00	-3.00	0.00
43	-2.00	0.00	1.00	2.00	1.00	-3.00	0.00
44	2.00	0.00	-2.00	0.00	1.00	3.00	0.00
45	2.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.00	0.00
46	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
47	-2.00	-1.00	0.00	2.00	1.00	3.00	0.00
48	-2.00	0.00	0.00	0.00	1.00	3.00	0.00
49	0.00	0.00	2.00	2.00	1.00	3.00	0.00
50	-2.00	0.00	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00
51	-2.00	1.00	0.00	2.00	1.00	0.00	0.00
52	0.00	0.00	1.00	-2.00	0.00	0.00	0.00
53	-1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
54	-2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
55	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
56	0.00	0.00	1.00	2.00	0.00	0.00	0.00
57	0.00	0.00	-2.00	2.00	2.00	0.00	0.00
58	-1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
59	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00
60	0.00	-1.00	1.00	2.00	2.00	0.00	0.00
61	2.00	-1.00	-1.00	2.00	2.00	0.00	0.00
62	0.00	0.00	3.00	2.00	2.00	0.00	0.00
63	2.00	-1.00	0.00	2.00	2.00	0.00	0.00

Cara menggunakan tabel di atas adalah dengan menghitung setiap baris (1 – 63) kemudian menjumlahkan hasilnya. Untuk setiap baris berlaku persamaan: **Koefisien x cos Multiple Argumen**. Sebagai contoh(di baris kedua):

$$92025.00 + 8.90T \times \cos (-2D + 2F + 2 \quad).$$

Jumlah dari seluruh perhitungan di atas menghasilkan nilai ϵ (*delta epsilon*) = - 82456.12303 radian = - 0.002290448 derajat = - 8.245612303 . Nilai ini dapat dibandingkan (dicek akurasinya) dengan software yang tersedia secara *online*.

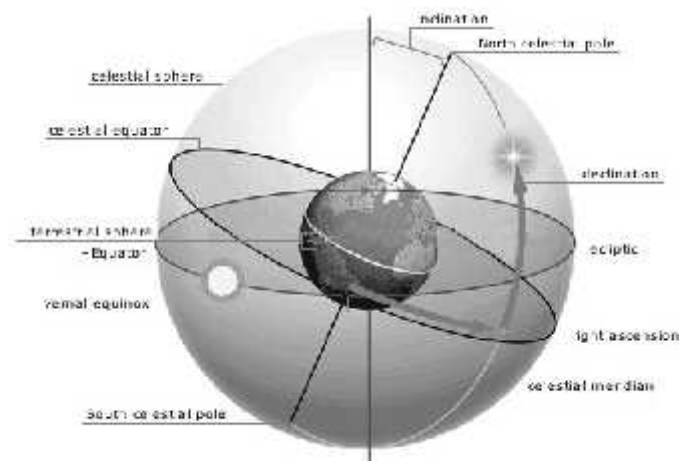


Gambar 5. Salah satu *software online* untuk mengecek JD, T, dan ϵ (delta epsilon)¹⁹
 Dengan demikian diperoleh nilai $\epsilon = \epsilon_0 + \epsilon$ yaitu:

$$\epsilon = 23^{\circ}26'13.28826'' + -8.245612303 = 23^{\circ}26'5.04$$

6. Asensio Rekta dan Deklinasi

Asensio rekta (disimbolkan dengan α /alpha) adalah jarak sudut antara *vernal equinox*(perpotongan ekliptika dan ekuator langit) dan bidang meridian yang melalui benda langit. Asensio rekta diukur dari barat ke timur di sepanjang ekuator langit dengan *vernal equinox* sebagai titik acuan sampai ke lingkaran waktu objek.²⁰ Jadi, asensio rekta Matahari adalah jarak Matahari dari *vernal equinox* diukur sepanjang lingkaran ekuator²¹.



Gambar 6. Asensio rekta sebuah objek (bintang)²²

Untuk mendapatkan *apparent longitude of the sun*, digunakan persamaan:

¹⁹ <http://www.neoprogrammics.com>, diakses tanggal 4 Juni 2017.

²⁰ <https://www.britannica.com>, diakses tanggal 5 Juni 2017.

²¹ Tim Penyusun, *Ephemeris Hisab Rukyat 2017* (Jakarta, Kementerian Agama RI, 2016), 1.

²² <http://www.jtwastronomy.com>, diakses tanggal 5 Juni 2017.

PERHITUNGAN DATA EPHEMERIS KOORDINAT MATAHARI

$$\odot_{app} = \odot + \Delta\psi - \frac{20.4898''}{R} = 76^{\circ}55'18.08''$$

Di mana ψ adalah koreksi *nutation in longitude* yang dicari melalui tabel berikut dengan persamaan:

Koefisien x Sin Multiple Argumen

Tabel 3. *Periodic terms* nutasi pada bujur ψ

No	D	M	M'	F	Ω	Koef	ψ
1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-171996.00	-174.20
2	-2.00	0.00	0.00	2.00	2.00	-13187.00	-1.60
3	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	-2274.00	-0.20
4	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	2062.00	0.20
5	0.00	1.00	0.00	0.00	0.00	1426.00	-3.40
6	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	712.00	0.10
7	-2.00	1.00	0.00	2.00	2.00	-517.00	1.20
8	0.00	0.00	0.00	2.00	1.00	-386.00	-0.40
9	0.00	0.00	1.00	2.00	2.00	-301.00	0.00
10	-2.00	-1.00	0.00	2.00	2.00	217.00	-0.50
11	-2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	-158.00	0.00
12	-2.00	0.00	0.00	2.00	1.00	129.00	0.10
13	0.00	0.00	-1.00	2.00	2.00	123.00	0.00
14	2.00	0.00	0.00	0.00	0.00	63.00	0.00
15	0.00	0.00	1.00	0.00	1.00	63.00	0.10
16	2.00	0.00	-1.00	2.00	2.00	-59.00	0.00
17	0.00	0.00	-1.00	0.00	1.00	-58.00	-0.10
18	0.00	0.00	1.00	2.00	1.00	-51.00	0.00
19	-2.00	0.00	2.00	0.00	0.00	48.00	0.00
20	0.00	0.00	-2.00	2.00	1.00	46.00	0.00
21	2.00	0.00	0.00	2.00	2.00	-38.00	0.00
22	0.00	0.00	2.00	2.00	2.00	-31.00	0.00
23	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	29.00	0.00
24	-2.00	0.00	1.00	2.00	2.00	29.00	0.00
25	0.00	0.00	0.00	2.00	0.00	26.00	0.00
26	-2.00	0.00	0.00	2.00	0.00	-22.00	0.00
27	0.00	0.00	-1.00	2.00	1.00	21.00	0.00
28	0.00	2.00	0.00	0.00	0.00	17.00	-0.10
29	2.00	0.00	-1.00	0.00	1.00	16.00	0.00
30	-2.00	2.00	0.00	2.00	2.00	-16.00	0.10
31	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	-15.00	0.00
32	-2.00	0.00	1.00	0.00	1.00	-13.00	0.00
33	0.00	-1.00	0.00	0.00	1.00	-12.00	0.00
34	0.00	0.00	2.00	-2.00	0.00	11.00	0.00
35	2.00	0.00	-1.00	2.00	1.00	-10.00	0.00
36	2.00	0.00	1.00	2.00	2.00	-8.00	0.00

REZA AKBAR

37	0.00	1.00	0.00	2.00	2.00	7.00	0.00
38	-2.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-7.00	0.00
39	0.00	-1.00	0.00	2.00	2.00	-7.00	0.00
40	2.00	0.00	0.00	2.00	1.00	-7.00	0.00
41	2.00	0.00	1.00	0.00	0.00	6.00	0.00
42	-2.00	0.00	2.00	2.00	2.00	6.00	0.00
43	-2.00	0.00	1.00	2.00	1.00	6.00	0.00
44	2.00	0.00	-2.00	0.00	1.00	-6.00	0.00
45	2.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-6.00	0.00
46	0.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	5.00	0.00
47	-2.00	-1.00	0.00	2.00	1.00	-5.00	0.00
48	-2.00	0.00	0.00	0.00	1.00	-5.00	0.00
49	0.00	0.00	2.00	2.00	1.00	-5.00	0.00
50	-2.00	0.00	2.00	0.00	1.00	4.00	0.00
51	-2.00	1.00	0.00	2.00	1.00	4.00	0.00
52	0.00	0.00	1.00	-2.00	0.00	4.00	0.00
53	-1.00	0.00	1.00	0.00	0.00	-4.00	0.00
54	-2.00	1.00	0.00	0.00	0.00	-4.00	0.00
55	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-4.00	0.00
56	0.00	0.00	1.00	2.00	0.00	3.00	0.00
57	0.00	0.00	-2.00	2.00	2.00	-3.00	0.00
58	-1.00	-1.00	1.00	0.00	0.00	-3.00	0.00
59	0.00	1.00	1.00	0.00	0.00	-3.00	0.00
60	0.00	-1.00	1.00	2.00	2.00	-3.00	0.00
61	2.00	-1.00	-1.00	2.00	2.00	-3.00	0.00
62	0.00	0.00	3.00	2.00	2.00	-3.00	0.00
63	2.00	-1.00	0.00	2.00	2.00	-3.00	0.00

Sebagai contoh pada tabel baris kedua:

$$(-13187.00 + -1.60T) \times \sin(-2D + 2F + 2 \quad).$$

Dalam bentuk persamaan, asensio rekta dirumuskan:

$$\tan \alpha = \frac{\sin \ominus_{app} \cos \varepsilon - \tan \beta \sin \varepsilon}{\cos \ominus_{app}}$$

Jika nilai-nilai ε dan λ yang kita peroleh sebelumnya disubstitusikan ke persamaan di atas maka diperoleh:

$$\tan \alpha = \frac{\sin 76^{\circ}55'18.08'' \cos 23^{\circ}26'5.04'' - \tan 0^{\circ}0'21'' \sin 23^{\circ}26'5.04''}{\cos 76^{\circ}55'18.08''}$$

Jadi, $\alpha = 75^{\circ}47'30.06'' = 75^{\circ}47'30$

Persamaan untuk menghitung α dapat pula menggunakan persamaan:

Sedangkan *apparent declination* dihitung menggunakan persamaan:

$$\sin \quad = \sin \beta \cos \varepsilon + \cos \beta \sin \varepsilon \sin \ominus_{app}$$

PERHITUNGAN DATA EPHEMERIS KOORDINAT MATAHARI

Dengan demikian,

$$\sin \delta = \sin 0^{\circ} 0' 21'' \cos 23^{\circ} 26' 5.04'' + \cos 0^{\circ} 0' 21'' \sin 23^{\circ} 26' 5.04'' \sin 76^{\circ} 55' 18.08''$$

$$\text{Jadi, } \delta = 22^{\circ} 47' 31.75'' = 22^{\circ} 47' 32''$$

7. Equation of Time (Perata Waktu)

Equation of Time adalah perbedaan antara waktu Matahari rata-rata (*mean time*) dan waktu Matahari hakiki (*solar time*).²³ *Solar time* diperoleh dari sudut waktu Matahari, sedangkan *mean time* merupakan pembagian satu hari menjadi 24 jam yang kita gunakan sebagai standar waktu sehari-hari. Karena itu, *solar time* tidak sinkron dengan *mean time*, karena variasi fakta astronomis.²⁴

Dalam bentuk persamaan, *equation of time* (E) dinyatakan dengan:

$$E = L_0 - 0.0057183^{\circ} - \alpha + \psi \cdot \cos \varepsilon$$

Di mana L_0 adalah bujur rata-rata geometris Matahari yang dihitung dengan persamaan:

$$L_0 = 280.4664567^{\circ} + 360007.6982779^{\circ} T + 0.03032028^{\circ} T^2 + \frac{T^3}{49931} - \frac{T^4}{15300} - \frac{T^5}{2000000}$$

Dengan mensubstitusikan nilai T maka diperoleh:

$$L_0 = 6556.08419351^{\circ} = 76^{\circ} 5' 3.1''$$

Dengan demikian, *equation of time* (E) menjadi:

$$\begin{aligned} E &= L_0 - 0.0057183^{\circ} - \alpha + \psi \cdot \cos \varepsilon \\ E &= 76^{\circ} 5' 3.1'' - 0.0057183^{\circ} - 75^{\circ} 47' 30.88'' + -9.714789699 \cos 23^{\circ} 26' 5.04'' \\ E &= 76^{\circ} 5' 3.1'' - 20.58588'' - 75^{\circ} 47' 30.88'' - 8.913452657 \\ E &= \mathbf{1 \text{ menit } 8 \text{ detik}} \end{aligned}$$

8. Semidiameter

Semidiameter adalah jarak antara titik pusat Matahari ke piringan terluarnya atau sama dengan jari-jari piringan Matahari. Semidiameter Matahari dihitung dengan persamaan:²⁵

$$SD = \frac{959.63}{R} = 15' 45.55''$$

²³ <http://study.com>, diakses tanggal 30 Mei 2017.

²⁴ <http://www.shadowspro.com>, diakses tanggal 5 Juni 2017.

²⁵ Jean Meeus, *Astronomical...*, 389

9. Perbandingan Hasil Perhitungan

Berdasarkan perhitungan penyusun diperoleh data Matahari pada tanggal 7 Juni 2017 pukul 12 GMT yaitu:

<i>Ecliptic Long</i>	<i>Ecliptic Lat</i>	<i>Apparent RA</i>	<i>Apparent Dec</i>	<i>True Geo-Distance</i>	<i>Semi-diameter</i>	<i>True Obliq</i>	<i>Eq. of Time</i>
76°55'48"	0,21"	75°47'30"	22°47'32"	1.0148894	15'45.55"	23°26'05"	1 m 8 s

Sedangkan di dalam Ephemeris Hisab Rukyat 2017 yang diterbitkan oleh Kementerian Agama RI pada tanggal 7 Juni 2017 pukul 12 GMT data-datanya adalah:

<i>Ecliptic Long</i>	<i>Ecliptic Lat</i>	<i>Apparent RA</i>	<i>Apparent Dec</i>	<i>True Geo-Distance</i>	<i>Semi-diameter</i>	<i>True Obliq</i>	<i>Eq. of Time</i>
76°56'11"	0,21"	75°47'54"	22°47'34"	1.0148904	15'45.55"	23°26'05"	1 m 5 s

Dari kedua tabel di atas, masih terdapat perbedaan data-data Matahari. Perbedaan tersebut bisa saja dipengaruhi oleh perbedaan penggunaan algoritma atau juga disebabkan oleh perbedaan proses perhitungan seperti pembulatan desimal, penggunaan nilai π dan lain-lain. Namun demikian, selisih hasil yang diperoleh melalui perhitungan di dalam artikel ini dan data ephemeris pembanding cukup kecil. Hal tersebut wajar karena penggunaan algoritma atau proses perhitungan yang berbeda dapat menimbulkan hasil yang berbeda pula.

C. Penutup

Perhitungan data Matahari menggunakan algoritma Jean Meeus diawali dengan menghitung terlebih JD dan JDE. Di dalam proses perhitungan, terdapat algoritma utama yaitu persamaan untuk suatu nilai yang dicari. Namun, terdapat pula algoritma lanjutan berdasarkan teori VSOP87 untuk mencari nilai-nilai lain dan nilai koreksi.

Berdasarkan apa yang telah penyusun lakukan, perlu ketelitian dalam penggunaan algoritma dan proses perhitungan data ephemeris agar dihasilkan data yang benar-benar akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Kovalevsky, Jean dan Seidelmann, P. Kenneth. *Fundamentals of Astrometry*. Cambridge University Press: Cambridge UK, 2004.
- Meeus, Jean, *Elements of Solar Eclipses 1951-2200*. Virginia: Willman-Bell, Inc, 1989.
- *Astronomical Algorithms*. Virginia: Willmann-Bell Inc, 1998.
- Montenbruck, Oliver dan Pfleger, Thomas. *Astronomy on the Personal Computer*. Berlin: Springer-Verlag, 1994.
- Reda, Ibrahim dan Andreas, Afshin. *Solar Position Algorithm for Solar Radiation Applications*. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2008.

PERHITUNGAN DATA EPHEMERIS KOORDINAT MATAHARI

Smith, Peter Duffet. *Practical Astronomy with Your Calculator*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1988.

Tim Penyusun. *Ephemeris Hisab Rukyat 2017*. Jakarta: Kementerian Agama RI, 2016.

Sumber dari Internet:

<https://www.caglow.com>, diakses tanggal 3 Juni 2017.

<http://study.com>, diakses tanggal 30 Mei 2017.

<http://www.jtwastronomy.com>, diakses tanggal 5 Juni 2017.

<http://www.neoprogrammics.com>, diakses tanggal 4 Juni 2017.

<http://www.shadowspro.com>, diakses tanggal 5 Juni 2017.

<https://www.britannica.com>, diakses tanggal 5 Juni 2017.

<http://rintoanugraha.staff.ugm.ac.id>, diakses tanggal 1 Juni 2017.

<http://wise-obs.tau.ac.il>, diakses tanggal 1 Juni 2017.

<https://docs.kde.org>, diakses tanggal 1 Juni 2017.

<http://astro.pietro.org>, diakses tanggal 6 Juni 2017.

<https://www.researchgate.net>, diakses tanggal 6 Juni 2017.

<http://www.soulsofdistortion.nl>, diakses tanggal 6 Juni 2017.