

Peranan Garam-garaman dalam Hujan Buatan

Oleh : Ir. Moch Soebagio Drs. Untung Haryanto Ridwan Tamin BSc.

INTISARI

Dalam makalah ini dibahas mengenai kegunaan bahan garam-garaman untuk proses modifikasi awan sehingga dapat menghasilkan hujan. Berfungsinya garam sebagai inti kondensasi ternyata memegang peranan penting pada proses awal terjadinya awan melalui kondensasi yang selanjutnya akan bertindak sebagai embrio hujan.

Berkaitan dengan dipakainya bahan kimia ini harus dipahami sifat fisik dan kimia dari bahan yang digunakan, khususnya garam dapur (NaCl), dan calcium chlorida (CaCl_2). Selain daripada itu pemilihan tempat dan waktu penyebaran dari garam-garaman tersebut ternyata banyak mempengaruhi pada hasil hujan yang diperoleh, di samping faktor cuaca yang juga memegang peranan penting dalam terjadinya hujan.

I. Hujan Alam (Hujan Normal).

Hujan merupakan butir-butiran air yang jatuh dari awan. Tanpa adanya awan tidak mungkin terjadi hujan. Awan ini terbentuk antara lain akibat naiknya udara basah yang terdapat di atmosfer, yang kemudian mengalami proses

*) Disampaikan pada simposium fisika Nasional X, Denpasar 3—7 Agustus 1982.

kondensasi sehingga menjadi butiran air kecil yang sangat banyak dan melayang-layang. Kumpulan butir-butir air yang melayang ini dari bawah terlihat sebagai awan. Pada proses selanjutnya butiran air ini mengalami perkembangan sehingga bertambah berat dan setelah mencapai ukuran dengan diameter 0.4—4 mm dapat turun ke bawah sebagai butiran hujan. Proses perkembangan butiran air tersebut dapat dibagi dua, yaitu proses fisis dan proses dinamis.

1. **Proses fisis.**

Proses fisis di udara dimulai dengan kondensasi uap air di mana ada peranan inti kondensasi. Selanjutnya terjadi pertumbuhan butir air di awan secara tumbukan dan penggabungan.

a. **Proses kondensasi uap air di udara.**

Uap air di udara berasal dari sumber-sumber air yang mendapat pemanasan dari sinar matahari sehingga terjadi penguapan. Di samping memperoleh uap air dari bawah, kemungkinan dapat uap air yang datang dari tempat lain. Oleh udara yang bergerak (angin) uap air ini diangkut dan disebarkan ke segala arah. Angin yang bertiup dari laut dapat membawa uap air sampai jauh ke daratan. Udara yang banyak mengandung uap air disebut udara basah dan jumlah uap air yang dapat diikat oleh udara ini tergantung pada suhunya. Makin tinggi suhu udara, makin banyak jumlah uap air yang dapat diikatnya.

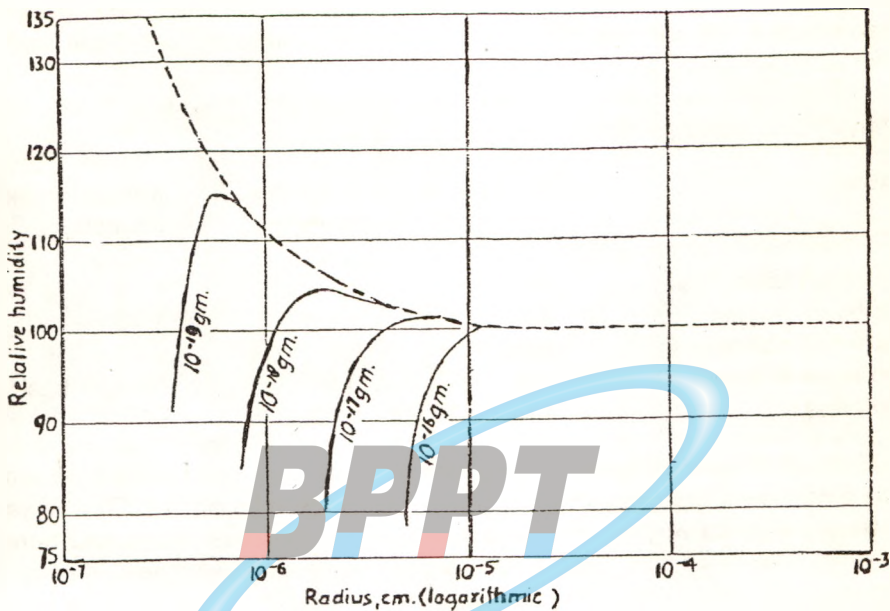
Kalau sejumlah udara basah naik, akan mengembang dan tekanannya berkurang sehingga suhunya turun (pengembangan adiabatik). Akibatnya kemampuannya untuk mengikat air berkurang. Jadi udara melepaskan sebagian atau seluruh uap air yang dibawanya dari bawah. Inilah yang disebut proses kondensasi.

Udara basah yang melepaskan sebagian dari uap air yang dibawanya dapat naik lebih tinggi lagi dan proses di atas dapat terulang kembali. Dengan demikian agar terjadi kondensasi yang diperlukan yaitu: adanya uap air dalam jumlah yang cukup di udara dan dapat naik sampai lapisan udara tinggi. Uap air yang murni sulit untuk bisa terjadi kondensasi, diperlukan adanya inti kondensasi yang cukup dalam jumlah dan besarnya.

b. **Peranan inti kondensasi.**

Adanya inti kondensasi yang cukup di udara ternyata merupakan syarat untuk terjadinya kondensasi di atmosfer. Inti kondensasi ini diperlukan pada proses pembentukan butir air, sebagai tempat berpegangnya air yang mengembun akibat kondensasi. Hal ini dapat dilihat pada percobaan kamar Wilson yang menunjukkan bahwa untuk uap air murni, kondensasi belum terjadi pada kelembaban 300%. Dari penyelidikan selanjutnya diketahui bahwa kondensasi sudah mulai terjadi pada kelembaban di bawah 300% bila ke dalam uap air murni ditaburkan sejumlah bubuk. Dari sini disimpulkan bahwa bubuk tersebut dapat mempercepat proses kondensasi di mana bertindak sebagai inti kondensasi. Ternyata diameter dari inti kondensasi

juga sangat menentukan pada kelembaban tertentu agar dapat terjadi kondensasi pada RH yang relatif lebih tinggi dibandingkan apabila inti kondensasinya lebih besar, seperti yang ditunjukkan pada gambar di bawah ini, mengikuti H. Koler dan H.G. Houghton (Bollay dalam pustaka 4).



Gambar 1.

Hubungan antara kelembaban relatif, dengan diameter droplet hasil kondensasi untuk berbagai macam ukuran inti; Kurva terputus-putus untuk inti yang tidak hygroskopis sedang yang kontinu untuk inti kondensasi garam dapur (hygroskopis).

Pada umumnya apabila menggunakan butiran garam di udara 5 – 100 u (Hujan Buatan memakai 30 u) maka akan terbentuk butir air dengan pesat. Di alam bebas, inti kondensasi berasal dari debu tanah perkotaan, hasil pembakaran industri dan lain-lain.

c. Pertumbuhan titik air.

Dalam awan yang suhunya di atas 0°C proses yang dominan agar terjadinya hujan adalah proses penumbukan-penggabungan antara sesama butir-butiran air yang terbentuk sebagai hasil kondensasi sebelumnya. Disebabkan bahwa nuclei kondensasi yang terdapat di udara mempunyai ukuran yang berbeda-beda maka butir air yang terbentuk akan berbeda-beda pula ukurannya. Oleh karena itu butir-butir air yang lebih besar terbentuk akan jatuh lebih cepat dari pada butir-butir air yang relatif lebih kecil sehingga dalam lintasannya ke bawah akan menangkap dan menumbuk butir air yang kecil. Selanjutnya butir air yang terbentuk akan menjadi

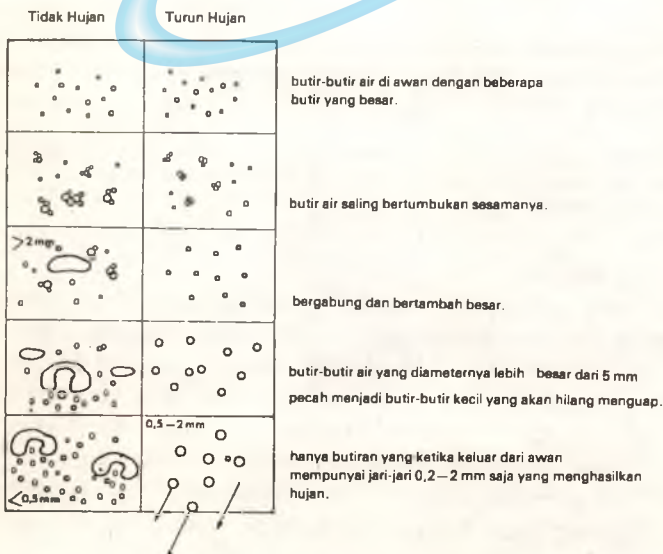
lebih besar dengan kecepatan yang lebih cepat pula dan dapat mengumpulkan lebih banyak butir-butir air dalam lintasannya ke bawah.

Pada ukuran besar tertentu butir-butir itu akan terbelah menjadi beberapa butir-butir kecil lagi akibat gesekan dari udara di mana proses pertumbuhan butir-butir air tersebut akan berulang kembali seperti semula. Dengan cara ini maka akan dapat dihasilkan berjuta butir air di mana selanjutnya apabila telah mencapai suatu ukuran sekitar 5 mm akan dapat melawan gaya apung dari udara dan dapat jatuh ke bawah sebagai hujan.

Di bawah ini dapat dilihat klasifikasi jenis butir air dan tetes air serta kecepatan jatuhnya ketika mencapai tanah.

Contoh	Nama butir	Diameter (mm)	Kecepatan jatuh (m/det)
Tetes hujan besar	tetes air	5	8—9
Tetes hujan normal	sda	1	4—5
Tetes hujan gerimis	sda	0.5	2—3
Awan besar & gelap	sda	0.1	tidak sampai
Awan biasa	sda	0.05	sda

Butir air dengan diameter kurang dari 0.5 mm tidak akan sampai ke tanah karena dalam perjalanan jatuhnya akan habis menguap, sebaliknya butiran air yang lebih besar dari 5, dalam perjalanan jatuhnya akan pecah (break up) menjadi butiran kecil yang tidak akan mencapai tanah, seperti yang dilukiskan pada gambar di bawah ini.



d. Ukuran dan jumlah butir di awan.

Sudah banyak usaha yang dikembangkan untuk mendapatkan ukuran dan jumlah butir air di awan. Walaupun di laboratorium sudah dapat diciptakan awan dengan kondisi tertentu, ini tidak cukup untuk menerangkan hal di atas.

Tabel di bawah ini memberikan ukuran dan jumlah butir dari beberapa tempat di dunia, untuk bukan awan hujan (3).

Jenis	Diameter (mikron)	Jumlah/CC	Masa/m ³
Kumulonimbus	2 – 100	100	2.0
Kumululus besar	3 – 50	100	1.0
Kumululus kecil			
– Hawaii	2.5– 25	75	0.5
– Inggris	– – 30	210	0.45
– Australia	2.5– 10	420	0.40
Strato kumululus (Jerman)	1 – 12	350	–
Strato kumululus (Hawaii)	2.5 – 45	24	0.35

2. Proses dinamis.

Selain dari pada proses fisis yang menyebabkan terpadunya butir-butir air sehingga dapat terjadinya hujan, proses dinamis di udara memegang peranan yang cukup penting dalam pembentukan butir-butir air hujan tersebut.

Seperti diketahui sebelumnya bahwa pembentukan awan terjadi oleh karena adanya penurunan suhu pada uap air apabila telah mencapai titik embun. Penurunan suhu di udara terjadi oleh karena naiknya massa udara ke atas ke tempat yang lebih tinggi. Hal ini dapat terjadi karena udara yang naik yang membawa uap air akan mengembang dan tekanannya berkurang, sehingga sebagai akibatnya suhunya akan turun (proses adiabatik).

Beberapa faktor yang menyebabkan dapat naiknya massa udara antara lain adalah disebabkan oleh adanya pemanasan bumi yang mendorong massa udara di atasnya ke tempat yang lebih tinggi. Peristiwa ini disebut konveksi dan awan yang terbentuk disebut awan konveksi.

Selain dari pada itu, massa udara dapat naik apabila angin membawanya mengalir melalui lereng pegunungan sehingga sampai ke tempat yang lebih tinggi. Awan yang terbentuk secara ini disebut awan orografik.

Udara akan bergerak naik pula apabila adanya 2 massa udara front panas dan front dingin bertemu sehingga akan menyebabkan front yang panas tersebut untuk naik ke tempat yang lebih tinggi, sehingga akan mudahnya terbentuk awan.

Selain dari pada itu udara dapat naik oleh adanya daerah konvergensi pada aliran udara horizontal.

II. Hujan Buatan.

Dengan memperhatikan proses hujan alam, maka manusia mengadakan percobaan untuk mengadakan modifikasi cuaca sehingga dapat mempercepat turunnya hujan. Usaha agar uap air yang ada di udara dapat berkondensasi sehingga terbentuk butir-butir air pada awan, dapat dilaksanakan dengan menyebarkan garam-garaman halus dari pesawat udara. Dengan terbentuknya butir-butir air awal ini maka akan merupakan embryo dari butir-butir air hujan. Pada proses selanjutnya dilakukan usaha untuk menjatuhkan hujan dengan menyebarkan butir-butiran besar di awan yang dapat bertumbukan dan bergabung dengan butir-butir air yang ada di awan sehingga oleh karena beratnya akan dapat jatuh ke luar dari awan sebagai hujan.

Disebabkan Indonesia terletak di daerah tropis maka awan yang terdapat di Indonesia termasuk golongan awan panas di mana usaha untuk menjatuhkan hujan dari awan tersebut akan mengikuti proses pembentukan awan panas secara alamiah untuk daerah tropis.

1. Pemilihan garam-garaman.

Berdasarkan hasil pengamatan di laboratorium kamar Wilson diketahui bahwa dengan hadirnya partikel-partikel asing akan dapat menyebabkan terjadinya kondensasi pada uap air pada kelembaban yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan apabila tanpa adanya partikel-partikel tersebut.

Dari gambar 1 terlihat bahwa kondensasi dapat terjadi pada partikel-partikel hygroskopis pada RH yang relatif rendah tetapi nuclei ini tidak akan dapat tumbuh mencapai ukuran butir air sampai RHnya cukup tinggi di mana pada RH tersebut sudah akan dapat menghasilkan kondensasi pada sebuah partikel netral dengan ukuran radius yang sama. Hal ini dapat membuat orang beranggapan bahwa partikel-partikel netral (seperti debu) dapat cukup efektif sebagai nuclei kondensasi seperti hygroskopis. Tetapi kenyataan menunjukkan bahwa hal ini tidak benar disebabkan mungkin bahwa partikel-partikel hygroskopis tersebut adalah dalam bentuk cair walaupun keadaan masih di bawah tingkat kejenuhan, sebuah bentuk yang kelihatannya akan lebih menolong untuk terjadinya kondensasi dari pada bentuk yang tidak menentu dari partikel-partikel debu. Disebabkan karena nuclei-nuclei yang besar kebanyakan hygroskopis, kondensasi akan lebih dahulu terjadi padanya daripada terjadi pada nuclei-nuclei yang lebih kecil di mana menurut gambar 1 partikel kecil tersebut akan membutuhkan RH yang lebih tinggi agar mulai aktif apabila tidak terdapat banyaknya nuclei-nuclei yang besar di sekitarnya. Walaupun kecondongan untuk kondensasi ada pada nuclei-nuclei yang lebih besar, kondensasi umumnya terjadi pada nuclei-nuclei dengan ukuran massa yang bervariasi cukup besar.

Ternyata bahan garam dapur memenuhi ketentuan di atas dan pada percobaan Hujan Buatan yang diadakan di Indonesia disebarkan dalam bentuk bubuk dengan diameter $10-50$ mikron.

Dalam hal ini dipilih garam NaCl dan CaCl₂ yang cukup higroskopis sebagai bahan yang akan ditaburkan di udara. Ini akan dapat membantu dalam mempercepat terjadinya proses pembentukan butir air awal (embryo). Selain dari pada itu garam-garaman tersebut relatif cukup mudah untuk memperolehnya dan harganya tidak terlalu mahal dibandingkan dengan biaya yang perlu dikeluarkan apabila mengadakan seeding dengan cara lain seperti misalnya menyebar air di udara.

Beberapa jam setelah penaburan garam biasanya awan-awan kecil akan muncul pada tempat-tempat yang terpisah. Awan-awan yang terpisah ini harus ditumbuhkan terus sehingga dapat menjadi besar dan bersatu. Jadi diperlukan jenis garam-garaman yang dapat menumbuhkan awan tetapi tidak merusak awan yang sudah terbentuk. Dalam hal ini dipilih bubuk urea. Selain memenuhi ketentuan di atas, bubuk urea mempunyai sifat endotermis apabila bereaksi dengan air atau uap air. Sifat ini sangat menguntungkan sebab apabila bubuk urea disebar pada siang hari di antara celah-celah awan yang sudah terbentuk, maka akan dapat mendinginkan udara di sekitarnya sehingga lebih mudah untuk "menggabungkan" awan-awan tersebut sehingga akan menjadi lebih besar.

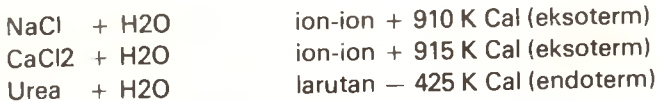
Apabila awan hujan sudah terbentuk di mana biasanya tampak hitam pada "base"-nya maka tahap berikutnya yang dilaksanakan adalah menyebarkan butir-butir air besar yang terdiri dari larutan yang merupakan campuran air, Urea dan amonium nitrat dengan perbandingan 4 : 3 : 1. Larutan ini dipilih karena suhu campurannya cukup dingin dengan sekitar $\pm 4^{\circ}\text{C}$, agar awan yang sudah tebal tersebut tidak akan buyar. Larutan urea ini disebar di dasar awan (Cloud base) dan akan terhisap masuk ke dalam awan oleh updraft yang terdapat di dalam awan sehingga mempercepat pertumbuhan dengan butir-butir yang ada di awan. Larutan campuran tersebut biasanya disebar dengan ukuran $\pm 50 - 100 \mu$ dengan menggunakan peralatan micronair yang dipasang di pesawat. Selanjutnya dari proses ini akan menyebabkan terbentuknya butir-butir air yang besar yang akhirnya dapat keluar dari bawah awan sebagai hujan.

2. Sifat Fisis dan Kimia garam-garaman.

Menurut sifat fisisnya, bahan-bahan kimia tersebut bila bereaksi dengan air dapat dibagi dalam 2 bagian.

- Yang mengeluarkan panas : NaCl, CaCl₂
- Yang menyerap panas : Urea

Jika garam-garaman tersebut disebar di udara, terjadi reaksi seperti di bawah ini:



Sifat garam-garaman yang dipakai :

- a. NaCl (garam dapur)
 - bentuk kristal putih
 - mudah larut dalam air (36 gr / 100 ml air daripada 20°C)
 - dalam bentuk bubuk bersifat higroskopis
 - banyak terdapat di udara dari air laut
 - campuran NaCl dengan es cair mencapai — 20°C.
- b. CaCl₂
 - bentuk kristal putih

Dalam melaksanakan Hujan Buatan garam yang dipergunakan adalah dari jenis garam dapur. Garam murni seperti halnya garam meja tidak digunakan karena mempunyai sifat higroskopis yang relatif jauh lebih kecil dibandingkan dengan garam dapur.

3. Waktu yang tepat untuk melepas garam-garaman.

Waktu penyebaran dari garam-garaman dalam melaksanakan Hujan Buatan ditentukan oleh beberapa faktor klimatologi dari daerah yang akan disebar oleh garam-garaman tersebut. Di antaranya adalah bahwa sudah harus ada kelembaban yang memadai agar dapat terjadinya kondensasi apabila disebar inti kondensasi dalam bentuk NaCl dan CaCl₂.

Disebabkan oleh karena pembentukan awan terjadi pada pagi hari maka garam-garam seperti NaCl dan CaCl₂ ditaburkan pada pagi hari sejak jam 07.30 dengan menggunakan pesawat terbang. Ketinggian penyebaran ditentukan oleh faktor arah dan kecepatan angin yang akan membawa awan ke daerah sasaran yang dituju. Biasanya penyebaran dilaksanakan antara 4 — 7000 feet.

Setelah itu biasanya disebarkan urea powder pada jam 12.00 siang untuk menyatukan awan-awan yang terpisah-pisah. Awan akan terus tumbuh dan berkembang dan menjadi besar dan matang (hitam) sekitar jam 15.00. Sejak saat ini dapat dimulai usaha untuk membantu proses menjatuhkan awan menjadi hujan dengan menyebarkan larutan yang dingin (larutan urea), di bawah awan yang sudah terbentuk. Tidak berapa lama kemudian biasanya hujan sudah turun.

4. Faktor lain yang menyulitkan.

Pada umumnya usaha menumbuhkan awan pada operasi Hujan Buatan akan berhasil baik apabila faktor cuaca hari itu memenuhi persyaratan sebagai berikut:

- Cukup terdapat uap air di udara (RH minimal 70%).
- Angin tenang, kecepatan angin di lapisan yang ditaburi garam kurang lebih sebesar 10 knots.
- Tidak terdapat lapisan inversi di udara.

Jika hal ini tidak dipenuhi akan didapat kesulitan untuk menumbuhkan awan.

DAFTAR – PUSTAKA

1. Formation of a rain shower by Salt Seeding – K.R. Biswas and A.S. Dennis (Institut of Atmospheric Science, South Dakota, School of Technology, rapid City).
2. A new method of stimulating convective clouds to produce rain and hail – E.G. Bowen (Division of Radiophysycs, Csiro, Australia).
3. Manual of Meteorology for APTL Course.
4. Hand Book of Meteorology – Berry, Bullay, and Beers, Mc.Graw Hill Book Company.
5. Laporan Percobaan Hujan Buatan di Jatiluhur (II) Otorita Jatiluhur .
6. Modification of Precipitation from Warm cloud – A riview William R. Cotton. Dept. of Atmospheric Science, Colorado State University.
7. Can We Do Something about the Weather. Bulletin Febr. 1977, Agricultural Experiment Stations Kansas State University.
8. Hujan Buatan – Iskahar Mangunredjo.
9. Atmospheric Moisture and Precipitation.
10. Awan dan Kabut – Dr.Ir. Siswadhi Soepardjo
11. Penjelasan dan Dasar untuk menguraikan Proses Hujan Buatan di Indonesia – Dr.Ir. Koenhendarso (Div. A T. Pertamina).
12. Fisika Awan dan Pemakaiannya – Prof.Dr. M. Barmawi (ITB).
13. Wheath3r and Climate Modification – W.N. Hess.