

ANALISIS TINGKAT HIGROSKOPISITAS DAN UKURAN PARTIKEL YANG DIHASILKAN DARI PEMBAKARAN FLARE DENGAN 14 MACAM KOMPOSISI BERBEDA UNTUK DIPILIH DAN DIGUNAKAN PADA CLOUD BASE SEEDING DI SOROAKO

U. Haryanto¹, P. Sudibyo Sarwono², dan Shanty³

Intisari

Telah dilakukan analisis komposisi asap flare higroskopik yang dibuat dengan 14 macam komposisi berbeda menggunakan kaskad impaktor. Flare dengan karakteristik diameter dominan (21.48 %) 15.7 mikron dan koefisien higroskopik tinggi dipilih dan dibuat sebanyak 220 batang untuk eksperimen cloud base seeding di Soroako pada bulan Mei 2000. Koefisien higroskopisitas dan diameter dominan sekitar 15 mikron digunakan sebagai dasar pemilihannya.

Abstract

Laboratory analysis was carried out to analyze size and hygroscopicity particle produced by smoke burning of hygroscopic pyrotechnics flare using cascade impactor of 14 different compositions. Flare that has dominant size particles of about 15.7 micron in diameter (21.48 %) and coefficient hygroscopicity of 0.96 was selected for field experiment. 220 flares were assembled to be used at field cloud base seeding experiment in Soroako in May 2000.

Kata kunci : flare piroteknik, higroskopisitas, cloud base seeding

1. PENDAHULUAN

Cloud base seeding merupakan salah satu teknik melepaskan bahan semai di bawah dasar suatu awan pada pelaksanaan teknologi modifikasi cuaca. Untuk melaksanakan teknik ini, diperlukan empat persyaratan utama: yang pertama adalah partikel bahan semai harus dapat terangkat oleh updraft ke dalam awan, kedua adalah partikel bersifat higroskopik, ketiga adalah pilot yang handal serta berpengalaman, dan yang keempat adalah pesawat dengan manuver yang lincah. Pelepasan partikel higroskopik di dasar awan tujuannya adalah memperluas spektrum tetes besar sehingga dapat segera mengawali proses hujan melalui tumbukkan dan penggabungan (Krauss, 1999).

Sebagai bagian dari program pengelolaan sumberdaya air (*water resources management*), PT INCO yang memiliki konsesi penambangan nikel di Sulawesi Selatan menerapkan teknologi modifikasi cuaca untuk menjaga dan atau memulihkan volume air pada danau Towuti, danau terbesar yang terdapat pada daerah konsesinya, yang diandalkan bagi pembangkitan listrik pada PLTA Larona untuk proses peleburan bijih nikel. Operator cloud seeding yang ditunjuk untuk melaksanakan program penyemaian di atas danau Towuti adalah Atmospheric Incorporated (AI), salah satu operator *cloud seeding* di Amerika Serikat yang memiliki sertifikat untuk melaksanakan kegiatan *cloud seeding*. Dalam pelaksanaannya, AI bekerjasama dengan UPT Hujan buatan.

¹ Ahli Modifikasi Cuaca dan Keikliman di UPT Hujan Buatan BPPT

² Peneliti di UPT Hujan Buatan BPPT

³ Jurusan Fisika-FMIPA IPB Bogor

Pada pelaksanaan tahun 2000, UPT Hujan Buatan diberi kepercayaan untuk mengelola kegiatan *cloud base seeding* secara penuh selama 30 hari pada bulan Mei. Bagi keperluan kegiatan ini, UPT Hujan Buatan menyiapkan sejumlah flare yang digunakan, sedangkan sarana lain yang diperlukan berupa pesawat dan pilotnya menggunakan fasilitas AI.

Satu tim teknis yang terdiri dari beberapa orang peneliti dengan dibantu sejumlah tenaga pelaksana ditugaskan menyiapkan flare ini dengan melakukan penelitian komposisi dan ukuran partikel yang dihasilkan, melakukan analisis asap, menentukan komposisi yang paling sesuai dengan persyaratan *cloud base seeding* dan kemudian memproduksinya bagi keperluan *cloud seeding* di Soroako. Bahan *seeding* higroskopik yang dicampurkan adalah sodium klorida - garam (NaCl), kalsium klorida (CaCl₂).

Makalah ini menyampaikan hasil penelitian untuk mendapatkan flare yang karakteristik partikelnya memenuhi bagi persyaratan *cloud base seeding*.

2. PYROTECHNIC FLARE

Pyrotechnic flare merupakan campuran dari beberapa bahan kimia yang komposisinya tertentu dan mudah atau cepat terbakar. Kontrol laju pembakaran dapat dilakukan melalui pengaturan komposisi dan prosedur pemrosesannya. Dua piroteknik yang komposisinya sama dan prosedur pembuatannya juga yang sama menghasilkan laju pembakaran yang sama. Sifat konsistensi inilah yang menyebabkan piroteknik dimanfaatkan dalam teknik modifikasi cuaca untuk menghasilkan partikel dengan ukuran tertentu yang sesuai bagi keperluan modifikasi awan. Dalam modifikasi awan, flare yang digunakan berbentuk silinder. Henderson (2000) menyatakan bahwa bila sejumlah bahan *seeding* dicampurkan kedalamnya dan ikut terbakar maka distribusi partikel bahan *seeding* dari kedua flare ini sama. Selain komposisi, laju pembakaran juga ditentukan oleh diameter silinder (Krauss, 1999).

Secara umum flare terdiri dari dua tingkat pembakaran: pertama adalah bagian *ignition* yang terbakar awal, dan ke-dua adalah bagian utama yang terbakar kemudian oleh *ignitor*. Bagian *ignition* terdiri dari kawat bara yang dilindungi oleh bubuk peka api, sedangkan bagian ke dua merupakan campuran bahan kimia yang mengontrol laju, (termasuk suhu) pembakaran. Komposisi bagian ke-dua ini terdiri dari empat bahan kimia yang utamanya masing-masing berfungsi sebagai oksidator (penghasil oksigen), bahan bakar (fuel), pengikat (binder), dan penghasil efek warna. Pembakaran dilakukan secara elektrik yaitu menghubungkan kawat bara dengan catu daya 9 - 12 Volt, 5 Ampere. Jika

sakelar dihubungkan, arus listrik menyebabkan kawat membara dan serbuk peka api yang melingkunginya segera menyala sekitar 5 detik yang kemudian membakar piroteknik pada bagian ke-dua. Bila dalam waktu ini piroteknik pada bagian ke dua ini tidak terbakar maka flare gagal dinyalakan, karena bahan bakar pada bagian pertama sudah habis. Bila bagian kedua ini sukses terbakar maka flare terus terbakar dengan durasi 2 hingga 3 menit.

3. SPESIFIKASI PARTIKEL BAGI CLOUD BASE SEEDING

Pada setiap kegiatan penyemaian awan harus dipastikan partikel bahan semai yang dilepaskan (baik melalui generator darat, maupun dari pesawat) masuk ke dalam awan. Pada *cloud base seeding*, kepastian masuknya bahan semai ke dalam awan dilakukan dengan cara melepaskannya di daerah *updraft* yang sedang hingga kuat di bawah dasar awan. Biasanya ini dilakukan dengan terbang pada jarak 300 - 500 di bawah dasar awan. Secara fisik, *updraft* dapat dirasakan oleh penumpang pesawat. Secara kualitatif, pilot dan peneliti yang berpengalaman dapat membedakan *updraft* yang kuat, sedang, atau yang lemah. Ball-variometer merupakan instrumen yang dapat mengukur kekuatan *updraft*. *Updraft* dengan kekuatan 5 m/s masuk dalam kategori sedang dan merupakan batas marginal untuk terangkatnya partikel berukuran diameter 30 mikron ke dalam awan, dan ini biasanya terdapat pada awan kumulus yang sedang berkembang. (Simpson and Dennis, 1974).

Pelepasan partikel higroskopik besar berukuran diameter 10 - 20 mikron di bawah dasar awan menyebabkan distribusi diameter droplet di dasar awan termodifikasi meluas ke arah diameter besar dan segera menginisiasi proses hujan melalui tumbukan dan penggabungan sesama tetes awan. Droplet dengan rentang ukuran ini dengan cepat terbentuk bila partikel-partikel higroskopik padat berukuran 5-15 mikron diameter dilepaskan di dasar awan yang segera berubah menjadi berukuran 10 - 20 mikron melalui deposit uap air (Cotton, 1999). Melepaskan partikel higroskopik diluar daerah *updraft* atau diluar awan tidak bermanfaat, karena ia akan bertambah besar dan menjadi berat dan tidak ada yang menahan gaya beratnya dan akan segera jatuh ke tanah. Bila tidak ada *updraft*, tetes partikel dengan ukuran lebih dari 20 mikron, dalam waktu kurang dari 8 menit sudah keluar dari dasar awan (Klazura and Todd, 1978; Rokicki and Young, 1978)

Dengan demikian maka partikel higroskopik dengan rentang 5 - 15 mikron diameter merupakan spesifikasi bagi partikel yang dibutuhkan bagi *cloud base seeding* dengan

tumbukan dan penggabungan sebagai basis proses hujan.

4. BAHAN DAN METODE

Tiga belas macam komposisi piroteknik ditentukan, dengan variasi terdapat pada Oksidator, Fuel, Binder dan Bahan higroskopik, seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Komposisi prototip flare yang dibuat untuk menentukan komposisi terbaik dalam diameter dan afinitas bagi keperluan cloud base seeding di Soroako

No.	Komposisi *)					
	KClO ₄	NaCl	Mg	CaCl ₂	Li ₂ CO ₃	Binder
1	70	0	10	15	0	5
2	65	20	5	10	0	10
3	65	0	10	15	0	10
4	70	15	5	0	0	10
5	65	10	10	0	5	10
6	65	20	5	0	5	5
7	70	0	10	10	5	5
8	65	0	5	15	5	10
9	65	12	7	0	4	12
10	66	12	7	0	5	10
11	67	13	7.5	0	4.5	8
12	70	12	7.5	0	4.5	6
13	70	13	8	0	2	7

*) - perbandingan berat untuk total 100 gram

Satu flare (diberi no. 14) diperoleh dari Al (Atmospheric Incorporated - USA) ikut dianalisis sebagai perbandingan.

Dalam penelitian ini, KClO₄ digunakan sebagai Oksidator, Mg sebagai Fuel, sirlak sebagai Binder, serta CaCl₂ dan NaCl sebagai bahan higroskopik. Semua material dalam bentuk bubuk. Ignitor terdiri dari campuran belerang (Sulfur, S), arang (Carbon, C), dan Sendawa (kalium nitrat, KNO₃) dengan perbandingan berat 32 : 12 : 101. Tabel 2 menampilkan spesifikasi fisik sampel flare yang dibuat.

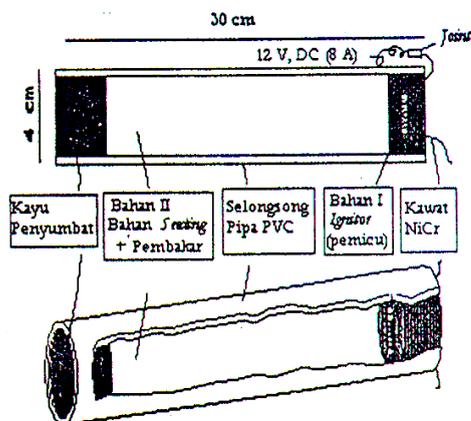
Tabel 2. Spesifikasi Fisik sampel Flare

shell atau tubing	pvc, diameter 1.25 inchi
panjang total	30 cm
berat total	500 - 550 gram
Ignitor	Nikelin, 0.6 mm, 3 lilitan (diameter lilitan 0.5 cm), membara pada 6V-DC, 1A
sumbat bawah	kayu, 10 cm, diameter 4 cm
sumbat atas	Sealant

Komposisi Flare Al digunakan sebagai basis, komposisi flare sampel dibuat dengan mengganggu (memvariasikan) komposisi basis, baik dengan halus (berbeda sedikit) ataupun dengan kasar (berbeda signifikan).

Setiap komposisi material ditimbang dengan teliti menggunakan timbangan digital yang memiliki kapasitas 1200 gram dengan deviasi 0.1 gr. Material dimasukkan dalam shell menggunakan sendok plastik dan kemudian dipadatkan secara manual dengan cara pene-kanan berulang menggunakan batang ebonit yang dapat digerakan leluasa di dalam shell. Pemadatan dilakukan pada setiap penambahan material yang dilakukan sedikit demi sedikit. Pada bagian akhir (ujung) shell, disiapkan ignitor dan kawat bara, dan disumbat dengan sealant. Gambar 1 merupakan gambar potongan melintang dari sampel flare yang disiapkan bagi penelitian.

Setelah dibiarkan selama 24 jam, semua flare dibawa ke Laboratorium AEROSOL BATAN



Gambar 1. Penampang melintang flare piroteknik

di Pasar Jum'at untuk analisis partikel yang terkandung di dalam asap.

Dalam penelitian ini, diameter partikel diukur dengan metode impaktor menggunakan impaktor bertingkat (*cascade impactor*) tekanan rendah Anderson model LPI-20-9 (USA). Rentang diameter yang mampu diukur dengan alat ini adalah 0.08 hingga > 35 mikron, terdiri dari 13 tingkat (Shanty, 2001). Konfigurasi sistem pengukuran aerosol dengan impaktor bertingkat diperlihatkan pada Gambar 2.

Tingkat higroskopik untuk strata ukuran partikel tertentu ditentukan dengan koefisien higroskopik (Shanty, 2001), yang didefinisikan sebagai:

$$h = \frac{m_2 - m_1}{m_1 - m_0} = \frac{\Delta M_2}{\Delta M_1}$$

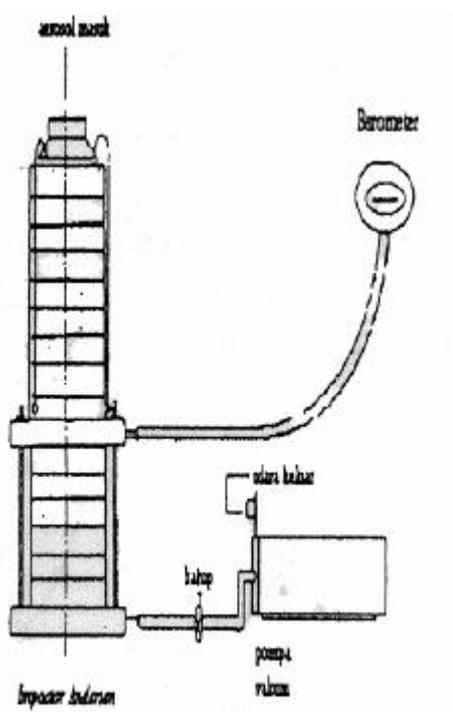
dalam hal ini,

m = masa impaktor yang telah ditumbuk aerosol pada selang waktu tertentu, pada situasi lingkungan yang lembab
 ΔM = perubahan masa yang terjadi setelah selang waktu tertentu pada situasi lingkungan yang lembab

Pada penelitian ini, selang waktu dipilih 10 menit, dan kelembaban lingkungan dijaga sebesar 98 persen, dengan suhu 25 °C. Masa impaktor berikut endapannya ditimbang menggunakan timbangan yang memiliki ketelitian dalam orde mikro-gram

Tabel 3. Hasil pengukuran diameter aerosol serta koefisien higroskopisitas untuk flare no. 1

Tingkat Impaktor	Diameter (mikron)	h	% konsentrasi
0	>35	2.198	72.94
1	21.7	0.254	9.24
2	15.7	0.253	11.93
3	10.5	0.647	2.85
4	6.6	1.375	1.34
5	3.3	3	0.33
6	2.0	5.5	0.33
7	1.4	5.5	0.33
8	0.9	7	0.06
9	0.5	-	0.00
10	0.2	3	0.33
11	0.1	-	0.00
12	0.08	4	0.16
Filter	<0.08	-	0.00



Gambar 2. Sistem pengukuran aerosol menggunakan Impaktor bertingkat (dari Shanty, 2001)

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil-hasil pengukuran diameter yang mengendap pada impaktor serta perubahan berat partikel untuk masing-masing sampel Flare ditabulasikan untuk dianalisis lebih lanjut.

Dengan hanya memperhatikan diameter dominan, (yang konsentrasinya dominan) seperti pada Tabel 1 untuk sampel flare no. 1 hingga 14 maka, diperoleh ringkasan daftar partikel dominan seperti pada Tabel 4.

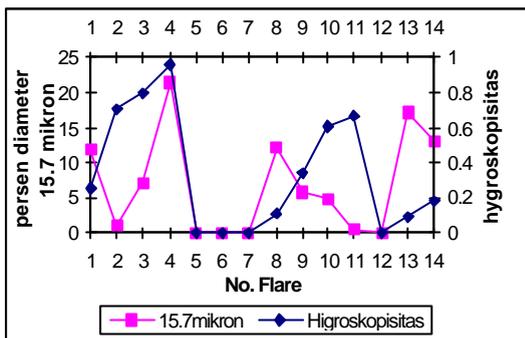
Dari karakteristik aerosol yang dihasilkan oleh pembakaran 13 flare piroteknik yang komposisinya berbeda, ditentukan aerosol yang memiliki karakteristik yang memenuhi spesifikasi bagi cloud base seeding : yaitu diameter 10 - 20 mikron serta memiliki tingkat higroskopisitas yang tinggi.

Tabel 4. Konsentrasi Partikel Dominan dan tingkat higroskopisitasnya (h)

No. Flare	Diameter dominan (mikron)	% konsentrasi	h
1	≥ 35	72.94	2.20
	21.7	9.24	0.25
	15.7	11.93	0.25
2	≥ 35	21.23	0.08
	21.7	1.00	0.71
	< 0.08	71.31	0.08
3	≥ 35	34.08	0.01
	15.7	7.16	0.8
	< 0.08	43.71	0.02
4	21.7	22.79	0.97
	15.7	21.48	0.96
	0.23	25.46	0.98
5	≥ 35	59.59	0.23
	0.08	10.26	0.05
	< 0.08	16.09	0.07
6	≥ 35	19.7	0.08
	0.08	2.65	0.08
	< 0.08	71.19	0.08
7	≥ 35	92.43	0.03
	21.7	1.59	0.25
	< 0.08	2.19	0.27
8	≥ 35	70.67	0.10
	21.7	12.19	0.06
	15.7	3.36	0.11
9	≥ 35	85.23	0.17
	21.7	5.41	0.23
	15.7	5.76	0.34
10	≥ 35	79.88	0.06
	21.7	12.44	0.05
	15.7	4.77	0.61
11	≥ 35	96.13	0.09
	21.7	2.49	0.06
	15.7	0.41	0.67
12	21.7	20.00	0.50
	3.3	20.00	0.25
	0.23	20.00	0.25
13	≥ 35	33.62	0.10
	15.7	17.06	0.09
	< 0.08	11.04	0.08
14	≥ 35	57.85	0.23
	21.7	10.54	0.22
	15.7	13.09	0.18

Dibandingkan dengan flare lainnya, maka hanya flare dengan nomer sampel 4 memiliki spesifikasi yang diperlukan, karena memiliki diameter dominan pada 15,7 mikron, dengan tingkat higroskopisitas sebesar 0.96 (Tabel 4). Pada Gambar 3 dapat dilihat bahwa dua besaran ini saling bersinergi pada Flare no. 4, sedangkan pada Flare yang lain tidak terjadi.

Dari komposisi piroteknik yang dianalisis, terdapat 10 komposisi yang menghasilkan diameter dominan pada 15.7 mikron, termasuk



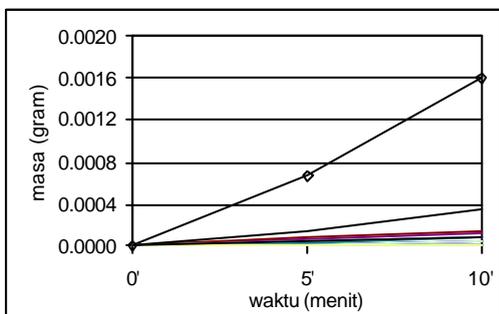
Gambar 3. Tingkat higroskopisitas untuk partikel dominan 15.7 mikron. Pada Flare No. 4 keduanya saling bersinergi.

Flare buatan AI, namun demikian hanya flare no.4 saja yang menghasilkan tingkat higroskopisitas yang tinggi.

Pada partikel yang dihasilkan oleh flare no. 4 terlihat adanya pertambahan masa yang signifikan dalam waktu 10 menit, sedangkan pada flare lainnya pertambahan masa sangat lambat (Gambar 4). Hal ini menunjukkan bahwa komposisi pada sampel flare no. 4 menghasilkan partikel higroskopik dengan koefisien higroskopisitas yang tinggi

Berdasarkan hasil-hasil ini maka prototip flare No. 4 digandakan sebanyak 220 buah untuk digunakan pada cloud base seeding di Soroako. Hasil uji di lapangan menunjukkan bahwa selama berlangsungnya kegiatan penyemaian menggunakan flare ini pada bulan May 2000 telah terjadi peningkatan muka air danau Towuti setinggi 18 cm dengan total curah hujan yang turun sebesar 187.2 mm (Haryanto, U. etal., 2000). Peningkatan ini koensidensi dengan pelaksanaan penyemaian, namun untuk saat ini belum diketahui hubungan sebab-akibatnya dengan penyemaian.

Dalam penelitian ini, adanya konsistensi karakteristik dari suatu pembakaran piroteknik



Gambar 4. Pertambahan masa partikel terhadap waktu. Untuk Flare No. 4 (tanda \diamond) pertambahannya cukup dramatik dibandingkan dengan sampel flare yang lain (tidak dibedakan, dan tidak diberi tanda)

(Henderson, 2000) dipegang untuk tidak membuat satu komposisi lebih dari satu sampel. Ini diperkuat dengan kenyataan bahwa flare piroteknik komersial hanya disertifikasi satu kali. Dari hasil penelitian ini juga terlihat bahwa distribusi partikel bervariasi dari 0.08 hingga 35 mikron, dengan dominan pada window tertentu, dan untuk penelitian di Soroako, yang dipilih adalah yang dominan pada sekitar 15 mikron dan mempunyai koefisien higroskopik tinggi. Dengan sifat higroskopik ini, partikel garam yang dihasilkan flare tumbuh menjadi lebih besar melalui deposit uap air sehingga ketika masuk ke awan melalui medan updraft di bawahnya, spektrum tetes besar di dasar awan termodifikasi ke arah yang lebih besar sehingga dapat segera mengawali proses tumbukan dan penggabungan.

6. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ukuran partikel serta tingkat higroskopisitasnya, flare no. 4 dengan komposisi $KClO_4$ (70 %), NaCl (15 %), Mg (5 %), dan sirlak (10 %) telah menghasilkan partikel yang sesuai bagi keperluan cloud base seeding. Sebanyak 220 flare telah diproduksi dengan komposisi yang sama dan dipergunakan pada cloud base seeding selama bulan May 2000 di Soroako untuk menambah ketinggian level muka air danau Towuti.

7. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada *Drs. Bunawas APU*, di BATAN atas pemakaian fasilitas Laboratorium Aerosol untuk melakukan pengujian asap dari sampel flare yang dibuat bersama oleh penulis bersama rekan-rekan lainnya. Terima kasih juga disampaikan pada *Jim Wood* (pilot) dari Atmospheric Incorporated yang telah menunjukkan kerjasama yang sangat baik dengan penulis dalam pelaksanaan cloud base seeding di Soroako dan sekitarnya. Kepada rekan-rekan lain yang tergabung dalam Tim Flare: *Nana Sukarna, Rahmat Wardi, Ruhimat, Marjuki, Syahrul, dan Drs. E. Safrudin*, penulis menyampaikan terima kasih untuk upayanya yang keras guna menyelesaikan pembuatan flare sehingga dapat digunakan pada kegiatan di Soroako tahun 2000. Informasi yang sangat berharga tentang komposisi *ignitor* pengganti diperoleh dari *Ir. Erwin Mulyana MSc*, oleh karena itu secara khusus saya menyampaikan terimakasih ini kepadanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Haryanto, U., M. Kudsy, F. Widodo, D. Goenawan, 2000: Cloud Base Multicell Seeding Program over Larona Water-shed By UPT Hujan Buatan Using Hygroscopic Flare Technique, May 2000. (dalam Appendix UPT Hujan Buatan. Final Report The Implementation Of Cloud Seeding Using Flare Technique In Soroako - South Sulawesi, 05 February - 30 June 2000).
- Henderson, T. (President of Atmospheric Incorporated / AI USA). 2000: Komunikasi pribadi.
- Klazura, G.E., and C.J.Todd. 1978: A Model Of Hygroscopic Seeding In Cumulus Clouds. J. Of Applied Meteorology. Vol 17. No. 12. 1978.
- Krauss, T. 1999: (Head of Scientific Division of Weather Modification Incorporated / WMI). Komunikasi pribadi.
- Rokicki, M.L. and K.C. Young. 1978: The Initiation Of Precipitation In Updraft. Amer. Met. Soc. 17. 1978.
- Shanty. 2001: Menentukan Komposisi, Dia-meter, Sifat higroskopisitas dan Afinitas Aerosol Pyrotecnic Flare Sebagai Pemicu Terjadinya Hujan Buatan. Skripsi Sarjana. Jurusan Fisika Pada Institut Pertanian Bogor. 39 pp. Tidak Diterbitkan
- Simpson, J., and A.S. Dennis. 1974: Cumulus Clouds And Their Modification dalam Hess, W,N. (Ed) Weather And Climate Modification. John Willey and Sons.

DATA PENULIS



UNTUNG HARYANTO, Masuk BPP Teknologi tahun 1981. S1 bidang **Fisika**, menyelesaikan S2 bidang **Klimatologi** di Institut Pertanian Bogor (IPB). Sekarang sebagai Ahli Peneliti bidang Teknologi Modifikasi Cuaca. Tahun 1996 mendapat penghargaan ilmiah dari Pemerintah: **Satya Lancana Wira Karya**.