

BAB III
SISTEM HISAB AWAL BULAN QAMARIAH
DR. ING. KHAFID DALAM PROGRAM MAWAAQIT

A. Biografi Intelektual Dr. Ing. Khafid

Khafid, lahir di Demak, 4 Maret 1967. Sebagian besar masa kecilnya dihabiskan di Demak. Sekolah di SD Negeri Kadilangu I Demak, SMP Negeri II Demak, dan SMA Negeri I Demak. Baru meninggalkan Demak pada tahun 1987 setelah menerima beasiswa OFP (*Offersis Felope Program*) yang disponsori oleh Bapak BJ. Habibi. Khafid merupakan satu dari 250 penerima beasiswa tersebut yang dikirim ke berbagai negara seperti Prancis, Jerman, Belanda, Amerika, Jepang, Austria, dan negara lainnya yang kemudian akan ditempatkan di beberapa lembaga, diantaranya LIPI (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia), BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika), BAKOSURTANAL (Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional), BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), LAPAN (Lembaga Penerbangan Antariksa Nasional), dan lembaga lainnya.¹

Sesuai dengan minatnya kepada teknik informatik, Khafid memilih jurusan Teknik Informatika ke Jepang, akan tetapi nasib berkata lain, Khafid mendapatkan jatah beasiswa ke Belanda dengan jurusan Teknik Geodesi sesuai dengan penempatannya nanti di Bakosurtanal. Karena pada

¹ Wawancara dengan Dr. Ing. Khafid (pembuat program Mawaaqit) di Hotel Nalendra Cihampelas Bandung pada tanggal 28 Juli 2010.

awalnya Khafid memang berkeinginan untuk mempelajari teknik informatika, meskipun sekolah jurusan teknik geodesi tetapi dia senang mengotak-atik komputer yang akhirnya menghasilkan macam-macam software, salah satu diantaranya Mawaaqit.²

Lulus SMA (1987) dia kemudian melanjutkan program S1 di Teknik Geodesi Universitas Delft Belanda. Karena program S1 dan S2 nya merupakan satu paket, program S2 nya pun diselesaikan di Universitas yang sama. Program sarjana dan magisternya diselesaikan dalam kurun waktu 6,5 tahun. Kemudian Khafid melanjutkan program Doktornya di Universitas Teknik Munchen Jerman.³

Bersamaan dengan masuknya Khafid menjadi anggota Badan Hisab Rukyat Pusat pada tahun 2001, disanalah program Mawaaqit mulai dikenal. Tahun 2006 Khafid dimintai kesediannya oleh Rois PBNU, KH. Ghozali Masruri, untuk menjadi anggota Litbang LF-PBNU.⁴

Saat ini Khafid bekerja di BAKOSURTANAL. Selain menjadi anggota Badan Hisab Rukyat nasional mewakili BAKOSURTANAL, dia juga menjadi salah satu tim penyusun Sub Misi Landas Kontinental Indonesia yang dikirim ke PBB. Hal ini terkait dengan batas wilayah Indonesia yang dimungkinkan untuk diperluas, dimana dia harus membuktikan data-datanya dengan menyusun data taktis untuk dikirim ke PBB.⁵

² *Ibid*

³ *Ibid*

⁴ Khafid, Wawancara via Email pada 12 Oktober 2010

⁵ *Ibid*

B. Karya-karya Dr. Ing. Khafid

Mawaaqit merupakan salah satu software karya Khafid yang berasal dari kegemarannya terhadap teknik informatika dan keinginan untuk menyatukan perbedaan penentuan awal bulan Qamariah yang terjadi di sekelilingnya, khususnya diantara teman-temannya yang berasal dari berbagai negara, seperti Maroko, Mesir, Suriname, Turki, dan negara lain. Berdasarkan perbedaan tersebut Khafid merasa tertarik untuk mempelajari ilmu falak.⁶ Dengan keahliannya di bidang teknik informatika, Khafid dkk berhasil menciptakan software penentuan awal bulan Qamariah yang diberi nama Mawaaqit 1.0.

Ketika duduk di bangku kuliah, dia lebih banyak mempelajari Teknik Satelit Altimetri (mengukur permukaan air laut dari satelit) untuk memprediksi gunung bawah laut, kedalaman laut, naik turunnya air laut, dan sebagainya. Sesuai dengan jurusannya tersebut, dia menghasilkan software pemrosesan data altimetri, software untuk menghitung geoid, dan software-software lainnya. Mawaaqit adalah satu-satunya software hisab rukyat karyanya. Di antara semua software buatannya, software yang cukup besar adalah Mawaaqit dan software Pemrosesan Data Altimetri.⁷

Karya lain yang berbentuk buku adalah buku formal (tidak diperjual belikan di pasaran melainkan untuk dikirim ke PBB), di antaranya adalah buku laporan survey. Adapun buku hisab rukyat karya Khafid hanya Buku Garis Tanggal Kalender Islam yang berisi tentang

⁶ Wawancara dengan Dr. Ing. Khafid (Pembuat Program Mawaaqit) di Kantor Pasca Sarjana IAIN Walisongo Semarang pada tanggal 8 Mei 2010.

⁷ Wawancara dengan Dr. Ing. Khafid, *op.cit.*

kalender Qamariah, garis tanggal Internasional, problematika penentuan awal bulan kalender Islam, penentuan awal bulan di Saudi Arabia, peran ilmu Astro-Geodesi dalam penanggalan Qamariah dan penelitian perhitungan penentuan awal bulan Qamariah.

C. Pemikiran Dr. Ing. Khafid tentang Hisab Awal Bulan Qamariah Program Mawaaqit

Geodesi merupakan suatu cabang ilmu yang mempelajari ilmu ukur tanah (bumi). Sebagai seorang ahli geodesi, Khafid tidak mempelajari ilmu astronomi secara mendalam ketika di bangku kuliah. Hal ini dikarenakan di fakultas geodesi tidak ada mata kuliah yang mempelajari astronomi secara khusus, yang ada mata kuliah Geodetik Astronomi yang hanya mempelajari masalah *positioning* (tempat). Meskipun demikian Khafid telah berhasil menciptakan sebuah program (*software*) yang merupakan aplikasi dari ilmu falak, yaitu *Mawaaqit*.

Perbedaan penentuan awal bulan Qamariah yang terjadi di antara Khafid dkk menjadi motivasi penyatuan penentuan awal bulan Qamariah di Belanda. Pada tahun 1992/1993 ICMI orsat Belanda mensponsori penelitian perhitungan awal bulan Qamariah dengan metode astronomi modern. Pelaksanaan kegiatan penelitian itu dilakukan oleh beberapa siswa yang sedang tugas belajar di Delft Belanda. Adapun peneliti-peneliti tersebut adalah Khafid, Wakhid Sudiantoro Putro, Dadan Ramdani, Ade

Komara Mulyana, Adi Junjuna Mustafa (dari Bakosurtanal) dan Kiki Yaranusa (dari IPTN).⁸

Kegiatan penelitian ini menghasilkan software Mawaaqit 1.0 yang ditulis dalam bahasa program PASCAL dalam DOS. Tanggapan positif dari kalangan masyarakat muslim Indonesia baik yang berada di mancanegara maupun yang ada di dalam negeri, bahkan banyaknya tanggapan dari masyarakat muslim dari negara lain memberikan bukti bahwasanya penelitian lebih lanjut sangat diperlukan. Pada periode tahun 1994 sampai 1996, Khafid dan Fahmi Amhar dari Bakosurtanal melakukan perbaikan-perbaikan program Mawaaqit sampai pada versi 1.3.

Bersamaan dengan perkembangan teknologi komputer, terutama didorong dengan munculnya sistem operasi baru Windows 95 dan Windows NT dan juga teknologi internet, penelitian lebih lanjut tentang perhitungan kalender Qamariah dilakukan oleh Khafid. Sebagai hasilnya dipublikasikan serangkaian versi software Mawaaqit dan Mawaaqit 32++ yang ditulis dengan bahasa program C/C++ berjalan dalam sistem operasi Windows 95/Windows NT, Mawaaqit 96.04 versi Internet ditulis dengan Java. Selanjutnya muncul Mawaaqit 2000 yang sudah dilengkapi dengan modul-modul analisis yang diperlukan. Saat ini, Mawaaqit yang teraktual adalah versi 2001.

Khafid merancang Mawaaqit 2001 untuk dipakai di seluruh dunia.

Untuk memenuhi tujuan ini maka disediakan opsi menu dalam empat

⁸ Khafid, Petunjuk Pemakaian Program Mawaaqit Versi 2001 Disampaikan pada Kuliah Umum dan Penutupan Kursus Hisab Rukyat Pengadilan Tinggi Agama Surabaya Tanggal 4-5 September 2005 dengan topik: Komputerisasi Program Hisab Rukyat.

bahasa, yakni: Inggris, Jerman, Belanda dan Indonesia. Program ini terdiri dari program al-Qur'an, al-Hadis, waktu shalat dan arah kiblat, dan kalender.⁹

Khafid menggunakan metode astro-geodesi dalam penentuan awal bulan Qamariah Program Mawaaqit. Kaitannya dalam penentuan awal bulan Qamariah, metode astro-geodesi digunakan untuk memprediksi kenampakan bulan. Dengan kata lain, kapan hilal nampak dan dimana dapat diperhitungkan.¹⁰

Tugas ilmu geodesi salah satunya adalah penentuan posisi, baik dipermukaan bumi maupun di luar angkasa, sehingga sangat akrab dengan ilmu astronomi. Hal ini dapat dilihat pada awal-awal perkembangan ilmu geodesi, sewaktu manusia mencoba menentukan bentuk dan ukuran bumi secara pasti dengan bantuan astronomi, yakni dengan merumuskan hubungan matematis antara jarak Alexandria ke Shiena di muka bumi terhadap posisi matahari untuk menghitung jari-jari bumi. Demikian halnya dahulu orang menentukan posisinya kapalnya di laut dengan bantuan astronomi untuk keperluan navigasi. Perpaduan ilmu geodesi dengan ilmu astronomi tersebut, baik dalam teori maupun dalam praktek kemudian melahirkan cabang ilmu astro-geodesi ataupun teknik-teknik geodesi antariksa (*Space Geodetic Technique*).¹¹

⁹ *Ibid*

¹⁰ Khafid, *Garis Tanggal Kalender Islam 1427H*, Bogor: Badan Koordinasi Survey dan Pemetaan Nasional, 2006, hlm. 17

¹¹ *Ibid*. hlm. 16

Dalam program penentuan awal bulannya, Khafid menggunakan teori dan algoritma dengan ketelitian yang sangat tinggi yaitu VSOP87. Variations Seculaires des Orbites Planetaires Theory (VSOP) ini disusun oleh Bretagnon pada tahun 1982 dan disempurnakan oleh Bretagnon dan Francou pada tahun 1987 sehingga sering disebut VSOP87.¹² Jean Meeus menyatakan bahwa dengan teori dan algoritma VSOP87 akurasi yang didapatkan adalah lebih baik dari 0.01”.¹³

Pada Mawaaqit versi 1.0 yang ditulis dalam bahasa program PASCAL dalam DOS hingga Mawaaqit versi 2000 Khafid menggunakan algoritma Meeus dengan kisaran ketelitian sekitar 1”, akan tetapi pada Mawaaqit versi 2001 Khafid mengkombinasikan algoritma Meeus dengan VSOP87 yang ketelitiannya mencapai 0.01”.

Khafid menggunakan teori dan algoritma VSOP87 untuk menentukan koordinat matahari yang meliputi lintang matahari¹⁴, bujur matahari¹⁵, jarak matahari dari bumi, deklinasi matahari¹⁶, ascension rekta¹⁷, tinggi matahari dari horizon¹⁸, dan azimuth matahari¹⁹.

¹² Dhani Herdiwijaya, *Makalah disampaikan pada acara Diklat Nasional Pelaksana Rukyat Nahdatul Ulama, oleh Lajnah falakiyah NU di Masjid Agung Jawa Tengah, 19 Desember 2006.*

¹³ <http://www.eramuslim.com/syariah/ilmu-hisab/posisi-matahari-algoritma-meeus.htm>. diakses pada 9 Desember 2010.

¹⁴ Lintang ekliptika dikenal dalam bahasa Indonesia dengan lintang astronomi yang dikenal pula dengan ‘ardlusy syams. Data ini adalah jarak titik pusat matahari dari lingkaran ekliptika. Lihat Direktorat Urusan Agama Islam dan Pembinaan Syariah Ditjen Bimbingan Masyarakat Islam, *Ephemeris Hisab Rukyat*, Departemen Agama RI, hlm. 3

¹⁵ Bujur ekliptika dikenal dalam bahasa Indonesia dengan bujur astronomi yang dikenal pula dengan istilah Taqwim atau Thul yakni jarak matahari dari titik Aries (Vernal Equinox) diukur sepanjang lingkaran ekliptika. *Ibid.*

¹⁶ Apparent declination dikenal dalam bahasa Indonesia dengan deklinasi matahari yang terlihat (bukan matahari hakiki) atau yang dikenal dengan mail syams adalah jarak matahari dari equator. *Ibid.*

¹⁷ Apparent right ascension dikenal dalam bahasa Indonesia dengan Asensio Rekta. Data ini adalah jarak matahari dari titik aries diukur sepanjang lingkaran equator. *Ibid.*

Sedangkan untuk menentukan posisi bulan, Khafid menggunakan algoritma Jean Meeus yang meliputi lintang bulan, bujur bulan, jarak bulan dari bumi, deklinasi bulan, ascension rekta, tinggi bulan dari horizon, dan azimuth bulan, umur bulan, fase iluminasi²⁰, elongasi²¹.

Algoritma Meeus sendiri sebenarnya merupakan reduksi dari algoritma VSOP87 yang lengkap. Dari ribuan suku koreksi dalam algoritma VSOP87, maka yang diperhitungkan adalah sekitar ratusan suku-suku yang besar dan penting dalam algoritma Meeus ini.²²

D. Sistem Hisab Awal Bulan Qamariah dalam Program Mawaaqit

Di antara data-data yang diperlukan dalam penentuan awal bulan Qamariah adalah waktu ijtima' dan tinggi hilal. Berikut langkah-langkah dalam penentuan awal bulan Qamariah dalam Program Mawaaqit:

Contoh perhitungan awal Ramadan 1431 H dengan Sistem MAWAAQIT :

Lintang Semarang (ϕ^x) : $6^\circ 58'$ LS

Bujur Semarang (λ^x) : $110^\circ 29'$ BT

¹⁸ Ketinggian yang dalam astronomi dikenal dengan istilah altitude, yaitu ketinggian benda langit dihitung sepanjang lingkaran vertical dari ufuk sampai benda langit yang dimaksud. Ketinggian benda langit bertanda positif (+) apabila benda langit ybs berada di atas ufuk. demikian pula bertanda negatif (-) apabila ia berada di bawah ufuk. Dalam astronomi biasanya diberi notasi h (hight). Lihat Muhyiddin Khazin, *Kamus Ilmu Falak, op.cit*, hlm. 37.

¹⁹ Azimuth matahari adalah busur matahari pada lingkaran horizon diukur mulai dari titik utara ke arah timur atau kadang-kadang diukur dari titik selatan ke arah barat. Dalam bahasa arab disebut as-simt. Lihat Encup Supriatna, *Hisab Rukyat dan Aplikasinya*, Bandung: Refika Aditama, Cetakan Pertama, 2007, hlm. xi.

²⁰ Iluminasi adalah luas bagian bulan yang memancarkan sinar. dalam praktek perhitungan, harga maksimal iluminasi bulan adalah 1 (satu) yakni ketika terjadi bulan purnama. Muhyiddin Khazin, *op.cit*, hlm. 34.

²¹ Elongasi adalah sudut pada bumi yang dibentuk oleh garis hubung antara suatu planet dengan bumi. Elongasi 0° ketika terjadi konjungsi; 90° ketika pada kwartir pertama; 180° ketika oposisi, dan 270° ketika pada kwartir kedua. Lihat Muhyiddin Khazin, *op.cit*, hlm. 23.

²² Dhani Herdiwijaya, *op.cit*.

Ketinggian tempat (h) : 0 m

1. Menghitung perkiraan Akhir Sya'ban 1431 H

29 Sya'ban 1431 H secara astronomis berarti 1430 th + 7 bl + 29 hari

$$1430/30 = 47 \text{ Daur} + 20 \text{ Thn} + 7 \text{ bl} + 29 \text{ hari}$$

$$47 \text{ daur} \times 10631 = 499657 \text{ hari}$$

$$20 \text{ th} = (20 \times 354) + 7 = 7087 \text{ hari}$$

$$7 \text{ bl} = (30 \times 4) + (29 \times 3) = 207 \text{ hari}$$

$$29 \text{ h} = \underline{29 \text{ hari}}$$

$$= 506980 \text{ hari}$$

$$\text{Tafawut (Angg M - H)} = 227016 \text{ hari}$$

$$\text{Anggaran baru Gregorius (10 +3)} = \underline{13 \text{ hari}}$$

$$= 734009 \text{ hari}$$

$$734009 / 1461 = 502 + 587 \text{ hari}$$

$$502 \text{ Siklus} = 502 \times 4 = 2008$$

$$587 \text{ hari} = 1 \text{ th} + 222 \text{ hari}$$

Sehingga menjadi 222 hari + 1th + 2008 tahun (yang sudah dilewati)

Maka menjadi 10 Agustus 2010 hari Selasa Kliwon.

2. Mencari saat *Ijtima'* Akhir Sya'ban 1431 H

$$K = (\text{thn} + \text{bulan}/12 + \text{tgl}/365.25 - 2000) \times 12.3685$$

$$K = (2010 + 8/12 + 10/365.25 - 2000) \times 12.3685 = \mathbf{132}$$

$$K = k - 1 = \mathbf{1}$$

$$T = k / 1236,85 = \mathbf{0.105914218}$$

$$E = 1 - 0.002516 \times T - 0.0000074 \times T^2 = \mathbf{0.999733437}$$

$$\begin{aligned}
M &= 2.5534 + 29.10535669 \times K - 0.0000218 \times T^2) / 360) \times \\
& \quad 360 &= \mathbf{3.758656012} \\
M1 &= 201.5643 + 38581693528 \times K + 0.0107438 \times T^2 + \\
& \quad 0.00001239 \times T^3 - 0.000000058 \times T^4 = \mathbf{5.996653595} \\
F &= 160.7108 + 390.67050274 \times K - 0.0016341 \times T^2 - \\
& \quad 0.00000227 \times T^3 + 0.000000011 \times T^4 = \mathbf{3.814358448} \\
\Omega &= 124.7746 - 1.5637558 \times K + 0.0020691 \times T^2 + \\
& \quad 0.00000215 \times T^3 &= \mathbf{4.885571255} \\
A1 &= (299.77 + 0.107408 \times k - 0.009173 \times T^2) \times \text{PI} \\
& &= \mathbf{5.477547348} \\
A2 &= (251.88 + 0.016321 \times k) \times \text{Phi} &= \mathbf{4.433451349} \\
A3 &= (251.33 + 26.651886 \times k) \times \text{Phi} &= \mathbf{65.33163695} \\
A4 &= (349.42 + 36.412478 \times k) \times \text{Phi} &= \mathbf{89.35133899} \\
A5 &= (84.66 + 18.206239 \times k) \times \text{Phi} &= \mathbf{43.1040005} \\
A6 &= (141,74 + 53.303771 \times k) \times \text{Phi} &= \mathbf{124.346576} \\
A7 &= (207.14 + 2.453732 \times k) \times \text{Phi} &= \mathbf{9.225442022} \\
A8 &= (154.84 + 7.30686 \times k) \times \text{Phi} &= \mathbf{19.40873603} \\
A9 &= (34.52 + 27.261239 \times k) \times \text{Phi} &= \mathbf{62.93207527} \\
A10 &= (207.19 + 0.121824 \times k) \times \text{Phi} &= \mathbf{3.894683795} \\
A11 &= (291.34 + 1.884379 \times k) \times \text{Phi} &= \mathbf{9.301795936} \\
A12 &= (161.72 + 24.198154 \times k) \times \text{Phi} &= \mathbf{58.14875375} \\
A13 &= (239.56 + 25.513099 \times k) \times \text{Phi} &= \mathbf{62.51378373} \\
A14 &= (331.55 + 3.592518 \times k) \times \text{Phi} &= \mathbf{14.00050518}
\end{aligned}$$

$$\text{JDE} = 2451550.09765 + 29.530588853 \times k + 0.0001337 \times T^2 - 0.00000015 \times T^3 + 0.0000000073 \times T^4 = \mathbf{2455418.605}$$

$$\begin{aligned} \text{Corr planet} &= ((325 \times \sin A^1) + (165 \times \sin A^2) + (164 \times \sin A^3) + \\ &(126 \times \sin A^4) + (110 \times \sin A^5) + (62 \times \sin A^6) + (60 \times \\ &\sin A^7) + (56 \times \sin A^8) + (47 \times \sin A^9) + (42 \times \sin A^{10}) \\ &+ (40 \times \sin A^{11}) + (37 \times \sin A^{12}) + (35 \times \sin A^{13}) + (23 \\ &\times \sin A^{14})) / 100000 = \mathbf{-0.000244366} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Corr fase} &= (-40720 \times \sin M^1 + 17241 \times e \times \sin M + 1608 \times \sin \\ &(2 \times M^1) + 1039 \times \sin (2 \times F) + 739 \times e \times \sin (M^1 - M) \\ &- 514 \times e \times \sin (M^1 + M) + 208 \times e^2 \times \sin (2 \times M) - 111 \\ &\times \sin (M^1 - 2 \times F) - 57 \times \sin (M^1 + 2 \times F) + 56 \times e \times \sin (2 \\ &\times M^1 + M) - 42 \times \sin (3 \times M^1) + 42 \times e \times \sin (M + 2 \times F) \\ &+ 38 \times e \times \sin (M - 2 \times F) - 24 \times e \times \sin (2 \times M^1 - M) - \\ &17 \times \sin (\Omega) - 7 \times \sin (M^1 + 2 \times M) + 4 \times \sin (2 \times (M - \\ &M^1)) + 4 \times \sin (3 \times M) + 3 \times \sin (M^1 + M - 2 \times F) + 3 \times \\ &\sin (2 \times (M^1 + F)) - 3 \times \sin (M^1 + M + 2 \times F) + 3 \times \sin \\ &(M^1 - M + 2 \times F) - 2 \times \sin (M^1 - M - 2 \times F) - 2 \times \sin (3 \\ &\times M^1 + M) + 2 \times \sin (4 \times M^1)) / 100000 = \mathbf{0.026796947} \end{aligned}$$

$$\text{JDE corrected} = \text{JDE} + \text{corr planet} + \text{corr fase} = \mathbf{2455418.631}$$

$$\Delta T = 66.72201387 / 86.400 = \mathbf{0.000775089}$$

$$\text{JD (LT)} = \text{JDE corrected} - \Delta T = \mathbf{2455418.922}$$

$$\text{JD (LT)} + 0.5 = \mathbf{2455419.422}$$

$$Z = \text{int}(\text{JD ijtimaja}) = \mathbf{2455419}$$

$$\begin{aligned}
 F &= \text{JD ijtima}' - z &&= \mathbf{0.422235402} \\
 \alpha &= \text{int}((z - 1867216.25)/36524.25) &&= \mathbf{16} \\
 A &= z + 1 + \alpha - \text{int}(\alpha / 4) &&= \mathbf{2455432} \\
 B &= A + 1524 &&= \mathbf{2456956} \\
 C &= \text{int}((B - 122.1) / 365.25) &&= \mathbf{6726} \\
 D &= \text{int}(365.25 \times C) &&= \mathbf{2456671} \\
 E &= \text{int}((B - D) / 30.6001) &&= \mathbf{9} \\
 \text{Tahun} &= C - 4716 &&= \mathbf{2010} \\
 \text{Bulan} &= E - 1 &&= \mathbf{8} \\
 \text{Tanggal} &= \text{int}(\text{hari}) &&= \mathbf{10} \\
 \text{Hari} &= B - D - \text{int}(30.6001 \times E) + F &&= \mathbf{10.4222354} \\
 \text{Jam} &= (\text{hari} - \text{tanggal}) &&= \mathbf{10:08:01}
 \end{aligned}$$

Jadi, ijtima' akhir Sya'ban 1431 H terjadi pada tanggal 10 Agustus 2010 M Pk. 10. 08. 01 WIB

3. Menentukan terbenam Matahari di Semarang pada tanggal 29 Sya'ban 1431 H/10 Agustus 2010 M.

- a. Hitung tinggi Matahari saat terbenam (h_0) dengan rumus:

$$h_0 = - (ku + \text{ref} + \text{sd})$$

$$ku = 0^\circ 1.76' \sqrt{h}$$

$$= 0^\circ 1.76' \sqrt{0 \text{ m}}$$

$$= 0^\circ 00' 00''$$

$$h_0 = - (ku + \text{ref} + \text{sd})$$

$$= - (0^\circ 00' 00'' + 0^\circ 34' + 0^\circ 16')$$

$$= - 0^\circ 50' 00''$$

- b. Tentukan deklinasi matahari (δ_0) *al-Mail Syam* dan equation of time (e) *Ta'dilal Waqt/Ta'dil asy Syam* atau *Perata Waktu* pada tanggal 29 Sya'ban 1431 H/10 Agustus 2010 M saat ghurub di Semarang dengan prakiraan (*taqriby*) maghrib kurang lebih pk. 18 WIB, diperoleh:

$$\delta_0 = 15^\circ 31' 12,2'' \text{ dan } e = -0^j 05^m 22,95^d$$

- c. Tentukan sudut waktu matahari (t_0) saat terbenam dengan rumus:

$$\begin{aligned} \cos t_0 &= \sin h_0 \div \cos \phi \div \cos \delta_0 - \tan \phi \tan \delta_0 . \\ &= \sin -0^\circ 50' 00'' \div \cos 6^\circ 58' \div \cos 15^\circ 31' 12,2'' - \tan 6^\circ 58' \\ &\quad \times \tan 15^\circ 31' 12,2'' \\ t_0 &= 88^\circ 55' 37,07'' \\ &= +5^j 55^m 42,47^d \end{aligned}$$

- d. Terbenam matahari

$$\begin{aligned} &= \text{pk. } 12 + (+5^j 55^m 42,47^d) \\ &= \text{pk. } 17. 55. 42,47 \text{ WH} - e + (BT^d - BT^x) \\ &= \text{pk. } 17. 55. 42,47 - (-0^j 05^m 22,95^d) + (105^\circ - 110^\circ 29') \\ &= \text{pk. } 17. 39. 09,42 \text{ WIB.} \\ &= \text{pk. } 17. 39. 09 \text{ WIB (dibulatkan)} \end{aligned}$$

- e. Menghitung Azimuth Matahari (Az_0) saat ghurub pk. 17. 39. 09

WIB dengan rumus:

$$\sin A = \frac{\sin h \cos \delta}{\cos a}$$

$$\sin A = \sin 88^{\circ} 55' 35.12'' \times \cos 15^{\circ} 31' 27.49'' : \cos -0^{\circ} 50'$$

$$A = 74^{\circ} 27' 40.72'' \text{ (UB)}$$

$$\begin{aligned} \text{Azimuth Matahari (Az}_0) &= 360^{\circ} - 74^{\circ} 27' 40.72'' \\ &= 285^{\circ} 32' 19'' \end{aligned}$$

f. Menentukan *Right Ascension Matahari (ARA₀) al-Mathalai' al-Baladiyah* pk. 17. 39. 09 WIB dengan rumus interpolasi (*Ta'dil*) sebagai berikut:

$$ARA_0 = ARA_0^1 + k (ARA_0^2 - ARA_0^1)$$

$$ARA_0^1 \text{ (pk. 17 WIB/10 GMT)} = 140^{\circ} 07' 38.7''$$

$$ARA_0^2 \text{ (pk. 18 WIB/11 GMT)} = 140^{\circ} 10' 00.9''$$

$$k \text{ (selisih waktu)} = 00^j 39^m 09^d$$

$$\begin{aligned} ARA_0 &= 140^{\circ} 07' 38.7'' + 00^j 39^m 09^d \times (140^{\circ} 09' 0.9'' - \\ &140^{\circ} 07' 38.7'') = 140^{\circ} 09' 11'' \end{aligned}$$

g. Menentukan *Right Ascension Bulan (ARA_c) al-Mathalai' al-Baladiyah* pk. 17. 39. 09 WIB dengan rumus interpolasi (*Ta'dil*) sebagai berikut:

$$ARA_c = ARA_c^1 + k (ARA_c^2 - ARA_c^1)$$

$$ARA_c^1 \text{ (pk. 17 WIB/10 GMT)} = 143^{\circ} 00' 49.6''$$

$$ARA_c^2 \text{ (pk. 18 WIB/11 GMT)} = 143^{\circ} 36' 35.2''$$

$$k \text{ (selisih waktu)} = 00^j 39^m 09^d$$

$$\begin{aligned} ARA_c &= 30^{\circ} 56' 38'' + 00^j 39^m 09^d \times (31^{\circ} 28' 30'' - 30^{\circ} 56' 38'') \\ &= 143^{\circ} 24' 09.6'' \end{aligned}$$

- h. Menentukan *Sudut Waktu Bulan* (t_{ζ}) pk. 17. 39. 09 WIB dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} t_{\zeta} &= \text{ARA}_0 + t_0 - \text{ARA}_{\zeta} \\ &= 140^{\circ} 09' 11'' + 88^{\circ} 55' 35.12'' - 143^{\circ} 24' 09,6'' \\ &= 85^{\circ} 40' 36.52'' \end{aligned}$$

- i. Menentukan *Deklinasi Bulan* (δ_{ζ}) *Mail Qamar* pk. 17. 39. 09 WIB dengan menggunakan rumus interpolasi (Ta'dil) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \delta_{\zeta} &= \delta_{\zeta}^1 + k (\delta_{\zeta}^2 - \delta_{\zeta}^1) \\ \delta_{\zeta}^1 (\text{pk. 17 WIB/10 GMT}) &= 11^{\circ} 05' 3,9'' \\ \delta_{\zeta}^2 (\text{pk. 18 WIB/11 GMT}) &= 10^{\circ} 50' 28,2'' \\ k (\text{selisih waktu}) &= 00^j 39^m 09^d \\ \delta_{\zeta} &= 11^{\circ} 05' 09'' + 00^j 39^m 09^d \times (10^{\circ} 50' 33'' - (11^{\circ} 05' 09'')) \\ &= 10^{\circ} 55' 32.51'' \end{aligned}$$

- j. Menentukan *Tinggi Bulan Haqiqi* (h'_{ζ}) dengan menggunakan rumus:

$$\begin{aligned} \text{Sin } h_{\zeta} &= \cos t_{\zeta} \cos \delta_{\zeta} \cos \phi^x + \sin \delta_{\zeta} \sin \phi^x \\ \text{Sin } h_{\zeta} &= \cos 85^{\circ} 40' 36.52'' \times \cos 10^{\circ} 55' 32.51'' \times \\ &\quad \cos -6^0 58' + \sin 10^{\circ} 55' 32.51'' \times \sin -6^0 58' \\ h_{\zeta} &= +02^0 53' 36,73'' (\text{tinggi hilal haqiqi}) \end{aligned}$$

- k. Koreksi-koreksi yang diperlukan untuk memperoleh *Tinggi Hilal Mar'i* (h_{ζ}):

1. Parallaks, digunakan untuk mengurangi tinggi hilal haqiqi. Untuk mendapatkan Parallaks harus melalui tahapan sebagai berikut:

a. Menentukan Horizontal Parallaks (HP) *Ikhtilaful Mandhar* saat ghurub, dengan rumus interpolasi (*Ta'dil*) sebagai berikut :

$$HP = HP^1 + k (HP^2 - HP^1)$$

$$HP^1 (\text{pk. 17 WIB/10 GMT}) = 01^\circ 01' 15,4''$$

$$HP^2 (\text{pk. 18 WIB/11 GMT}) = 01^\circ 01' 15,6''$$

$$k(\text{selisih waktu}) = 00^j 39^m 09^d$$

$$HP = 01^\circ 01' 15'' + 00^j 39^m 09^d \times (01^\circ 01' 16'' - 01^\circ 01' 15'') = 01^\circ 01' 15,53''$$

$$\begin{aligned} \text{b. Parallaks (Par)} &= HP \cos h_c \\ &= 01^\circ 01' 15,53'' \times \cos 02^\circ 53' 36,73'' \\ &= 01^\circ 01' 10,84'' \end{aligned}$$

2. Refraksi (Ref), digunakan untuk menambah tinggi hilal haqiqi, dan untuk mendapatkan refraksi dapat digunakan rumus:

$$R = \frac{1}{\tan \left(h_o + \frac{7.31}{h_o + 4.4} \right)}$$

$$R = \frac{1}{\tan \left(02^\circ 53' 36,73'' + \frac{7.31}{02^\circ 53' 36,73'' + 4.4} \right)} = 00^\circ 14' 41''$$

l. Menentukan tinggi hilal mar'i (h_c), dengan rumus:

$$\begin{aligned} h_c &= h'_c - \text{Par} + \text{Ref} \\ &= +02^\circ 53' 36,73'' - 01^\circ 01' 10,84'' + 00^\circ 14' 41'' \\ &= +02^\circ 07' 06,89'' \end{aligned}$$

m. Azimuth hilal (Az_c) dapat diperoleh dengan rumus:

$$\sin A = \frac{\sin h \cos \delta}{\cos a}$$

$$\begin{aligned} \sin A &= \sin 85^\circ 40' 36,52'' \times \cos 10^\circ 55' 32,51'' : \\ &\quad \cos 02^\circ 53' 36,73'' \end{aligned}$$

$$A = 78^\circ 37' 01,38'' \text{ (UB)}$$

$$\begin{aligned} \text{Azimuth Bulan (} Az_c \text{)} &= 360 - 78^\circ 37' 01,38'' \\ &= 281^\circ 22' 58'' \end{aligned}$$

n. Posisi hilal (P) dapat diperoleh dengan rumus:

$$\begin{aligned} P_c &= Az_c - Az_0 \\ &= 281^\circ 22' 58'' - 285^\circ 32' 19'' \\ &= 4^\circ 09' 20,38'' \text{ (miring ke utara)} \end{aligned}$$

Dari hasil hisab tersebut dapat disimpulkan:

1. Ijtima' akhir Sya'ban 1431 H terjadi hari **tanggal 10 Agustus 2010 M**
Pk. 10. 08. 01 WIB
2. Matahari terbenam (*ghurub*) pada pukul **17. 39. 09 WIB**
3. Tinggi hilal haqiqi **+02⁰ 53' 36,73''**
4. Tinggi hilal mar'i **+02⁰ 07' 06,89''**
5. Azimuth Bulan **281⁰ 22' 58''**

6. Azimuth Matahari $285^{\circ} 32' 19''$
7. Posisi hilal $4^{\circ} 09' 20.38''$ di Selatan Matahari terbenam (*miring ke Selatan*).

Untuk memprediksi visibilitas hilal, hal pokok yang harus diketahui adalah posisi bulan dan matahari terhadap bumi. Untuk itu setidaknya harus dipertimbangkan faktor-faktor astro-geodesi sebagai berikut.²³

1. Konjungsi

Sebagai syarat mutlak nampaknya hilal adalah terjadinya *ijtima'*. *Ijtima'* artinya berkumpul atau bersama, yaitu posisi Matahari dan Bulan berada pada satu bujur astronomi. Dalam astronomi dikenal dengan istilah *Conjunction* (konjungsi). Para ahli astronomi murni menggunakan *ijtima'* ini sebagai kriteria pergantian bulan Qamariah, sehingga ia disebut pula dengan *New Moon* (bulan baru).²⁴

Bulan baru dalam astronomi tidaklah sama dengan definisi bulan baru dalam kalender Qamariah. Bulan baru dalam astronomi adalah konjungsi yang terjadi serentak untuk seluruh dunia, akan tetapi belum tentu pada saat tersebut bulan dapat terlihat dengan mata. Sedangkan bulan baru dalam kalender Islam disebut dengan awal bulan Qamariah, tergantung pada kenyataan kenampakan bulan (hilal) pertama kali dari pengamat yang berada di bumi setelah terjadinya konjungsi. Kenampakan bulan sudah barang tentu tergantung juga

²³ Khafid, *op.cit.*

²⁴ Muhyiddin Khazin, *99 Tanya Jawab Masalah Hisab dan Rukyat*, Yogyakarta: Ramadhan Press, 2009, hlm. 70.

pada lokasi atau posisi dimana pengamat berada di muka bumi. Hal inilah diantaranya yang dapat menyebabkan terjadinya perbedaan prediksi teramatinya hilal. Perbedaan atau selisih waktu tersebut dapat menyebabkan beda penanggalan satu hari.

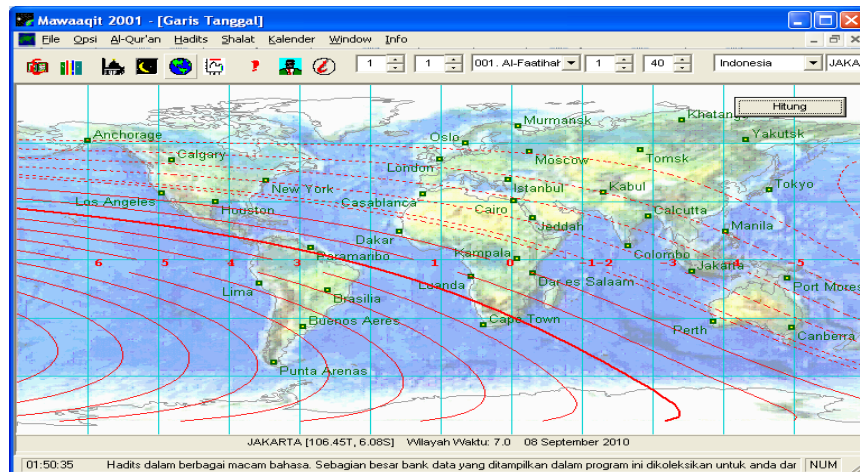
Secara perhitungan astro-geodesi modern kapan terjadinya konjungsi dapat diperkirakan dengan ketelitian sampai beberapa detik. Contoh yang jelas adalah prakiraan terjadinya gerhana bulan atau gerhana matahari yang dapat dilakukan dengan ketelitian sampai bilangan beberapa detik.²⁵

2. Peta Ketinggian Bulan

Pada dasarnya dengan ilmu astro-geodesi, ketinggian bulan atau hilal dapat diperkirakan untuk berbagai tempat di seluruh belahan bumi. Adanya perhitungan yang akurat dan penyajian yang gamblang dalam bentuk peta akan sangat membantu analisis untuk keperluan prediksi kenampakan bulan. Peta semacam ini perlu dibuat dihari saat-saat yang diduga hilal akan nampak. Di dalam peta, bisa kita lihat adakalanya satu wilayah mempunyai ketinggian bulan positif dan adakalanya negatif. Wilayah-wilayah yang mempunyai ketinggian bulan negatif sudah barang tentu dapat disimpulkan di wilayah tersebut tidaklah mungkin bulan akan nampak. Sedangkan untuk daerah-daerah

²⁵ Khafid, *op.cit*, hlm. 18.

yang mempunyai ketinggian positif masih perlu di analisis lebih lanjut dengan gabungan data-data lainnya.²⁶



Peta ketinggian bulan dari ufuk dalam derajat pada 8 September 2010 di saat matahari terbenam di masing-masing

Gambar tersebut menunjukkan ketinggian bulan di saat matahari terbenam di masing-masing tempat pada tanggal 8 September 2010. Semakin tinggi keberadaan bulan di atas ufuk semakin besar kemungkinan terlihatnya hilal. Garis tebal menunjukkan garis penanggalan awal Syawal 1431 H apabila kita mendefinisikannya semata-mata dari ketinggian bulan 2 derajat pada saat matahari terbenam.²⁷

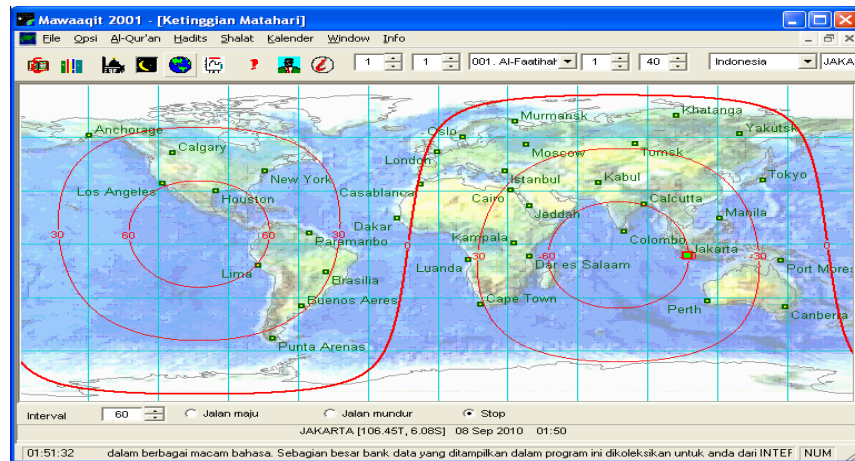
3. Peta Ketinggian Matahari

Kenampakan bulan dari pengamat yang berada di bumi sangat dipengaruhi oleh sinar matahari. Disamping itu di saat-saat terjadinya

²⁶ Khafid, *op.cit*, hlm. 18.

²⁷ Program Mawaaqit Versi 2001, peta ketinggian bulan dari ufuk pada 10 Agustus 2010.

hilal dimana intensitas pencahayaan bulan masih sangat rendah, cahaya matahari sangat berpengaruh dalam hasil pengamatan kenampakan bulan. Itulah sebabnya pengamatan kenampakan hilal harus dilakukan setelah matahari terbenam. Peta ketinggian matahari akan sangat membantu perhitungan kenampakan bulan dengan teliti.²⁸



Peta ketinggian matahari dari ufuk dalam derajat
pada 8 September 2010 jam 18:00 WIB

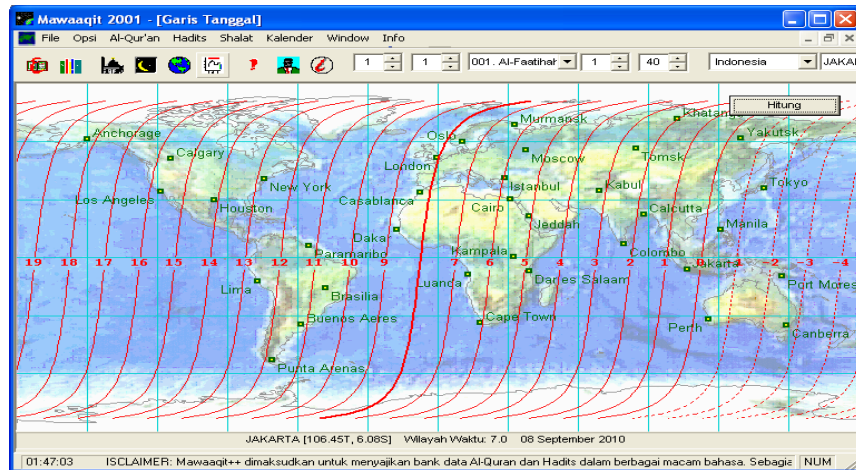
4. Peta Umur Bulan Saat Matahari Terbenam

Terjadinya konjungsi saja tidak memberikan jaminan bahwa hilal pasti nampak. Syarat-syarat berikutnya yang harus dipenuhi adalah umur bulan²⁹ saat matahari terbenam. Informasi tentang umur bulan pada saat matahari terbenam inipun dapat disajikan dalam bentuk peta sebagai bahan analisis kenampakan hilal.³⁰

²⁸ Khafid, *op.cit*, hlm. 19.

²⁹ *Umur bulan* didefinisikan sebagai hitungan waktu dengan epoch saat terjadinya konjungsi. Sebagai contoh: apabila hari ini terjadi konjungsi pada jam 15.00 WIB, dan matahari terbenam jam 18.00. Maka umur bulan saat matahari terbenam adalah 3 jam.

³⁰ Khafid, *op.cit*, hlm. 20.



Peta umur bulan dari saat terjadinya konjungsi dalam jam pada 8 September 2010 di saat matahari terbenam di masing-masing tempat

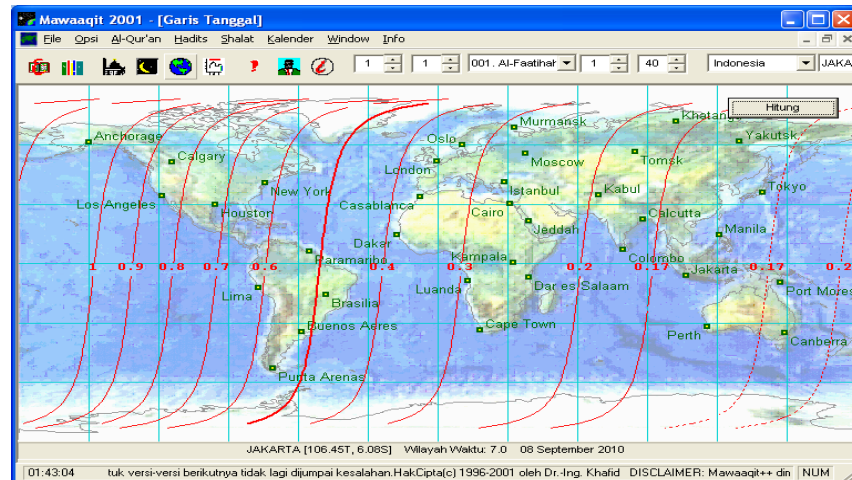
Garis tebal pada gambar tersebut dapat disebut sebagai garis penanggalan awal bulan Syawal 1431 H apabila kita mendefinisikan kenampakan bulan semata-mata berdasarkan umur bulan sudah mencapai 8 jam pada saat matahari terbenam di masing-masing tempat.³¹

5. Peta Fase Pencahayaan Bulan

Syarat yang harus dipertimbangkan untuk memperkirakan kenampakan hilal adalah *fase pencahayaan bulan*. Bisa jadi karena bulan sudah cukup fase pencahayaannya di saat syarat-syarat lain masih belum memenuhi kriteria yang ditentukan, namun dalam kenyataannya hilal sudah nampak atau terjadi sebaliknya. Informasi tentang fase pencahayaan bulan yang tergantung tempat dan waktu ini

³¹ Program Mawaaqit Versi 2001, peta kenampakan bulan berdasarkan umur bulan.

bisa dipetakan juga untuk membantu analisis prakiraan kenampakan hilal.



Peta prosentase fase pencahayaan bulan dalam % pada 8 September 2010 di saat matahari terbenam di masing-masing

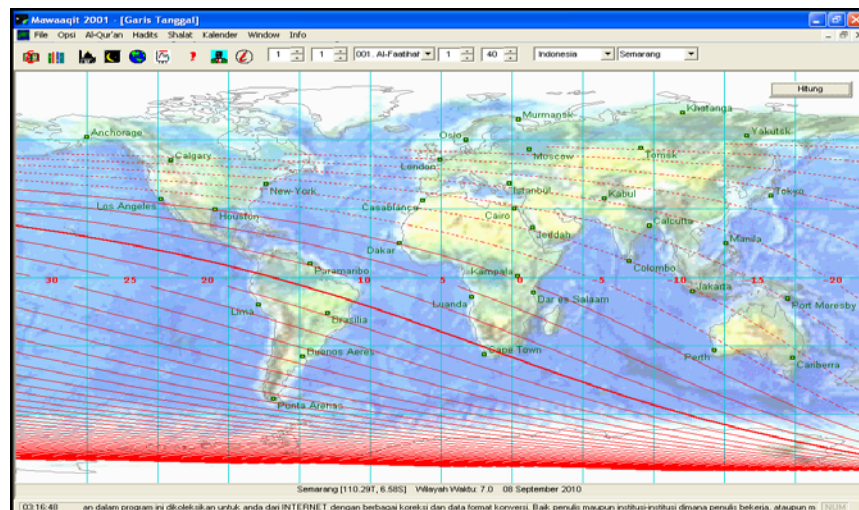
Garis tebal pada gambar tersebut dapat disebut sebagai garis penanggalan awal bulan Syawal 1431 H apabila kita mendefinisikan kenampakan bulan semata-mata berdasarkan fase pencahayaan sudah mencapai 0.5% di saat matahari terbenam di masing-masing tempat.³²

6. Peta Jarak Waktu Terbenam Antara Matahari dan Bulan

Rukyat harus dilakukan sesaat setelah matahari terbenam sampai bulan terbenam. Jadi tidak mungkin mengamati hilal apabila pada hari melakukan rukyat ternyata bulan terbenam mendahului matahari atau dalam artian bulan masih di bawah ufuk. Jarak waktu matahari dan bulan terbenam yang terlalu pendek pun mempunyai

³² Program Mawaaqit Versi 2001, peta kenampakan bulan berdasarkan prosentase fase pencahayaan bulan.

tingkat kemungkinan kenampakan hilal yang sangat kecil. Kenampakan hilal dapat dikaitkan dengan jarak waktu terbenam antara matahari dan bulan terbenam, “semakin lama jangka waktunya semakin besar kemungkinan hilal dapat diamati”. Komponen inipun informasinya dapat dituangkan dalam bentuk peta, karena dari kenyataan bahwa jarak waktu terbenam antara matahari dan bulan juga tergantung letak geografis suatu tempat.³³



Peta selisih waktu terbenamnya matahari dan bulan dalam menit pada 8 September 2010

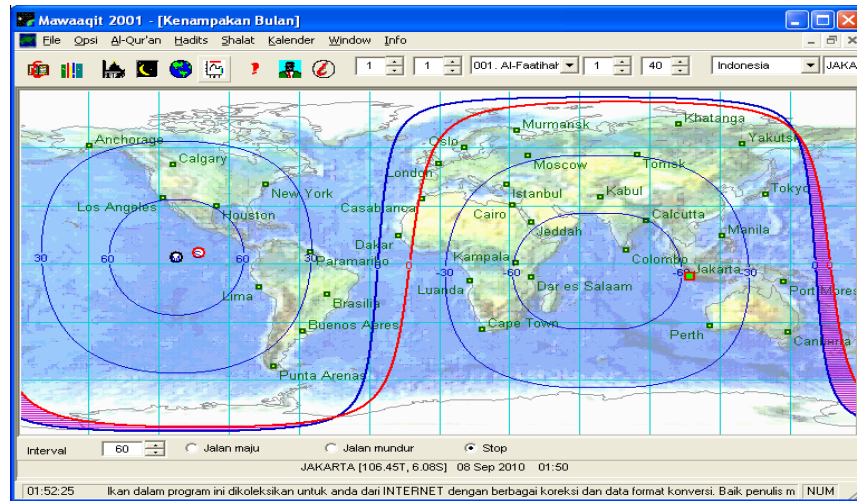
Garis tebal pada gambar di atas dapat disebut sebagai garis penanggalan awal bulan Syawal 1431 H apabila kita mendefinisikan kenampakan bulan semata-mata berdasarkan terbenamnya bulan 15 menit setelah terbenamnya matahari.³⁴

³³ Khafid, *op.cit*, hlm. 22.

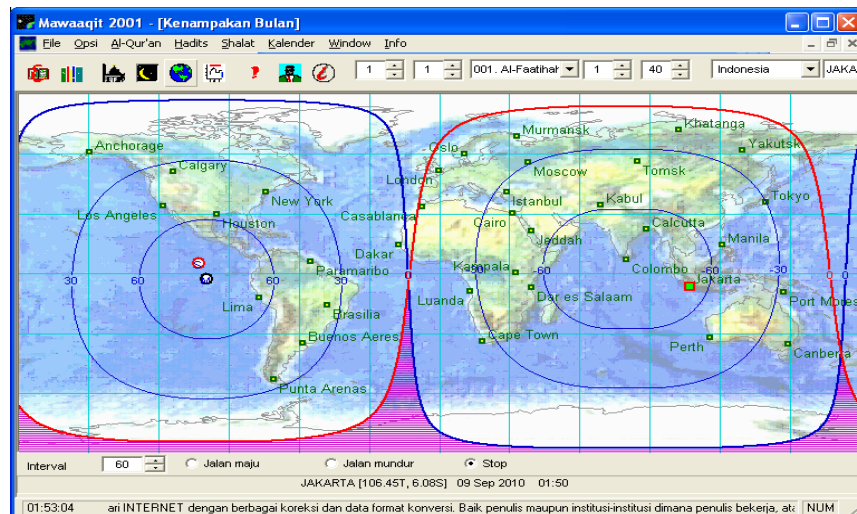
³⁴ Program Mawaaqit Versi 2001, peta kenampakan bulan berdasarkan selisih waktu terbenamnya matahari dan bulan

7. Overlay Antara Berbagai Topik Peta

Dari berbagai faktor-faktor yang disebutkan diatas dapat dilakukan *overlay*³⁵ peta sesuai dengan definisi kenampakan bulan menurut kriteria astro-geodesi.

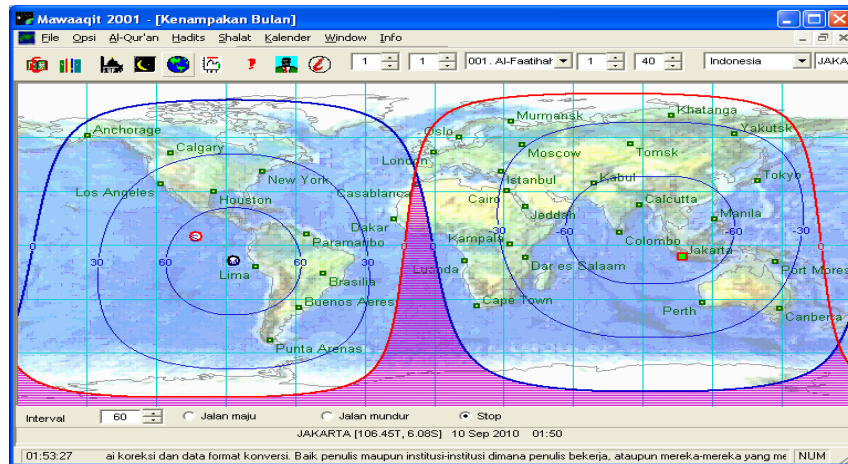


Peta kenampakan bulan pada 8 September 2010 jam 18:00 WIB



Peta kenampakan bulan pada 9 September 2010 jam 18:00 WIB

³⁵ Overlay adalah lembaran penutup; lapisan atas; hamparan. Lihat John M. Echols dan Hassan Shadily, *Kamus Inggris-Indonesia*, Jakarta: Gramedia Pustaka Utama, cetakan ke XXIV, 2000, hlm. 412



Peta kenampakan bulan pada 10 September 2010 jam 18:00 WIB

Gambar tersebut menunjukkan hasil overlay peta ketinggian bulan dan ketinggian matahari pada tanggal 8, 9 dan 10 September 2010. Dalam gambar-gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar umur bulan semakin besar pula cakupan wilayah yang memungkinkan untuk mengamati kenampakan bulan.³⁶

Di sekitar hari terjadinya konjungsi dapat dilakukan analisis mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kenampakan bulan. Dari analisa itu akan menghasilkan prakiraan tempat-tempat dimana hilal akan nampak dan tempat-tempat yang tidak memungkinkan dapat melihat *hilal*. Batas dari kedua tempat-tempat tersebut secara geografis dapat dituangkan dalam bentuk peta garis penanggalan Kalender Qamariah. Karena posisi bulan dan matahari berubah-ubah, maka peta semacam ini haruslah dibuat setiap pergantian bulan Qamariah.³⁷

³⁶ Program Mawaaqit, Peta Kenampakan bulan.

³⁷ Khafid, *op.cit*, hlm. 26.