

TRANSPARANSI ANGKASA SEBELUM DAN SESUDAH LETUSAN GUNUNG API: Kasus angkasa Lembang Th. 1982

Oleh: *Hakim Luthfi, Cecep Nurwendaya, dan Bambang Hidayat* *

SARI

Hasil pengamatan fotoelektrik bintang standar dengan refraktor Bamberg, di Observatorium Bosscha, Lembang, pada periode Juli 1982, memperlihatkan koefisien ekstingsi angkasa lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien ekstingsi yang diperoleh pada bulan Juni–Juli 1983. Koefisien ekstingsi adalah ukuran transparansi angkasa. Makin besar koefisien absorpsi makin rendah transparansi. Berkurangnya transparansi di tahun 1982 diduga karena penambahan partikel stratosfer, yang berasal dari sisa letusan Galunggung.

ABSTRACT

Observations of photoelectric standard stars with the Bamberg refractor of the Bosscha Observatory, in July 1982 revealed abnormally high atmospheric extinction coefficients, as compared to that obtained in July 1983.

It is thought that the increase of extinction in July 1982, was caused by the increase in number of small particles in the stratosphere. The particles were remnants from the eruption of Mount Galunggung (ca. 90 km south east of the Observatory) which erupted weeks earlier.

* Observatorium Bosscha, Institut Teknologi Bandung

1 Pendahuluan

Dalam waktu akhir-akhir ini beberapa pengamat memperlihatkan adanya debu mikro sisa letusan gunung api, yang tersebar di angkasa bumi sampai ke lapisan stratosfer. Debu mikro tersebut dapat mengubah tebal optis dan melemahkan intensitas objek-luar-angkasa sampai beberapa persen. Partikulat mikro ini, berbeda dengan partikulat yang lebih besar diameternya, mengambang di angkasa sampai beberapa saat.

Letusan Gunung Galunggung (25 Juni 1982) menebarkan debu ke angkasa sekelilingnya. Keteradaan debu mikro vulkanik di angkasa Lembang teramati di Observatorium Bosscha selama beberapa minggu setelah letusan.

Tujuan penulisan makalah ini untuk menunjukkan keteradaan debu vulkanik sisa Galunggung di angkasa Lembang sebagai hasil penelaahan transparansi angkasa. Dengan membandingkan data fotometri bintang standar sebelum letusan, dan lama setelah letusan, kami dapat menunjukkan secara kuantitatif keteradaan debu vulkanik di angkasa Lembang. Pengaruh termaksud adalah menurunnya transparansi angkasa akibat kehadiran debu vulkanik, yang menambah peredaman intensitas objek luar angkasa oleh angkasa bumi.

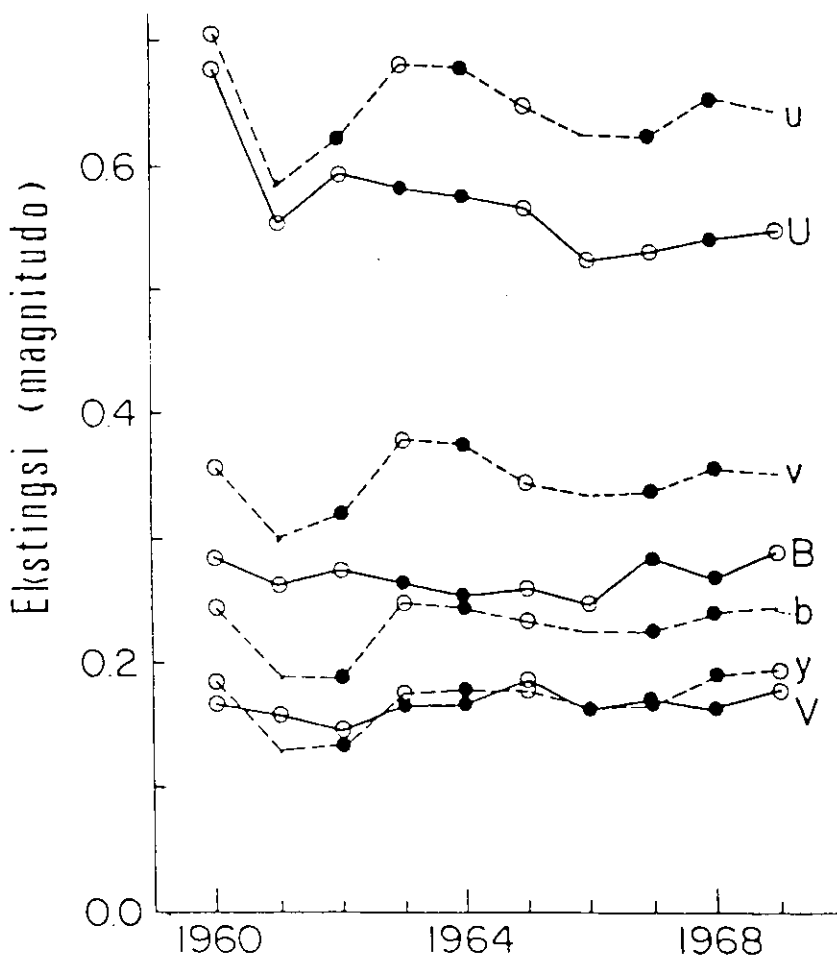
Dalam fotometri astronomis ukuran tranparansi angkasa dinyatakan dalam koefisien ekstingsi; makin tinggi koefisien ekstingsi makin rendah transparansi (lihat bab 3). Perubahan koefisien ekstingsi dari waktu ke waktu dapat terjadi karena banyak hal, namun penyebab utamanya adalah: pengaruh kelainan debu vulkanik hasil letusan gunung api.

2 Pengamatan sebelumnya

Lockwood dan Hartmann (1970) menelaah pengaruh letusan Gunung Agung di Bali (1963) pada transparansi lapisan angkasa di atas Observatorium Kitt Peak (Arizona, USA). Penelaahan dilakukan dengan membandingkan harga koefisien ekstingsi atmosfer di atas observatorium tersebut yang diperoleh dalam periode sebelum letusan Gunung Agung, beberapa saat setelah, dan selang waktu lama sesuai letusan. Hasil penelaahan koefisien ekstingsi angkasa di atas Observatorium Kitt Peak tampak mengalami perubahan selama hampir satu dekade waktu pengamatan (1960 s/d 1969). Penentuan koefisien ekstingsi angkasa dilakukan dengan pengamatan fotometri bintang standar pada daerah $U(\lambda \text{ efektif} = 4650 \text{ \AA})$, $B(4400 \text{ \AA})$, $V(5480 \text{ \AA})$, selama 286 malam dan daerah $u(\lambda = 3500 \text{ \AA})$, $v(4100 \text{ \AA})$, $b(4700 \text{ \AA})$, $y(5500 \text{ \AA})$ selama 258 malam. Hasil pengamatan dalam bentuk koefisien ekstingsi rata-rata tahunan diberikan dalam gambar 1.

Gambar 1 memperlihatkan beberapa pola. Penyebab tingginya harga ekstingsi

tahun 1960 tidak diketahui, sedangkan kenaikan ekstingsi pada tahun 1963 dan beberapa tahun sesudahnya diakibatkan oleh pengaruh debu vulkanik hasil letusan Gunung Agung yang menyebar sampai ke angkasa di atas Observatorium Kitt Peak. Partikel vulkanik tersebut memperkecil transparansi angkasa. Untuk menunjukkan pengaruh letusan Gunung Agung terhadap transparansi angkasa di atas observatorium tersebut dalam selang waktu tertentu, data koefisien ekstingsi dibagi dalam tiga kelompok berdasarkan perioda pengamatan, yakni:



Gambar 1 Koefisien ekstingsi rata-rata tahunan dalam magnitudo untuk angkasa di atas Observatorium Kitt Peak dalam sistem UBV dan u v b y (Lockwood dan Hartmann, 1970).

Titik-titik menyatakan harga rata-rata koefisien ekstingsi yang ditentukan ≤ 10 malam; lingkaran kosong, 11–25 malam; dan lingkaran hitam > 25 malam.

- 1 periode I, sebelum letusan Gunung Agung (1960 – 1962);
- 2 periode II, beberapa saat setelah letusan (1963 – 1965);
- 3 periode III, lama setelah letusan.

Data koefisien ekstingsi rata-rata dalam setiap perioda di atas diberikan dalam tabel 1.

Tabel 1 Koefisien ekstingsi rata-rata di atas Observatorium Kitt Peak, menurut Lockwood dan Hartmann (1970).

Daerah	Perioda I (1960–1962)	Perioda II (1963–1965)	Perioda III (1966–1969)
U	0 ^m ,567	0 ^m ,575	0 ^m ,533
B	,271	,25 ^o	,280
V	,161	,172	,169
u	,626	,669	,638
v	,327	,367	,353
b	,198	,241	,235
y	,138	,179	,179

Tampak pada tabel 1, kecuali pada daerah U, semua koefisien ekstingsi dalam perioda III lebih besar dibandingkan pada perioda I. Tingginya koefisien ekstingsi pada perioda III, dibandingkan dengan perioda I, diduga akibat letusan Gunung Agung yang menebarkan debu vulkanik sampai ke lapisan tinggi angkasa di atas Observatorium Kitt Peak.

Pengaruh letusan Gunung Agung terhadap transparansi angkasa di atas Observatorium McDonald (Texas, USA) juga telah dilaporkan oleh De Vaucouleurs dan Angione (1974) setelah menganalisa data koefisien ekstingsi yang diperoleh dari pengamatan bintang standar selama 280 malam, antara Desember 1960 dan Oktober 1968. Pengamatan bintang standar dilakukan dalam daerah U(3650 Å), B(4400 Å), dan V(5480 Å). Analisa koefisien ekstingsi dimaksudkan untuk menentukan perubahan koefisien ekstingsi akibat letusan gunung api dan oleh variasi musiman. Hasil penelaahan diberikan pada tabel 2 dan gambar 2.

Histogram kv, sebelum dan sesudah letusan Gunung Agung diberikan pada gambar 3, dan variasi musiman koefisien ekstingsi sebelum dan sesudah Maret 1963 diberikan pada gambar 4.

Pada gambar 2 tampak adanya kenaikan ekstingsi yang besar setelah letusan Gunung Agung dan gunung api lain. Kenyataan ini diduga karena adanya debu vulkanik akibat letusan gunung api yang menebar di angkasa Observatorium

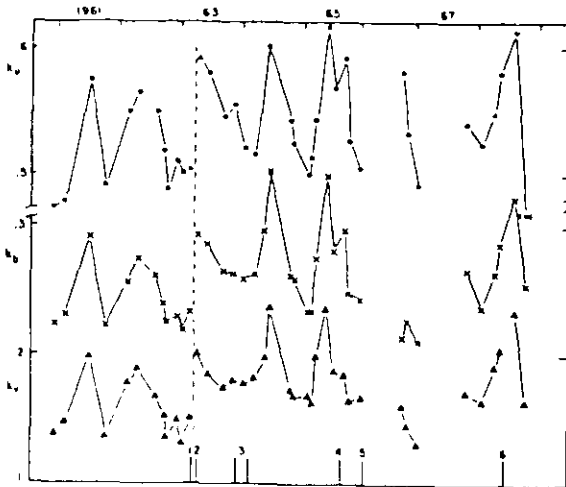
McDonald. Keteradaan partikel tersebut teramati karena transparansi angkasa jadi menurun.

Tabel 2 Koefisien ekstingsi angkasa rata-rata bulanan, Observatorium McDonald, 1964 – 1968, menurut De Vaucouleurs dan Angione (1974).

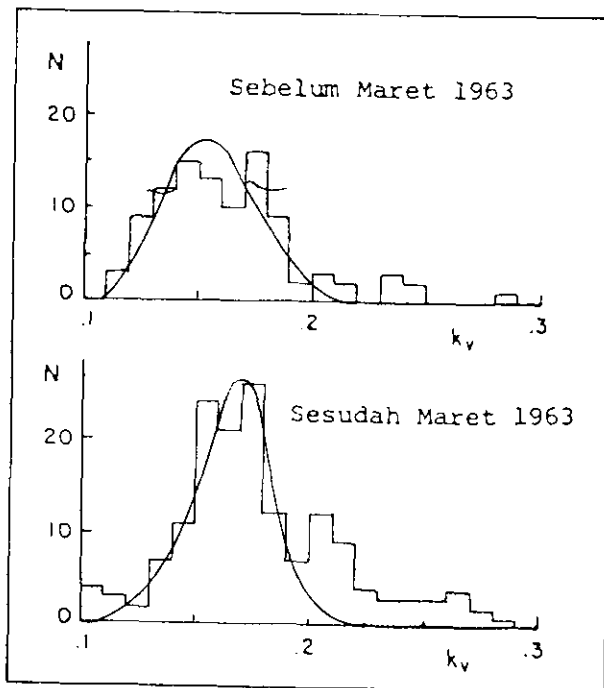
Tahun	Bulan	k_v	k_b	k_u	Malam
1964	5/6	.226	.331	.606	8
1964	10	.172	.261	.542	8
1964	10/11	.168	.260	.524	11
1965	1/2	.168	.233	.499	12
1965	2	.163	.234	.513	9
1965	3	.199	.276	.543	14
1965	5	.235	.339	.616	6
1965	6/7	.187	.280	.568	11
1965	9/10	.184	.297	.592	9
1965	10/11	.165	.248	.526	12
1965–66	12/1	.169	.246	.505	11
1966	10	.161	.214	.581	4
1966	11	.146	.227	.533	4
1966–67	12/3	.130	.211	.492	3
1967	10/11	.171	.266	.540	7
1968	1/2	.163	.231	.524	6
1968	4	.191	.264	.549	5
1968	5	.204	.287	.580	6
1968	8	.233	.322	.613	2
1968	10	.164	.255	.470	9

Pada gambar 3 koefisien ekstingsi yang diperoleh dari pengamatan sesudah letusan Gunung Agung (Maret 1963) tampak terkonsentrasi pada harga k_v yang lebih besar dibandingkan hasil yang diperoleh sebelum letusan.

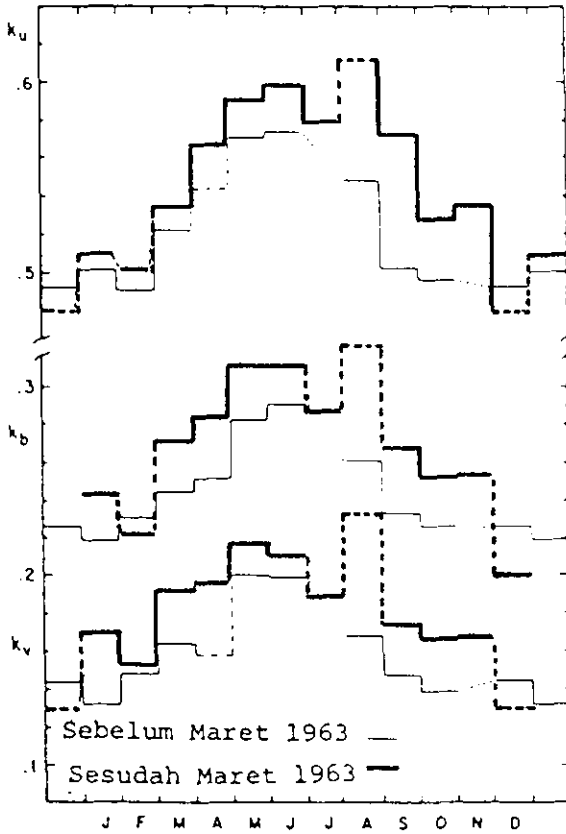
Di samping menebarkan aerosol dan berbagai macam gas termasuk belerang sampai ke lapisan stratosfer, letusan Gunung Agung, seperti yang dilaporkan Hansen dkk, (1978), juga mengakibatkan perubahan kandungan gas di angkasa seperti: CO_2 , H_2O , Ozon, Freon dan lain-lain. Perubahan kandungan gas tersebut dapat menyebabkan perubahan iklim global, yakni kenaikan temperatur di stratosfer dan menurunkan temperatur di troposfer.



Gambar 2 Koefisien ekstingsi rata-rata bulanan di Observatorium McDonald, menurut De Vaucouleurs dan Angione (1974). Letusan besar gunung api diberi tanda: (1) Agung, Maret 1963, (2) Trident, April 1963, (3) Surtsey, Nopember 1963, (4) Taal, September 1965, (5) Rodoubt, Januari 1966, (6) Fernadina, Juni 1968.



Gambar 3 Histogram k_v , (I) sebelum dan (II) setelah letusan Gunung Agung, menurut De Vaucouleurs dan Angione (1974).

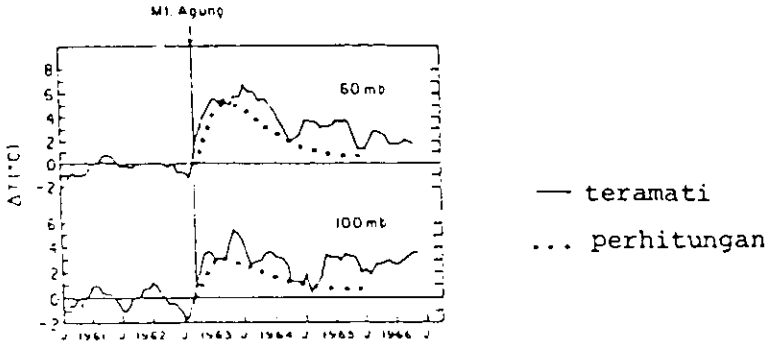


Gambar 4 Variasi musiman koefisien ekstingsi sebelum dan sesudah Maret 1963, menurut De Vaucouleurs dan Angione (1974).

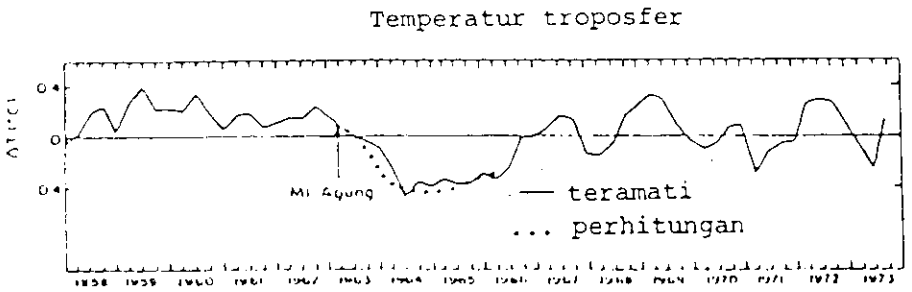
Telaah perubahan temperatur di angkasa bumi akibat letusan Gunung Agung dilakukan di pelabuhan Hedland, Australia. Gambar 5 memperlihatkan perubahan temperatur pada stratosfer di atas Australia akibat letusan Gunung Agung, dan gambar 6 memperlihatkan perubahan temperatur pada troposfer.

Pengaruh adanya aerosol yang menyebar ke angkasa di atas Observatorium Cerro Tololo (Chili, Amerika Selatan), setelah letusan Gunung Agung, teramati oleh Gutierrez—Moreno, dkk. (1982). Dengan mempelajari koefisien ekstingsi aerosol yang diperoleh dari pengamatan bintang standar, antara tahun 1964 sampai 1980, mereka menunjukkan keteradaan aerosol tambahan, hasil letusan Gunung Agung, yang menebar sampai ke angkasa di atas observatorium. Hasil analisa Moreno dkk. berupa variasi koefisien ekstingsi aerosol (A_h) angkasa di atas Observatorium Cerro Tololo terhadap waktu diperlihatkan pada gambar 7.

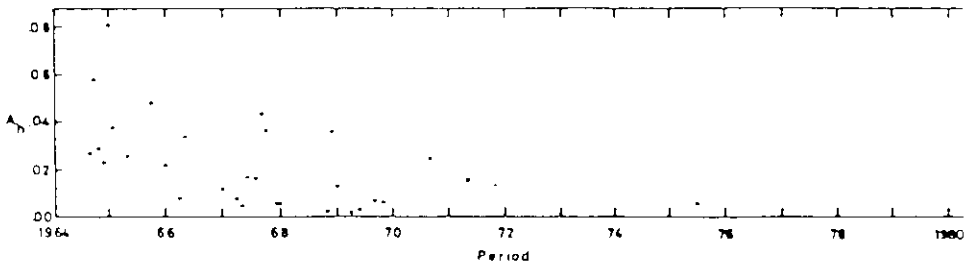
Harga A_h yang terlihat antara 0.06–0.08, antara tahun 1964 sampai 1966 lebih



Gambar 5 Perubahan temperatur pada stratofosfer angkasa di atas Australia, akibat letusan Gunung Agung, menurut Hansen, Wang, dan Lacis (1978).



Gambar 6 Perubahan temperatur pada troposfer di atas Australia (Hansen, Wang, dan Lacis, 1978). Tampak adanya penurunan temperatur akibat letusan Gunung Agung.

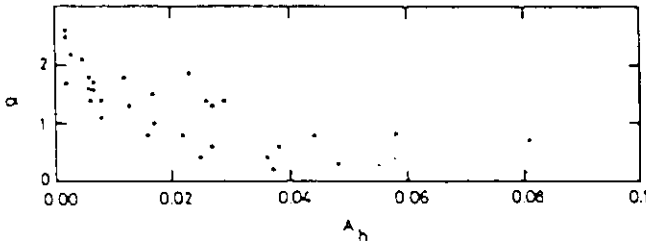


Gambar 7 Variasi koefisien ekstingsi aerosol (A_h), angkasa di atas Observatorium Cerro Tololo terhadap waktu (Gutierrez-Moreno, dkk., 1982).

besar dari harga yang diharapkan berdasarkan pengalaman di Observatorium Cerro Tololo. Besarnya A_h pada selang waktu tersebut menunjukkan adanya aerosol hasil letusan Gunung Agung. Sesudah tahun 1966 harga A_h umumnya

mengecil karena aerosol vulkanik tersebut sudah menebar dan jatuh ke permukaan bumi.

Hubungan antara A_h , dengan koefisien efisiensi hamburan aerosol (α) diberikan pada gambar 8.

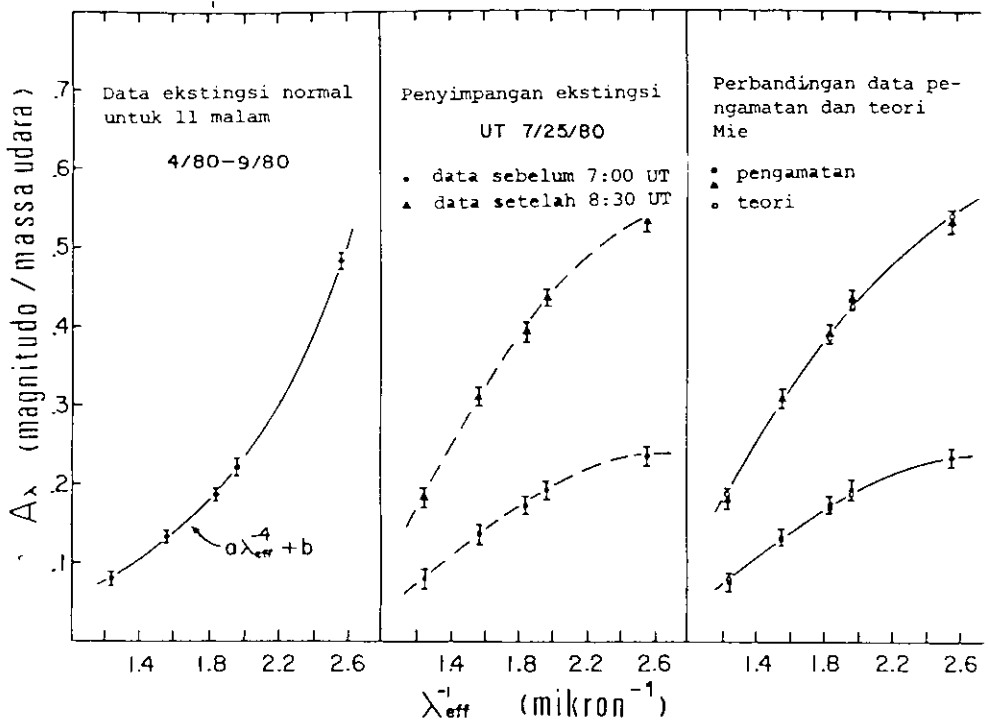


Gambar 8 Hubungan antara α dengan A_h , menurut Moreno, Moreno dan Cortes (1982).

Arti fisis yang diinterpretasikan dari gambar 8 yaitu : pada harga α kecil, koefisien ekstingsi aerosol besar. Oleh karena koefisien ekstingsi sebanding dengan perkalian α dengan penampang lintang partikel, maka pada harga α kecil, ukuran partikel besar.

Letusan Gunung Helens (23 Juli 1980) menghasilkan debu renik yang menghujani daerah luas sekali di belahan bumi utara. Cardelli dan Ackerman (1983) mengamati pengaruh debu vulkanik akibat letusan gunung tersebut 48 jam setelah letusan terhadap transparansi angkasa di atas Observatorium Manastash Ridge (Washington, USA). Observatorium tersebut berjarak 160 km pada arah tenggara Gunung Santa Helens. Pengamatan bintang standar untuk memperoleh koefisien ekstingsi dilakukan dalam sistem fotometri Washington, yakni pada daerah C(3910 Å), M(5085 Å), T_1 (6330 Å), dan T_2 (8050 Å). Analisa data pengamatan bersumber pada penggunaan teori Mie tentang penentuan dimensi rata-rata partikel dan densitas kolom partikel dalam lapisan penyerap cahaya. Ekstingsi terutama ditimbulkan oleh suspensi debu pada ketinggian 1500 m sampai 3000 m yang bergerak lambat (15 km/jam) melewati pengamat, 48 jam setelah letusan berlangsung. Radius rata-rata partikel yang menyebabkan ekstingsi adalah 0,18 mikron. Ukuran partikel tersebut lebih kecil dari dimensi umum asosiasi debu vulkanik dan kira-kira seorde dengan polutan aerosol (\approx 0,12 mikron). Hal tersebut menyarankan bahwa aerosol vulkanik dapat terbentuk dari perubahan wujud gas-gas belerang. Pada gambar 9 diperlihatkan data ekstingsi pada saat angkasa normal (kiri); penyimpangan koefisien ekstingsi akibat kehadiran debu vulkanik di angkasa Observatorium Manastash Ridge pada tanggal 25 Juli 1980 (tengah). Pada ujung kanan diperlihatkan perbandingan ekstingsi yang diperoleh dari observasi dan berdasarkan teori Mie.

Peneliti lain, Livingstone dan Lockwood (1982), melaporkan bahwa pada tang-



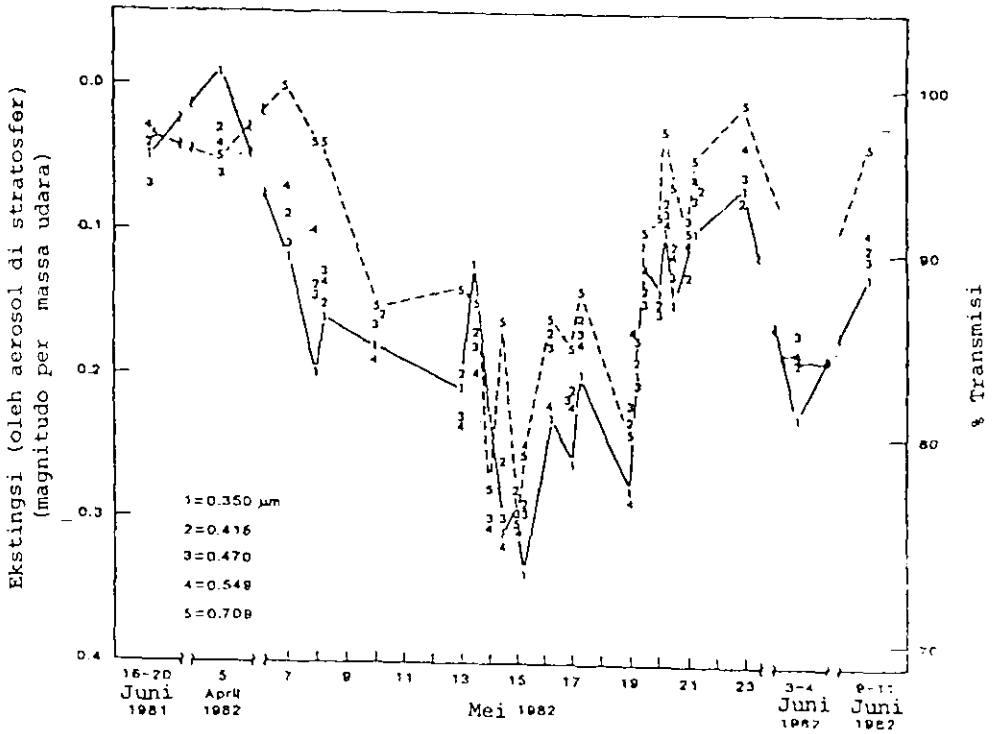
Gambar 9 Data ekstingsi keadaan angkasa di atas Observatorium Manastash Ridge normal (paling kiri), penyimpangan ekstingsi karena debu vulkanik (tengah), dan perbandingan data pengamatan dan teoritis menurut Cardelli dan Ackerman (1983).

gal 15 Mei 1982 di Tucson (Arizona, USA) ada kenaikan ekstingsi lebih dari 40% atau sekitar 0,4 dalam tebal optis. Ekstingsi diamati pada daerah tampak. Pada hari yang sama di Flagstaff, 325 km arah utara Tucson, terjadi pertambahan ekstingsi sebesar 25%. Penyebab kenaikan ekstingsi adalah awan vulkanik hasil letusan Gunung El Chichon di Chiapas (Mexico, USA) yang terjadi pada tanggal 28 Maret s/d 4 April 1982. Variasi ekstingsi oleh aerosol di stratosfer terhadap waktu, di Flagstaff, diberikan pada gambar 10.

Pada gambar 10 tampak harga ekstingsi terbesar oleh aerosol pada tanggal 15 Mei 1982. Keadaan ini menunjukkan bahwa letusan El Chichon menebarkan debu vulkanik termasuk aerosol sampai ke lapisan angkasa di atas Flagstaff dan debu tersebut menurunkan transparansi angkasa.

Hasil tersebut memperlihatkan dengan jelas bahwa debu relik letusan gunung api dapat bertahan lama di udara. Oleh karena hal itu akan memberi dampak meteorologis, dan tentunya iklim, maka pengamatan kecerahan angkasa sete-

lah letusan gunung api masih akan tetap merupakan arena penyelidikan yang menarik.

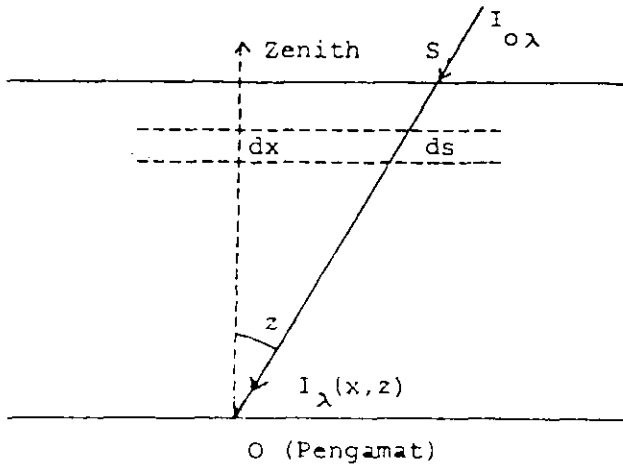


Gambar 10 Variasi ekstingsi oleh aerosol di stratosfer terhadap waktu di Flagstaff (Livingstone dan Lockwood, 1982).

3 Teori

Dalam setiap pengukuran fotometri cermat selalu ditentukan koefisien ekstingsi harian angkasa. Koefisien ekstingsi angkasa merupakan ukuran peredaman oleh angkasa bumi. Mekanisme peredaman objek luar angkasa oleh angkasa bumi diberikan dalam gambar 11, dengan mengandaikan angkasa bumi terdiri dari lapisan-lapisan yang plan paralel.

Keterangan gambar 11 : $I_{0\lambda}$ = Intensitas monokromatik bintang di luar angkasa; I_{λ} = Intensitas monokromatik bintang teramati di permukaan bumi; z = Jarak zenit dalam derajat.



Gambar 11 Peredaman intensitas benda langit oleh angkasa bumi yang plan paralel.

Jika $\sigma_{\lambda}(x)$ = koefisien serapan untuk suatu tebal geometris angkasa x , maka intensitas yang diterima pengamat adalah :

$$I_{\lambda}(z) = I_{0\lambda} e^{-\sec z \int_s^0 \sigma_{\lambda}(x) dx} \quad (1)$$

Persamaan (1) dapat juga ditulis dalam bentuk

$$I_{\lambda}(Z) = I_{0\lambda} e^{-\tau_{\lambda} \sec z} \quad (2)$$

di sini $\tau_{\lambda} = \int_s^0 \sigma_{\lambda}(x) dx$, yakni tebal optis.

Besaran intensitas benda langit dalam astronomi dinyatakan dalam skala magnitudo; besaran ini bergantung kepada daerah panjang gelombang yang diamati, dan memenuhi persamaan

$$m_{\lambda} = -2,5 \log I_{\lambda} + C \quad (3)$$

C = konstanta

Magnitudo bintang di luar angkasa, yakni $m_{0\lambda}$, memenuhi persamaan

$$m_{\lambda} - m_{0\lambda} = 2,5 \log \frac{I_{0\lambda}}{I_{\lambda}} \quad (4)$$

Substitusi persamaan (2) ke (4), diperoleh

$$m_{\lambda} - m_{0\lambda} = 1,086 \tau_{\lambda} \sec z \quad (5)$$

Koefisien ekstingsi angkasa (k_{λ}) memenuhi persamaan

$$m_\lambda - m_{0\lambda} = k_\lambda F(z) \tag{6}$$

dengan $F(z)$ = massa udara, merupakan fungsi dari jarak zenit. Untuk $z < 60^\circ$, $F(z) \approx \sec z$, sehingga persamaan (6) dapat ditulis dalam bentuk

$$m_\lambda - m_{0\lambda} = k_\lambda \sec z \tag{7}$$

$$\text{di sini } \sec z = (\sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos\phi \cos HA)^{-1} \tag{8}$$

δ = deklinasi bintang

ϕ = lintang pengamat

HA = sudut jam bintang

Dari persamaan (5) dan (7) diperoleh hubungan antara koefisien ekstingsi dan tebal optis yakni

$$k_\lambda = 1,086 \tau_\lambda \tag{9}$$

Jika $z > 60^\circ$, $F(z)$ ditentukan dari persamaan Bemporad

$$F(z) = \sec z - 0,001\ 816\ 7 (\sec z - 1) - 0,002\ 873 (\sec z - 1)^2 - 0,000\ 808\ 3 (\sec z - 1)^3 \tag{10}$$

Ada tiga sumber utama yang berperan dalam menentukan besar ekstingsi oleh angkasa bumi yakni hamburan aerosol oleh partikulat, E_a ; hamburan Rayleigh oleh partikel renik berdimensi seorde panjang gelombang (partikel Rayleigh), E_R ; dan absorpsi molekuler, terutama oleh ozon (ketinggian 10 – 25 km), E_{0z} .

Ekstingsi total merupakan fungsi λ dan ketinggian dari permukaan bumi (h) dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan

$$E(\lambda, h) = E_a(\lambda, h) + E_R(\lambda, h) + E_{0z}(h) \tag{11}$$

dapat juga ditulis dalam bentuk

$$Eh(\lambda) = a\lambda^{-\alpha} + b B^2 \lambda^{-4} + c k_{0z}(z) \tag{12}$$

a = koefisien ekstingsi aerosol

b = koefisien hamburan Rayleigh

c = koefisien absorpsi ozon

B^2 = indeks refraksi

α = besaran yang tergantung dari dimensi partikulat.

Koefisien ekstingsi angkasa adalah ukuran transparansi angkasa; makin besar koefisien ekstingsi, makin rendah transparansi. Transparansi rendah berarti persentasi intensitas yang diserap oleh angkasa bumi terhadap intensitas datang berharga besar; begitu juga sebaliknya. Di bawah ini diberikan hubungan antara τ_λ , k_λ dari persentase transmisi yang ditentukan dari persamaan (2) dan (9).

Tabel 3 Hubungan antara τ_λ , k_λ , dan % transmisi

$\frac{I}{I_0}$	% transmisi	τ_λ	k_λ
0,2	20	1,609	1,748
0,4	40	0,916	0,995
0,6	60	0,511	0,555
0,8	80	0,223	0,242
1,0	100	0	0

4 Pengamatan

Telaah keterubahan koefisien ekstingsi dilakukan dengan mengamati bintang standar secara fotometri fotoelektrik, dalam berbagai waktu, di Observatorium Bosscha ($6^\circ 49'5$ LS; $107^\circ 37'0$ BT) yang berjarak 70 km arah barat Gunung Galunggung. Instrumen yang dipakai dalam fotometri bintang standar adalah fotometri fotoelektrik yang dipautkan dengan teropong Bamberg (37 cm). Informasi tentang fotometri fotoelektrik telah diuraikan oleh Partoharsodjo (1979) dan Nurwendaya (1982).

Fotometri dengan detektor fotomultiplier IP-21 dilengkapi dengan *filter pass-band* biru (λ efektif = 4250 Å) dan kuning (5450 Å); *amplifier* penguat sinyal yang ditimbulkan oleh efek fotolistrik pada fotomultiplier; *recording meter* yang terdiri dari *digital counter* dan *recorder* Hitachi, yang dipergunakan untuk mencatat foton masukan dari *fotomultiplier*.

Fotometri sebuah bintang standar untuk memperoleh koefisien ekstingsi, dilakukan dengan mengukur intensitas bintang yang terekam oleh fotometer dalam berbagai sudut jam dengan menggunakan suatu filter.

Koefisien ekstingsi dapat diperoleh dari reduksi pengamatan intensitas bintang standar. Intensitas tersebut dibaca dari *digital counter* atau *recorder*. Intensitas teramati diubah ke skala magnitudo dengan menggunakan persamaan (3). Harga $\sec z$ masing-masing saat perekaman intensitas dihitung dengan menggunakan persamaan (8). Berdasarkan persamaan (7), $m_\lambda = m_{0\lambda} + k_\lambda \sec z$, plot antara m_λ vs $\sec z$ memberikan koefisien ekstingsi k_λ dan $m_{0\lambda}$. Kemiringan kurva (tangen arah kurva) merupakan k_λ , dan harga $m_{0\lambda}$ pada $\sec z = 0$ merupakan $m_{0\lambda}$. Koefisien ekstingsi yang diperoleh pada pengamatan bintang dalam daerah kuning adalah k_V dan dalam daerah biru k_B .

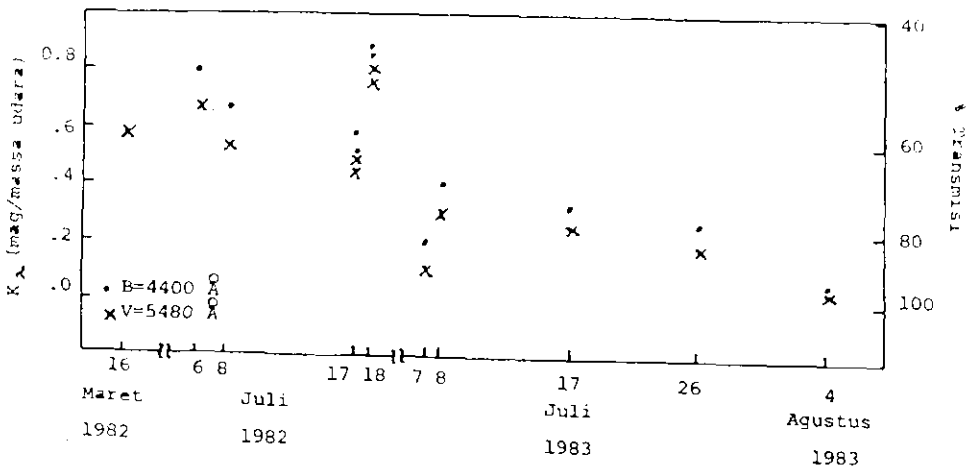
Pengaruh letusan Gunung Galunggung terhadap transparansi angkasa Lembang teramati oleh Hidayat (26 Juni 1982), satu hari setelah letusan, ketika melihat

fenomena pemerahan langit senja hari di bagian barat. Fenomena ini berkaitan dengan adanya partikel di angkasa. Pada tanggal 6, 8, 17, 18 Juli 1982 pengamatan fotometri bintang standar dilakukan karena pada tanggal-tanggal tersebut langit di atas Lembang tampak bersih. Pengamatan selanjutnya terhenti karena letusan Gunung Galunggung. Setelah tanggal 18 Juli 1982 pengamatan tetap terhenti, karena dari bulan Juli sampai dengan Oktober 1982 langit selalu keruh dan lingkungan berdebu. Setelah bulan Oktober pengamatan tidak dapat dilakukan karena musim hujan di Lembang mulai. Baru pada tanggal 7 Juli 1983 pengamatan dapat dilakukan lagi. Selama periode bulan Juli 1983 dilakukan 4 malam pengamatan yakni tanggal 7, 8, 17, dan 26.

5 Hasil dan kesimpulan

Pengamatan Hidayat (1982) tentang fenomena angkasa di atas Lembang, satu hari setelah Gunung Galunggung meletus, menunjukkan bahwa angkasa bumi pada senja dan pagi hari tampak jauh lebih merah dibandingkan hari-hari biasa. Fenomena pemerahan ini diduga disebabkan oleh penambahan partikel vulkanik di angkasa hasil letusan Gunung Galunggung. Partikel vulkanik tersebut menghamburkan cahaya matahari secara selektif, lebih banyak cahaya biru yang dihamburkan dibandingkan cahaya merah.

Data koefisien ekstingsi angkasa yang diperoleh dari pengamatan fotometri bintang standar, dalam berbagai waktu pengamatan, diberikan pada gambar 12.



Catatan : Lembang ($6^{\circ}49',5$ LS; $107^{\circ}37',0$ BT), Jarak Lembang – Galunggung = 70 km (Tenggara)

Gambar 12 Variasi koefisien ekstingsi angkasa terhadap waktu.

Koefisien ekstingsi angkasa yang diperoleh dari pengamatan bintang, beberapa minggu setelah letusan Gunung Galunggung memperlihatkan harga yang cukup

tinggi. Selama periode bulan Juli 1982 (4 malam pengamatan) diperoleh harga rata-rata koefisien ekstingsi pada daerah biru, $k_B = 0,72$; dan di daerah kuning, $k_V = 0,67$. Harga ini tiga kali lebih besar dibandingkan dengan pengalaman di Lembang. Walaupun fotometri dilakukan pada saat angkasa Lembang tampak sudah 'bebas' dari debu Galunggung, namun diperoleh koefisien ekstingsi yang tinggi. Keadaan ini mencerminkan rendahnya transparansi angkasa Lembang.

Transparansi angkasa bumi dapat menurun karena adanya : kelainan meteorologis; polusi antropogenik, yakni polusi hasil aktivitas manusia; dan debu mikro vulkanik sisa letusan gunung api di angkasa. Oleh karena tidak ada kelainan meteorologis pada saat itu (komunikasi pribadi dengan Direktorat Meteorologi dan Geofisika), dan tidak ada aktivitas manusia di sekitar Lembang yang mengakibatkan polusi antropogenik (seperti pembakaran hutan, pengaruh kapur dll.), maka kami menduga bahwa pengurangan transparansi angkasa Lembang disebabkan oleh partikel mikro vulkanik sisa letusan Gunung Galunggung yang masih mengambang di lapisan tinggi angkasa. Partikel mikro tersebut meredam cahaya objek-luar-angkasa.

Untuk menghindari bias akibat perubahan koefisien ekstingsi musiman kami bandingkan k_B dan k_V tahun 1982, dengan harga yang diperoleh pada tahun 1983. Dari gambar 12 tampak bahwa koefisien ekstingsi rata-rata bulan Juli 1982 berharga sekitar 3 kali lebih tinggi dibandingkan dengan harga pada bulan yang sama tahun 1983. Rendahnya koefisien pada bulan Juli 1983 dibandingkan 1982 memperkuat dugaan bahwa besarnya koefisien ekstingsi yang diperoleh pada bulan Juli 1982 diakibatkan oleh penambahan partikel, yakni debu renik yang masih melayang di lapisan tinggi angkasa Lembang, sampai beberapa minggu setelah letusan Gunung Galunggung. Pada bulan Juli 1983 debu tersebut telah banyak berkurang akibat hujan, tersebar oleh angin, atau jatuh ke permukaan bumi.

Karena pengamatan fotometri bintang hanya dilakukan dalam daerah biru dan kuning saja, data kami belum memungkinkan dengan tepat menentukan berapa ukuran diameter partikel tersebut. Tetapi dari hukum serapan Rayleigh (koefisien hamburan sebanding dengan λ^{-4}), kami menduga partikel tersebut adalah 'partikel Rayleigh', yakni partikel berdiameter seorde panjang gelombang.

Pengamatan jangka panjang fotometrik di suatu observatorium, seperti yang telah diperlihatkan oleh Hansen dkk. (1977), akan bermanfaat untuk mengetahui perubahan kualitas angkasa di atas observatorium tersebut. Sebagai *post-script* dapat ditambahkan bahwa fotometer kami sangat sederhana, sehingga memungkinkan dibuat dalam jumlah besar. Jika fotometer seperti ini diletakkan di beberapa kota besar, maka orang dapat memonitor angkasa *in situ*. Pemonitoran semacam ini diperlukan untuk mengetahui keubahan tebal optis

(atau transmisivitas) angkasa dan mengetahui perubahan kualitas angkasa tempat tersebut.

6 Ucapan terima kasih

Pengamatan ini dilakukan dalam rangka pengamatan 'Eclipsing Variable-Star Programs'. Para penulis berterima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi yang telah mengalokasi dana kepada ITB untuk proyek tersebut.

7 Kepustakaan

- 1 Cardelli, J. A. and Ackermann, T. P.; 1983: Analysis of Mount St. Helens Ash from Optical Photoelectric Photometry, *Publ. Astron. Soc. of the Pacific*, 95, 451.
- 2 de Vaucouleurs, G. and Angione, R. J.; 1974: Atmospheric Extinction at McDonald Observatory (1960--1968), *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 86, 104.
- 3 Gutierrez-Morino, A., Moreno H. and Cortes, G.; 1982: A Study of Atmospheric Extinction at Cerro Tololo Observatory, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 94, 722.
- 4 Hansen, J. A., Wang W-C and Lacia A. A.; 1978: Mount Agung Eruption Provides Test of a Global Climatic Perturbation, *Science*, 199, 1065.
- 5 Hidayat, B.; 1982 Kompas 30 Juni.
- 6 Livingstone, W. and Lockwood, G. W.; 1983: Volcanic Ash Over Arizona in the Spring of 1982: Astronomical Observations, *Science*, 220, 300.
- 7 Lockwood, G. W. and Hartmann, W. K.; 1970: Visibility Variations at Tucson and Kitt Peak National Observatory, *Publ. Astron. Soc. Pacific*, 82, 1346.
- 8 Nurwendaya, Cecep; 1982: Laporan Interim, Observatorium Bosscha, ITB.
- 9 Partoharsodjo, Hartono; 1979: Interim Report, Tokyo Astron. Observatory.
- 10 Sudradjat, Adjat; 1982: Komunikasi Pribadi (surat 1 Juli 1982).