

**ANALISIS FOTOMETRI KONTRAS VISIBILITAS HILAL
TERHADAP CAHAYA SYAFAQ**



SINOPSIS TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk
Memperoleh Gelar Magister Studi Islam

Oleh:
Sakirman
NIM. 105112068

**PROGRAM PASCASARJANA
INSTITUT AGAMA ISLAM NEGERI WALISONGO
SEMARANG
2012**

ABSTRAK

Tesis ini mengkaji tentang fotometri hilal (bulan sabit) dengan menekankan kajian pada kontras cahaya visibilitas hilal (ketampakkan bulan sabit) terhadap cahaya syafaq (senja). Pemilihan kajian ini didasarkan pada kenyataan bahwa bulan merupakan fenomena fisis ekstraterestrial dan atmosferik yang sangat sulit untuk diamati dalam umur yang sangat muda, ketika intensitas cahaya syafaq lebih cerah dari cahaya hilal. Secara astronomis dapat diketahui bahwa posisi hilal sangat dekat dengan matahari. Munculnya hilal sangat singkat sesaat setelah matahari terbenam dan posisi hilal berdekatan waktunya dengan terbenamnya matahari, sehingga sering kali cahaya hilal kalah terang dibanding dengan cahaya syafaq.

Hilal tidak memiliki sumber cahaya sendiri. Hilal hanya memantulkan cahaya matahari. Bagian hilal yang tersinari dan menghadap ke arah bumi tampak lebih terang sesaat setelah maghrib. Karena bulan bergerak mengelilingi bumi, dari hari ke hari tempatnya berpindah-pindah. Inilah yang menyebabkan perubahan bentuk-bentuk bulan, mulai dari bentuk sabit, setengah lingkaran, bulat sempurna, kemudian setengah lingkaran lagi, dan terakhir kembali ke bentuk sabit (bulan tua).

Ketika matahari terbenam, cahayanya masih tetap terlihat sampai suatu kedudukan matahari berada sekitar 6 derajat di bawah horizon. Hal tersebut mengindikasikan bahwa cahaya syafaq sesaat setelah matahari terbenam masih sangat kuat yang memungkinkan mengalahkan cahaya hilal. Dalam keadaan normal bulan sabit sulit untuk diamati, karena kontrasnya cahayanya rendah, artinya cahaya hilal akan tenggelam dalam kemilaunya cahaya syafaq.

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka yang menjadi pokok permasalahan dalam penelitian ini adalah, bagaimana memformulasikan kontras fotometri hilal dan kontras hilal -syafaq yang memungkinkan agar hilal dapat terlihat. Pengukuran kuat cahaya (intensitas cahaya) hilal dan cahaya syafaq dilakukan dengan menggunakan kamera digital yang citranya diolah dengan software fotometri seperti IRIS 5.58.

Dalam rangka menemukan jawaban dalam permasalahan tersebut, dalam penelitian ini penulis merumuskan dan menurunkan metodologi penelitian berupa penelitian lapangan (*Field Research*), dengan data-data yang dihimpun dari hasil pengamatan dan citra hilal hasil pengamatan internasional kemudian diolah dengan software fotometri serta dilengkapi dengan data kepustakaan yang dianggap mewakili (*representatif*) dan terkait (*relevan*) dengan objek kajian ini. Sumber data utama (*primary sources*) dalam penelitian ini foto hilal dan syafaq hasil pengamatan. Disamping itu, digunakan juga sumber data pendukung (*secondary sources*) yakni data berupa literatur astronomi untuk menjawab dan menganalisa dalam penelitian ini.

Dari penelitian ini dapat diketahui bahwa, hilal tidak mudah untuk diamati, ada batas kontras tertentu agar hilal dapat teramati. Akhirnya, dari rangkaian analisis yang penulis akan lakukan, tesis ini dimaksudkan untuk mengetahui secara objektif kuat intensitas cahaya hilal yang dapat teramati (visibilitas hilal) dalam kriteria penentuan awal bulan berdasarkan hasil observasi dan analisis, sehingga tesis ini dapat memberikan kontribusi dalam mengembangkan studi astronomi (falak), baik dalam ranah metodologis maupun ranah praktis, sehingga studi falak memiliki bangunan epistemologi keilmuan yang kuat seperti disiplin keilmuan yang lain. Setidaknya, tesis ini memberikan gambaran tentang model sebuah pendekatan *integralistik-interdisipliner* sebagai landasan akademik untuk lebih menekankan *research* dengan menajamkan hasil analisisnya.

*Kata kunci: *Fotometri, Visibilitas hilal, dan Cahaya syafaq*

A. Pendahuluan

Pertentangan antara hisab dan rukyat kembali menjadi polemik saat sidang Isbat¹ 1 Syawal 1432 H. Lantaran, masing-masing ormas menggunakan metode yang berbeda dalam menetapkan awal bulan hijriyah. Terdapat beberapa metode penetapan awal bulan hijriyah yang berkembang, salah satunya adalah pengkajian terhadap eksistensi hilal atau populer dengan istilah *rukkyat al-hilāl* (observasi bulan sabit pertama).²

Eksistensi hilal menjadi sangat penting untuk diketahui sebagai penanda masuknya bulan baru pada kalender hijriyah. Salah satunya dengan melakukan observasi (rukkyat), yaitu usaha melihat hilal atau bulan sabit pertama di langit (ufuk) sebelah barat sesaat setelah matahari terbenam menjelang pergantian bulan baru. Rukkyat yang dapat dijadikan dasar penetapan awal bulan baru pada kalender hijriyah adalah *rukkyat al-mu'tabar* (observasi ilmiah), yakni rukkyat yang dapat dipertanggungjawabkan secara hukum dan ilmiah (Jayusman, 2010).³

Laporan hasil *rukkyat al-hilāl* dari Cakung, Jepara, dan Gresik, untuk penetapan 1 Syawal 1432 hijriyah sempat menjadi kontroversi karena dari ketiga laporan tersebut ditolak oleh MUI dan tim Isbat yang dilakukan oleh Kementerian Agama RI, dengan alasan laporan hilal dari ketiga tempat tersebut tidak berdasarkan observasi ilmiah atau *rukkyat al-hilāl* aktual,⁴ karena kemungkinan hilal yang sesungguhnya tidak dapat terlihat. Hal itu diperkuat dengan adanya laporan yang disampaikan Kepala Badan Hisab Rukyat Kemenag bahwa, hasil pengamatan rukyat di 96 lokasi menyatakan hilal tidak terlihat.⁵

Kesaksian melihat hilal tidak serta merta harus diterima hanya karena saksi bersedia untuk disumpah. Hilal bukanlah benda ghaib, hilal adalah obyek nyata yang bisa diamati, dianalisa dan diprediksi posisi keberadaannya secara ilmiah. Kesaksian yang tidak rasional memang seharusnya ditolak. Misalnya, ketika cuaca tidak bersahabat atau mendung, posisi langit diselimuti oleh awan tebal, pantulan cahaya lampu, hamburan atmosfer dan kontras cahaya syafaq yang mempengaruhi cahaya hilal. Maka bisa jadi obyek yang terlihat di Cakung, Jepara, dan Gresik bukanlah hilal yang sesungguhnya, melainkan goresan awan yang terkena sinar matahari yang akhirnya terbentuk seperti hilal atau bisa juga

hilal imajiner yang timbul karena terobsesi oleh keinginan yang kuat untuk melihat hilal (Mu'ied, 2011).

Mata manusia tidak sanggup menangkap cahaya yang sangat redup pada kedua ujung lengkungan sabit hilal. Schaefer (1991) pernah membuat model teoritik hubungan antara besarnya lengkungan sabit hilal dengan kecerlangan hilal. Dengan limit sensitivitas mata manusia sekitar 8 magnitudo (besaran kecerlangan relatif dalam astronomi) pada jarak sekitar 8 derajat hilal hanya akan terlihat seperti goresan tipis yang tanpa ada tanda-tanda lengkungan, yang terlihat hanya panjang lengkungan sabit hilal sekitar 40 derajat, atau sepersembilan lingkaran. Sehingga sangat sulit terdeteksi sebagai hilal.

Mata manusia merupakan alat detektor alami yang dapat merekam cahaya. Akan tetapi, kemampuan mata manusia menurut Admiranto (2009:11) sangat terbatas karena hanya dapat menyimpan hasil pengamatan dalam ingatan si pengamat saja sehingga upaya analisis secara kuantitatif tidak dapat dilakukan. Oleh sebab itu, dalam hal ini peneliti melakukan pemotretan hilal dengan menggunakan alat detektor⁶ yang dapat dianggap sebagai “perpanjangan tangan” dari mata. Karena secara fisis, kenampakan hilal dapat dianalisa menggunakan berbagai perangkat teknologi yang reliable dan precise. Salah satunya dengan menggunakan fotometri.

Fotometri adalah cabang dari astronomi yang mempelajari tentang informasi cahaya yang dikirim dari angkasa luar, baik berupa bintang atau benda langit lainnya. Fotometri merupakan bagian dari fisika optik yang mempelajari tentang kuat cahaya⁷ (*intensitas*) dan derajat penerangan (*brightness*) (Sutantyo, 1984:98). Dalam penelitian ini, akan melakukan observasi dengan mengabadikan citra hilal dengan kamera DSLR. Setelah data terkumpul, kemudian dianalisis menggunakan software IRIS-5.58. Sehingga dapat diketahui intensitas kuat cahaya hilal dan cahaya syafaq, ketika intensitas cahaya syafaq mulai redup, maka cahaya hilal semakin kuat dan mudah teramati. Sebaliknya, semakin kuat intensitas cahaya syafaq, maka hilal semakin sulit untuk diamati.

Menurut Djamaluddin (2010), penelitian tentang visibilitas hilal di Indonesia belum dilakukan secara sistemik berdasarkan analisis astronomis

untuk menghasilkan kriteria *imkān ar-rukyat*. Karena memang secara astronomi, cahaya hilal yang dilihat manusia sesungguhnya adalah pantulan atau refleksi dari cahaya matahari yang sampai ke bumi. Setiap saat, posisi hilal relatif terhadap bumi dan matahari sehingga mengalami perubahan. Akibatnya, luasan cakram hilal yang terkena sinar matahari setiap saat mengalami perubahan.

Berdasarkan pengamatan hilal internasional yang dilakukan oleh Danjon (1932-1936), Ia menganalisis hubungan jarak sudut matahari-bulan dan besarnya lengkungan sabit pada hilal. Dari hasil analisis observasi yang dilakukannya sejumlah 75 data yang terkumpul dapat diketahui bahwa semakin dekat jarak sudut matahari-bulan, lengkungan sabit yang bisa teramati semakin kecil. Data-data itu menunjukkan bahwa hilal tidak mungkin teramati bila jarak sudut matahari-bulan kurang dari 7 derajat. Berdasarkan rumusan Danjon tersebut, astronom menolak laporan pengamatan hilal dengan mata telanjang bila jarak sudut matahari-bulan kurang dari 7 derajat.

Visibilitas hilal (penampakan bulan sabit pertama) menjadi salah satu parameter utama yang umum digunakan dalam menentukan besarnya nilai kontras minimum yang diperlukan untuk mengamati hilal (Hofman: 2003). Karena hilal merupakan fenomena fisis ekstraterestrial dan atmosferik menurut Sudibyo (2010), dalam usia yang sangat muda hilal sulit untuk diamati karena cahaya hilal sangat tipis dan kalah terang dengan cahaya syafaq.

B. Rumusan Masalah

Memperhatikan paparan dari latar belakang masalah di atas, maka permasalahan yang dicari dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana memformulasikan kontras fotometri hilal ?
2. Apa batasan kontras yang bisa dijadikan kriteria visibilitas hilal ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dalam penulisan proposal ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk membuat formulasi kontras fotometri hilal.

2. Untuk mengetahui batasan kontas visibilitas hilal yang bisa dijadikan kriteria visibilitas hilal dalam penentuan awal bulan hijriyah berdasarkan hasil observasi dan analisis.

D. Signifikansi Penelitian

Signifikansi penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini diharapkan mampu menjadi bahan acuan dari tinjauan astronomi sehingga hasil penelitian ini sesuai dengan analisis astronomi. Adapun penggunaan teknik fotometri untuk memberikan ukuran objektif yang tidak bergantung pada sensitivitas individual mata pengamat terhadap hilal.
2. Memberikan kontribusi atau infak akademis terhadap pengembangan ilmu falak. Sepanjang penelusuran penulis dari berbagai literatur, metode penentuan awal bulan dengan menggunakan fotometri belum penulis temukan. Penulis meyakini bahwa tema penelitian yang penulis pilih ini akan menjadi sumbangan bagi perkembangan ilmu falak di Indonesia, khususnya kajian tentang metode penentuan awal bulan dalam kalender hijriyah.

E. Pembahasan

Tono Saksono (2007:83), menjelaskan secara komprehensif tentang definisi hilal.⁸ Menurut riset ilmiah yang pernah ditelusurinya, kata hilal (هلال) bersumber dari dua kata yang berbeda namun memiliki kesamaan objek. Sejauh pelacakan penulis, kata hilal yang paling klasik diantara literatur-literatur yang pernah ditelusuri adalah al-Khalil Ibnu Ahmad al-Farāḥidī, pakar linguistik Arab abad ke-7. Kata hilal, dalam karyanya *Kitāb al-‘Ayn*, berasal dari kata *halla* (هل) yang berarti dia muncul atau dari kata *uhilla* (أهل) yang bermakna dia kelihatan. (al-Farāḥidī, tt:1017).

Selain al-Farāḥidī, ahli linguistik Arab lainnya seperti Rāḡib al-Isbahāni menjelaskan bahwa bulan sabit (hilal) berarti bulan yang khusus kelihatan pada hari pertama dan kedua dalam sebuah bulan, setelah itu maka dinamakan “bulan” (*qamar*) saja.⁹

Lebih lanjut, penelusuran kata atau makna hilal yang dilakukan oleh Ibnu Manẓūr, dalam kitabnya *Lisān al-‘Arabi*, menemukan arti bahwa kata hilal untuk menunjukkan bulan sabit pada hari pertama dan kedua bulan qamariyah atau dua malam terakhir bulan kamariyah, pendapat ini bersumber dari Ibnu Hais\am. Selain itu, Ibnu Manẓūr sendiri menjelaskan bahwa bahwa hilal dapat pula berasal dari *teriakan gembira* karena melihat atau mengalami sesuatu. Misalnya tangisan bayi ketika baru lahir (*ihlāl al-ṣabī*). Keterangan dari pakar linguistik Arab ini menunjukkan bahwa ada proses melihat secara visual terkait dengan bulan sabit atau hilal.¹⁰

Arti hilal, selanjutnya, dalam Kamus al-Munawwir dijelaskan makna-makna yang terkait dengan asal kata hilal sebanyak duabelas makna, yang secara rinci sebagai berikut:

1. Bulan sabit
2. Bulan yang terlihat pada awal bulan
3. Curah hujan
4. Permukaan hujan
5. Air sedikit
6. Warna putih pada pangkal kuku
7. Cap, selar pada unta
8. Unta yang kurus
9. Kulit kelongsong ular
10. Debu
11. Ular jantan
12. Anak muda yang bagus¹¹

Sementara itu, dalam *Kamus Arabic-English Dictionary* karya Hans Wehr, disebut dalam kamusnya bahwa kata *hilal* bentuk pluralnya *ahillah* atau *ahālil* bisa berarti *newmoons* (bulan muda) atau *creseent* (sabit). John M. Echols dan Hassan Shadily dalam *Kamus Inggris-Indonesia*, AS Hornby dalam *Oxford Advanced Learner’s Dictionary of Current English* dan Lois Ma’luf dalam *al-Munjid*.¹²

Definisi seperti ini pun berkembang pula dalam karya-karya berbahasa Inggris seperti Muhammad Baqir Behbudi dalam *The Quran A New Interpretation* terjemahan Collin Turner dan A. Yusuf Ali dalam *The Holy Qur'an Text, Translation and Commentary*. (Behbudi, 1997: 16; Ali, 1982: 75)

Referensi lain yang cukup komprehensif dalam mengurai kata hilal adalah karya orientalis B. Lewis V. L. Menage, Ch. Pellat, dan J. Schacht yakni *The Encyclopedia of Islam*. Dalam buku ini, kata hilal digunakan sebagaimana literatur-literatur asing lainnya yaitu *newmoons* (bulan muda) atau sabit (*crescent*)¹³.

Di Indonesia, kata hilal sangat populer di kalangan kaum muslimin khususnya ketika menjelang perayaan Ramadhan, Syawal, Dzulhijjah dan sudah menjadi bahasa baku, terbukti sudah dimuat dalam *Kamus Besar Bahasa Indonesia*. Menurut kamus ini, kata hilal berarti bulan sabit atau bulan yang terbit pada tanggal satu bulan kamariah (Depdikbud, 2001: 307). Namun pengertian hilal tidak banyak dijumpai dalam kitab-kitab tafsir karya ulama Indonesia. Sebagai contoh, Muhammad Yunus dan Oemar Bakry, yang mengartikan hilal dengan bulan. Sementara itu, Bachtiar Surin dalam *Tafsir al-Zikra* mengartikan hilal dengan bulan muda (Surin, 1991:120). Pendapat ini sejalan dengan pendapat Hasbi as-Siddieqy yang menyebutkan bahwa hilal adalah bulan baru (Shiddieqy, 1966: iii).

Dalam karya ilmuwan dan pakar ilmu falak di Indonesia seperti Muhyiddin Khazin (2005:30), sebagaimana diuraikan dalam *Kamus Ilmu Falak*, Ia menjelaskan bahwa hilal atau “bulan sabit”, yang dalam astronomi dikenal dengan nama *crescent*, adalah bagian bulan yang tampak terang dari bumi sebagai akibat cahaya matahari yang dipantulkan olehnya pada hari terjadinya ijtima’ sesaat setelah matahari terbenam. Hilal ini dapat dipakai sebagai pertanda pergantian bulan kamariah. Apabila setelah matahari terbenam hilal tampak, maka malam itu dan keesokan harinya merupakan tanggal satu bulan berikutnya.

Menurut Profesor Riset Lembaga Penerbangan Antariksa Nasional (LAPAN) Thomas Djamaludin (2003:2), hilal adalah bulan sabit pertama yang teramati di ufuk barat sesaat setelah matahari terbenam, tampak sebagai goresan

garis cahaya yang tipis, dan bila menggunakan teleskop dengan pemroses citra bisa tampak sebagai garis cahaya tipis di tepi bulatan bulan yang mengarah ke matahari. Dari data-data *rakyat al-hilāl* jangka panjang, keberadaan hilal dibatasi oleh kriteria hisab tinggi minimal sekian derajat bila jaraknya dari matahari sekian derajat dan beda waktu terbenam bulan-matahari sekian menit.

Susiknan Azhari dalam artikelnya yang berjudul “Membangun Kebersamaan di Tengah Perbedaan Kasus 1 Syawal 1427 H” (2006:8) menyatakan bahwa konsep hilal sangat beragam (divergensi), diantaranya adalah *pertama*, hilal adalah bulan sabit yang dapat dilihat pertama kali dan *kedua*, hilal adalah bulan yang sudah, melewati fase ijtimak.¹⁴ Konsep pertama merujuk pada ahli rakyat, sedangkan konsep kedua banyak dipakai ahli hisab.

Moedji Raharto dalam artikelnya yang berjudul “Sumber Keragaman Penanggalan Islam” (1992:66) menyatakan bahwa dari segi metodologi keilmuan hisab dan rakyat menampilkan sesuatu yang sama dengan cara yang berbeda. keduanya ingin mengetahui adanya penampakan hilal. Menurutnya pula, rakyat tidak lain adalah metodologi observasi langsung, sedangkan hisab mencoba mengembangkan kemampuan akal melalui metode induksi dan deduksi untuk memahami realitas penampakan hilal yang telah diperoleh dari pengalaman rakyat.

Menurut Sudiby (2007), secara operasional hilal didefinisikan sebagai bulan dalam fase sabit terkecil dengan usia termuda yang hanya nampak pasca terbenamnya matahari. Sedangkan hilal tua secara operasional didefinisikan sebagai Bulan dalam fase sabit terkecil dengan usia tertua yang hanya nampak menjelang terbitnya matahari.

Definisi hilal bisa beragam, karena hilal dalam terminologi bahasa memiliki makna generik yang beragam pula. Tapi, itu bagian dari riset ilmiah, semua definisi di atas semestinya saling melengkapi satu dengan lainnya. Bukan dipilih definisi secara parsial, melainkan hilal harus didefinisikan dengan sesuatu yang komprehensif. Sebagaimana yang telah diuraikan oleh para ahli di atas, dapat disimpulkan bahwa hilal adalah bulan sabit pertama yang teramati di ufuk barat sesaat setelah matahari terbenam, tampak sebagai goresan garis cahaya yang

tipis, dan bila menggunakan teleskop dengan pemroses citra bisa tampak sebagai garis cahaya tipis di tepi bulatan bulan yang mengarah ke matahari. Dari data-data *rukyatal-hilāl* jangka panjang, keberadaan hilal dibatasi oleh kriteria hisab tinggi minimal 3 derajat bila jaraknya dari matahari 6 derajat, berumur lebih dari 16 jam bagi pengamat di daerah tropik dan berumur lebih dari 20 jam bagi pengamat di lintang tinggi dan beda waktu terbenam bulan-matahari maksimal 40 menit.

F. Fotometri dan Software IRIS 5-58

Geneologi fotometri berasal dari bangunan epistemologi keilmuan astrofisika yang mempelajari tentang informasi cahaya yang dikirim dari angkasa luar, baik berupa cahaya bintang maupun cahaya benda langit lainnya. Cahaya,¹⁵ dalam kajian fotometri tidak terbatas pada sumber cahaya, tetapi dapat pula berupa gelombang elektromagnetik, seperti inframerah, sinar ultraviolet, sinar gamma, sinar X atau gelombang radio.

Dalam kamus Fisika, istilah fotometri merupakan ilmu yang mempelajari tentang radiasi tampak, khususnya perhitungan dan pengukuran intensitas dan *fluks* cahaya.¹⁶ Terdapat dua jenis pengukuran yang digunakan dalam fotometri. *Pertama*, mengukur besaran cahaya (*luminous*) dengan mengandalkan penggunaan mata manusia. *Kedua*, mengukur besaran pancaran (*radiant*) yang mengandalkan piranti fotolistrik untuk mengukur energi elektromagnetik (Danusantoso, 1995: 328).

Fotometri lebih memfokuskan kajiannya pada intensitas cahaya (*intensity*) dan derajat penerangan (*brightness*). Menurut Peter (1992:61), fotometri juga mempelajari tentang ukuran banyaknya cahaya. Pengukuran intensitas cahaya dilakukan dengan membandingkan intensitas sumber cahaya standart dengan intensitas cahaya lainnya.

Pengukuran intensitas cahaya fokus pada satu titik yang dijadikan sebagai cahaya standar, dari cahaya standar tersebut kemudian menentukan kalibrasi dari setiap objek pengamatan. Salah satu kelemahan melakukan pengamatan astronomi dengan mata telanjang tanpa alat bantu adalah hasil yang diperoleh bersifat subyektif. Bila pengamatan dilakukan oleh beberapa

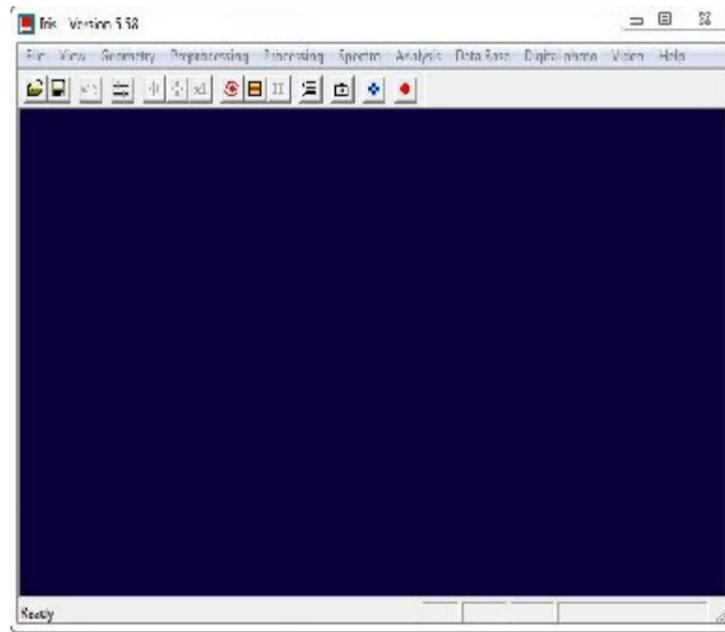
orang, maka hasil yang diperoleh akan berbeda. Dengan sistem fotometri ini hasil yang diperoleh bersifat obyektif karena data diabadikan oleh kamera, kemudian hasilnya diolah dengan sistem fotometri untuk mendapatkan data yang bersifat kuantitatif.

Software IRIS mulai dikenal dalam era teknologi pada pertengahan tahun 1980-an, ketika CCD kamera mulai digunakan oleh para praktisi amatir. Software ini diciptakan untuk komputer jenis Apple III dalam bahasa *assembly* yang memiliki kemampuan untuk memproses gambar hingga ukuran 128×128 mega pixel atau lebih.

Sejalan dengan perkembangan teknologi serta adanya kebutuhan yang meningkat untuk image processing power. Kemudian Software IRIS terus dikembangkan dalam bentuk *platform windows* yang dapat memproses beberapa ribu gambar pixel. Software IRIS dapat didownload secara gratis (*freeware*) melalui: <http://www.astrosurf.com/buil/iris/iris.htm> (Ratledge, 2005:79).

Secara mendasar software IRIS berbeda dengan editing gambar dalam software lainnya, perangkat ini dapat diandalkan dan terdokumentasi dengan baik. Software IRIS telah lama digunakan sebagai alat standar untuk penyusunan gambar video planet. Perangkat lunak IRIS berorientasi kepada pengolahan dan analisis ilmiah gambar / citra foto (Covington: 2007: 9).

Software IRIS bervariasi hampir setiap tahun diperbaharui (update). Versi terakhir hingga saat ini adalah versi 5.59. Panduan tentang software ini dapat dilihat pada situs <http://www.astrosurf.com> melalui Software IRIS An astronomical images processing software Version 5.59 June 24, 2010 (Updated frequently, consult this page regularly). Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan software IRIS versi 5.58. Prinsip dasarnya tidak jauh berbeda, tetapi rincian fasilitas software selalu berubah tergantung versinya. Berikut adalah tampilan awal dari software IRIS versi 5.58:



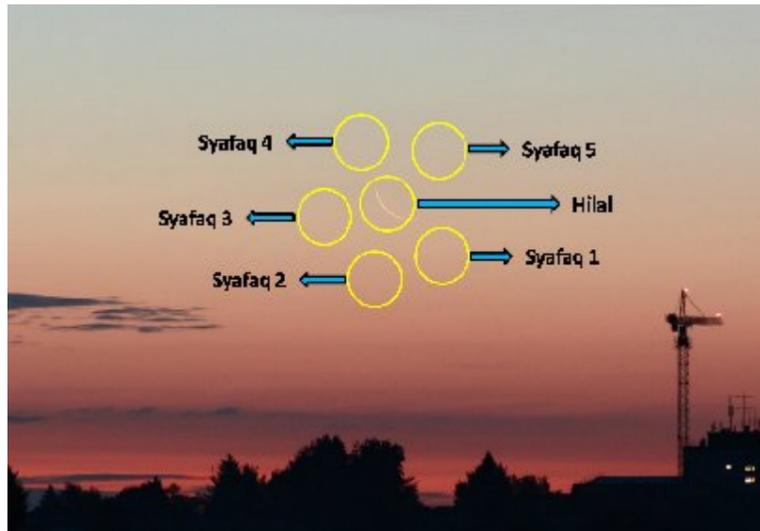
Gambar 1. Tampilan awal software IRIS 5.58

G. Formulasi Kontras Visibilitas Hilal

Intensitas cahaya hilal dan syafaq dapat diketahui dengan cara analisis kontras hilal terhadap cahaya syafaq menggunakan software IRIS 5-58. Adapun teknik analisis yang ditempuh adalah sebagai berikut:

- 1) Sebelum melakukan pembidikan hilal dan syafaq, kamera dipasang pada tripod yang kokoh agar tidak bergeser arahnya, sehingga hasil pembidikan dapat fokus pada objek yang dituju yakni hilal dan syafaq.
- 2) Pengukuran nilai intensitas cahaya hilal dilakukan tepat pada goresan hilal (*crescent*), ini dilakukan untuk mengetahui nilai intensitas dari cahaya hilal. Kemudian untuk pengukuran nilai intensitas cahaya syafaq, pembidikan dilakukan di sekeliling hilal sebanyak lima titik sampel pada lokasi yang berbeda, hal ini dilakukan untuk mengetahui kuat nilai intensitas syafaq dari setiap titik, dilakukan pada tempat yang berbeda karena dari setiap masing-masing tempat pembidikan, nilai intensitas cahaya syafaq yang diperoleh tidak sama.

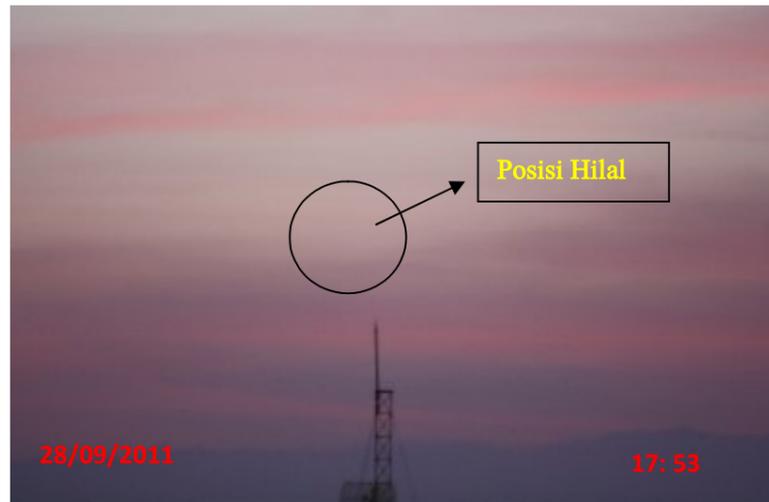
- 3) Hilal dijadikan sebagai bintang standar, yakni sebagai titik rujukan utama posisi sampel dan sebagai kalibrator. Titik rujukan utama berfungsi untuk mengatasi kemungkinan kamera sedikit bergeser saat pembidikan.
- 4) Intensitas cahaya hilal dan syafaq dapat diperoleh dengan cara mengolah setiap citra hasil pemotretan dengan menggunakan software IRIS-5.58. Dengan mengambil satu titik sampel hilal sebagai bintang standar dan lima titik sampel cahaya syafaq yang berbeda dari setiap citra sebagaimana yang terlihat dalam ilustrasi gambar berikut:



Gambar 2. Ilustrasi pengolahan citra hilal dan syafaq menggunakan software IRIS-5.58.

1. Citra Hilal Pengamatan Langsung

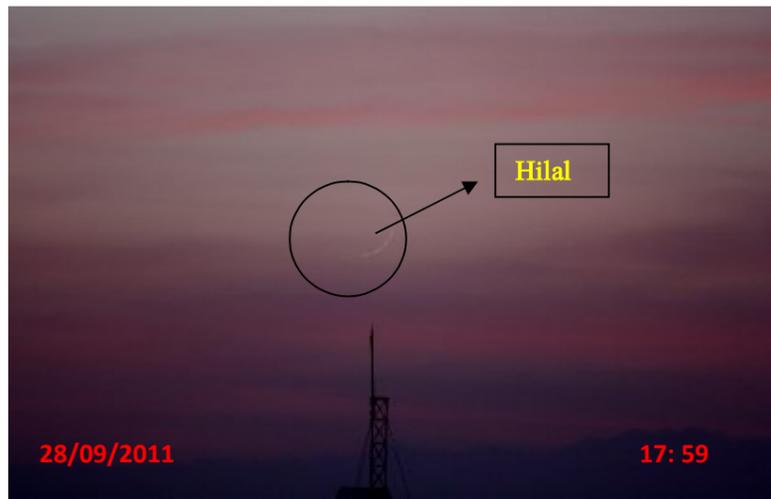
Teknik pengambilan data hilal pengamatan langsung dilakukan dengan cara memotret bagian hilal yang letaknya tidak terlampau jauh dari posisi matahari. Secara otomatis, cahaya syafaq dapat terekam secara bersamaan dalam satu citra hilal. Adapun teknik pengambilan citra hilal yakni dengan cara mengarahkan kamera digital ke lokasi pengamatan hilal tepat di sekitar terbenamnya matahari. Berikut adalah contoh citra hilal hasil pengamatan langsung yang dipengaruhi oleh cahaya syafaq:



Gambar 3. Posisi hilal sebelum teramati

Gambar 3 di atas merupakan citra hilal yang diambil pada 28 September 2011 M bertepatan dengan 29 Syawal 1432 H untuk penentuan awal bulan Dzulqa'dah 1432 H. Citra hilal tersebut diabadikan menggunakan kamera digital merk Canon EOS 1000D di lokasi pengamatan hilal yakni observatorium PPMI Assalam Surakarta.

Posisi hilal tepat berada di atas tower (dalam lingkaran). Pada pukul 17:53 hilal belum terlihat karena distribusi kontras cahaya syafaq seperti yang terlihat pada gambar 4 masih dalam prosentase yang cukup tinggi. Sedangkan, distribusi cahaya hilal masih sangat lemah sehingga cahaya hilal kalah terang kontrasnya dengan cahaya syafaq. Dengan demikian, cahaya hilal belum dapat terekam dengan kamera digital. Selain itu, posisi matahari pada waktu pembidikan masih sangat tinggi, cuaca pada saat pengamatan juga tidak terlampau cerah, sehingga menjadi faktor penghambat terlihatnya hilal.



Gambar 4. Posisi hilal sesudah teramati

Setelah beberapa menit kemudian, posisi matahari semakin terbenam mendekati horizon (ufuk), distribusi cahaya syafaq pun semakin berkurang, seperti yang terlihat pada Gambar 4 bahwa bagian ufuk terlihat semakin gelap. Sampai akhirnya, pada pukul 17:59 hilal yang terletak tepat di atas tower (dalam lingkaran) sedikit dapat teramati meskipun intensitas cahaya syafaq masih jelas terlihat menyelimuti kontras cahaya hilal.

Selain hasil pengamatan pribadi, dalam tesis ini juga memanfaatkan citra hilal hasil pengamatan langsung yang dilakukan oleh beberapa aktivis pengamat hilal di lembaga independen Rukyatul Hilal Indonesia (RHI). Dari database lembaga ini terdapat 68 data citra hilal positif. Untuk homogenitas dalam pengolahan data, maka data yang diperoleh dari pengamatan langsung dan hasil pengamatan internasional penulis masukkan dalam satu kategori.

Banyak instrument atau alat bantu berupa software yang dapat digunakan untuk memprediksi posisi benda-benda langit seperti *Astroinfo*, *Stellarium*, *Starry Night*, *Winhisab* dan perangkat lunak lainnya. Dalam hal ini, penulis menggunakan aplikasi *Winhisab* versi 2010 dan *Astroinfo* sebagai instrument untuk mengetahui posisi benda-benda langit utamanya

mengetahui posisi matahari dan bulan. Adapun data kasar posisi bulan dan matahari penulis ambil dari data Ephemeris Hisab Rukyat.¹⁷

Setelah melakukan pengamatan yang sesuai dengan data-data astronomis, selanjutnya melakukan pengolahan data hasil pengamatan tersebut. Adapun teknik pengolahan data citra hilal dan syafaq dalam penelitian ini penulis menggunakan aplikasi perangkat lunak berupa software IRIS 5.58 sebagai instrument pengolahan datanya.

Dari pengolahan data menggunakan perangkat lunak tersebut nilai intensitas hilal dan syafaq masing-masing dapat diketahui. Hilal dianggap sebagai bintang atau cahaya konstan yang dijadikan titik utama, sedangkan cahaya syafaq yang diambil dari beberapa titik di sekitar hilal dijadikan sebagai pembanding cahaya hilal.

Setelah nilai intensitas hilal dan syafaq masing-masing diketahui, langkah selanjutnya yaitu mencari nilai rata-rata dari syafaq 1, syafaq 2, syafaq 3, syafaq 4, dan syafaq 5. Setelah nilai rata-rata syafaq diketahui kemudian nilai intensitas hilal dan syafaq dijumlahkan.

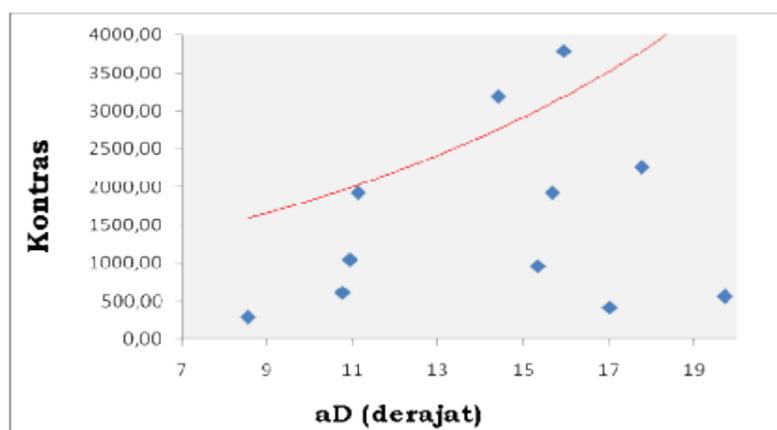
Adapun nilai kontras hilal dan syafaq diperoleh dari hasil penjumlahan dari nilai intensitas hilal dan syafaq yang kemudian dikurangi dengan nilai rata-rata syafaq setelah hasilnya diperoleh kemudian dibagi lagi dengan nilai intensitas syafaq. Berikut adalah hasil pengolahan data citra hilal dan syafaq pengamatan langsung:

No	Umur Bulan (jam)	aL (o)	aD (o)	DAz (o)	Intensitas	Intensitas	Intensitas	Intensitas	Intensitas	Intensitas	Intensitas	Intensitas	Kontras
					Hilal + S/F	S/F 1	S/F 2	S/F 3	S/F 4	S/F 5	S/F	Hilal	Hilal-Syafaq
1	-29,81	10,874	14,918	4,895	4441,00	26321,00	18237,00	1442,00	5915,00	468,00	10476,60	0,42	0,0000405
2	-28,21	15,563	14,749	4,988	2674,00	14070,00	69270,00	7353,00	4610,00	4019,00	19864,40	0,13	0,0000068
3	-29,13	16,348	15,535	5,116	5863,00	4326,00	1945,00	21550,00	326,00	1118,00	5853,00	1,00	0,0001711
4	31,6	17,121	15,675	6,921	36984,00	15012,00	12322,00	5366,00	6647,00	2791,00	8427,60	4,39	0,0005207
5	31,37	17,02	15,352	7,402	10943,00	2877,00	2799,00	5369,00	1543,00	3621,00	3241,80	3,38	0,0010413
6	31,77	17,188	15,949	6,421	54244,00	17949,00	14009,00	7435,00	10876,00	21394,00	14332,60	3,78	0,0002641
7	-37,73	20,054	17,768	9,337	1476,00	1450,00	1989,00	338,00	3017,00	2330,00	1824,80	0,81	0,0004433
8	-38,24	17,534	14,412	10,05	2654,00	362,00	981,00	198,00	4981,00	8021,00	2908,60	0,91	0,0003137

9	-38,32	17,571	14,44	10,061	5863,00	4326,00	1945,00	21550,00	326,00	1118,00	5853,00	1,00	0,0001711
10	-38,24	18,274	14,399	10,067	4441,00	26321,00	18237,00	1442,00	5915,00	468,00	10476,60	0,42	0,0000405
11	22,15	9,751	8,548	4,697	15237,00	6184,00	1626,00	1326,00	1206,00	13,00	2071,00	7,36	0,0035525
12	29,51	13,306	10,941	7,592	27807,00	3933,00	5031,00	7598,00	7073,00	3357,00	5398,40	5,15	0,0009542
13	29,74	13,394	11,128	7,465	36984,00	15012,00	12322,00	5366,00	6647,00	2791,00	8427,60	4,39	0,0005207
14	-43,79	19,753	19,733	0,896	915,00	1239,00	119,00	1410,00	432,00	367,00	713,40	1,28	0,0017979
15	-37,37	17,418	17,034	3,664	1353,00	960,00	602,00	311,00	890,00	987,00	750,00	1,80	0,0024053
16	23,37	15,696	10,771	1,493	11570,00	4303,00	2448,00	3423,00	1221,00	1932,00	2665,40	4,34	0,0016286

Tabel 1. Data fotometri hilal pengamatan langsung

Data intensitas cahaya hilal hasil pengamatan langsung yang sudah diolah dengan software IRIS 5.58, kemudian dikalibrasi dengan intensitas hilal sebagai bintang konstan dengan menggunakan program Microsoft Office Excel 2007 dan selanjutnya diplot dalam sebuah kurva model XY (*scatter*). Adapun X adalah presentase kontras cahaya hilal dan Y adalah variabel astronomis. Hipotesa awal menunjukkan bahwa jika semakin tinggi posisi hilal dan atau semakin tua umurnya, maka semakin tinggi nilai kontras cahaya hilal. Sebaliknya, semakin rendah posisi hilal dan atau semakin muda umurnya, maka kontras hilal semakin rendah.



Gambar 5. Kurva kontras cahaya hilal dilihat dari selisih tinggi bulan dengan tinggi matahari pada waktu pengamatan hilal langsung

2. Citra Hilal Pengamatan Internasional

Terdapat beberapa situs yang memuat *database* hilal hasil pengamatan internasional, sebagian besar dapat diakses secara *online* melalui situs; <http://www.icoproject.org/>, <http://www.sao.ac.za/>, <http://www.mondatlas.de>, <http://www.moonsighting.com>, dan terdapat pula beberapa situs lain yang menampilkan citra hilal internasional secara *update*, utamanya setiap pergantian awal bulan hijriyah.

Citra hilal yang digunakan sebagai analisis fotometri adalah citra hilal yang memenuhi prosedur dan persyaratan sebagai berikut:

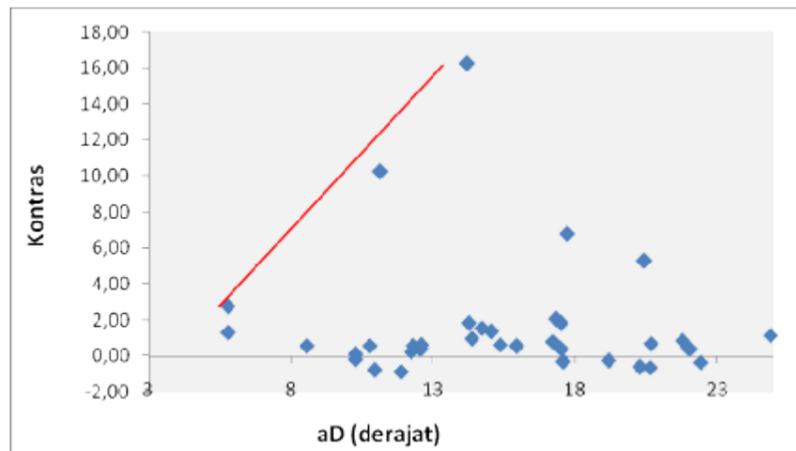
- a) Ada deskripsi yang jelas tentang nama pengamat atau nama tim ketua pengamat atau nama pelapor
- b) Ada deskripsi yang jelas tentang lokasi pelaksanaan pengamatan
- c) Ada deskripsi yang jelas tentang waktu terjadinya sunset atau sunrise
- d) Ada deskripsi yang jelas tentang waktu hilal (*crescent*) mulai teramati pasca sunset dan menghilang menjelang sunrise
- e) Ada deskripsi yang jelas tentang bentuk dan/atau orientasi hilal
- f) Ada konsistensi antara estimasi elemen bulan (misalnya tinggi bulan di atas horizon) dengan prediksi software yang digunakan untuk analisis (dalam hal ini *Moon Calculator v 6.0*) untuk waktu pengamatan yang disebutkan.

Berikut adalah hasil pengolahan data citra hilal dan syafaq pengamatan internasional:

No	Intensitas	Intensitas	Intensitas	Intensitas	Intensitas	Intensitas	Intensitas	Intensitas	Kontras
	Hilal + Syafaq	Syafaq 1	Syafaq 2	Syafaq 3	Syafaq 4	Syafaq 5	Syafaq	Hilal	Hilal-Syafaq
1	61544	60726	60512	60099	1000	939	36655	1,679	0,00005
2	55074	54918	54874	54872	4632	4134	34686	1,588	0,00005
3	65994	67768	68335	65756	5674	4426	42392	1,557	0,00004
4	22499	21188	21585	22919	2772	2899	14273	1,576	0,00011
5	6583	55298	44481	34371	32155	2020	33665	0,196	0,00001
6	6800	449	793	109	141	1529	604	11,255	0,01863

7	6145	4206	3280	2196	2655	7105	3888	1,580	0,00041
8	1213	650	458	174	1764	42829	9175	0,132	0,00001
9	8397	4390	3918	2963	2020	21325	6923	1,213	0,00018
10	12372	292	745	516	4426	3891	1974	6,267	0,00318
11	613	2232	1297	1348	1464	1642	1597	0,384	0,00024
12	7011	220	249	139	917	506	406	17,260	0,04249
13	512	328	259	158	3061	3327	1427	0,359	0,00025
14	1190	133	429	368	4342	3481	1751	0,680	0,00039
15	4710	563	201	143	481	1642	606	7,772	0,01283
16	742	366	142	88	211	508	263	2,821	0,01073
17	592	144	432	617	365	95	331	1,791	0,00542
18	685	697	210	676	543	329	491	1,395	0,00284
19	944	218	785	163	744	107	403	2,340	0,00580
20	799	460	662	655	494	330	520	1,536	0,00295
21	872	225	590	275	446	338	375	2,327	0,00621
22	2724	1331	267	1933	583	376	898	3,033	0,00338
23	3012	968	1152	427	1129	340	803	3,750	0,00467
24	204	277	216	134	333	422	276	0,738	0,00267
25	324	108	652	433	459	321	395	0,821	0,00208
26	816	726	888	903	452	787	751	1,086	0,00145
27	4731	2667	2197	165	3182	1070	1856	2,549	0,00137
28	3293	2448	1566	1036	555	230	1167	2,822	0,00242
29	3949	1945	1250	2260	2715	1945	2023	1,952	0,00096
30	1972	1998	550	770	362	918	920	2,144	0,00233
31	1255	930	535	1014	854	1200	907	1,384	0,00153
32	1218	809	814	373	1018	803	763	1,595	0,00209
33	620	532	353	484	552	356	455	1,361	0,00299
34	237	172	426	327	307	605	367	0,645	0,00176
35	929	446	262	580	849	420	511	1,817	0,00355

Tabel 2. Data fotometri hilal pengamatan internasional



Gambar 6. Kurva kontras cahaya hilal dilihat dari selisih tinggi bulan dengan tinggi matahari pada waktu pengamatan internasional

Grafik pada kurva kontras cahaya hilal di atas masing-masing menunjukkan bahwa nilai intensitas cahaya syafaq pada awal pengamatan dalam kondisi yang sangat cerah, sehingga intensitas cahaya hilal meredup karena kalah terang cahayanya dibanding dengan cahaya syafaq. Namun, beriringan dengan terbenamnya matahari cahaya syafaqpun perlahan mengalami penurunan sampai pada akhir pengamatan, dalam kata lain distribusi cahaya syafaq terhadap cahaya hilal mengalami penurunan.

Kualitas cahaya hilal sangat bergantung pada berapa banyak distribusi cahaya syafaq yang mempengaruhinya. Karena cahaya hilal terlalu lemah tidak bisa menempatkan subjek secara langsung terhadap cahaya syafaq yang kontrasnya terlalu tinggi. Semakin tinggi intensitas cahaya syafaq maka akan semakin tinggi kontras cahaya hilal dan kondisi ini akan membuat perbandingan antara cahaya syafaq yang langsung memantul pada hilal sehingga menghasilkan bidang hilal yang terang (*hight light*) dengan bayangan yang dihasilkan (*shadow*) akan semakin tinggi intensitasnya.

Dengan kata lain semakin tinggi pantulan cahaya syafaq terhadap hilal, maka semakin kecil kontras hilal terlihat. Sebaliknya semakin rendah pantulan cahaya syafaq terhadap hilal, maka akan semakin kuat distribusi

cahaya hilal yang terlihat. Dengan demikian rasio *high light* hilal akan semakin membesar.

Grafik pada kurva di atas menunjukkan, bahwa nilai intensitas cahaya syafaq hasil pengamatan internasional bervariasi bahkan tidak menentu, hal itu disebabkan karena citra hilal hasil analisa dari data internasional variatif. Hal ini disebabkan karena saat pembidikan tidak membidik secara langsung cahaya syafaq yang mempengaruhi cahaya hilal, melainkan hampir sebagian citra hilal internasional diabadikan menggunakan alat optik dan mengabaikan cahaya syafaq yang mempengaruhi cahaya hilal. Namun, dari beberapa citra hilal internasional yang penulis gunakan adalah citra hilal yang benar-benar memperlihatkan cahaya syafaq saat pembidikannya.

Variatifnya titik kurva di atas menunjukkan bahwa citra hilal dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan posisi matahari. Saat kondisi matahari dalam kondisi mendung atau berawan, kurva kecerlangan hilal cenderung untuk bergeser ke atas dan ke bawah secara tidak teratur, dalam istilah ini penulis istilahkan dengan “noise”.¹⁸

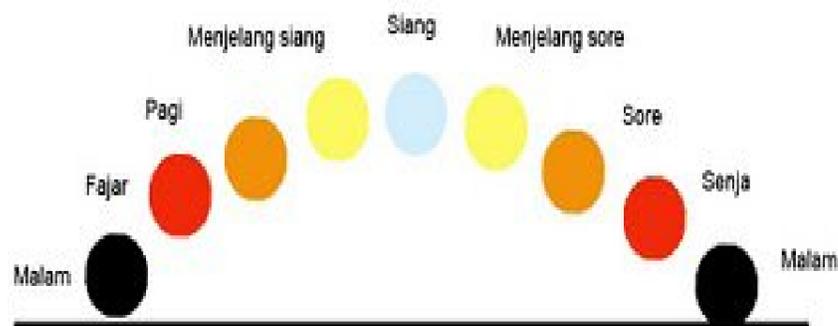
Keadaan noise dalam pembacaan kurva diabaikan. Akan tetapi, secara sederhana grafik pada kurva hasil analisa citra internasional di atas menunjukkan bahwa cahaya syafaq akan berkurang kemudian digantikan cahaya hilal yang muncul sesaat. Gabungan dari keseluruhan kurva yang ditunjukkan pada grafik di atas menunjukkan pola yang hampir sama meskipun terkadang tidak sama karena kondisi cuaca. Secara rata-rata keseluruhan kurva menunjukkan pola yang menurun setelah masa *nautika twilight* berakhir. Kemudian digantikan cahaya hilal yang muncul sesaat sehingga grafik di atas perlahan meningkat.

H. Batasan Kontras Visibilitas Hilal

Kecerlangan langit senja ditandai dengan kondisi fisik cahaya langit yang berubah warna menjadi merah atau kuning. Pada kondisi seperti ini, cahaya matahari menempuh jarak lebih jauh dari mata pengamat, sehingga semakin

banyak cahaya yang dihamburkan oleh matahari. Hal ini dikarenakan kondisi fisik langit sangat erat kaitannya dengan kedudukan bumi terhadap matahari serta tingkat kebersihan dan polusi udara di suatu tempat. Selain kedua faktor tersebut, ada satu faktor utama yang menyebabkan perubahan warna matahari, yaitu radiasi cahaya.¹⁹

Menurut Rizaldi (tt.: 1) warna cahaya merupakan spektrum warna yang melekat bersama gelombang cahaya sehingga memantulkan warna tertentu pada subject yang terkena cahaya. Pada pagi dan sore hari pantulan cahaya matahari pada subject akan meninggalkan warna kemerahan ketika tertangkap oleh kamera. Sedangkan, pada siang hari, cahaya matahari yang terpantul pada subject akan meninggalkan warna abu-abu. Kondisi ini bisa digambarkan pada gambar berikut:



Gambar 7. Skema warna cahaya pada rentang satu hari

Dari skema di atas jelas terlihat perubahan warna cahaya dalam rentang satu hari, waktu fajar berwarna merah didapatkan ketika matahari berada di batas horizon, antara jam 5 sampai jam 6, warna pagi cenderung orange berkisar antara jam 6 sampai jam 8, warna menjelang siang agak kekuningan berkisar antara jam 8 sampai jam 10 dan warna siang cenderung abu-abu antara jam 10 sampai jam 14. Lalu warna kembali berubah seperti semula dalam rentang waktu yang kira-kira sama ke arah malam hari lagi.²⁰

Pada senja hari, matahari berubah warna menjadi merah. Pada saat itu, sinar matahari yang sudah miring menempuh jarak lebih jauh untuk mencapai mata pengamat, sehingga semakin banyak cahaya yang dihamburkan. Sehingga

yang banyak tersisa adalah cahaya frekuensi rendah, yaitu merah. Di bulan dan di planet yang tidak memiliki atmosfer, cahaya matahari tidak dihamburkan, sehingga langit selalu berwarna hitam, walaupun di siang hari.

Menurut Lord John William Rayleigh, langit biru disebabkan karena cahaya biru dan hijau yang paling kuat dipancarkan oleh matahari. Warna biru ini kemudian tertangkap oleh mata pengamat. Begitu pula halnya pada senja hari. Langit cenderung berwarna merah karena cahaya merah dengan panjang gelombang terpanjang yang mampu menempuh perjalanan matahari-bumi.²¹

Dalam astronomi, cahaya senja disebut dengan istilah *Evenig Twilight* atau senja fajar dibedakan menjadi tiga jenis yaitu *astronomical twilight* atau senja astronomi, *nautical twilight* atau senja nautikal dan *civil twilight* atau senja sipil. Menurut U.S. Naval Observatory ketiga jenis senja tersebut dibedakan berdasarkan depresi matahari di bawah horizon. Senja astronomi berakhir ketika posisi geometri pusat matahari -18 derajat di bawah horizon, sedangkan senja nautical berakhir saat matahari -12 derajat, sedangkan senja sipil berakhir ketika -6 derajat. Ketiganya dapat terjadi pada waktu pagi maupun sore hari.

Kondisi langit saat senja astronomi ditandai dengan tidak adanya iluminasi atmosfer oleh cahaya matahari. Kecerlangan langit murni berasal dari bintang-bintang, *airglow*, aurora, *zodiacal light*, dan *extragalactic nebulae*. Aurora sangat bergantung pada aktivitas matahari. Nilainya mungkin tidak akan terlalu signifikan bila dibandingkan dengan pengaruh kecerlangan langit dengan cahaya hilal.²²

Pengukuran kecerlangan langit pada umumnya ditujukan untuk mengetahui kualitas langit sebelum melakukan pengamatan. Tujuan lainnya adalah untuk menentukan besar polusi cahaya suatu lokasi. Sedangkan tujuan yang lebih praktis lagi yaitu kebutuhan untuk penentuan observasi hilal (*rukyyat al-hilal*).²³ Kualitas langit di suatu lokasi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi cuaca, kelembaban udara, temperatur, posisi matahari, posisi dan fase bulan, serta kondisi lokasi pengamatan menyangkut posisi lintang, ketinggian, dan polusi cahaya disekitar lokasi (Schaefer 1993, Mikhail, 2005).

Sehingga akhir dari masing-masing senja tidak dapat dibuat universal namun harus mempertimbangkan koreksi-koreksi tersebut.

Selain komponen *Rayleigh scattering* dan komponen ozon faktor lain yang sangat mempengaruhi besar nilai ekstingsi adalah aerosol atmosfer. Aerosol berasal dari beberapa sumber seperti debu, serbuk sari, dan sea spray dengan nilai yang sangat bervariasi sehingga akan mempersulit dalam melakukan perhitungan yang sangat teliti. Namun meskipun demikian terdapat keseragaman data yang diperoleh dari pengamatan. Schaefer menurunkan persamaan untuk menghitung ekstingsi aerosol sebagai fungsi dari kelembaban, ketinggian, dan panjang gelombang (Schaefer 1993).

$$k_s = 0.12 \left[\frac{0.55\mu}{\lambda} \right]^{1.3} \exp[-(H/1.5)] \left[1 - \frac{0.32}{\ln(S)} \right]^{2/3} [1 + 0.33 \sin(\alpha_s)]$$

S adalah persentase *relative humidity* udara yang didefinisikan sebagai perbandingan antara tekanan parsial uap air yang bercampur dengan gas-gas lain di udara, p (H_2O), dengan tekanan uap air jenuh pada temperatur tertentu, sehingga dapat menghasilkan rumusan:

$$S = \frac{p(H_2O)}{p^*(H_2O)} \times 100\%$$

Penentuan akhir dari masing-masing senja, terutama senja astronomi dan senja nautical, yang dijadikan acuan sebagai pertimbangan untuk penentuan observasi hilal harus dilakukan dengan teliti dan seksama. Penentuan waktu pengamatan tanpa melihat kondisi cuaca dan lingkungan tempat pengamatan tidak dapat memberikan nilai kecerlangan langit senja yang akurat.

Penentuan kecerlangan langit senja pada sore hari yang digunakan sebagai dasar penentuan observasi hilal sangat bergantung pada beberapa faktor terutama kondisi cuaca dan posisi hilal. Pengukuran yang telah dilakukan menunjukkan bahwa bentuk kurva kecerlangan langit memang memiliki pola yang hampir sama dimana secara rata-rata keseluruhan kurva menunjukkan nilai kecerlangan langit menurun setelah senja nautika berakhir.

Kecerlangan langit senja merupakan gabungan dari fungsi-fungsi yang sangat kompleks yang disebutkan di atas. Sehingga perhitungan kecerlangan langit senja yang dilakukan harus mempertimbangkan semua kemungkinan yang berperan sebagai penyumbang kecerlangan langit senja diantaranya pengaruh distribusi cahaya matahari dan bulan, maupun kecerlangan oleh distribusi arah medan pandang. Kecerlangan langit, dapat dihitung dan ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Eka, 2009: 37):

$$B_{sky} = B_{night} + B_{moon} + \min[B_{star}, B_{day}]$$

$$B_{night} = B_0 \left| 0.4 + \frac{0.6}{\sqrt{1 - 0.96 \sin^2 Z}} \right| 10^{-0.4kX(Z)}$$

$$B_{star} = \max \left[\log_{10} \left(\frac{\rho_{sun}}{90^\circ} \right) - 1.1 \right] 10^{8.45 + 0.4h_{sun}} (1 - 10^{-0.4kX(Z)})$$

$$B_{day} = 11.700 f(\rho_{sun}) \log_{10} \left[-0.4kX(Z_{sun}) \right] (1 - 10^{-0.4kX(Z)})$$

Kecerlangan langit gelap dimalam hari (B_0) sebagai fungsi dari jarak zenit diberikan pada persamaan berikut:

$$B_0(Z) = B_{zen} 10^{-0.4k(X-1)X}$$

B_0 adalah sebuah parameter yang bervariasi terhadap waktu, siklus matahari, erupsi vulkanik, dan fenomena-fenomena lainnya. Sedangkan B_{zen} adalah suatu konstanta yang menyatakan nilai kecerlangan pada nilai jarak zenit arah pandang nilai B_0 untuk lokasi gelap sebesar 180 nL.

Kontras merupakan perbandingan dari dua komponen yaitu *iluminasi hilal* (kecerlangan hilal) dan kecerlangan langit dari cahaya senja (*syafaq*). Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa, cahaya senja dibedakan menjadi tiga jenis yaitu *astronomical twilight* atau senja astronomi, *nautical twilight* atau senja nautikal dan *civil twilight* atau senja sipil.

Menurut U.S. Naval Observatory ketiga jenis senja tersebut dibedakan berdasarkan depresi matahari di bawah horizon. Senja astronomi berakhir ketika

posisi geometri pusat matahari -18 derajat di bawah horizon, sedangkan senja nautical berakhir saat matahari -12 derajat dan senja sipil berakhir ketika -6 derajat. Sedangkan, kondisi langit saat senja astronomi ditandai dengan tidak adanya iluminasi atmosfer oleh cahaya matahari. Kecerlangan langit murni berasal dari bintang-bintang, *airglow*, aurora, *zodiacal light*, dan *extragalactic nebulae*. Aurora sangat bergantung pada aktivitas matahari. Nilainya mungkin tidak akan terlalu signifikan bila dibandingkan dengan pengaruh kecerlangan langit oleh bulan.

Dalam astronomi istilah kontras didefinisikan sebagai perbedaan antara properti visual yang menjadikan sebuah obyek (atau keberadaannya pada sebuah *image*) dapat dibedakan dari obyek lain dan dari latar belakangnya. Dalam persepsi visual, kontras ditentukan oleh perbedaan warna dan kecerlangan sebuah obyek dengan obyek lain dalam suatu medan pandang (*field of view*).

Terdapat beberapa terminologi untuk mendefinisikan kontras sebuah obyek. Tiap definisi kontras digunakan untuk masing-masing situasi yang berbeda. Beberapa definisi kontras yang biasa digunakan adalah kontras Weber (*Weber contrast*), kontras Michelson (*Michelson contrast*), dan *Root Mean Square Contrast (RMS contrast)*.

Definisi kontras menurut Weber adalah sebagai berikut:

$$\frac{I - I_b}{I_b}$$

I adalah kecerlangan gambar dan I_b adalah kecerlangan latar belakang. Kontras Weber biasa digunakan untuk kasus dimana sebuah gambar kecil berada di depan latarbelakang yang sangat besar dengan nilai kecerlangan rata-rata sama dengan kecerlangan latarbelakang. Definisi kontras menurut Michelson adalah sebagai berikut:

$$\frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}}$$

I_{\max} adalah kecerlangan maksimum dan I_{\min} adalah kecerlangan minimum. Kontras RMS (*Root Mean Square Contrast*) tidak bergantung pada

distribusi spasial kontras pada gambar. Kontras RMS (*Root Mean Square Contrast*) didefinisikan sebagai standart deviasi dari intensitas pixel.

$$\left[\frac{1}{N-1} \sum (I_i - I)^2 \right]^{1/2}$$

N adalah jumlah pixel dalam gambar, I_i adalah nilai normalisasi 1 intensitas kecerlangan, sedangkan I adalah intensitas kecerlangan total gambar. Nilai kontras untuk kasus pengamatan hilal menggunakan beberapa definisi yaitu definisi Ilyas (1984), definisi Sultan (2006), dan definisi Schaefer (1993).

Formulasi kontras menurut definisi Ilyas (1984) adalah:

$$\frac{(\text{kecerlangan image kecerlangan langit}) - (\text{kecerlangan langit sekitar})}{(\text{kecerlangan langit sekitar})}$$

I. Kesimpulan

Dari analisis yang telah dilakukan, penulis menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Hilal atau bulan sabit pertama setelah konjungsi ketampakkannya sangat dipengaruhi oleh kecerlangan langit senja (*syafaq*). Distribusi cahaya *syafaq* yang mempengaruhi kecerlangan cahaya hilal menjadikan nilai kontras cahaya hilal lebih rendah dibandingkan dengan cahaya *syafaq*. Dengan demikian, hilal sulit untuk diamati terutama hanya mengandalkan mata bugil (*naked eye*). Selain itu, kecerlangan hilal juga dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti posisi matahari di bawah ufuk, ketinggian bulan, jarak sudut (*elongasi*) antara matahari dan bulan, posisi lintang pengamat, ketinggian lokasi pengamatan, kelembaban relatif (*relative humidity*), fraksi iluminasi hilal, umur hilal, beda waktu terbenam matahari-bulan, dan kontas cahaya latar depan di ufuk. Sehingga diperlukan kerja analisis terhadap fenomena fisis hilal dengan cara memformulasikan fotometri hilal. Formulasi fotometri hilal dilakukan dengan cara mengabadikan hilal dengan peralatan digital berupa kamera. Setelah citra hilal diperoleh kemudian dilakukan analisis menggunakan software IRIS-5.58 untuk mengetahui secara objektif distribusi

cahaya matahari terhadap cahaya hilal. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa analisis ini dilakukan sebagai perekam dan perpanjangan mata manusia terhadap cahaya hilal yang sangat redup.

2. Penentuan batasan kontras yang bisa dijadikan sebagai kriteria visibilitas hilal, utamanya di Indonesia sangat dipengaruhi oleh banyak faktor terutama kondisi cuaca dan posisi hilal itu sendiri. Berdasarkan analisa terhadap data kuantitas hasil pengamatan bahwa kawasan langit sering kali berawan bahkan berawan tebal sampai mendung sebagai pertanda akan turunnya hujan sehingga taburan awan tebal dikawasan ufuk sering menghalangi bacaan untuk mendeteksi hilal. Pengukuran yang telah dilakukan menunjukkan bahwa bentuk kurva kecerlangan cahaya hilal dan syafaq memiliki pola yang hampir sama dimana secara rata-rata menunjukkan nilai kecerlangan cahaya syafaq berangsur menurun setelah senja nautika berakhir. Sedangkan nilai kecerlangan hilal berangsur naik setelah distribusi cahaya syafaq menghilang. Dengan demikian, hilalpun terdeteksi. Penentuan batas masing-masing (cahaya syafaq dan cahaya hilal) yang digunakan sebagai acuan penentuan kriteria awal bulan hijriyah yang mempertimbangkan batasan kontras visibilitas hilal masih membutuhkan data pengamatan yang lebih banyak dan lebih baik. Data yang digunakan dalam penelitian ini belum memperlihatkan nilai kecerlangan cahaya syafaq dan hilal secara konstan, karena kualitas citra hilal yang dipengaruhi oleh musim, awan, debu antariksa dan variasi lainnya.

Catatan Akhir:

¹ Sidang Isbat merupakan sidang tahunan yang dilakukan oleh kementerian Agama untuk menetapkan awal bulan Hijriyah yang sarat dengan ibadah *mahdhoh* seperti puasa Ramadhan, perayaan hari raya 'Idul Fitri dan 'Idul Adha.

² Pengamatan hilal tidak hanya dilakukan umat Islam saja, bahkan hal ini sudah dilakukan oleh bangsa Babilonia jauh sebelum awal penanggalan Islam diresmikan, pada zaman khalifah Umar bin Khatab (640 M). Pada awalnya, bangsa Babilonia menggunakan parameter perbedaan waktu terbenam bulan dan matahari, dan umur bulan dari konjungsi untuk memprediksi teramatinya hilal. Analisis yang modern menggunakan posisi relatif bulan dan matahari, dan parameter lainnya seperti luas sabit bulan yang terbentuk, cuaca dan aspek psikologis. Para ilmuwan yang menganalisis menggunakan metode ini di antaranya Fottheringham (1911), Bruin (1977), Ilyas (1984), Schaeffer

(1988). Metode modern ini diturunkan menggunakan sampel hasil pengamatan yang sangat banyak dalam rentang waktu yang cukup lama.

³ Rukyat yang dapat dipertanggungjawabkan secara hukum dan ilmiah menurut Jayusman (2010), minimal harus memenuhi syarat sebagai berikut: *Pertama*: rukyat dilaksanakan pada saat matahari terbenam pada malam tanggal 30 atau akhir 29. *Kedua*: rukyat dilaksanakan dalam keadaan cuaca cerah tanpa penghalang antara perukyat dan hilāl. *Ketiga*, rukyat dilaksanakan dalam keadaan posisi hilāl positif terhadap ufuk (di atas ufuk). *Kecempat*, rukyat dilaksanakan dalam keadaan hilāl memungkinkan untuk dirukyat (*imkān ar-rukyat*). *Kelima*, hilāl yang dilihat harus berada di antara wilayah titik barat antara 30 derajat ke Selatan dan 30 derajat ke Utara. Ketika matahari terbenam atau sesaat setelah itu, langit di sebelah barat berwarna kuning kemerah-merahan (Syafaq), sehingga antara cahaya hilāl dengan cahaya syafaq yang melatarbelakanginya tidak begitu kontras. Maka bagi mata orang awam yang belum terlatih melakukan rukyat akan menemui kesulitan menemukan hilāl.

⁴ Secara etimologis *rukyat al-hilāl* aktual artinya adalah benar-benar melihat bulan sabit. Sementara itu secara terminologis adalah salah satu metode penentuan awal bulan kamariah yang memadukan antara hisab dan rukyat (Azhari, 2008:184).

⁵ Sebanyak 30 titik lokasi pengamatan hilal di Indonesia diantaranya; Papua, Maluku, Maluku Utara, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Selatan, Gorontalo, Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Nusa Tenggara Barat, Nusa Tenggara Timur, Bali, Jawa Timur, Jawa Tengah, Jawa Barat, DKI Jakarta, Lampung Barat, Jambi, Sumatera Barat, dan Riau menyatakan tidak melihat hilāl.

⁶ Alat-alat detektor itu antara lain; pelat dan film fotografis, kamera CCD, fotometer fotoelektrik serta spektograf. Pelat potret adalah pelat kaca yang dilapisi bahan kimia peka cahaya yang kemudian dipasang pada fokus teleskop untuk merekam cahaya bintang yang datang. Fotografis digunakan untuk merekam cahaya bintang yang sangat lemah. Prinsipnya, semakin lama proses pencahayaan maka semakin banyak yang terekam di pelat potret. Dengan fotometer fotoelektrik cahaya yang jatuh pada objektif diteruskan ke sebuah permukaan peka cahaya. Selanjutnya, intensitas cahaya yang jatuh diubah menjadi arus listrik sehingga perubahan cahaya bintang terhadap waktu dapat diamati. Perkembangan lebih lanjut terdapat alat yang disebut dengan CCD (*charge-coupled device*), alat ini berlaku seperti kamera karena mampu merekam objek langit yang bukan hanya berupa benda titik. Selain itu, CCD memiliki kepekaan yang lebih tinggi dari pada alat pelat fotografi. (Admiranto, 2009: 11). Dalam penelitian ini peneliti menggunakan alat detector berupa kamera.

⁷ Cahaya adalah suatu bentuk energi yaitu energi pancaran dan diterima oleh indera penglihatan (retina mata). Secara eksperimental, mata sensitif terhadap panjang gelombang daerah rendah dari pancaran cahaya sehingga dapat membedakan intensitas antara dua sumber cahaya yaitu dengan mengukur jumlah daya yang dipancarkan oleh cahaya tampak. Jumlah fluks pancaran cahaya yang sama oleh mata diterima berbeda untuk tiap-tiap warna. Umumnya warna hijau paling sensitif untuk mata (- = 5550Å) (Djuhana, tt:1).

⁸ Dalam bahasa arab hilal merupakan sepatah kata isim yang terbentuk dari tiga huruf asal, yaitu *ha-lam-lam* (هـ-ل-ل), sama dengan asal terbentuknya fi'il (kata kerja) هل dan tashrifnya اهل. Hilal (jamaknya ahillah) artinya bulan sabit, suatu nama bagi cahaya bulan yang nampak seperti sabit. هل dan اهل dalam konteks hilal mempunyai arti bervariasi sesuai dengan kata lain yang mendampinginya yang membentuk istihlahi (idiom). Bangsa arab sering mengucapkan : هل الهلال dan اهل الهلال artinya bulan sabit tampak. هل الرجل artinya seorang laki-laki melihat/memandang bulan sabit. اهل القوم الهلال artinya orang banyak teriak ketika melihat bulan sabit. هل الشهر artinya bulan (baru) mulai dengan tampaknya bulan sabit. Jadi menurut bahasa arab, hilal adalah bulan sabit yang tampak pada awal bulan dan dapat dilihat. Kebiasaan orang arab berteriak kegirangan ketika melihat hilal.

⁹ al-Isbahāni, Rāgīb., *Al-Mufradāt*, Damascus: Dār al-Qalam, 1992, hlm. 843

¹⁰ Manzūr, XIII:, hlm. 227-230

¹¹ Warson, Ahmad., *Kamus Al Munawwir*, Surabaya: Pustaka Progresif, tt, hlm. 1616

¹² Nasution, 1992:319; Wehr, 1994:1208; Echols, 1986:155 dan 385; Hornby, 1986:548; Ma'luf, 38

¹³ B. Lewis, dkk., *The Encyclopedia of Islam*, Leiden: E.J. Brill, Vol.III, 1971, hlm. 379-388.

¹⁴ Dengan catatan *pertama*, asal ijtimak terjadi sebelum terbenam matahari (sunset) dan *kedua*, asal bulan di atas ufuk pada waktu terbenam matahari setelah ijtimak.

¹⁵ Cahaya adalah suatu bentuk energi yaitu energi pancaran dan diterima oleh indera penglihatan (retina mata). Secara eksperimental, mata sensitif terhadap panjang gelombang daerah rendah dari pancaran cahaya sehingga dapat membedakan intensitas antara dua sumber cahaya yaitu dengan mengukur jumlah daya yang dipancarkan oleh cahaya tampak (Djuhana, tt:1).

¹⁶ Satuan intensitas cahaya I adalah candela (cd) juga dikenal dengan international candle. Satu lumen setara dengan *flux* cahaya, yang jatuh pada setiap meter persegi (m^2) pada lingkaran dengan radius satu meter (1m) jika sumber cahayanya isotropik 1-candela (yang bersinar sama ke seluruh arah) merupakan pusat isotropik lingkaran. Dikarenakan luas lingkaran dengan jari-jari r adalah $4\pi r^2$, maka lingkaran dengan jari-jari 1m memiliki luas $4\pi m^2$, dan oleh karena itu flux cahaya total yang dipancarkan oleh sumber 1- cd adalah 4π lm. Jadi *flux* cahaya yang dipancarkan oleh sumber cahaya isotropik dengan intensitas I adalah: *Flux* cahaya (lm) = $4\pi \times$ intensitas cahaya (cd). *Fluks* cahaya (*Luminous fluks*) adalah energi cahaya yang dibawa suatu cahaya yang diubah menjadi bentuk terang (Hendrajaya, tt: 222). *Fluks* cahaya juga bisa dimaknai sebagai laju perubahan terhadap waktu dari aliran energy radiasi, dinilai berdasarkan kapasitasnya untuk menghasilkan sensasi visual dan diukur dalam satuan lumen (Wilarjo, 2000: 221).

¹⁷ *Ephemeris* biasa disebut *Astronomical Handbook*, yaitu merupakan tabel yang memuat data astronomis benda-benda langit. Dalam bahasa Arab biasa disebut *Zij* atau *Taqwim*. Untuk mengetahui posisi hilal, diperlukan data-data seperti Ecliptic Longitude (ELM), Apparent Right Ascension (ARM), Apparent Declination (DM), Semi Diameter (SDM) dan Equation Of Time (ET), disamping itu diperlukan juga data-data bulan antara lain Apparent Longitude (ALB), Apparent Right Ascension (ARB) Apparent Declination (DB), Horizontal Parallax (PB), Semi Diameter (SDM) dan Fraction Illumination (FIB). Data ephemeris juga dapat diakses secara *online* di: <http://eclipse.gsfc.nasa.gov/TYPE/ephemeris.html>.

¹⁸ Dalam istilah fotografi, apabila menggunakan ISO tinggi maka hasil gambar akan noise, hal itu dikarenakan sensor gambar dipaksa untuk menyerap cahaya secara cepat pada kondisi pencahayaan yang rendah (gelap). Apabila kondisi cahaya gelap dan supaya gambar yang dihasilkan tidak noise maka pilihlah ISO setting yang rendah dengan konsekuensi shutter speed akan menjadi lama menutupnya karena diperlukan waktu lama bagi sensor gambar dalam menyerap cahaya.

¹⁹ Radiasi cahaya yang dipancarkan oleh suatu obyek langit akan mengalami gangguan ketika melewati atmosfer bumi. Berkas cahaya suatu obyek akan diserap dan dipantulkan kembali pada panjang gelombang yang berbeda atau dihamburkan dari garis pandang. Gangguan-gangguan yang dialami oleh berkas cahaya disebut sebagai *ekstingsi*.

²⁰ Semua warna, dari merah, kuning, hijau, biru, hingga ungu memiliki frekuensi yang berbeda. Semakin besar frekuensi cahaya, semakin kuat cahaya itu dihamburkan. Warna langit adalah sebagian cahaya matahari yang dihamburkan. Karena yang paling banyak dihamburkan adalah warna berfrekuensi tinggi (hijau, biru, dan ungu).

²¹ Cahaya bisa berlalu lebih cepat atau lebih lambat, hal tersebut bergantung pada lokasi tempat dan posisi matahari. Kedudukan relatif matahari di langit yang berubah secara teratur mencapai posisi paling utara kemudian kembali ke ekuator langit, ke titik paling selatan dan kembali lagi ke ekuator langit.

²² Dalam pandangan astronomi, hilal merupakan bagian dari proses pembentukan dan perubahan sabit bulan yang berlangsung dalam fenomena fase bulan. Fenomena terbentuknya sabit bulan itu sangat berkaitan erat dengan geometri kedudukan bumi, bulan dan matahari. Orbit bulan mengelilingi bumi berbentuk ellips, bidang orbitnya juga beregresi dan berotasi, cukup kompleks. Kompleksitas orbit bulan mengelilingi bumi itu akibat berbagai gangguan benda lain dalam tatasurya seperti matahari.

²³ Siklus bulan dan perubahan harian kenampakan hilal adalah fenomena alam yang dapat digunakan sebagai penentu waktu. Fenomena ini dapat diamati meski dengan mata telanjang. Hasil dari pengamatan hilal telah diwariskan sejak beratus-ratus tahun sebelum masehi baik oleh bangsa Babilonia maupun oleh bangsa Cina (Ilyas 1984). Produk pengamatan hilal yang memanfaatkan fase hilal sebagai acuan penentu waktu biasa disebut sebagai kalender bulan (Kamariah). Contoh dari kalender jenis ini adalah Kalender Islam atau Kalender Hijriah.