



INTERPRETASI PENYEBARAN DEBU LETUSAN GUNUNG API DARI BAYANGAN GERHANA MATAHARI

Oleh Drs. Thomas Djamaludin
Staf Kelompok Penelitian Matahari

RINGKASAN

Analisis densitas potret gerhana bulan dapat digunakan untuk menafsirkan penyebaran debu letusan gunung api di atmosfer. Anomali bayangan pada bulan pada sudut posisi P dapat ditafsirkan berasal dari konsentrasi debu di atmosfer pada lintang ϕ berdasarkan hubungan,

$$\sin \phi = \cos \delta \cos P$$

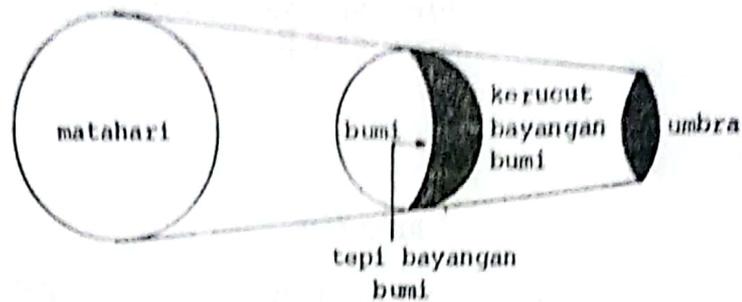
bila matahari berada pada deklinasi δ . Berdasarkan perhitungan Link (1972), jarak sudut anomali tersebut dari pusat bayangan bumi dapat dikaitkan dengan ketinggian konsentrasi debu yang bersangkutan. Gerhana bulan yang tampak sangat gelap memberikan informasi bahwa debu letusan gunung api menyebar sepanjang tepi bayangan bumi pada ketinggian 4-6 km.

1. PENDAHULUAN

Gerhana bulan terjadi bila kerucut bayangan bumi mengenai bulan. Dengan demikian bila di atmosfer bumi terdapat materi yang menghalangi cahaya matahari, gerhana bulan akan tampak lebih gelap. Fenomena di atmosfer yang paling tampak pengaruhnya adalah penyebaran debu letusan gunung api yang terdapat di atas 'tepi bayangan bumi'. Tepi bayangan bumi adalah daerah pada permukaan bumi yang membatasi belahan siang dan belahan malam (lihat gambar 1.1).

Telaah anomali bayangan gerhana bulan dapat memberikan informasi tentang penyebaran debu letusan gunung api. Pembahasan dalam makalah ini akan menekankan pada penafsiran anomali pada bayangan gerhana bulan yang

berkaitan dengan daerah penyebaran dan ketinggian penyebaran debu letusan gunung api. Tentang metode analisa potret gerhana bulan dengan menggunakan mikrodensitometer yang dilengkapi mikro komputer di PUSRIGAN LAPAN telah ditunjukkan oleh Djamaludin (1987). Telaah ini dipandang perlu karena telaah ini dapat memberikan informasi segera tentang keadaan atmosfer atas secara global.



Gambar 1.1

Kerucut bayangan bumi yang menyebabkan gerhana bulan

2. PENGARUH LETUSAN GUNUNG PADA GERHANA BULAN

Debu letusan gunung api yang menghalangi cahaya matahari dapat mengakibatkan gerhana bulan tampak semakin gelap. Menurut catatan para pengamat gerhana bulan, paling sedikit tiga letusan gunung api di Indonesia telah menyebabkan gerhana bulan tampak sangat gelap atau tak tampak (lihat tabel 2.1). Menurut perhitungan Link (1972) opasitas atmosfer yang terdapat pada ketinggian 4-6 km di sepanjang tepi bayangan bumi (kira-kira 40000 km) dapat menyebabkan bulan tampak sangat gelap ketika bayangan bumi menutupinya. Sebenarnya awan dapat juga mempengaruhi bayangan gerhana bulan. Awan memang mungkin mencapai ketinggian 4-6 km tetapi penyebarannya tidak mungkin sepanjang tepi bayangan bumi. Dengan demikian pengaruh awan hanya akan tampak sebagai ketakseragaman kegelapan bayangan bumi, tidak mungkin menyebabkan seluruh permukaan bulan tampak sangat gelap.

Tabel 2.1 :

Tabel 2.1

Gerhana bulan yang gelap dan kaitannya
dengan letusan gunung

TANGGAL	PENAMPAKAN GERHANA	LETUSAN GUNUNG
14 - 04 - 1742	sangat gelap/tak tampak	Avoe (Januari 1741) (1 km ³ debu)
18 - 05 - 1761	sangat gelap/tak tampak	Jorullo (September 1759)
16 - 06 - 1816	bulan tak tampak	Tambora (1815) 150 km ³ debu
4 - 10 - 1884	sangat gelap	Krakatau (Agustus 1883) (18 km ³ debu)
16 - 10 - 1902	sangat gelap	} Mt. Pelee dan St Vincent (Mei 1902); (1 km ³ debu)
11 - 04 - 1903	sangat gelap	
22 - 03 - 1913	sangat gelap	} Katmai (Juni - Oktober 1912) (21 km ³ debu)
15 - 09 - 1913	sangat gelap	
30 - 12 - 1963	sangat gelap	Agung (Maret 1963)
5 - 07 - 1982	belahan utara gelap	} El Chichon (Maret 1982)
30 - 12 - 1982	sangat gelap	

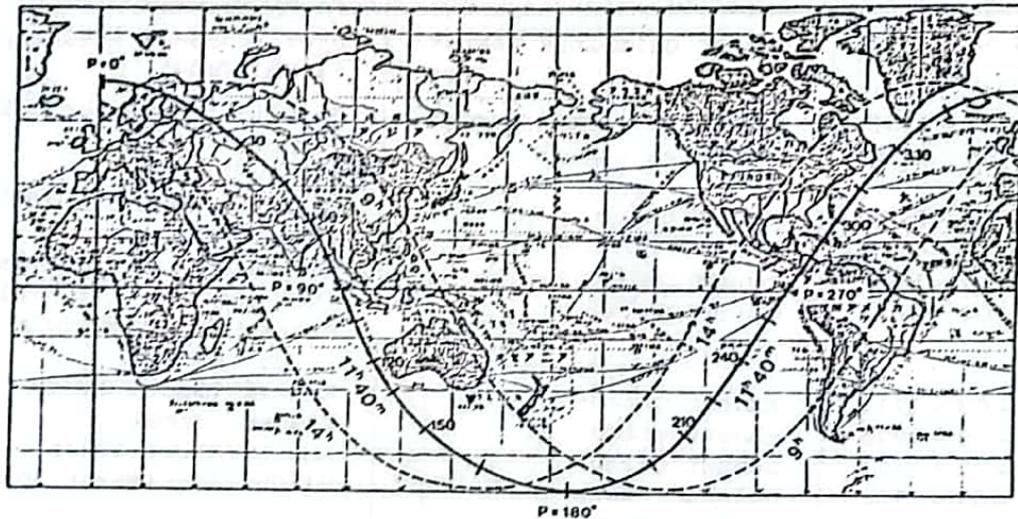
Menurut beberapa pengamatan, debu letusan gunung dapat tersebar ke hampir seluruh dunia dan mencapai ketinggian beberapa puluh kilometer. Debu tersebut dapat bertahan beberapa bulan. Dengan demikian letusan gunung yang terjadi beberapa bulan sebelum gerhana masih mempengaruhi bayangan gerhana bulan. Dari bayangan gerhana bulan itu dapat dianalisis penyebarannya sepanjang tepi bayangan bulan dan ketinggiannya.

3. PENYEBARAN DAN KETINGGIAN DEBU

Untuk menafsirkan penyebaran debu dari bayangan gerhana bulan terlebih dahulu harus diketahui daerah yang merupakan tepi bayangan bumi pada saat terjadinya gerhana. Ini dapat dilihat dari Almanak yang menyajikan saat saat matahari terbenam dan terbit. Dengan menentukan daerah - daerah yang saat matahari terbit atau terbenamnya persamaan dengan saat terjadinya gerhana dapat ditentukan daerah tepi bayangan bumi untuk gerhana tersebut. Pada gambar 3.1 ditunjukkan contoh tepi bayangan bumi pada saat gerhana bulan 30 Desember 1982 jam 11.40 UT. Sudut posisi pada bayangan bumi, P (lihat gambar 3.2) yang ditentukan dari arah utara searah putaran jarum

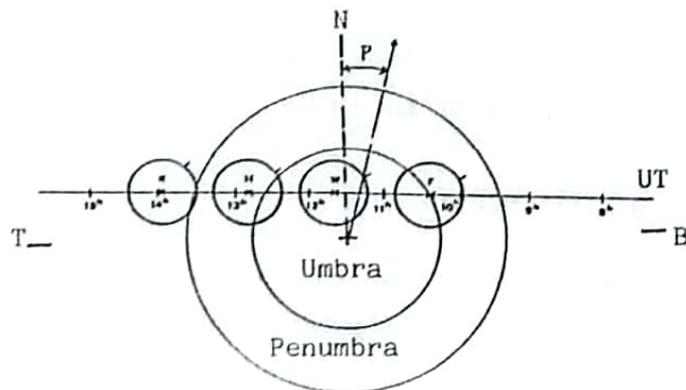
jam berkaitan dengan posisi pada tepi bayangan bumi pada lintang ϕ . P dan ϕ bergantung pada deklinasi matahari $\delta\theta$ berdasarkan hubungan (Link, 1972)

$$\sin \phi = \cos \delta\theta \cos P$$



Gambar 3.1

Tepi bayangan bumi pada saat gerhana bulan
30 Desember 1982



Gambar 3.2

Sudut posisi P pada bayangan bumi yang
menutupi bulan

K, H, W, F = Posisi bulan pada saat UT
(Universal Time, tertera pada garis)
ketika memasuki umbra/penumbra

Dengan menggunakan hubungan di atas suatu anomali yang tampak pada bayangan gerhana bulan pada sudut posisi antara P1 dan P2 dapat ditafsirkan berasal dari atmosfer bumi antara lintang ϕ_1 dan ϕ_2 . Sedangkan jarak sudut anomali tersebut dari pusat bayangan dapat memberikan informasi ketinggian dan lebar penyebaran sumber anomali tersebut di atmosfer bumi. Tabel 3.1 (Nakamura et al; 1986) memberikan kaitan antara jarak sudut (r) dengan ketinggian (h) dan lebar tepi bayangan (ΔP).

Tabel 3.1

Kaitan jarak-sudut (r), ketinggian (h), dan lebar tepi bayangan (ΔP) dengan anggapan paralaks horizontal bulan $57'$

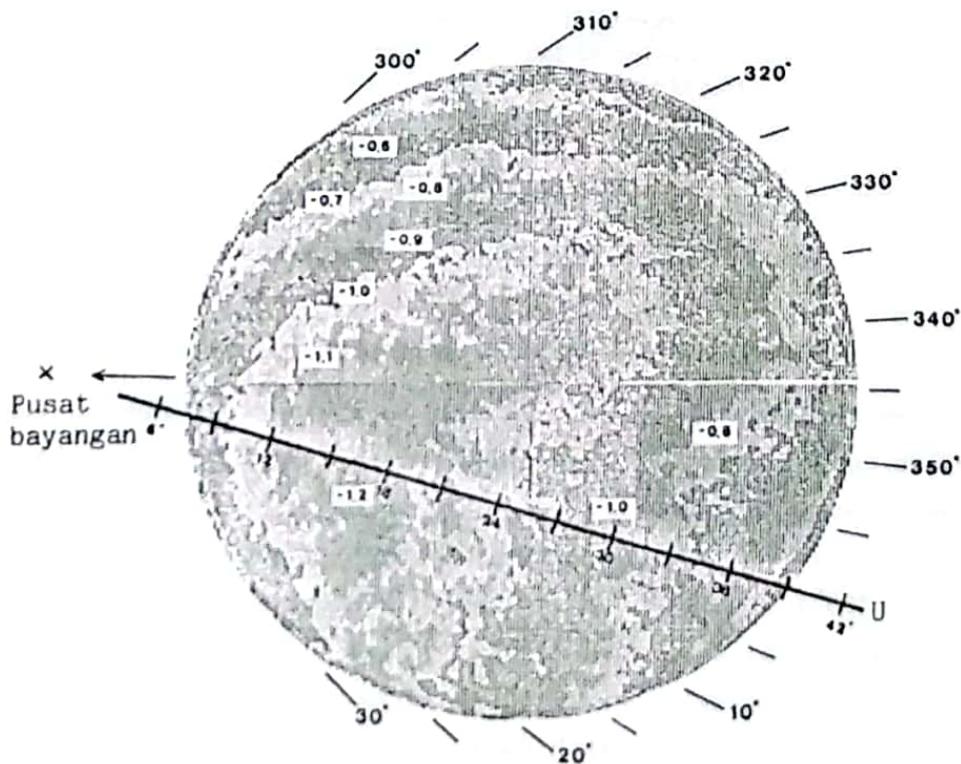
r (')	h (km)	ΔP (o)
10	2 - 9	360
20	5 - 11	106
30	7 - 15	64
49	15 - 30	46

Gerhana bulan yang terjadi setelah letusan gunung Tambora (tabel 2.1) dilaporkan sangat gelap sehingga bulan tidak tampak. Ini berarti kegelapan yang tak biasanya itu terjadi sampai jarak sudut sekurang - kurangnya sekitar $16'$ (radius piringan bulan) bersumber dari seluruh tepi bayangan bumi ($\Delta P = 360^\circ$). Dengan melihat tabel 3.1 kegelapan tersebut dapat ditafsirkan berasal dari debu letusan gunung Tambora yang menyebar di troposfer pada ketinggian kurang dari 10 km di sepanjang tepi bayangan bumi. Ini berarti setelah lebih dari satu tahun, debu letusan gunung Tambora (diperkirakan 150 km^3) telah menyebar ke seluruh dunia, khususnya di atas daerah tepi bayangan bumi. Bila anomali dijumpai pada jarak sudut yang lebih besar ($r > 30'$) hal ini dapat ditafsirkan berasal dari fenomena di daerah stratosfer di atas daerah tepi bayangan bumi seperti halnya yang terjadi pada gerhana bulan pada tahun 1982.

4. ANOMALI GERHANA 1982

Pada tahun 1982 terjadi dua kali gerhana bulan total setelah letusan gunung El Chichon di Meksiko pada Maret 1982. Gerhana pertama terjadi pada tanggal 5 Juli 1982. Para pengamat melaporkan bahwa belahan utara bulan

tampak lebih gelap dibandingkan gerhana bulan biasanya (Sky and Telescope, 1983). Ini ditafsirkan akibat adanya penyebaran debu letusan gunung El Chichon di belahan utara bumi. Gerhana kedua terjadi pada bulan Desember 1982 yang dilaporkan sangat gelap. Isofoto potret gerhana bulan yang diperoleh dengan teknik ekstraksi bayangan (Djamaludin, 1987) ditunjukkan pada gambar 4.1 (Nakamura et al, 1986).



Gambar 4.1

Isfoto bayangan gerhana bulan 30 Desember 1982. Tanda x menunjukkan pusat bayangan bumi. Jarak-sudut dari pusat bayangan bumi ditunjukkan sepanjang garis hubung ke arah utara. Sudut posisi (P) dicantumkan melingkari potret bulan.

Isfoto ini menunjukkan daerah paling gelap bukan terdapat pada pusat bayangan tetapi pada jarak-sudut sekitar 15'. Tetapi anomali pada jarak sudut kecil itu (bagian dalam umbra) sulit ditafsirkan karena bersumber dari daerah tepi bayangan yang luas (lihat ΔP pada tabel 3.1). Sedangkan anomali pada tepi umbra pada jarak sudut $r = 30' - 40'$ yang tampak pada

isofoto tersebut mudah ditafsirkan karena bersumber dari daerah tepi bayangan yang tidak terlalu luas ($\Delta P \sim 50^\circ$). Berdasarkan tabel 3.1 kelainan ini bersumber dari daerah stratosfer pada ketinggian sekitar 15 - 20 km. Sedangkan sudut posisinya merentang dari $P = -50^\circ$ sampai 20° . Bila ini dikaitkan dengan tepi bayangan bumi (gambar 3.1) anomali di stratosfer itu terdapat antara lintang 40° sampai 66° di atas Pasifik Utara dan Eropa Utara. Pola densitas yang hampir simetrik terhadap garis hubung pusat bayangan dan arah utara dapat memberikan tafsiran bahwa penyebaran debu di atas daerah tersebut merata, tidak bergantung bujunya.

5. PENUTUP

Pembahasan dalam makalah ini memang hanya dibatasi pada penafsiran daerah penyebaran dan ketinggian penyebaran debu letusan gunung berapi di atmosfer secara global. Sebenarnya telaah bayangan gerhana bulan memungkinkan juga menentukan kedalaman optik atmosfer atas sampai ketinggian sekitar 100 km yang sangat tipis. Dua hal ini merupakan keunggulan pengamatan gerhana bulan untuk mempelajari kedalaman optik di atmosfer atas dibandingkan dengan pengamatan dengan menggunakan lidar atau pesawat terbang.

DAFTAR PUSTAKA

1. DJAMALUDDIN, T. :
"Metode Analisis Bayangan Gerhana Bulan Untuk Menafsirkan Distribusi Aerosol di Atmosfer Atas", Pekan Ilmiah Kongres III Ikatan Alumni ITB, Jurusan Astronomi ITB (siap dipublikasikan), 1987.
2. LINK, F : "Advance in Astronomy and Astrophysics", Lunar Eclipses, in Z. Kopal (ed.) 9, 67, 1972.
3. NAKAMURA, T., HIRAYAMA, T. & NOGUCHI, M :
"Earth, Moon and Planets", 35, 55, 1986.
4. : Sky and Teleskop, p. 187, 1983.

- - - oo0oo - - -

DISKUSI

1. B. GULTOM

Tanya : Bagaimana hubungan antara densitas potret gerhana bulan dan atmosfer sampai dapat menyimpulkan bahwa debu atmosfer berasal dari letusan gunung berapi ?

Jawab : Sebenarnya dari densitas potret kita tidak dapat membedakan apakah sumber opasitas di atmosfer itu debu letusan gunung atau sumber lainnya. Tetapi penampakan gerhana bulan yang sangat gelap, tidak seperti biasanya, yang terjadi setelah adanya letusan gunung menimbulkan dugaan keduanya itu berkaitan. Dugaan itu beralasan bahwa kegelapan itu berasal dari sumber opasitas yang sangat luas, tidak mungkin disebabkan oleh peningkatan awan atau aerosol secara lokal. Dari jarak-sudut dan sudut posisi anomali yang tampak pada potret bulan dapat disimpulkan penyebaran dan ketinggian sumber opasitas di atmosfer. Kemudian dengan mengetahui daerah tepi bayangan pada saat gerhana itu, dapat diperiksa benar-tidaknya dugaan itu.

Tanya : Mohon penjelasan cara yang dilakukan Link (1972).

Jawab : Link (1972) menentukan berdasarkan model bayangan gerhana bulan dengan memasukkan faktor refraksi atmosfer bumi dan menganggap paralaks horizontal bulan 57'.

2. YETI PRIYATI R.

Tanya : Dalam kaitan polusi dengan gerhana bulan. Bagaimana mengetahui volume penyebaran sampai orde km ?

Jawab : Volume debu yang dilepaskan letusan gunung seperti yang tercantum pada tabel 2.1 bukan diperoleh dari analisis gerhana bulan melainkan dengan cara lain.

Tanya : Distribusi debu yang terjadi mengikuti distribusi apa ?

Jawab : Yang saya maksudkan distribusi debu dalam pembahasan ini sebenarnya adalah penyebaran debu, bukan distribusi dalam pengertian matematika. (Catatan : Untuk menghindari kerancuan, dalam makalah ini istilah distribusi saya ganti dengan penyebaran).

Tanya : Bagaimana kaitan penyebaran (ketebalan debu) dengan gerhana yang terjadi ?

Jawab : Seperti yang telah saya bicarakan, anomali pada bayangan gerhana bulan dapat ditafsirkan bersumber dari atmosfer bumi. Posisi anomali (jarak sudut dari pusat bayangan dan sudut posisinya) berkaitan dengan daerah penyebaran debu dan rentang ketinggiannya. Link (1972) memberikan perhitungan

yang lebih rinci tentang kaitan posisi anomali pada bayangan gerhana bulan dan ketinggiannya di atmosfer.

3. CHUNAENI LATIEF

Tanya : Bagaimana dengan pengamat yang berbeda tempat dan ketinggian
- pengaruh turbulensi
- pengaruh latar belakang (latar depan, TD)(aerosol lain, awan, dan sebagainya) ?

Jawab : Perbedaan tempat pengamatan sebenarnya tidak menjadi masalah dalam menganalisis potret gerhana bulan kalau potret gerhana dan potret bulan acuan (potret bulan purnama yang diambil tepat sebelum atau setelah gerhana) diambil dari tempat yang sama. Dalam hal itu ekstraksi bayangan gerhana bulan dapat langsung dilakukan. Tetapi bila potret gerhana dan bulan acuan diambil dari tempat yang berbeda sebelum mengekstraksi bayangan terlebih dahulu harus dilakukan transformasi. Bila terdapat aerosol atau materi penyerap lain yang berada diantara pengamat dan bulan, analisis bayangan gerhana bulan tentunya akan berbeda karena serapan latar depan itu perlu dieliminasi terlebih dahulu. Untuk memeriksa adanya serapan latar depan seperti itu dapat dilakukan pengamatan bintang yang telah diketahui magnitudonya (skala terangnya). Seandainya memang ada serapan latar depan, densitas yang ditunjukkan dalam potret gerhana bulan tidaklah murni berasal dari bayangan gerhana bulan. Bila ini terjadi, potret tidak dianalisis (karena pengamatan dikategorikan tidak baik).

Tanya : Tadi dijelaskan pengukuran kuantitatif dan kualitatif. Mohon dijelaskan !

Jawab : Istilah itu mungkin tidak baku. Yang saya maksudkan analisis kualitatif dalam pembahasan ini adalah telaah daerah penyebaran dan ketinggian debu. Analisis ini yang saya tekankan dalam pembahasan ini. Analisis ini tidak mencakup penentuan kedalaman optiknya yang saya sebut bagian dari analisis kuantitatif. Untuk telaah kuantitatif (penentuan kedalaman optik) seperti itu densitas mutlak potret harus ditentukan. Tidak seperti dalam pengertian kimia, analisis kualitatif tidak menelaah unsur apa saja yang terkandung dalam debu itu.

Tanya : Bagaimana dengan kesalahan; prosesing film, umur film, ekstraksi yang berbeda waktu ?

Jawab : Dalam teknik ekstraksi bayangan potret gerhana bulan, bulan acuan, dan 'wedge' densitas baku harus terdapat pada film yang sama, waktu 'exposure' yang sama, dan tentunya mengalami proses pengembangan (development) yang sama. Ini untuk menjamin kesamaan kurva karakteristiknya dalam penentuan densitas bayangan. Yang saya maksudkan ekstraksi bayangan adalah mengeliminasi densitas kawah - kawah bulan

sehingga hasil ekstraksi adalah densitas murni bayangan gerhana (bayangan bumi). Kesalahan akibat gerakan bulan (revolusi bulan) dan librasi optik selama selang waktu gerhana dieliminasi pada waktu pengukuran dengan mikro densitometer.

- - - oo0oo - - -