

USULAN KRITERIA VISIBILITAS HILAL DI INDONESIA DENGAN MODEL KASTNER

CRITERIA OF HILAL VISIBILITY IN INDONESIA BY USING KASTNER MODEL

J. A. Utama^{1*}, S. Siregar²

¹Laboratorium Bumi dan Antariksa, Jurusan Pendidikan Fisika
Fakultas Pendidikan Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pendidikan Indonesia (UPI)
Bandung, Indonesia

²Kelompok Keahlian (KK) Astronomi, Program Studi Astronomi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Bandung (ITB)
Bandung, Indonesia

Diterima: 07 Januari 2013. Disetujui: 2 Maret 2013. Dipublikasikan: Juli 2013

ABSTRAK

Perbedaan dalam memulai dan mengakhiri ritual kolosal (puasa Ramadhan dan Idul Fitri ataupun Idul Adha) di kalangan umat Islam Indonesia masih berpotensi untuk terjadi pada masa depan selama belum disepakatinya suatu kriteria tunggal bagi visibilitas hilal yang memiliki landasan ilmiah kokoh. Dalam naskah ini diusulkan sebuah kriteria visibilitas hilal bagi wilayah Indonesia berdasarkan data kesaksian mengamati hilal yang dikompilasi oleh Kementerian Agama Republik Indonesia dan sumber lain yang telah dihimpun lembaga Rukyatul Hilal Indonesia. Kriteria yang diusulkan tidak semata berdasarkan konfigurasi geometri ketiga benda langit terkait (Matahari–Bumi–Bulan), namun turut mempertimbangkan faktor kecerahan langit senja dan langit malam. Agar dapat diamati, umur Bulan minimal pascakonjungsi dan elongasinya berturut-turut harus lebih besar dari 15 jam dan 8° . Beda tinggi (ARCV) minimal sebesar 11° untuk beda azimut (DAZ) 0° , dan berkurang dengan membesarnya beda azimut Bulan–Matahari. Selain itu berhasil diperoleh penjelasan teoretik atas kriteria ketinggian minimal hilal 2° yang selama ini dianut Kementerian Agama RI. Hasil yang diperoleh ini dapat menjadi pijakan sementara bagi sebuah kriteria visibilitas hilal di Indonesia yang valid secara keilmuan. Dengan terus bertambahnya data observasi dan semakin baiknya pemodelan matematis, penerimaan umat Islam terhadap suatu kriteria tunggal yang teruji akurat diharapkan dapat

ABSTRACT

We proposed hilal visibility criteria for area near to equator. The criterion is not based on geometric configuration of the Sun–Earth–Moon only but considered the contribution of twilight and night sky brightness also. The data came from hilal observation reports compiled by Religion Ministry of Republic of Indonesia and Rukyatul Hilal Indonesia (Indonesia Hilal Observation) organization. In order to be observed, the age of the Moon after conjunction and its elongation should be greater than 15 hours and 8° respectively. The relative altitude (ARCV) is 11° for relative azimuth (DAZ) of 0° , and decreases with larger relative azimuth. We also provide theoretical explanation for hilal minimum altitude criterion of 2° that have been adopted by the Ministry of Religious Affairs. Based on current available data, the proposed criteria can be used as the one of scientifically-based hilal visibility criterion. With the growing of hilal observation data comes from around Indonesia, we can improve and test the validity of the criteria based on model of Kastner. Then we can be optimistic about Muslims acceptance of unique criterion for hilal visibility in Indonesia.

© 2013 Jurusan Fisika FMIPA UNNES Semarang

Keywords: Hilal Visibility Criterion; Kastner Visibility Model; Sky Brightness

*Alamat Korespondensi:
E-mail: j.aria.utama@upi.edu
Fax.: +62222004548

PENDAHULUAN

Perbedaan dalam mengawali dan mengakhiri ibadah puasa Ramadhan maupun penetapan 10 Dzulhijjah yang berkenaan dengan ibadah haji di kalangan umat Islam Indonesia telah terjadi sejak lama. Bila pada era sebelum tahun 1998, yang bertepatan dengan momentum reformasi di Indonesia, perbedaan tersebut tidak terlalu nampak, pasca reformasi justru terlihat sangat mencolok. Dalam dua tahun terakhir, perbedaan tersebut seperti yang terjadi dalam penetapan awal Syawal 1432 H (2011 M) dan awal Ramadhan 1433 H (2012 M) silam. Bahkan pada masa mendatang potensi perbedaan tersebut masih terbuka, seperti yang berpeluang terjadi dalam penetapan awal Ramadhan 1434 H (2013 M) dan penetapan awal Ramadhan dan Dzulhijjah 1435 H (2014). Bila tidak diupayakan titik temu yang dapat mengeliminasi penyebab perbedaan tersebut, keresahan di kalangan umat Islam berpotensi untuk terjadi.

Menurut praktik selama ini, pemerintah Republik Indonesia melalui Kementerian Agama (KEMENAG) menerangkan kebijakan yang berbeda dalam penentuan awal bulan kalender Hijriyah sepanjang tahun. Penetapan awal bulan untuk Ramadhan, Syawal, dan Dzulhijjah dibedakan dengan bulan-bulan lainnya dengan pertimbangan dalam ketiga bulan tersebut terdapat jadwal ibadah yang mendapat perhatian khusus, yaitu puasa Ramadhan, Idul Fitri, dan pelaksanaan ibadah haji.

Selain ketiga bulan istimewa tersebut di atas, penetapan awal bulan ditentukan hanya berdasarkan hasil hisab (perhitungan) yang memastikan bahwa Bulan berada di atas ufuk setelah peristiwa konjungsi (fase Bulan baru – *new moon*) pada saat Matahari terbenam. Khusus untuk Ramadhan dan Syawal penetapan jatuhnya tanggal 1 bulan-bulan tersebut dilakukan melalui sidang yang dipimpin oleh menteri agama yang dilakukan pada akhir Syaban (untuk penetapan awal Ramadhan) dan akhir Ramadhan (untuk penetapan awal Syawal) setelah menghimpun dan mempertimbangkan hasil-hasil hisab dan rukyat (observasi) serta saran dan pendapat dari para peserta sidang yang terdiri atas ulama, perwakilan organisasi Islam, anggota Badan Hisab Rukyat (BHR), dan perwakilan negara-negara sahabat yang memiliki hubungan diplomatik.

Kriteria yang dianut KEMENAG dan negara-negara lain yang tergabung dalam organisasi MABIMS (meliputi Brunei Darussalam,

Malaysia, dan Singapura) selama ini adalah:

- ketinggian minimum Bulan dari horison 2°
- elongasi (jarak sudut – *angular distance*) minimum antara Bulan dan Matahari 3°
- umur Bulan (rentang waktu sejak konjungsi hingga saat pengamatan) minimum 8 jam.

Sejatinya, kriteria di atas dimaksudkan hanya untuk penyusunan kalender Hijriyah, bukan untuk memastikan bahwa hilal (sabit Bulan yang dapat diamati pada kali pertama setelah konjungsi) dapat diamati (Widiana, 2000). Hilal adalah objek tipis dan redup. Secara teoretik, hanya hilal dengan luas mencapai 1% atau lebih daripada luas Bulan purnama yang dapat diamati. Bagi para astronom batas ketinggian hilal dan umur Bulan di atas belum mendapat verifikasi ilmiah, sehingga tidak mengherankan bila muncul keberatan. Kriteria ketinggian hilal minimum sebesar 2° pun hanya memastikan bahwa hilal berada di atas horison dan tidak dapat dijadikan landasan bahwa hilal pasti dapat diamati.

Meski telah tersedia beragam kriteria visibilitas hilal, tidak ada kriteria yang berlaku universal untuk seluruh lintang pengamat (Hoffman, 2003). Berangkat dari hal di atas, penelitian ini diarahkan untuk memperoleh kriteria visibilitas hilal dengan keberlakuan di wilayah sekitar khatulistiwa dengan menyertakan faktor kontribusi atmosfer selain konfigurasi geometri.

Memasuki abad ke-20, sejumlah peneliti seperti Fotheringham, Maunder, Danjon, Bruin, McNally, Schaefer, Ilyas, Yallop, Fatoohi, Caldwell, dan Odeh telah mengembangkan sebuah metode empirik untuk memprediksi kenampakan hilal berdasarkan data hasil observasi yang diolah secara statistik guna memperoleh nilai elongasi minimum antara Bulan dan Matahari (Sultan, 2007). Berdasarkan data empirik yang digunakan oleh masing-masing peneliti, elongasi minimum Bulan dan Matahari agar hilal dapat diamati memiliki nilai yang beragam, merentang mulai dari 6° – 12° . Jelas terlihat bahwa rentang nilai ini jauh di atas nilai yang berlaku di Indonesia. Alih-alih hanya mempertimbangkan konfigurasi geometri ketiga benda langit terkait (Matahari–Bumi–Bulan), Bruin dilanjutkan Schaefer, Yallop, dan Sultan turut memperhitungkan pula pengaruh atmosfer dan sensitifitas alat optik (termasuk mata) yang digunakan. Langkah mereka telah mengawali babak baru dalam studi fotometri hilal.

Konfigurasi geometri diketahui berpengaruh terhadap visibilitas hilal, meskipun demikian aspek konfigurasi bukanlah satu-satunya faktor yang menentukan. Faktor lain

yang turut berperan signifikan adalah kecerahan langit, terutama langit senja. Kecerahan langit senja diyakini berhubungan dengan lintang geografis, ketinggian lokasi dari permukaan laut, musim, dan kandungan aerosol di atmosfer (Mikhail et al., 1995).

Menurut Sultan (2007), dalam membangun suatu model yang menyertakan pengaruh atmosfer dalam memprediksi visibilitas hilal, sejumlah faktor harus turut dipertimbangkan. Tiga faktor pertama yang relatif mudah untuk dikalkulasi adalah konfigurasi geometri Matahari–Bumi–Bulan, lebar dan kecerahan sabit Bulan, serta serapan cahaya Bulan oleh atmosfer. Dua faktor lainnya yang lebih kompleks berhubungan dengan hamburan cahaya di atmosfer (bergantung kondisi lokal) dan psikofisiologi penglihatan manusia (dipengaruhi oleh usia pengamat).

Kastner (1976) telah membangun model fungsi visibilitas pada saat senja untuk objek-objek langit (bintang, komet, dan planet) di dekat Matahari. Perhitungan model fungsi visibilitas Kastner menyertakan faktor kecerahan objek di luar dan di dalam atmosfer Bumi, ekstingsi optis atmosfer sebagai fungsi ketinggian objek, distribusi kecerahan langit senja sebagai fungsi sudut depresi Matahari, dan kontribusi dari kecerahan langit malam.

Meski Matahari telah terbenam yang ditandai dengan posisi lengkungan atas piringan berada di horison, tidak serta-merta langit menjadi gelap. Langit senja masih cukup terang karena hamburan cahaya Matahari oleh partikel-partikel yang terkandung dalam atmosfer. Ada dua pendekatan yang dapat dilakukan terkait hamburan cahaya di atmosfer ini. Pendekatan pertama untuk memperoleh nilai kecerahan langit senja adalah dengan melakukan pengukuran langsung menggunakan instrumen fotometer. Pendekatan ke dua dengan menghitungnya menggunakan formula matematis. Di dalam penelitian ini digunakan pendekatan ke dua. Dalam membangun modelnya, Kastner memanfaatkan hasil penelitian Barteneva dan Boyarova (1960) menghasilkan formula aproksimasi dalam mengkalkulasi distribusi kecerahan langit senja. Formula aproksimasi dari Kastner terhadap grafik distribusi kecerahan langit senja aktual sebagai fungsi sudut depresi Matahari telah digunakan dalam penelitian ini. Terkait faktor psikofisiologi penglihatan manusia, model Kastner belum mengakomodasinya. Sebagai referensi untuk hal ini dapat ditemukan dalam Sultan (2005) yang mengacu kepada hasil yang diperoleh Blackwell (1946).

Dalam naskah penelitian berikutnya, Penulis mengakomodasikan faktor ini di dalam model Kastner. Uji kehandalan model Kastner atas data laporan hasil observasi hilal dan Bulan sabit tua dapat dijumpai dalam Utama (2012) dan Utama & Efendi (2012).

Model Kastner diadopsi dalam naskah ini berdasarkan pertimbangan karakteristik hilal, yaitu posisi Bulan pasca konjungsi dalam banyak kasus berdekatan dengan posisi Matahari dan penampakan Bulan yang bervariasi mulai dari sebagai sumber cahaya titik (*point light source*), seperti bintang, hingga objek membentang (*extended light source*) dengan ketebalan sabit mencapai beberapa menit busur (1 menit busur bersesuaian dengan sudut sebesar $0,017^\circ$), layaknya planet atau komet, bergantung pada umur Bulan dan elongasinya. Aplikasi model Kastner dalam memprediksi visibilitas hilal dapat menjadi acuan bagi para pengamat hilal dan pengambil keputusan (KEMENAG) terkait mungkin-tidaknya hilal untuk diamati dari lokasi tertentu sekaligus untuk menentukan saat terbaik melakukan pengamatan manakala model memprediksi kemungkinan hilal dapat diamati. Dalam penelitian ini, model Kastner yang diadopsi dimodifikasi untuk juga mengakomodasi observasi memanfaatkan alat bantu optik (seperti binokuler atau teleskop) selain observasi dengan mata telanjang.

Tujuan dari penelitian ini adalah memperoleh kriteria visibilitas hilal di Indonesia yang dinyatakan dalam parameter fisis berupa umur Bulan pascakonjungsi, elongasi, dan ketinggian hanya berdasarkan atas data yang diyakini valid secara ilmiah. Untuk tujuan tersebut, dalam penelitian ini diperhitungkan pula serapan atmosfer dan kontribusi kecerahan langit senja sebagai parameter dalam proses seleksi data.

METODE

Data yang dipergunakan dalam penelitian ini bersumber dari laporan kesaksian mengamati hilal di seluruh wilayah Indonesia dalam kurun waktu (1962–1997) yang dikompilasi oleh KEMENAG dan laporan keberhasilan mengamati hilal oleh organisasi Rukyatul Hilal Indonesia (RHI) selama periode Januari 2007–Januari 2008. Data yang dikompilasi KEMENAG telah diuji validitasnya oleh Djamaluddin (2001) menggunakan kriteria seleksi yang terdiri atas kriteria utama (konfigurasi geometri) dan tambahan (mengeliminasi bias karena kehadiran objek pengecoh). Djamaluddin melakukan proses seleksi terhadap data kesaksian

karena proses observasi yang menghasilkan kesaksian tersebut tidak dapat diulangi, sehingga dipandang perlu untuk hanya menyertakan data yang dapat dipercaya keabsahannya dari sisi keilmuan di samping sisi syar'i (para pengamat telah disumpah di hadapan petugas Pengadilan Tinggi Agama setempat).

Melalui proses seleksi di atas Djama-luddin memperoleh 11 buah data valid dari total sebanyak 38 buah data. Terhadap data RHI tidak diterapkan perlakuan seleksi seperti halnya data KEMENAG, mengingat data yang dihasilkan RHI diperoleh dari pelaku yang memahami prosedur pengamatan dan astronomi posisi. Ke sebelas data KEMENAG dan 7 buah data RHI akan diuji lebih lanjut menggunakan model visibilitas Kastner untuk mengetahui mungkin-tidaknya hilal diamati pada saat tersebut. Persamaan-persamaan yang digunakan untuk memprediksi visibilitas menurut model Kastner diuraikan berikut ini.

Perhitungan visibilitas dilakukan untuk masing-masing lokasi pengamatan yang melaporkan kenampakan hilal ataupun Bulan sabit tua dengan mengadopsi nilai serapan atmosfer tertentu ($k = 0,19$) yang bersesuaian dengan panjang gelombang 5500 Å (panjang gelombang puncak kepekaan mata manusia; 1 Å = 10^{-10} meter) dalam hal kondisi atmosfer yang bersih. Semakin besar nilai ekstingsi mendeskripsikan atmosfer yang semakin kotor (Allen, 1973). Parameter fisis Bulan (jarak zenit, azimuth, elongasi, magnitudo semu visual, semi-diameter) dan Matahari (sudut depresi, azimuth) yang diperlukan dalam perhitungan diperoleh menggunakan perangkat lunak *MoonCalc versi 6.0* dari Monzur Ahmed dengan pengaturan toposentrik (pengamat berada di permukaan Bumi) dan menyertakan efek refraksi atmosfer.

Kecerahan (*luminance*) Bulan di luar atmosfer Bumi dihitung menggunakan persamaan:

$$L_* = \frac{1}{A} \times 2,51^{(10-m_{vis})} \quad (1)$$

dengan

$$A = (0,5 \times \pi r^2) [1 + \cos(180^\circ - ARCL)]$$

menyatakan luas sabit Bulan. Parameter ARCL (*Arc of Light*) merupakan elongasi dan r semi-diameter. Sementara, kecerahan Bulan menurut pengamat di permukaan Bumi adalah:

$$L_c = L_* e^{-kX} \quad (2)$$

dengan

$$X = \frac{1}{\cos z + 0,025e^{-11\cos z}}$$

adalah fungsi eks-tingksi atmosfer. Dalam persamaan ini z menyatakan jarak zenit. Besarnya kecerahan langit senja diperoleh dari aproksimasi Kastner berikut ini:

$$\begin{aligned} \log L = & -(7,5 \times 10^{-5} z + 5,05 \times 10^{-3}) \theta \\ & + (3,67 \times 10^{-4} z - 0,458) h \\ & + 9,17 \times 10^{-3} z + 3,525 \quad (\theta \leq \theta_0) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \log L = & 0,0010\theta + (1,12 \times 10^{-3} z - 0,470) h \\ & - 4,17 \times 10^{-3} z + 3,225 \quad (\theta > \theta_0) \end{aligned} \quad (4)$$

dengan sudut transisi θ_0 diberikan oleh:

$$\theta_0 = -(4,12 \times 10^{-2} z + 0,582) h + 0,417 z + 97,5$$

Dalam persamaan (3) dan (4) di atas z , θ , dan h , masing-masing menyatakan jarak zenit, beda azimuth antara Bulan dan Matahari, dan sudut depresi.

Kecerahan langit senja yang telah dikalibrasi, L_s , dan kontribusi kecerahan langit malam, L_a , semua dalam satuan S10 (jumlah bintang magnitudo 10 per derajat persegi), dinyatakan dalam model Kastner sebagai:

$$L_s = 290 (10^{\log L + 2,5}) \quad (5)$$

$$L_a = 290 + 105 e^{-\frac{(90-z)^2}{1600}} \quad (6)$$

Fungsi visibilitas, Δm , dinyatakan dalam:

$$\Delta m = 2,5 \log R \quad (7)$$

dengan

$$R = \frac{L_c}{L_s + L_a}$$

merupakan kontras kecerahan (*luminance*). Dari persamaan (7) menjadi jelas adanya, nilai Δm positif yang berarti bahwa objek dapat diamati dengan mata telanjang sepanjang cuaca mendukung, diperoleh hanya jika kecerahan objek melampaui nilai kecerahan langit latar belakang (langit senja dan langit malam). Dengan kata lain, nilai Δm yang negatif diinterpretasi sebagai ketidakmungkinan mengamati hilal dengan mata telanjang, namun berkemungkinan untuk mengamatinya menggunakan bantuan alat optik (semisal binokuler atau teleskop) dengan kemampuan menghasilkan perbesaran sudut tertentu.

Seluruh data akan mengalami penyeleksian ini, sehingga hanya data dengan nilai Δm positif yang akan digunakan dalam analisis. Data terseleksi akan dirajah menurut

umur Bulan dan elongasi (ARCL), juga dengan menggunakan dua parameter yang mudah terukur langsung pada saat sesi observasi, yaitu beda tinggi Bulan–Matahari (ARCV – *Arc of Vision*) dan beda azimut (DAZ – *Delta Azimuth*) serta beda tinggi Bulan–Matahari (ARCV) dan elongasi (ARCL) guna memperoleh kriteria visibilitas hilal di Indonesia. Dihindari penggunaan satu parameter (semisal umur Bulan atau *lag* saja) sebagai kriteria visibilitas, karena penggunaan prediktor tunggal memiliki zone ketidakpastian yang besar (Schaefer, 1996).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hamburan sinar Matahari oleh partikel-partikel di atmosfer membuat kondisi langit senja di dekat horison masih cukup terang untuk dapat mengesani hilal. Untuk hilal di ketinggian tertentu dari horison, pengamatan yang dilakukan dengan mata telanjang tidak akan berhasil mengesannya selama kecerahan langit senja masih lebih dominan daripada kecerahan (*luminance*) hilal. Pengamatan menggunakan alat bantu dapat mereduksi kecerahan langit senja secara signifikan, sehingga terdapat kesempatan untuk dapat mengesani hilal bersangkutan di ketinggian tersebut ketika kecerahannya menjadi lebih dominan atas kecerahan langit senja. Dengan kata lain, hilal dapat diamati saat masih berada di posisi yang relatif lebih tinggi daripada bila pengamatan dilakukan menggunakan modus mata telanjang. Modus pengamatan mata telanjang memerlukan kondisi langit yang relatif lebih gelap untuk dapat mengesani sosok hilal yang redup. Pada saat yang sama, posisi hilal juga semakin rendah yang akan membuat cahayanya lebih banyak mengalami serapan oleh atmosfer Bumi. Sebagai akibatnya, meskipun

langit menjadi cukup gelap saat Bulan belum terbenam sekalipun, kondisi ini tidak menjamin hilal akan dapat diamati. Dengan turut memperhitungkan kontribusi kecerahan langit senja, laporan berupa kesaksian mengamati hilal yang meragukan dapat dieliminasi sehingga hanya menyisakan data yang dinilai valid untuk dapat digunakan dalam memperoleh kriteria visibilitas hilal.

Dari ke-11 data terpilih yang dihasilkan Djamaluddin, setelah dilakukan uji visibilitas menggunakan model Kastner hanya terpilih 2 data yang bersesuaian dengan prediksi model. Kedua data tersebut adalah hasil pengamatan hilal awal Syawal yang dilakukan di Ampenan (21 Juli 1982) dan Manado (28 Mei 1987). Sementara itu, dari 7 buah data yang diperoleh berdasarkan hasil kompilasi RHI, keseluruhannya bersesuaian dengan prediksi model Kastner.

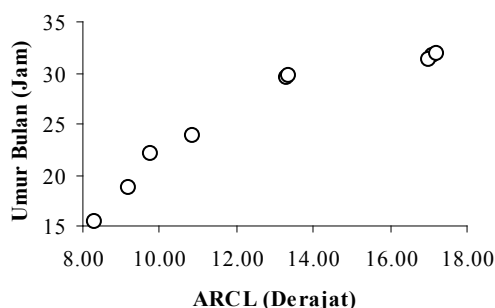
Berdasarkan prosedur kalkulasi model yang digunakan, fungsi visibilitas bernilai negatif pada saat hilal dilaporkan berhasil diamati untuk kasus hilal awal Jumadil Akhir 1428 H (16 Juni 2007) dari lokasi pengamat di Bela Belu Yogyakarta dan hilal awal Syawal 1428 H (12 Oktober 2007) untuk pengamat di Cendro-dipo Jawa Timur. Meskipun demikian, model Kastner memprediksi fungsi visibilitas bernilai positif bila pengamatan dilakukan berbantuan binokuler yang minimal mampu menghasilkan perbesaran sudut 10x. Faktanya, dalam laporan disebutkan bahwa pengamat berhasil mengesani sosok hilal dengan bantuan binokuler. Dengan demikian, total data valid yang dihasilkan berjumlah sebanyak 9 buah data. Seluruh data disajikan dalam Tabel 1.

Gambar 1 memperlihatkan grafik antara umur Bulan dan elongasinya (ARCL). Berdasarkan data yang tersedia, diperoleh umur

Tabel 1. Hilal dan parameter fisiknya pada saat pengamatan

Peristiwa	ARCV (derajat)	ARCL (derajat)	DAZ (derajat)	Umur (jam)	Lag (menit)	Keterangan
Hilal Syawal 1402	8,14	8,30	1,54	15,49	36,35	-
Hilal Syawal 1407	7,36	9,21	5,63	18,76	32,68	-
Hilal Jum. Ula 1428	15,67	17,11	6,95	31,60	73,55	Mata bugil
Hilal Jum. Ula 1428	15,35	17,02	7,40	31,37	73,28	Binokuler
Hilal Jum. Ula 1428	15,95	17,20	6,39	31,77	73,47	Mata bugil
Hilal Ramadhan 1428	8,55	9,75	4,70	22,15	35,03	Mata bugil
Hilal Syawal 1428	10,94	13,31	7,59	29,51	46,75	Binokuler
Hilal Syawal 1428	11,13	13,39	7,47	29,74	46,75	Mata bugil
Hilal Muharam 1429	10,78	10,87	1,49	23,83	47,85	Binokuler

Bulan > 15 jam dan elongasi > 8°. Nilai umur Bulan yang dihasilkan ini hampir dua kali lebih besar daripada nilai minimal yang saat ini digunakan KEMENAG sebagai acuan maupun hasil yang diperoleh Djamaluddin (2001) yang dikenal sebagai kriteria LAPAN. Demikian pula untuk elongasi yang mensyaratkan hilal dapat diamati, diperoleh nilai yang lebih besar daripada yang diadopsi KEMENAG (> 3°). Elongasi minimal > 8° berada di atas nilai yang dihasilkan Djamaluddin (2001), sebesar > 5,6°, maupun Djamaluddin (2011), sebesar > 6,4°, yang disebut sebagai kriteria LAPAN yang disempurnakan. Nilai elongasi minimal yang dihasilkan dalam penelitian ini dekat dengan nilai elongasi minimum yang diusulkan Fatoohi et al. (1998), yaitu sebesar 7,5°, meski masih di bawah hasil Ilyas ~ 10° (Ilyas, 1983b).



Gambar 1. Grafik sebaran umur Bulan terhadap elongasinya

Menggunakan siklus metonik, studi teoretik oleh Sopwan & Raharto (2012) memberikan variasi elongasi untuk kasus hilal yang dapat diamati dengan mata telanjang di wilayah sekitar khatulistiwa. Untuk hilal dekat ekuinoks (titik musim semi/Maret atau musim gugur/September) diperoleh variasi elongasi 13,5°–15,5°, hilal dekat solstis (titik musim panas/Juni atau musim dingin/Desember) 12,5°–13,5°, dan hilal dekat aphelion (jarak terjauh Bumi ke Matahari) serta perihelion (jarak terdekat Bumi ke Matahari) sekitar 11,5°–12,5°. Sementara untuk kasus hilal yang hanya dapat diamati dengan bantuan alat optik (teleskop), variasi elongasi terjadi dalam rentang yang lebih sempit, yaitu 6,4°–7°.

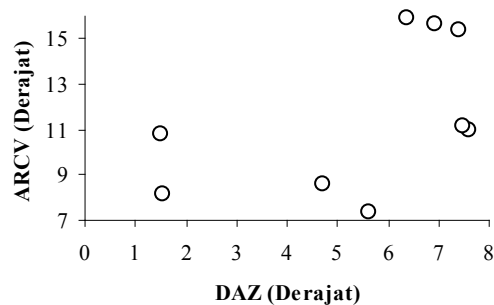
Umur Bulan sebesar 15 jam 29 menit di atas diperoleh dari kesaksian mengamati hilal di Ampenan Lombok tanpa adanya catatan perihal modus pengamatan yang dilakukan; apakah pengamatan dengan mata telanjang

ataukah pengamatan berbantuan alat optik. Bila diperhatikan, nilai ini melampaui rekor dunia yang ditorehkan John Pierce dan Jan Kemp ketika berhasil mengamati hilal berumur 15 jam 33 menit pascakonjungsi (23:55 UT; *Universal Time*) pada 25 Februari 1990 (Schaefer, 1996 dan Odeh, 2004).

Sementara itu, beda tinggi Bulan–Matahari (ARCV) bergantung pada beda azimut (DAZ). Untuk DAZ ~ 1,5°, ARCV yang diperlukan agar hilal dapat diamati > 8°. Dengan mencocokkan sebaran data terhadap polinomial orde 2, hubungan antara ARCV dan DAZ dinyatakan dalam pertidaksamaan berikut ini:

$$ARCV > 10,69 - 1,27|DAZ| + 0,22DAZ^2 \quad (8)$$

Untuk kasus DAZ = 0°, artinya ARCV = ARCL sebab $ARCL^2 = ARCV^2 + DAZ^2$, persamaan (8) memberikan nilai beda tinggi Bulan–Matahari > ~ 11°. Gambar 2 menunjukkan sebaran data yang dimaksud.



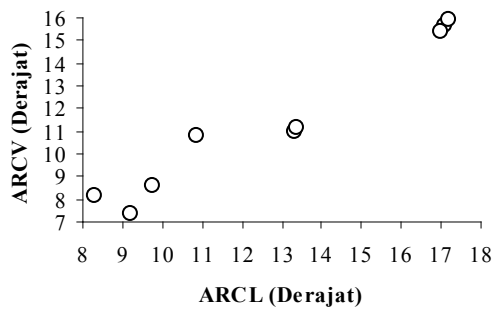
Gambar 2. Grafik sebaran beda tinggi Bulan–Matahari terhadap beda azimutnya

Hasil yang diperoleh Djamaluddin (2001) terlihat lebih optimistik daripada persamaan visibilitas yang diperoleh di atas, yaitu:

$$ARCV > 9,11 - 1,83|DAZ| + 0,14DAZ^2 \quad (9)$$

Dengan persamaan (9), diperlukan beda tinggi yang lebih rendah daripada yang diberikan persamaan (8) untuk kasus DAZ = 0°. Hal ini dapat dipahami mengingat data yang digunakan Djamaluddin memiliki nilai-nilai yang terlalu rendah bila dibandingkan dengan kriteria internasional. Data tersebut berhasil dieliminasi dalam penelitian ini menggunakan kontras kecerahan (*luminance*).

Parameter ARCV dan ARCL secara empirik memiliki hubungan yang linear ($R^2 = 0,95$) seperti ditunjukkan dalam Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Grafik sebaran beda tinggi Bulan-Matahari terhadap elongasinya

Menggunakan batasan minimum, hubungan antara ARCV dan ARCL dinyatakan sebagai:

$$ARCV > (1,28 \times ARCL) + 1,51 \tag{10}$$

Semakin besar nilai elongasi (posisi Bulan dan Matahari berjauhan di langit menurut pengamat di permukaan Bumi), semakin besar pula nilai beda tinggi kedua objek ini. Beda tinggi berperan dalam menjauhkan Bulan dari pengaruh silau cahaya Matahari maupun hamburannya oleh atmosfer Bumi.

Beda tinggi minimum berdasarkan data empirik adalah $7,36^\circ$. Nilai ini lebih tinggi daripada yang diperoleh Ilyas (1988) yang diadopsi Djamaluddin (2011), yaitu sebesar 4° . Dari studi teoretik, Sopwan & Raharto (2012) memperoleh rentang beda tinggi Bulan dan Matahari untuk kasus hilal yang mudah diamati dengan mata telanjang sebesar $10^\circ-11^\circ$, sedangkan untuk hilal yang hanya dapat diamati dengan bantuan alat optik $4,5^\circ-5,5^\circ$ (hilal dekat ekuinoks), $5^\circ-6^\circ$ (hilal dekat solstis), dan saat dekat aphelion dan perihelion sebesar $5,5^\circ$. Dengan bertambahnya data empirik, nilai-nilai yang diperoleh secara teoretik tersebut akan dapat diverifikasi.

Bruin (1977) memberikan formula sederhana untuk mendapatkan waktu terbaik (*best time*) pengamatan hilal sebagai:

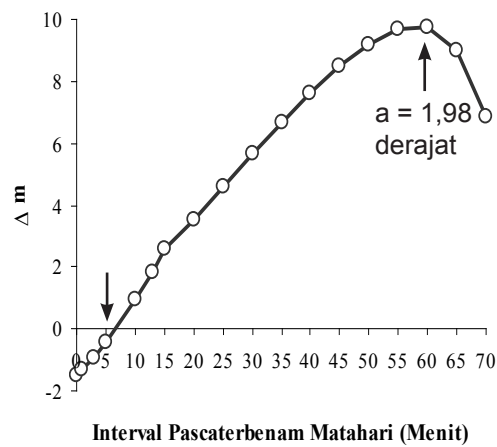
$$T_{best} = T_s + \left(\frac{4}{9}\right)Lag \tag{11}$$

dengan T_s merupakan waktu lokal terbenamnya Matahari. Menggunakan model Kastner, diperoleh bahwa kurva fungsi visibilitas (Δm) mencapai nilai maksimumnya pascaterbenam Matahari, sebelum akhirnya kembali

berkurang. Kurva Δm untuk kasus hilal Jumadil Ula

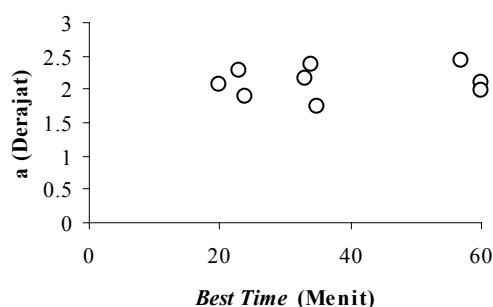
1428 H (16 Juni 2007) dari lokasi Bela Belu Yogyakarta ($8^\circ 4' LS, 110^\circ 19' BT$) diperlihatkan dalam Gambar 4 di bawah.

Oleh Penulis kondisi saat Δm mencapai nilai positif terbesarnya ini didefinisikan sebagai *best time*. Sejauh cuaca mendukung (tidak ada liputan awan di arah pandang hilal atau tidak turun hujan), atmosfer yang bersih, dan tidak ada halangan objek-objek terestrial (gunung, gedung, dan lain-lain) di arah posisi hilal berada, besar peluang untuk dapat mengesani sosok hilal pada saat tersebut.



Gambar 4. Kurva Δm hilal 16 Juni 2007. Pada puncak kurva (*best time*, 1 jam pascaterbenam Matahari), ketinggian hilal dari horison (a) sekitar 2° . Dengan bantuan binokuler, pengamat mengesani hilal 5 menit pascaterbenam Matahari meskipun Δm masih bernilai negatif

Sultan (2006) memberikan kritik terhadap persamaan (11) karena persamaan tersebut tidak mempertimbangkan ketinggian lokasi pengamat dari permukaan laut. Di lokasi dengan ketinggian moderat (≤ 1000 meter di atas permukaan laut) hilal dapat diamati tidak lama setelah Matahari terbenam. Berlawanan dengan hal ini, di lokasi ~ 2000 meter di atas permukaan laut, hilal baru dapat diamati beberapa waktu sebelum Bulan terbenam (Sultan, 2006). Gambar 5 di bawah ini memperlihatkan grafik ketinggian hilal (a) di atas horison terhadap *best time* menurut definisi yang baru.



Gambar 5. Grafik sebaran ketinggian hilal terhadap *best time*

Dalam penelitian ini seluruh lokasi yang melaporkan kesaksian mengamati hilal memiliki ketinggian < 1000 meter di atas permukaan laut. Tidak bergantung pada berapa lama sejak Matahari terbenam *best time* dicapai, ketinggian hilal di atas horison pada saat tersebut berkisar 2° . Berdasarkan data yang ada, rata-rata nilai ketinggian hilal pada saat *best time* adalah $2,1^\circ$. Temuan ini menentukan butir pertama kriteria visibilitas hilal yang dianut KEMENAG, bahwa ketinggian minimum Bulan dari horison sebesar 2° . Bila nilai ini diadopsi sebagai batas bawah ketinggian hilal yang dapat diamati, dapat diusulkan beda tinggi Bulan–Matahari (ARCV) minimum pada saat Matahari tepat terbenam ($h \sim 1^\circ$) sebesar $\sim 3^\circ$. Data empirik saat ini memberikan ARCV minimum $7,36^\circ$. Diperlukan data keberhasilan observasi hilal valid yang lebih banyak untuk dapat mengkonfirmasi nilai 3° ini. Nilai ARCV minimal 3° mendekati yang diperoleh Ilyas (1988), yaitu sebesar 4° , yang diadopsi Djamaluddin (2011) sebagai usulan kriteria hisab-rukyat Indonesia.

Penampakan gerak harian benda-benda langit sangat dipengaruhi oleh lintang geografis pengamat. Tak terkecuali gerak Matahari dan Bulan. Untuk meningkatkan reliabilitas kriteria visibilitas hilal ini diperlukan data empirik yang cukup yang bersumber dari wilayah di sekitar khatulistiwa (lebar wilayah Indonesia 6° LU– 11° LS). Sebagai pembandingan, kriteria Yallop dibangun berdasarkan 295 buah data observasi, sementara Odeh menggunakan 737 buah data. Data valid dapat diperoleh melalui observasi dalam jejaring pengamatan hilal dengan melibatkan komunitas astronom amatir pada setiap lunasi sepanjang tahun.

PENUTUP

Berdasarkan analisis atas data kesaksian mengamati hilal di Indonesia, dapat diturunkan sejumlah parameter sebagai kriteria visibilitas hilal. Kriteria ini bersifat dinamis, dalam arti dapat berubah dengan bertambah banyaknya data empirik yang diperoleh di lapangan. Kriteria visibilitas hilal Indonesia yang dapat diusulkan dirangkumkan berikut ini. Pertama, untuk dapat diamati pasca konjungsi umur Bulan > 15 jam dengan elongasi > 8° . Ke dua, ARCV dan DAZ memenuhi hubungan pertidaksamaan $ARCV > 10,69 - 1,27|DAZ| + 0,22 DAZ^2$, sehingga beda tinggi Bulan–Matahari memiliki nilai $\sim 11^\circ$ untuk kasus beda azimuth = 0. Ke tiga, menggunakan batas minimum, linearitas empirik antara ARCV dan ARCL memenuhi hubungan $ARCV > (1,28 \times ARCL) + 1,51$. Ke empat, saat di mana fungsi visibilitas Δm mencapai nilai maksimumnya dapat digunakan sebagai indikator waktu terbaik (*best time*) pengamatan hilal. Hal ini sebagai alternatif terhadap konsep *best time* Yallop yang lebih dulu dikenal. Dan terakhir, berdasarkan ketinggian hilal pada saat *best time*, dapat diusulkan ARCV minimum bernilai $\sim 3^\circ$ yang bersesuaian dengan saat Matahari tepat terbenam.

Kepada pemegang otoritas (KEMENAG), diharapkan membuka diri terhadap perkembangan dunia ilmu pengetahuan, terutama yang terkait dengan hasil-hasil penelitian visibilitas hilal dan berkenan mengadopsi kriteria yang lebih valid secara keilmuan. Dengan mengadopsi kriteria yang memiliki landasan ilmiah kokoh, diharapkan dapat tercapai keseragaman antara pemerintah dan organisasi massa Islam dalam hal penentuan awal bulan Hijriyah di Indonesia.

UCAPAN TERIMAKASIH

JAU mengucapkan terima kasih kepada Rukyatul Hilal Indonesia (RHI) atas publikasi data pengamatan mereka. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA UPI yang memungkinkan dipublikasikannya naskah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Allen, C.W. 1973. *Astrophysical Quantities*. Univ. of London: The Athlone Press

- Barteneva, O.D. & Boyarova, A.N. 1960. *Trudy Glav. Geofiz. Obs. im. A. I. Voeikova*, Leningrad, No.100
- Blackwell, H.R. 1946. Contrast Thresholds of the Human Eye. *Journal of the Optical Society of America*. Volume 36, No. 11
- Bruin, F. 1977. The First Visibility of the Lunar Crescent. *Vistas di Astronomy*. Volume 21
- Djamaluddin, T. 2000. Visibilitas Hilal di Indonesia. *Warta LAPAN*. Volume 2, No. 4
- Djamaluddin, T. 2011. *Astronomi Memberi Solusi Penyatuan Ummat*. LEMBAGA PENERBANGAN DAN ANTARIKSA NASIONAL
- Fatoohi, L.J., Stephenson, F.R., Al-Dargazelli, S.S. 1998. The Danjon Limit of First Visibility of the Lunar Crescent. *The Observatory*. Volume 118
- Hoffman, R.E. 2003. Observing the New Moon. *Monthly Notice of Royal Astronomical Society*. Volume 340
- Ilyas, M. 1983b. Danjon Limit of Lunar Visibility: a re-examination. *The Journal of The Royal Astronomical Society of Canada*. Volume 77
- Ilyas, M. 1988. Limiting Altitude Separation in the New Moon's First Visibility Criterion. *Astronomy and Astrophysics*. Volume 206
- Kastner, S.O. 1976. Calculation of the Twilight Visibility Function of Near-Sun Objects. *The Journal of The Royal Astronomical Society of Canada*. Volume 70, No.4
- Mikhail, J.S., Asaad, A.S., Nawar, S., Hassanin, N.Y. 1995. Improving the Crescent Visibility Limits Due to Factors Causing Decrease in the Sky Twilight Brightness. *Earth, Moon and Planets*. Volume 70
- Odeh, M.S. 2004. New Criterion for Lunar Crescent Visibility. *Experimental Astronomy*. Volume 18
- Schaefer, B.E. 1996. Lunar Crescent Visibility. *Quarterly Journal of The Royal Astronomical Society*. Volume 37
- Sopwan, N., Raharto, M. 2012. *Hilal Metonik: Usulan Kriteria Visibilitas Hilal*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Fisika, Universitas Negeri Semarang, 6 Oktober
- Sultan, A.H. 2005. New Explanation for Length Shortening of the New Crescent Moon. *United Nations PSA*. Volume 16
- Sultan, A.H. 2006. "Best Time" for the First Visibility of the Lunar Crescent. *The Observatory*. Volume 126, No.1191
- Sultan, A.H. 2007. First Visibility of the Lunar Crescent: Beyond Danjon's Limit. *The Observatory*. Volume 127, No.1
- Utama, J.A. 2012. *Analisis Visibilitas Hilal Penentu Awal Ramadhan dan Syawal 1433 H dengan Model Fungsi Visibilitas Kastner*. Makalah disajikan dalam Seminar Nasional Fisika, Universitas Negeri Semarang, 6 Oktober
- Utama, J.A., Efendi, R. 2012. *Reliability Test of Kastner Visibility Function Prediction on Lunar Crescent Observational Data in Indonesia*. Makalah disajikan dalam 4th South East Asian Astronomy Network (SEAN) Meeting, Institut Teknologi Bandung, 10 - 11 Oktober
- Widiana, W. 2000. *Kriteria Imkanurrukyah Menurut Kerjasama Negara-Negara MABIMS*. Jurnal Hisab Rukyat: DEPARTEMEN AGAMA RI
- Yallop, B.D. 1997. NAO Technical Note No. 69. HM Nautical Almanac Office, Royal Greenwich Observatory: Cambridge