

## PERKIRAAN KETINGGIAN OBJEK ALAM TERHADAP HORIZON UNTUK EVALUASI LOKASI PENGAMATAN HILAL DI LOMBOK

*PREDICTION OF NATURAL OBJECT HEIGHT TO HORIZON  
FOR EVALUATING HILAL OBSERVATION SITE IN LOMBOK*

Rian Mahendra Taruna<sup>1,a</sup> dan Tio Azhar Prakoso<sup>2,b</sup>

<sup>1</sup>Stasiun Geofisika Mataram, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG)

Jl. Adi Sucipto No. 10, Mataram 83111, Indonesia

<sup>2</sup>Pusat Penelitian dan Pengembangan, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG)

Jl. Angkasa I No. 2, Kemayoran, Jakarta

e-mail: <sup>a</sup>[reemyan@gmail.com](mailto:reemyan@gmail.com) dan <sup>b</sup>[tio.prakoso08@gmail.com](mailto:tio.prakoso08@gmail.com)

Diterima: 22 September 2017    Diputuskan (Tahap 1): 6 Oktober 2017    Direvisi (Tahap 1): 7 Oktober 2017

Diputuskan (Tahap 2): 30 Oktober 2017    Direvisi (Tahap 2): 10 November 2017

Disetujui (Tahap 3): 11 Desember 2017    Direvisi (Tahap 3): 17 Desember 2017

### **Abstrak**

*Pengamatan hilal dalam penentuan awal Bulan Hijriah merupakan isu penting di Indonesia. Titik pengamatan hilal baru juga mulai dikaji guna meningkatkan peluang teramatinya hilal. Salah satu faktor penting dalam menentukan lokasi pengamatan adalah faktor keberadaan objek alam tinggi yang berpotensi menghalangi hilal. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk melihat perkiraan kenampakan objek alam dan hilal terhadap horizon pengamat. Perkiraan kenampakan objek alam dilakukan dengan melakukan pemodelan apparent altitude. Apparent altitude merupakan ketinggian objek yang teramati terhadap horizon dalam ukuran derajat dan dipengaruhi oleh fenomena refraksi. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pemilihan lokasi Pantai Loang Baloq, Lombok dalam pengamatan hilal kurang optimal, karena ketinggian hilal harus memenuhi syarat lebih dari 2,07° agar tidak terhalang oleh Gunung Agung. Pemodelan dalam penelitian ini divalidasi dengan menggunakan data pengamatan hilal 1 Syawal 1438 H atau 24 Juni 2017 di Loang Baloq. Validasi menunjukkan bahwa hasil pemodelan relatif sesuai dengan hasil pengamatan langsung dengan teropong.*

**Kata Kunci:** hilal, horizon, apparent altitude, refraksi

### **Abstract**

*Hilal observation for determining the beginning of Hijriah month has become important issue in Indonesia. New observation locations are being reviewed due to improvement of hilal observing chance. One of biggest factor in determining observation location is existence of high nature object which can cover hilal. Therefore, this study aimed to predict nature object existence and hilal above the horizon. Object appearance prediction is conducted by modelling the apparent altitude. Apparent altitude is*

defined as observed height of object to horizon which is measured in degrees and affected by atmospheric refraction. Modelling result showed that selection of Loang Baloq Beach, Lombok as hilal observation place is far from optimal result, due to condition which the height of the moon at least  $2.07^\circ$  so the moon is not enclosed by Mount Agung. Validation is conducted by using hilal observation data in 1 Syawal 1438 H or June 24<sup>th</sup> 2017 in Loang Baloq. Validation showed good result where the modelling result and real observation using telescope is relatively fit.

**Keywords:** hilal, horizon, apparent altitude, refraction

**PACS:** 95.45.+i

© 2017 Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya (JPFA) is licensed under [CC BY NC 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

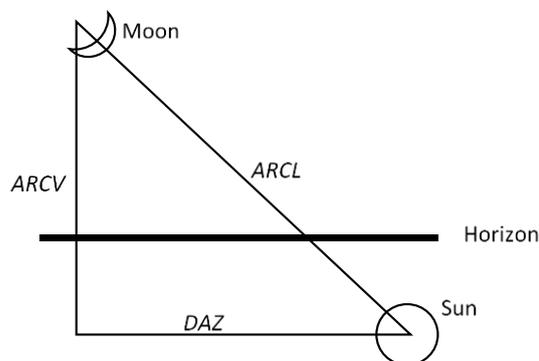
## I. PENDAHULUAN

Penentuan awal bulan dalam kalender islam merupakan isu penting bagi masyarakat Indonesia. Hal ini terkait dengan waktu pelaksanaan ibadah bagi umat Islam, seperti puasa dan Hari Raya. Saat ini terdapat dua metode yang digunakan dalam penentuan awal Bulan Qamariyah, yaitu metode hisab dan metode rukyatul hilal (bulan).

Metode hisab secara garis besar dibagi menjadi dua, yaitu Hisab Urfi dan Hisab Hakiki [1]. Metode Rukyat adalah metode yang dilakukan dengan menyaksikan hilal secara langsung atau dengan teropong sesaat setelah matahari terbenam. Kegiatan ini dilakukan menjelang awal Bulan Qamariyah, karena untuk menetapkan jatuhnya bulan baru, harus dengan kesaksian terlihatnya hilal di atas ufuk[2]. Sebagai penengah antara metode hisab dan rukyat, maka diusulkan sebuah teori yang disebut *imkanur rukyat*, yaitu kondisi tertentu hilal yang memiliki kemungkinan untuk dapat teramati [3]. T. B. Ramadhan dkk. (2014) mengusulkan kriteria baru ketampakan hilal untuk wilayah Indonesia, yaitu Elongasi lebih dari  $5,4^\circ$  dan umur bulan 9,4 jam setelah konjungsi [4].

Parameter yang sering digunakan dalam memprediksi atau menghitung ketampakan hilal, antara lain: 1) Umur bulan; 2) Selisih waktu terbenam; 3) Tinggi bulan; 4) Elongasi (ARCL); 5) Arc of Vision (ARCV); 6) Delta

Azimuth (DAZ); dan 7) Tebal hilal [5]. Penjelasan sederhana parameter- parameter tersebut ditunjukkan pada Gambar 1. Visibilitas hilal (ketampakan hilal), tidak dapat diprediksi secara meyakinkan bila hanya menggunakan satu dari parameter tersebut di atas (menggunakan parameter tunggal). Khususnya apabila hanya menggunakan umur bulan dan selisih waktu terbenam saja, seperti yang sering dilakukan, tidak akan memberikan nilai-prediksi sama sekali [6]. Salah satu faktor penting dalam rukyat yang sering diabaikan adalah adanya objek alam yang relatif tinggi. Meskipun kriteria visibilitas terpenuhi, hilal tetap tidak dapat teramati jika terhalang oleh objek alam seperti gunung, bukit, dan benda langit



Gambar 1. Geometrik Dasar dari Variabel untuk Prediksi Visibilas Hilal [5]

Kementrian Agama Republik Indonesia melakukan pengamatan secara merata di 33 provinsi untuk meningkatkan peluang

teramatinya hilal di Indonesia. Nusa Tenggara Barat merupakan salah satu provinsi yang telah melaksanakan hilal sejak 2013 di beberapa lokasi di Pulau Lombok dengan memperhitungkan azimuth dan ketinggian bulan pada saat pengamatan. Permasalahan utama dalam pengamatan hilal di Pulau Lombok adalah keberadaan Gunung Agung di barat Lombok. Hal ini terbukti pada saat pengamatan hilal di Bukit Malimbu dan Pantai Tanjung Karang, di lokasi tersebut hilal terhalang oleh keberadaan Gunung Agung. Oleh karena itu, Kemenag NTB memindahkan lokasi pengamatan ke Pantai Loang Baloq untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Namun, Pantai Loang Baloq masih memiliki potensi ketertampakan Gunung Agung di sisi barat.

Oleh karena itu, diperlukan suatu kajian awal dalam pengamatan hilal di Pantai Loang Baloq untuk memperkirakan potensi terhalangnya hilal oleh Gunung Agung. Kajian dilakukan dengan membuat model ketinggian hilal/bulan dan Gunung Agung terhadap horizon pengamat. Parameter ketinggian merupakan ketinggian semu (*apparent altitude*) diukur dalam satuan derajat dari horizon.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini difokuskan dalam pemodelan benda langit berupa hilal dan Gunung Agung terhadap horizon dengan posisi pengamat berada di Pantai Loang Baloq, Lombok. Pemodelan diperoleh melalui pemetaan ketinggian hilal dan perhitungan ketinggian Gunung Agung di atas horizon. Ketinggian yang dimaksud disebut dengan *apparent altitude* yang dipengaruhi peristiwa refraksi di atmosfer bumi. *Apparent altitude* bergantung terhadap kelengkungan bumi dan kelengkungan sinar yang merambat dari objek ke mata kita.

Metode yang digunakan dalam mencari ketinggian tampak merupakan metode yang dikembangkan oleh Young [7]. Namun, untuk mencari *apparent altitude*, terlebih dahulu harus dilakukan kajian awal terhadap titik-titik yang berpotensi menghalangi ketampakan hilal. Kajian awal tersebut dilakukan dengan melihat kondisi topografi di sekitar Gunung Agung. Data topografi dan koordinat titik tertinggi diperoleh melalui TOPEX. Data TOPEX dipilih karena memiliki resolusi yang tinggi, yaitu 15 *arcsecond* [8]. Pemodelan yang dilakukan merupakan pemodelan 2 dimensi sehingga koordinat bujur titik tertinggi digunakan sebagai bujur *cross section*. Data pendukung lain yang diperlukan yaitu data suhu rata-rata dari BMKG [9] untuk menghitung nilai *lapse rate*.

Pemetaan topografi akan memberikan gambaran mengenai titik-titik objek alam yang tinggi, sehingga data *apparent altitude* dari penampang alam di atas horizon dapat diperkirakan. Perhitungan *apparent altitude* dipengaruhi oleh kelengkungan bumi ( $k$ ) [7]. Kelengkungan bumi bergantung kepada nilai *lapse rate* ( $\gamma$ ) pada suatu lapisan [10]. Nilai  $\gamma$  dapat dicari dengan menggunakan data suhu dan ketinggian antara dua titik [11] dan nilai  $k$  dihitung dari  $\gamma$  [7] seperti pada persamaan berikut:

$$\gamma = -\frac{dT}{dz} \quad (1)$$

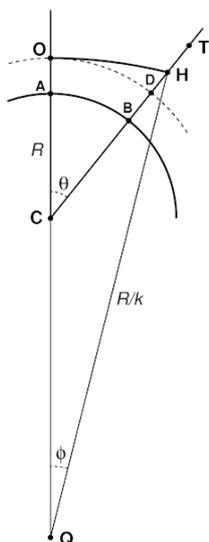
$$k = (35 - \gamma)/150 \quad (2)$$

Jarak horizon dapat didekati dengan teori geometri sederhana dengan menggunakan nilai kelengkungan efektif bumi, yaitu selisih antara kelengkungan sebenarnya dengan kelengkungan penjaran sinar. Sehingga  $R_{eff}$  didefinisikan sebagai  $R/(1 - k)$  dan jarak dari pengamat ke horizon  $d$  dirumuskan sebagai:

$$d^2 = 2hR/(1 - k) \quad (3)$$

dengan  $h$  adalah ketinggian mata pengamat dari muka air laut dan  $R$  adalah radius bumi. Geometri dari pengamatan horizontal secara sederhana dijelaskan pada gambar 2.

Posisi pengamat berada pada titik O dan busur AB merupakan permukaan bumi sebenarnya dengan C adalah pusat bumi. Ketinggian O dari A disebut  $H_{obs}$ . Busur OD menggambarkan tingkat permukaan pada ketinggian pengamat. Busur OH menunjukkan sinar cahaya horizontal terhadap pengamat, sehingga semua titik yang terdapat pada busur tersebut dapat terlihat di atas horizon pengamat. Busur ini memiliki kelengkungan lebih kecil dibandingkan bumi, sehingga berpusat pada titik Q dengan radius  $R/k$ .



Gambar 2. Geometrik Sederhana Pengamatan Horizon Secara Astronomi [12]

Puncak objek yang diamati berada pada titik T dengan ketinggian  $H_{target}$  dari titik B di permukaan bumi. Dalam penelitian ini titik T merupakan titik-titik tinggi di Gunung Agung. Sudut  $\theta$  merupakan sudut yang dibentuk antara garis CBDHT dengan CAO. Pada kenyataannya sudut  $\theta$  dan  $H$  memiliki nilai yang relatif kecil, sehingga titik B, D, H, dan T dianggap memiliki jarak dari pengamat sama dengan  $d$ . Jika busur OD digunakan

menggantikan AB, maka persamaan (3) dengan menjadikan  $h$  sebagai selisih ketinggian titik H dan O atau D sehingga  $h = DH = H_H - H_{obs}$ , dan dapat dicari menggunakan persamaan (3).

Semua titik pada busur OH dapat teramati pada horizon, sehingga titik H dianggap sebagai titik terendah dengan ketinggian sama dengan nol. Titik H kemudian digunakan sebagai titik acuan terhadap semua objek di garis BDHT. Berdasarkan asumsi tersebut, maka ketinggian angular dari objek yang diamati dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\alpha = \frac{H_{target} - H_H}{d} \text{ radians} \tag{4}$$

Parameter lain yang perlu diperhatikan adalah *dip* dari horizon. *Dip* merupakan sudut yang dibentuk antara horizon astronomis dengan horizon sebenarnya. Jika tidak ada peristiwa refraksi, horizon sebenarnya memiliki posisi sama dengan horizon geometrik yang mengarah ke permukaan bumi. Namun, karena peristiwa refraksi tidak dapat diabaikan, maka dalam perhitungan dimasukkan variabel  $k$ , sehingga persamaan *dip* menjadi:

$$dip = \sqrt{2h(1 - k)/R} \tag{5}$$

dan ketinggian objek di atas horizon laut didefinisikan sebagai:

$$ht = \alpha + dip \tag{6}$$

Hasil penelitian selanjutnya akan divalidasi dengan observasi di lapangan. Perbandingan dilakukan secara kualitatif dan kuantitatif antara hasil pemodelan dengan citra pengamatan hilal melalui teropong bintang.

### III. HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI

Hasil citra satelit menggunakan *Google Earth* pada gambar 3 menunjukkan bahwa di sisi barat titik pengamatan Pantai Loang Baloq terdapat daratan Bali. Wilayah yang

berpotensi sebagai objek tinggi di atas horizon pengamat adalah Gunung Agung yang berada di bagian timur Bali dan berjarak 69,04 km dengan titik pengamatan.

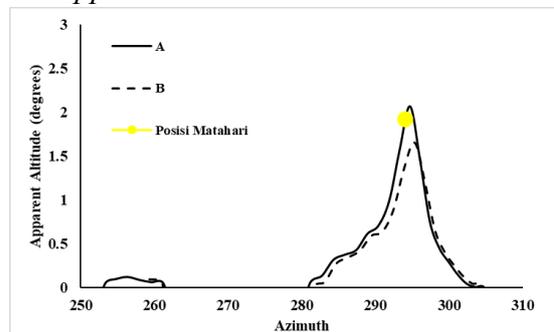


Gambar 3. Citra Satelit Pulau Bali dan Lombok

Pada gambar 3 posisi Gunung Agung digambarkan dengan segitiga hijau dan titik pengamatan dengan paku kuning. Penelitian ini mencari profil ketinggian 2 dimensi sehingga dibuat sayatan melintang yang melewati titik- titik tinggi di sekitar Gunung Agung. Terdapat 2 sayatan yang digunakan untuk membuat model *apparent altitude*, kedua sayatan tersebut diasumsikan memiliki *apparent altitude* tertinggi berdasarkan nilai elevasi dan jarak dari lokasi pengamat. Melalui data topografi TOPEX diperoleh koordinat titik tertinggi di sayatan A adalah puncak Gunung Agung  $115,5083^{\circ}\text{BT}$ ;  $8,3452^{\circ}\text{LS}$  dan sayatan B  $115,525^{\circ}\text{BT}$ ;  $8,3452^{\circ}\text{LS}$ . Rentang lintang yang digunakan untuk profil melintang tersebut adalah  $7,9988^{\circ}\text{LS}$  hingga  $9,0043^{\circ}\text{LS}$ .

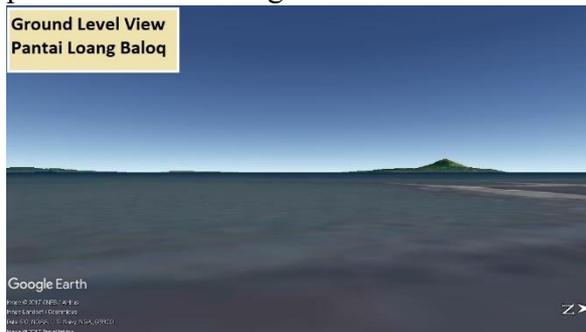
Hasil perhitungan dan pemodelan disajikan pada gambar 4. Pemodelan dilakukan dengan memetakan nilai *apparent altitude* terhadap azimuth. Azimuth yang digunakan merupakan azimuth antara titik pengamat dengan titik objek yang diamati. *Apparent altitude* tertinggi berada pada puncak Gunung Agung di sayatan A dengan nilai  $2,07^{\circ}$  di atas horizon pengamat. Elevasi puncak Gunung Agung menurut data TOPEX [8] adalah 2701 mdpl dan berada 69,04 km dari posisi pengamat. Pada sayatan B *apparent altitude* tertinggi

bernilai  $1,65^{\circ}$  yang berada pada lereng Gunung Agung dengan ketinggian 2135 mdpl dan berjarak 67,38 km dari posisi pengamat. Selisih nilai puncak dari sayatan A dan B menunjukkan bahwa perbedaan nilai elevasi memberikan pengaruh relatif besar terhadap nilai *apparent altitude*.



Gambar 4. Pemodelan *Apparent Altitude* Terhadap Horizon Pengamat

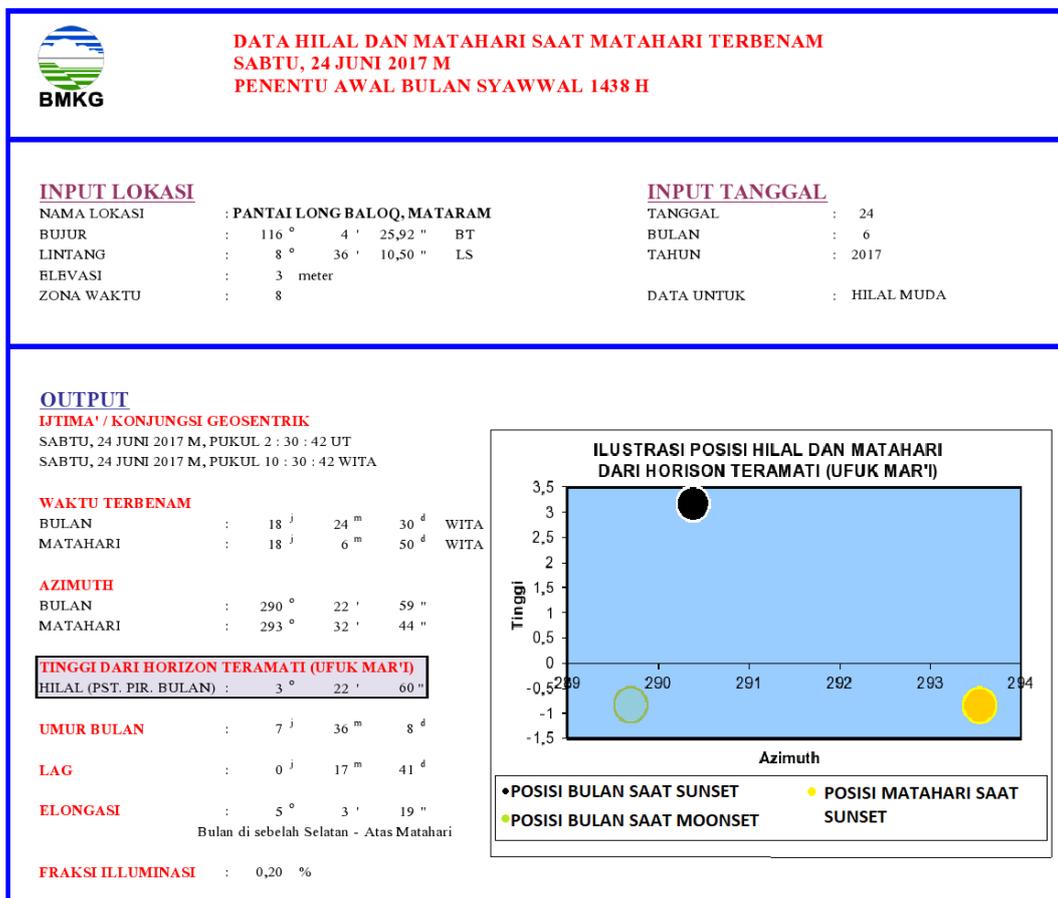
Langkah selanjutnya adalah melakukan validasi terhadap model di atas. Validasi dilakukan dengan menggunakan beberapa data dukung. Data dukung yang pertama yaitu menggunakan Google Earth. Program ini memiliki fitur *Ground Level View* yang mampu menggambarkan kenampakan alam dengan sudut pandang pengamat di daratan seperti yang ditunjukkan pada gambar 5. Citra *Ground Level View* dari pantai Loang Baloq menunjukkan adanya kenampakan alam berupa barisan gunung pada arah barat. Parameter yang dapat divalidasi dengan Google Earth yaitu azimuth dan morfologi Gunung Agung. Azimuth puncak di pemodelan relatif sesuai dengan azimuth puncak melalui Google Earth.



Gambar 5. *Ground Level View* dari Pantai Loang Baloq, Lombok

Namun, pemodelan *Google Earth* tidak menyediakan skala atau ukuran tertentu untuk mendukung nilai perhitungan *apparent altitude*. Selain itu, dalam pemodelan *apparent altitude* tidak menggambarkan penampakan laut karena faktor horizon laut telah dimasukkan dalam perhitungan *dip*. Pemodelan *apparent altitude* berfokus pada perkiraan nilai ketinggian dari horizon dalam kaitannya dengan posisi objek langit, sehingga validasi dengan *Ground Level View* masih dianggap kurang.

Validasi utama perhitungan *apparent altitude* adalah hasil pengamatan langsung di Pantai Loang Baloq dengan menggunakan teropong Vixen ED81S. Data pengamatan hilal tanggal 24 Juni 2017 oleh Kemenag Provinsi NTB dan BMKG Mataram pada waktu pengamatan 16.00-18.30 WITA disajikan pada gambar 6. Gambaran hasil pengamatan dengan teropong diperoleh melalui rekaman *streaming* hilal BMKG [13]. Pada waktu tersebut hilal tidak dapat dilihat akibat faktor cuaca [13], sehingga data *apparent altitude* tidak bisa divalidasi dengan posisi bulan/hilal. Oleh karena itu, diperlukan objek langit lain yang terlihat saat pengamatan sebagai objek validasi.



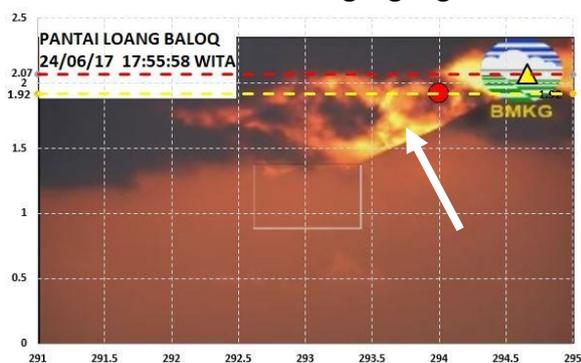
Gambar 6. Data Pengamatan Hilal 1 Syawal 1438 H/ 24 Juni 2017 di Pantai Loang Baloq [14]

Pemodelan *apparent altitude* dapat divalidasi dengan objek langit lain yaitu matahari. Perhitungan ketinggian Matahari secara astronomis memiliki ketelitian relatif tinggi

yaitu  $\pm 0,01^\circ$  [15], sehingga dalam penelitian ini posisi matahari dianggap bisa menjadi validasi sebagai pengganti bulan. Metode perhitungan ketinggian matahari dan bulan

tidak dijelaskan disini karena sudah banyak *software* online yang memberikan data ketinggian matahari dan bulan. Validasi dilakukan dengan membandingkan posisi matahari dari pemodelan dengan posisi sebenarnya yang teramati melalui teropong. Oleh karena itu, diperlukan data ketinggian dan azimuth matahari pada waktu pengamatan yang bisa diperoleh melalui perangkat *online* *suncalc*[16]. Data *suncalc* menunjukkan bahwa pada pukul 17:56 WITA matahari berada pada ketinggian  $1,92^\circ$  dengan azimuth  $293,96^\circ$ . Hasil pemodelan posisi matahari terhadap model *apparent altitude* ditunjukkan dengan lingkaran kuning pada gambar 4.

Hasil model selanjutnya di *overlay* terhadap citra teropong ketika pengamatan seperti yang disajikan pada gambar 7. Digitasi citra teropong dilakukan dengan mengacu pada posisi dan azimuth matahari yang memiliki ketelitian pemodelan yang tinggi. Pada gambar 7 posisi matahari dan puncak Gunung Agung berada pada ketinggian yang sama, yaitu  $1,92^\circ$ . Hasil tersebut memiliki perbedaan senilai  $0,15^\circ$  dari hasil pemodelan yang bernilai  $2,07^\circ$ . Hal ini mungkin terjadi akibat perbedaan nilai suhu sebenarnya di Gunung Agung dengan nilai suhu yang digunakan dalam perhitungan *lapse rate*, karena data suhu yang digunakan merupakan data suhu rata-rata di sekitar Gunung Agung.



Gambar 7. *Overlay* Hasil Pengamatan Menggunakan Teropong di Loang Baloq dengan Model *Apparent Altitude*

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pemodelan ketinggian yang telah dilakukan, titik tertinggi yang teramati dari posisi pengamat adalah puncak Gunung Agung dengan nilai *apparent altitude*  $2,07^\circ$  pada azimuth  $294,66^\circ$ . Validasi dengan pengamatan langsung menggunakan teropong Vixen ED81S di Pantai Loang Baloq menunjukkan adanya *error* senilai  $0,15^\circ$  yang diperkirakan akibat perbedaan nilai suhu sebenarnya di puncak Gunung Agung dengan nilai suhu dalam pemodelan. Namun, hasil penelitian ini sudah mampu memberikan syarat ketinggian hilal agar tidak terhalang puncak Gunung Agung, yaitu lebih besar dari  $2,07^\circ$  dari horizon pengamat. Batasan tersebut relatif *overestimated* karena hasil pemodelan lebih besar dari kondisi sebenarnya, tetapi nilai *overestimated* sangat diperlukan dalam pemodelan guna mengurangi kegagalan saat pengamatan. Hal lain yang perlu diperhatikan dalam ketertampakan hilal, yaitu potensi tertutupnya hilal oleh awan. Kemunculan awan dapat dilihat melalui citra satelit dan radar, namun ketinggian awan dan karakter pergerakannya masih sulit untuk diprediksi. Selain itu diharapkan terdapat penelitian lanjutan dalam digitasi citra pengamatan dengan teropong sehingga mampu memberikan proses validasi yang lebih baik.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kami sampaikan kepada semua pihak yang membantu terlaksanakannya penelitian ini khususnya kepada Kemenag Provinsi NTB dan BMKG Stasiun Geofisika Mataram.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zulfa N. *Penentuan Awal Bulan Aplikasi Hisab Rukyah*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Jepara: Universitas Islam Nahdlatul Ulama; 2013. Terdapat pada: <http://eprints.unisnu.ac.id/id/eprint/176>.

- [2] Al-ayubi AS. *Studi Analisis Metode Hisab Awal Bulan Qamariyah Mohammad Uzal Syahrana dalam Kitab As-Syahr*. Skripsi. Tidak dipublikasikan. Semarang: Universitas Islam Negeri Walisongo; 2015. Terdapat pada: <http://eprints.walisongo.ac.id/4298/1/112111050.pdf>.
- [3] Direktorat Pembinaan Syariah dan Hisab Rukyat Kementerian Agama RI. *Ilmu Falak – Praktik*. Jakarta: Sub Direktorat Pembinaan Syariah dan Hisab Rukyat Kementerian Agama RI; 2013.
- [4] Ramadhan TB, Djamaluddin T, dan Utama JA. Re-Evaluation of Hilaal Visibility Criteria in Indonesia by Using Indonesia and International Observational Data. *Proceeding of International Conference On Research, Implementation and Education of Mathematics And Sciences*. Yogyakarta: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Yogyakarta. 2014; 87-92. Terdapat pada: <http://eprints.uny.ac.id/id/eprint/11520>.
- [5] Siddiq S. Studi Visibilitas Hilal dalam Periode 10 Tahun Hijriyah Pertama (0622 - 0632 CE) sebagai Kriteria Baru untuk Penetapan Awal Bulan-bulan Islam Hijriyah. *Prosiding Seminar Nasional Hilal*. Bandung: Observatorium BOSSCHA, Institut Teknologi Bandung; 2009. Terdapat pada: <https://seminarhilal2009.wordpress.com/paper/>.
- [6] Dogget LE dan Schaefer BE. Lunar Crescent Visibility. *Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society*. 1994; **107**(2): 388-403. DOI: <https://dx.doi.org/10.1006/icar.1994.1031>.
- [7] Young AT. Understanding Astronomical Refraction. *The Observatory*. 2006; **126**: 82–115. Terdapat pada: <http://adsabs.harvard.edu/full/2006Obs...126...82Y>.
- [8] Smith WHF and Sandwell DT. Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings. *Science*. 1997; **277**(5334): 1956–1962. DOI: <https://dx.doi.org/10.1126/science.277.5334.1956>.
- [9] BMKG. *Cuaca*. Website. Terdapat pada: <http://bmkg.go.id/cuaca> [diakses 17 Juli 2017].
- [10] Young AT. Sunset Science. IV. Low-Altitude Refraction. *The Astronomical Journal*. 2004; **127**(6): 3622–3637. DOI: <https://dx.doi.org/10.1086/420806>.
- [11] Lohff KE dan Comstock J. *Clarification of Lapse Rate Terms and Formulas*; 2012. Terdapat pada: <https://hs.umt.edu/physics/documents/BOREALIS/Lapse%20Rate%20Terms%20and%20Formulas2012.pdf>.
- [12] SDSU. *Atmosfer reference*. Website. Terdapat pada: [http://aty.sdsu.edu/explain/atmos\\_refr](http://aty.sdsu.edu/explain/atmos_refr) [diakses 17 Juli 2017].
- [13] BKMKG. *Hilal*. Website. Terdapat pada: <http://media.bmkg.go.id/hilal> [diakses 17 Juli 2017].
- [14] Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. *Almanak 2017*. Jakarta: Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika; 2016.
- [15] Michalsky JJ. The Astronomical Almanac's algorithm for approximate solar position (1950–2050). *Solar Energy*. 1988; **40**(3): 227–235. DOI: [https://dx.doi.org/10.1016/0038-092X\(88\)90045-X](https://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(88)90045-X).
- [16] Suncalc. *Geodata for the Selected Location*. Website. Terdapat pada: <https://www.suncalc.org> [diakses 19 September 2017].