

Dengan Penyemaian Awan Orografik, Curah Hujan di Daerah Bawah Angin Dapat Bertambah

Oleh : U. Haryanto, E. Santoso & Y.I. Tauhid.

INTISARI.

Percobaan Modifikasi cuaca dengan penyemaian awan orografik untuk menambah curah hujan telah dilaksanakan pada bulan Juni—Juli 1985. Curah hujan harian yang turun di daerah sasaran di- evaluasi dengan analisis statistika dan fisis.

Hasil analisis statistika menunjukkan bahwa selama periode penyemaian awan, telah terjadi peningkatan curah hujan lebih dari curah hujan normal (rata-rata) yang biasanya terjadi di daerah sasaran (1970—1980).

Evaluasi fisis berupa analisis data cuaca dan gambar (citra) awan memberi keyakinan bahwa peningkatan curah hujan di daerah sasaran hanya sebagai akibat penyemaian awan, bukan kebetulan.

*1) Rancangan percobaan dengan teknik/metoda ini dapat dilihat pada majalah BPPT No. 11/1986.

PENDAHULUAN.

Untuk mengetahui apakah curah hujan yang turun selama kegiatan modifikasi cuaca merupakan hujan alam biasa atau hujan yang turun sebagai akibat campur tangan manusia pada proses alam, adalah tidak mudah. Hal ini terutama disebabkan hujan alam mempunyai variasi curahan yang besar. Kita mengenal adanya siklus basah atau kering yang dapat terjadi setiap 5, 10 atau 100 tahunan. Sehubungan dengan itu maka teknik evaluasi yang diterapkan untuk evaluasi hasil hujan akibat modifikasi cuaca di antaranya adalah dengan membandingkan curah hujan selama adanya kegiatan modifikasi cuaca dengan data curah hujan masa lalu yang cukup panjang. Kenyataannya, cara ini tidak selalu dapat diterapkan mengingat bahwa stasiun pencatatan curah hujan tidak merata tersebar dan adanya perubahan lingkungan (pembukaan hutan, pembangunan kota dan lain-lain) juga menyebabkan perubahan curah hujan. ***)

Penggunaan data masa lalu antara 10 – 15 tahun dipandang cukup untuk membuat perbandingan tersebut. Cara ini disebut evaluasi statistika (statistical evaluation). Sering kali keberhasilan dari kegiatan modifikasi cuaca dilihat melalui peningkatan curah hujan yang turun ke tanah.

Pada kenyataannya sering kali dialami bahwa campur tangan manusia pada proses turunnya hujan (modifikasi cuaca) dapat berhasil menjatuhkan presipitasi (hujan) dari dasar awan, tapi keadaan lingkungan yang panas misalnya, dapat menyebabkan butir-butir presipitasi yang turun sudah habis menguap sebelum sampai di tanah dan tidak akan terukur oleh pencatat hujan. Melalui observasi langsung ke dalam awan atau dengan melakukan pengukuran-pengukuran di dalam awan, jatuhnya presipitasi ini masih dapat teramati. Evaluasi dengan analisis data yang didapat melalui pengukuran-pengukuran ke dalam awan, analisis gambar awan dan lain-lain disebut evaluasi fisis (physical evaluation).

Di negara maju seperti Amerika, Australia, Kanada dan lain-lain, kedua cara evaluasi ini dilaksanakan serempak sehingga perhitungan hasil tambahan air akibat peningkatan curah hujan diyakini secara pasti sebagai akibat modifikasi cuaca. Itu bukannya berarti bahwa evaluasi yang hanya dilakukan dengan analisis statistika tidak mampu untuk memisahkan kedua macam hujan tersebut. Evaluasi statistika dengan rancangan (design) yang baik dan acak (random) diakui dapat dipakai untuk mengetahui dan menghitung jumlah air yang diakibatkan modifikasi cuaca, seperti yang dilakukan oleh Thailand dan India.

METODE.

Metode atau cara evaluasi statistik yang dipakai yaitu :

***) Komunikasi pribadi dengan Drs. Chandra M. Mangnan MS.

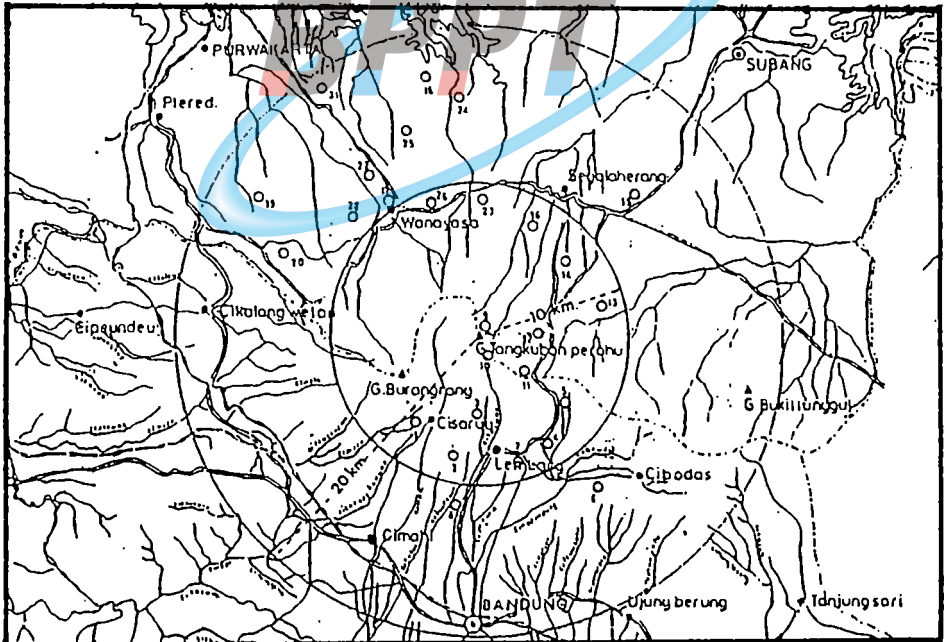
a. Metode sasaran saja (target-only).

Evaluasi dengan metode ini pada prinsipnya adalah melihat perbedaan curah hujan di daerah sasaran pada saat kegiatan modifikasi cuaca Juni—Juli 1985 dengan curah hujan di daerah sasaran pada masa lalu (1970—1980).

b. Metode sasaran-pembanding (target-control).

Pada evaluasi dengan metode ini dilihat perbedaan curah hujan di daerah sasaran pada saat ada kegiatan modifikasi cuaca (penyemaian awan), dengan curah hujan di daerah sasaran apabila tidak ada kegiatan ini. Curah hujan di daerah sasaran apabila tidak ada kegiatan diduga berdasarkan persamaan regresi daerah sasaran atas daerah pembandingnya. Sebagai daerah pembanding, diambil daerah Gunung Gede di Kabupaten Cianjur.

Evaluasi fisis dilaksanakan dengan menganalisis data pengamatan cuaca yang diambil melalui sounding serta analisis citra awan yang diambil oleh satelit cuaca. Citra ini dimonitor dan diproses di stasiun bumi LAPAN di Pekayon.



Gambar 1. Peta daerah sasaran dan posisi penakar hujan.

PEMBAHASAN.

Angin yang bertiup di dekat permukaan tanah merupakan sarana transportasi bagi butiran partikel pengaktif untuk dapat masuk ke dalam awan, selanjutnya dalam prosesnya menjadi hujan awan tersebut bergerak mengikuti arah angin. Arah angin pada bulan Juni dan Juli sesuai dengan arah angin musiman saat itu yaitu angin timuran, dengan arah dari timur sampai selatan menuju ke arah barat sampai utara. Sehubungan dengan itu maka data curah hujan diambil dari penakar hujan yang berada di daerah barat laut, utara sampai timur laut Gunung Tangkuban Perahu (lihat gambar 1).

Stasiun penakar hujan tersebut pada radius 20 km adalah :

No. Stasiun	N a m a	No. Stasiun	N a m a
13	Curugrendeng	21	Taringgul Tonggoh
14	Palasari	22	Wanasari
15	Jalan Cagak	23	Pusaka Mulya
16	Cicadas	24	Ciracas
17	Wanayasa	25	Cibeber
18	Kiarapedes	26	Babakan
19	Nanggerang	27	Raharja
20	Sumurugol		

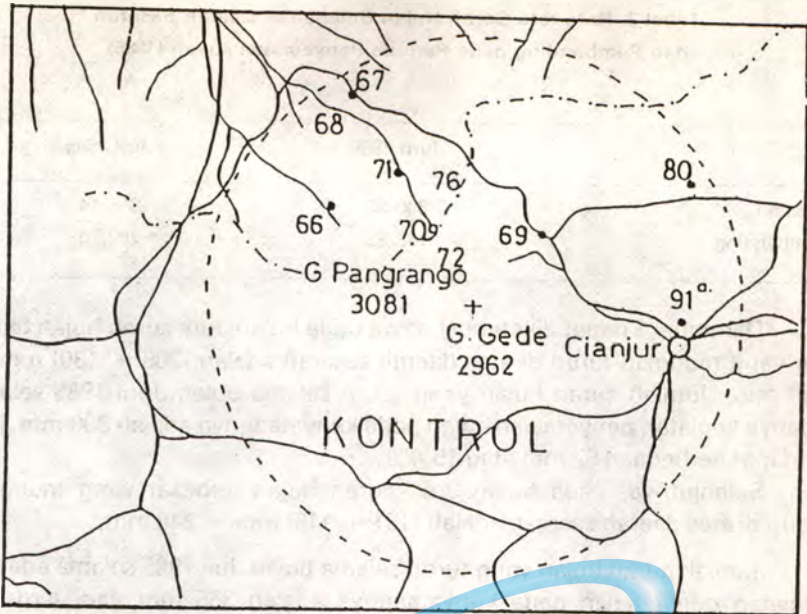
Dari analisis regresi diketahui bahwa daerah pembanding di sekitar Gunung Gede (60 km sebelah barat Gunung Tangkuban Perahu) mempunyai embutan curah hujan yang seirama dengan daerah sasaran sehingga dapat dipakai sebagai daerah pembanding. Hubungan curah hujan kedua daerah tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan regresi :

$$Y = 9.03 + 1.35 X \quad (r = 0.90) \text{ untuk bulan Juni dan}$$

$$Y = -27.37 + 1.23 X \quad (r = 0.92) \text{ untuk bulan Juli,}$$

dengan Y adalah curah hujan dugaan di daerah sasaran dan X adalah curah hujan di daerah pembanding.

Lokasi stasiun pengukur hujan di daerah pembanding ditampilkan pada gambar 2, stasiun tersebut adalah stasiun pengukur hujan yang dipasang oleh Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) yaitu : Stasiun No. 70, 70a (J), 76 (J), 91a, 68 (J) dan 67 (J).



Gambar 2. Lokasi stasiun pengukur hujan di daerah pembeding.

Rata-rata hujan bulanan di daerah sasaran maupun di daerah pembeding ditampilkan pada tabel di bawah ini :

Tabel 1. Curah Hujan di Daerah Sasaran dan Pembeding serta Simpangan Bakunya (1979 – 1980).

	Sasaran Juni – Juli		Pembeding Juni – Juli	
Curah hujan (mm)	208.1	131.2	150.17	128.9
Simpangan baku (SD)	130.28	115.0	96.43	80.87

Tabel 2. Rata-rata Curah Hujan Bulanan di Daerah Sasaran dan Pembanding pada Periode Penyemaian Awan (1985)

	Junji 1985	Juli 1985
Sasaran	390.60	355.14
Pembanding	188.83	207.20

Dari tabel 1 dapat diketahui bahwa pada bulan Juni curah hujan terbesar yang mungkin turun di atas daerah sasaran adalah $(208 + 130) \text{ mm} = 338 \text{ mm}$. Jumlah curah hujan yang turun selama bulan Juni 1985 selama adanya kegiatan penyemaian awan pada kenyataannya adalah 390 mm, jadi terdapat perbedaan 52 mm atau 15.4%.

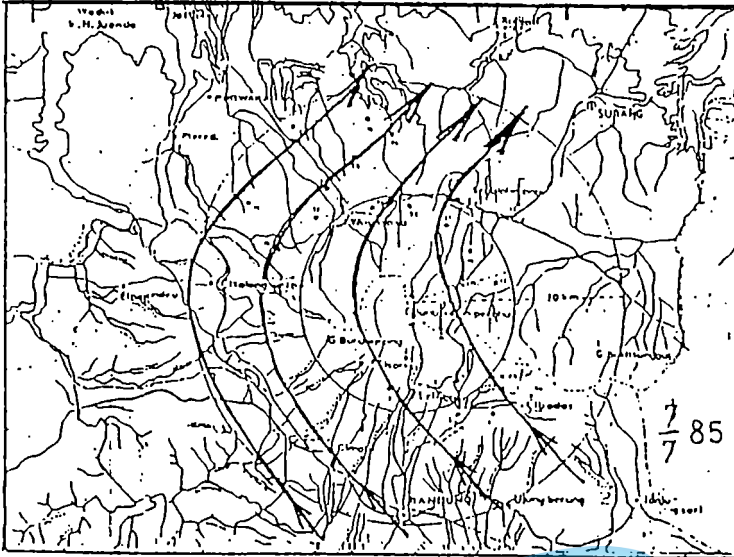
Selanjutnya, pada bulan Juli, curah hujan terbesar yang mungkin turun di atas daerah sasaran adalah $(131 + 115) \text{ mm} = 246 \text{ mm}$.

Jumlah curah hujan yang turun selama bulan Juli 1985 selama adanya kegiatan penyemaian pada kenyataannya adalah 355 mm, jadi terdapat perbedaan 109 mm atau 44%. Perbedaan curah hujan selama adanya kegiatan penyemaian awan bulan Juni — Juli 1985 adalah 29.7% atau 161 mm (target-only). Pada bulan Juni 1985, rata-rata curah hujan di daerah pembanding adalah 150.2 mm, curah hujan terbesar yang mungkin terjadi adalah $(150.2 + 96.4) \text{ mm} = 246 \text{ mm}$.

Curah hujan dugaan bagi daerah sasaran, seandainya tidak diadakan penyemaian awan adalah $Y = 9.03 + 1.35 X (246 \text{ mm}) = 341 \text{ mm}$. Curah hujan kenyataan selama bulan Juni 1985 masih lebih besar 49 mm atau 14.4%.

Selanjutnya pada bulan Juli 1985 curah hujan terbesar yang masih mungkin terjadi adalah $(128.9 + 80.87) \text{ mm} = 209.7 \text{ mm}$. Curah hujan dugaan bagi daerah sasaran seandainya tidak diadakan penyemaian awan adalah $Y = 27.37 + 1.23 (209.7 \text{ mm}) = 230.6 \text{ mm}$. Curah hujan kenyataan selama bulan Juli 1985 masih lebih besar 124 mm atau 54%. Perbedaan curah hujan selama adanya kegiatan penyemaian awan bulan Juni dan Juli 1985 adalah 34% atau 173 mm (target control). Dari uji statistik diketahui bahwa perbedaan-perbedaan tersebut di atas adalah sangat nyata (taraf = 0.005).

Evaluasi fisis yang dilakukan di sini adalah berdasarkan data yang diperoleh dengan melakukan sounding setiap hari pada periode kegiatan penyemaian. Salah satu data yang didapat arah dan kecepatan angin pada pelbagai ketinggian. Pada lapisan kondensasi (dasar awan), pola arus angin (stream line) dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Pola arus angin pada ketinggian 2000 m (MSL) untuk tanggal 7 Juli 1985.

Dari keseluruhan pola arus angin selama kegiatan penyemaian, diketahui bahwa arah angin sebagian besar memang menuju ke daerah sasaran di sebelah barat laut sampai timur laut Gunung Tangkuban Perahu, ini sesuai dengan pola arus angin umum yang bertiup pada bulan Juni dan Juli (lihat pendahuluan). Keadaan topografi daerah percobaan kadang-kadang menyebabkan perubahan arah angin.

Dari perhitungan berdasarkan model numerik diketahui butiran pengaktif yang berukuran 50 mikron memerlukan bantuan kecepatan angin sebesar 5.5 knot (minimal) untuk dapat terangkat ke dasar awan (lihat lampiran) dan ternyata keadaan kecepatan angin di daerah percobaan yang umumnya lebih besar dari 7 knot, mendukung untuk keperluan ini (lihat tabel 3).

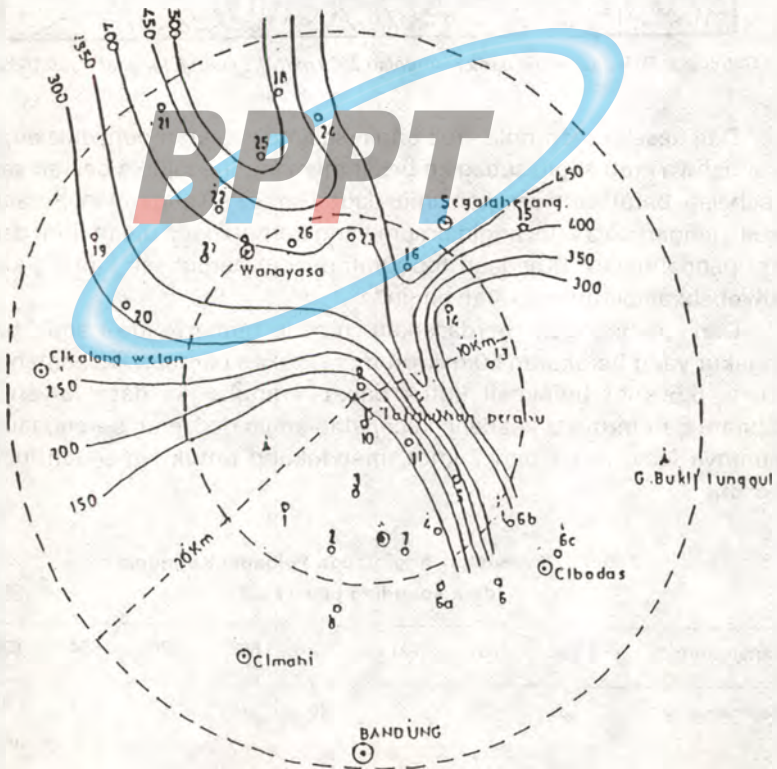
Tabel 3. Kecepatan Angin pada Pelbagai Ketinggian
(data sounding jam 11.00)

Tekanan (mb) *)	792	764	741	712	688	670	654	638
Kecepatan angin	35	24	31	26	10	7	7	11 (knot)

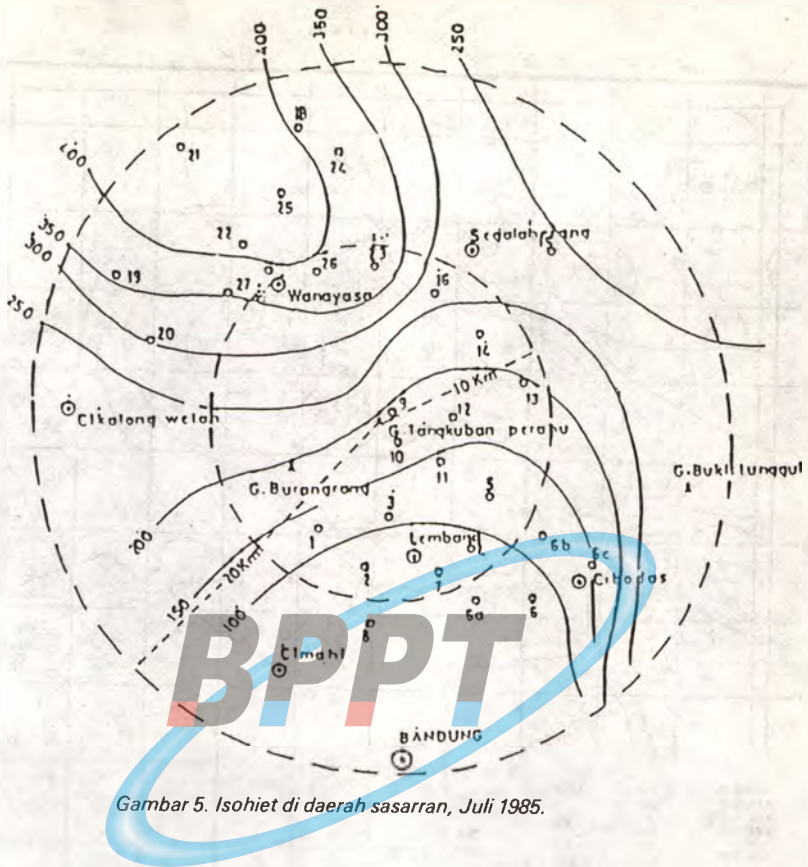
*) Data tanggal 5 Juli 1985.

Analisis garis isohiet menunjukkan bahwa di daerah bawah angin (down wind) mempunyai jumlah curah hujan makin besar ke arah barat laut dari Gunung Tangkuban Perahu, sesuai dengan arah arus angin yang bertiup pada periode itu. Efek curah hujan orografik (daerah atas angin/up wind) masih dapat terlihat di daerah tenggara dari Gunung Tangkuban Perahu, curah hujannya meningkat sesuai dengan bertambahnya ketinggian (gambar 4 dan 5). Dari isohiet ini tampak bahwa curah hujan di daerah bawah angin jauh lebih besar dari daerah atas angin, suatu keadaan yang tidak umum terjadi.

Kadang kala pengaruh gangguan pada atmosfera seperti badai tropis, vortex dan lain-lain menyebabkan peningkatan curah hujan bagi satu daerah secara mendadak dengan luasan yang cukup besar. Analisis gambar-gambar awan yang diambil dari satelit cuaca dapat mengetahui dengan tepat dimana letak dari pusat gangguan tersebut dan arah gerakannya.

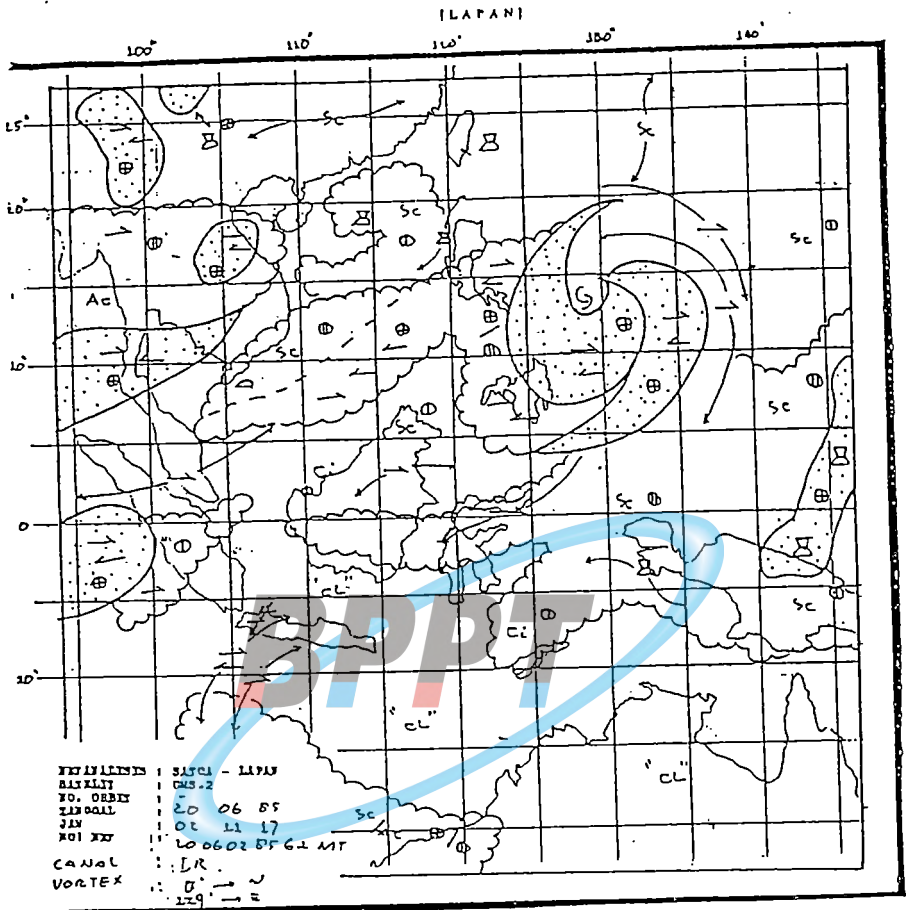


Gambar 4. Isohiet di daerah sasaran, juli 1985.



Gambar 5. Isohiet di daerah sasaran, Juli 1985.

Analisis citra awan (dalam hal ini dikerjakan oleh LAPAN), selama kegiatan penyemaian awan menunjukkan bahwa selama periode kegiatan penyemaian, tidak terdapat gangguan atmosfera yang mungkin mempengaruhi dan menyebabkan adanya peningkatan curah hujan, khususnya di Jawa Barat. Salah satu hasil analisis berupa nefanalisis keadaan awan di atas Indonesia dan sekitarnya dapat dilihat pada gambar 6.



SIMBUL NEFANALISIS

	: H > 7/8		: Awan Cumulonimbus		: Batas Awan Utama (sistem Perturbasi)
	: 4/8 & H < 7/8	Cu	: Awan Cumulus		: Batas Awan Sekunder
	: 1/8 & H < 4/8	Ci	: Awan Cirra Stratatus		: Awan Gelombang
	: Clear	Cs	: Awan Cirrus	- - - -	: Batas Difusi
	: Awan Stratiform	Ac	: Awan Alto Cumulus	- - - -	: Batas Zona Es
	: Awan Ekstriform	Sc	: Awan Strato Cumulus		: Vortex di keadaan Memegang dan linggi
	: Awan Cumuliform	St	: Awan Stratus		: vortex di Daerah Transi
	: Jalur Awan				

Gambar 6. Analisis citra awan (nefanalisis) di atas wilayah Indonesia dan sekitarnya.

KESIMPULAN.

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan :

1. Sebagai akibat penyemaian awan pada bulan Juni sampai Juli 1985 telah turun hujan dengan jumlah curah hujan lebih besar dari curah hujan maksimum yang pernah terjadi selama 10 tahun terakhir.
2. Besarnya curah hujan tambahan tersebut rata-rata adalah 30—34 persen.

DAFTAR PUSTAKA.

1. U. Haryanto, et al. 1986. **Hasil Penelitian Modifikasi Cuaca untuk Menambah Curah Hujan melalui Penyemaian Awan Orografik**. Tahun 1985.
2. Morris Neiburger. 1969. **Artificial Modification of Cloud and Precipitation**. WMO Technical Note No. : 105.



LAMPIRAN

PERHITUNGAN KECEPATAN ANGIN MINIMAL YANG DIPERLUKAN UNTUK MENGANGKAT BUTIRAN LARUTAN YANG DIHASILKAN OLEH MIKRONER.

PENDEKATAN.

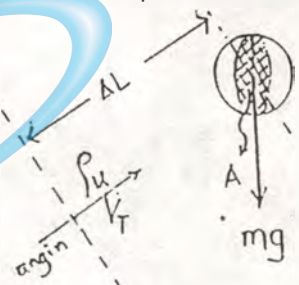
1. Distribusi butiran-butiran yang dihasilkan mempunyai diameter maksimum 50 mikron (berbentuk bola).
2. Angin bergerak mengikuti kemiringan gunung.

Pandang sebuah butir larutan dengan diameter D yang baru keluar dari mikroner dan langsung diterpa angin yang bertiup dengan kecepatan V_T dan kerapatannya ρ_u .

Jika luas potongan terbesar dari butir adalah A dan masa udara persatuan waktu yang datang menerpa adalah m maka berlaku persamaan :

$$m = \frac{\Delta m}{\Delta t} = \rho_u \frac{\Delta L}{\Delta t} A$$

$$= \rho_u A V_T \dots (1)$$



Energi kinetik yang disebabkan oleh angin adalah

$$E = \frac{1}{2} m (V_T)^2 = \frac{1}{2} \rho_u A (V_T)^3 \dots (2)$$

Gaya angin yang bekerja pada butir adalah F

$$F = \frac{\Delta E}{\Delta L} = \frac{\Delta E}{V_T \Delta t} = \frac{E}{V_T} \text{ atau}$$

$$F = \frac{\frac{1}{2} \rho_u (V_T)^3 A}{V_T} = \frac{1}{2} \rho_u A (V_T)^2 \dots (3)$$

Agar partikel tidak turun kembali ke tanah, gaya angin minimal besarnya sama dengan berat partikel sendiri, jadi $F = mg$ dengan m adalah masa partikel dan g adalah gravitasi bumi, maka ditulis :

$$\frac{1}{2} \rho_u A (V_T)^2 = mg$$

$$(V_T) = \left(\frac{mg}{\frac{1}{2} \rho_u A} \right)^{1/2}$$

Menurut Betz *) tenaga angin yang dapat diekstraksi hanya sebesar 59.3%, dengan demikian kecepatan angin yang diperlukan adalah B

$$V = \frac{V_T}{0,593} = \frac{1}{0,593} \left(\frac{mg}{\frac{1}{2} \rho_u A} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (4)$$

Kalau kemiringan gunung adalah α , maka kecepatan angin minimal yang diperlukan untuk mengangkat butiran adalah V_a yaitu

$$V_a = \frac{V}{\sin \alpha} = \frac{1}{0,593 \sin \alpha} \left(\frac{mg}{\frac{1}{2} \rho_u A} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (5)$$

dengan $m =$ masa butir/partikel urea $= \int_L^{4/3} \rho r^3$

$A =$ luas penampang bola $= \pi r^2$

Jika harga-harga :

$$\alpha = 30^\circ ; \rho_u = 1.27 \text{ kg/m}^3, \rho_L = 1,2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{dan } r = 25 \text{ mikron} = 25 \times 10^{-6} \text{ m}$$

dimasukkan ke dalam persamaan di atas maka didapat harga V_a besarnya adalah **2.70 m/dt. atau 5.24 knots.**