

# TEKNOLOGI MODIFIKASI CUACA UNTUK MENGURANGI CURAH HUJAN PADA SEA GAMES 2011 DI PALEMBANG

Tri Handoko Seto<sup>1</sup>

## Intisari

*Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) telah diaplikasikan untuk mengamankan SEA GAMES 2011 di Palembang, Sumatera Selatan dari ancaman curah hujan berlebihan. Selama kegiatan TMC tanggal 09 s.d. 23 November 2011 telah dilakukan 80 sorti penerbangan dengan pemakaian bahan semai flare sebanyak 325 buah, dan bahan semai powder sebanyak 44,2 ton. Operasional pohon flare dan burning menghabiskan bahan 260 buah CoSAT dan 3.600 liter liquid. Berdasarkan peta isohyets yang diperoleh dari data selama kegiatan TMC dari tanggal 09 s.d. 23 November, menunjukkan bahwa kejadian hujan terbesar terjadi di daerah Sekayu dengan nilai curah hujan sebesar 317 mm dan yang terkecil di Pangkalan Lampan yaitu 0 mm. Jakabaring mempunyai curah hujan relative kecil dan hujan banyak terjadi pada malam hari. Hasil pengamatan hujan secara kualitatif di Jakabaring menunjukkan kejadian hujan terjadi pada malam hari, sedangkan pada siang hari ada beberapa hari yang menunjukkan gerimis. Hasil analisa perbandingan prediksi curah hujan di areal Jakabaring pada koordinat 3.01° LS dan 104.79° BT (Jakabaring Sport Center) yang dikeluarkan oleh NOAA Air Resources Laboratory menunjukkan bahwa secara umum besarnya curah hujan yang terjadi relative lebih kecil jika dibandingkan dengan besarnya curah hujan yang diprediksi. Integrasi Aerial Seeding (menggunakan pesawat) dan Ground Seeding untuk menembak awan dari darat menggunakan "flare tree" dan pembakaran "super hygroskopik liquid" telah dilakukan di areal Jaka Baring selama penyelenggaraan SEAGAMES tahun 2011 guna menghambat proses hujan, menekan perkembangan awan, dan memandulkan awan di atas kompleks olah raga Jakabaring.*

## Abstract

*Weather Modification Technology (TMC) has been applied to secure SEA Games 2011 in Palembang, South Sumatra from the threat of excessive rainfall. During the activities of TMC dated 09 s.d. 23 November 2011 has been carried out 80 sorties flight with flare seeding material usage as much as 325 pieces, powder 44.2 tons. Operational of flare trees and liquid burning spent 260 pieces and 3,600 liters of liquid. Isohyets maps based on the data obtained during the operational of TMC from 09 until 23 November shows that the largest rain events occurred at Sekayu (317 mm) and the smallest at Pangkalan Lampan (0 mm). Rainfall at Jakabaring was relatively small and it occurs during at night. Qualitative observations at Jakabaring indicate that rain events occurred at night, while during the day there were some days that show drizzle. Results of comparative analysis of predicted rainfall issued by NOAA Air Resources Laboratory at 3.01° S; 104.79° E (Jakabaring Sport Center) show that in general the amount of rainfall that occurs relatively small compared to the predicted rainfall. Integration of Aerial Seeding (by plane) and Ground Seeding to shoot clouds from the ground using "flare trees" and burning of "super hygroskopik liquid" has been done in the Jakabaring during the implementation SEA GAMES in 2011 to disturb the process of precipitation, suppressing the development of cloud, and spay cloud over Jakabaring sports center*

**Kata Kunci:** Teknologi modifikasi cuaca, pengurangan curah hujan, SEA GAMES.

## 1. PENDAHULUAN

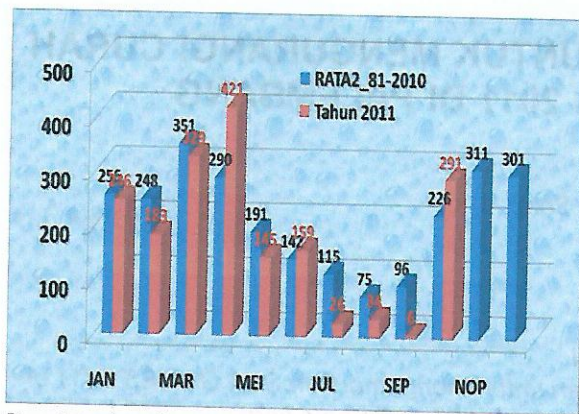
Penerapan Teknologi Modifikasi cuaca untuk rain suppression (pengurangan curah hujan) sudah banyak diterapkan di berbagai Negara seperti Cina dan Rusia yang telah menerapkan teknologi ini untuk berbagai keperluan. Rusia menerapkan teknologi ini digunakan untuk membuat cuaca cerah ketika terjadi

acara-acara kenegaraan di lapangan terbuka. Sementara itu di China teknologi ini menjadi fenomenal ketika diterapkan untuk menjamin tidak terjadinya hujan pada saat upacara pembukaan Olympiade di Beijing tahun 2008.

Kota Palembang dari prediksi yang dikeluarkan oleh BMKG Wilayah Sumatera Selatan memprediksi curah hujan yang akan terjadi di awal musim hujan tahun ini akan ekstrim, hal ini mulai dirasakan dengan terjadinya curah hujan pada bulan Oktober 2011

<sup>1</sup> UPT Hujan Buatan, BPPT,

email: tri.handoko@bppt.go.id



Gambar 1. Curah hujan aktual tahun 2011 dibandingkan dengan curah hujan historisnya.

sebesar 291 mm lebih besar 65 mm dari rata-rata historisnya sebesar 226 mm (lihat Gambar 1).

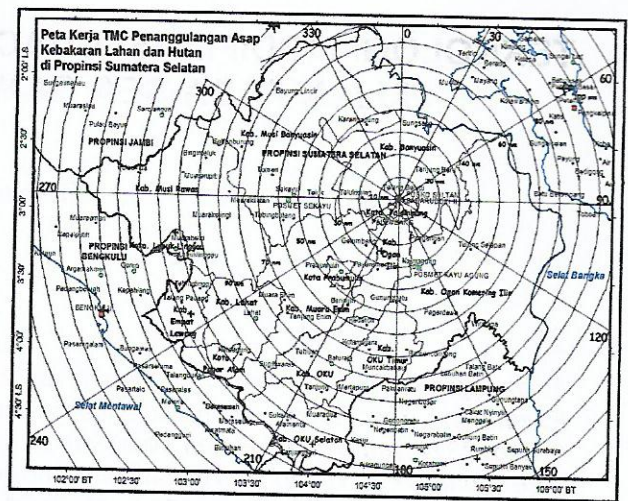
Kondisi ini apabila tidak diantisipasi dikawatirkan akan mengakibatkan banjir besar di beberapa kawasan langganan banjir di kota Palembang apalagi pada tanggal 11 s.d. 22 November 2011 kota Palembang akan menjadi tuan rumah pelaksanaan kejuaraan Sea Games ke XXVI. Untuk menjaga pada saat persiapan, pembukaan, pelaksanaan pertandingan olah raga dan penutupan Sea Games ini maka Pemerintah provinsi Sumatera Selatan menerapkan TMC ini untuk mengurangi hujan yang akan terjadi.

Kegiatan penerapan TMC untuk pengurangan curah hujan di Provinsi Sumatera Selatan dimulai dari permintaan Gubernur Sumatera Selatan C/q Kepala BPBD pada saat kunjungan Ka. BPPT ke Posko TMC di Bandara SMB II pada tanggal 24 Oktober 2011. Pada kesempatan itu Ka. BPPT menerima permintaan Pemprov Sumsel tersebut yang sebelumnya mendengarkan presentasi Koordinator lapangan TMC Palembang yang mempresentasikan laporan pelaksanaan TMC untuk kebakaran lahan dan hutan dan rencana penerapan TMC untuk pengurangan curah hujan di Provinsi Sumatera Selatan yang menyangkut Metode, strategi dan kebutuhan peralatan yang dibutuhkan.

UPT Hujan Buatan menyiapkan 4 (empat) pesawat yang dibutuhkan yaitu 2 (dua) pesawat CASA NC212-200, 1 (satu) pesawat piper cheyeon dan 1 (satu) pesawat Cessna, radar cuaca, bahan semai baik powder maupun flare, pohon flare, alat fogging serta perlengkapan lapangan, dll. Semua peralatan yang dibutuhkan dalam metodologi TMC untuk pengurangan curah hujan pada tanggal 10 November 2011 telah selesai dan siap melakukan kegiatan dengan daerah wilayah Sumatera Selatan seperti pada Gambar 2.

## 2. KONSEP PENGURANGAN CURAH HUJAN

Penelitian tentang penurunan curah hujan telah banyak dilakukan oleh para ilmuwan di dunia, baik



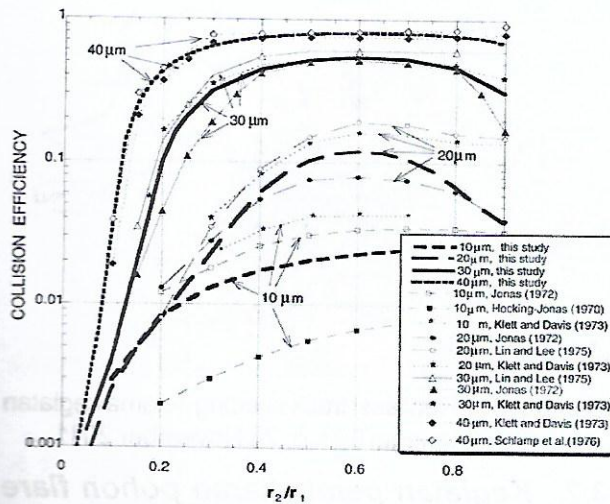
Gambar 2. Peta wilayah kerja TMC untuk siaga Banjir di Sumsel

yang menggunakan studi laboratorium menggunakan model maupun eksperimen lapangan. Kebanyakan studi tentang penurunan curah hujan didasarkan pada hubungan antara aerosol, mikrofisika awan, dan presipitasi.

Yin et al. (2000) melakukan perhitungan numerik tentang dampak penyemaian menggunakan bahan higroskopis pada awan konvektif. Diperoleh hasil bahwa bahan semai dengan ukuran kuran dari 2 mikron (im) bisa menurunkan presipitasi sebesar 22 – 30 %. Givati dan Rosenfeld (2004) menunjukkan bahwa polusi udara daerah perkotaan di California dan Israel mereduksi curah hujan tahunan sebesar 15 - 25%. Menurut Khain et al. (2005), inti kondensasi (CCN: cloud condensation nuclei) berukuran kecil akan menghasilkan droplet yang kecil yang memiliki koefisien tumbukan yang kecil, sehingga mengakibatkan berkurangnya presipitasi pada awan-awan konvektif.

### 2.1. Mekanisme Persaingan (Competition Mechanism)

Pada awal pertumbuhannya, awan tersusun atas butir-butir awan (droplets) yang berukuran sangat kecil sebanyak ~100 butir/cm<sup>3</sup> dengan ukuran butir sebesar ~10 mikron. Pada kondisi ini struktur awan sangat stabil. Sebagaimana terlihat pada gambar 1, butir-butir dengan jari-jari sekitar 10 mikron memiliki efisiensi tumbukan yang sangat kecil, yaitu hanya sekitar 1%. Proses terjadinya presipitasi dimulai ketika butir-butir awan menjadi tidak homogen. Suplai uap air yang cukup mengakibatkan beberapa butir awan tumbuh menjadi lebih besar dari yang lainnya. Akibatnya, butir yang lebih besar dan memiliki kesempatan untuk menabrak butir-butir awan yang lebih kecil. Ketika terjadi tumbukan maka terdapat peluang teradanya penggabungan yang semakin memperbesar butir-butir awan dengan cepat. Pada gambar 3, terlihat bahwa butir-butir dengan jari-jari 30 dan 40 mikron memiliki efisiensi tumbukan



Gambar 3. Efisiensi tumbukan (Pinsky et.al., 2000).

yang tinggi, yaitu sekitar 50-80%. Mekanisme kunci terjadinya presipitasi pada awan konfektif adalah adanya tumbukan dan penggabungan.

Jika kita menebarkan bahan semai higroskopis yang sangat halus ke dalam awan yang masih baru tumbuh maka bahan semai tersebut akan menyerap uap air dan membentuk butir-butir awan yang ukurannya sangat kecil. Semakin banyak bahan semai yang kita tebarkan maka bahan-bahan tersebut akan saling bersaing untuk memperebutkan uap air yang ada sehingga terjadi kondisi dimana ketersediaan uap air menjadi berkurang relatif terhadap keberadaan bahan higroskopis. Akibatnya, butir-butir awan susah tumbuh menjadi lebih besar sehingga efisiensi tumbukan dalam awan sangat kecil yang menjadikan awan tetap berada dalam kondisi sangat stabil. Pada kondisi ini awan tidak akan berkembang sehingga tidak terjadi proses presipitasi.

Berbagai macam cara bisa digunakan untuk menebar bahan semai ke atmosfer untuk menghasilkan mekanisme persaingan. Cara yang paling akurat tentu saja menggunakan pesawat terbang. Bahan semai berbentuk flare yang banyak mengandung partikel berukuran kurang dari 2 mikron sangat baik untuk ditebarkan pada awan-awan yang baru tumbuh untuk menghasilkan mekanisme persaingan. Sebenarnya masih ada beberapa cara yang lebih murah untuk menghasilkan efek persaingan, yaitu menggunakan GBG (ground-based generator), yaitu sistem pelepasan bahan semai dari darat.

Contoh terbaik tentang mekanisme persaingan adalah pada saat terjadi kebakaran hutan. Terdapat sangat banyak aerosol yang sangat kecil yang berada di atmosfer. Pengukuran yang dilakukan pada kasus kebakaran hutan di Kalimantan 1998 (Bruitjes et.al, 2004) memperlihatkan adanya aerosol berukuran kecil dari 2 mikron sebanyak  $\sim 2000/\text{cm}^3$ . Kondisi ini mengakibatkan sulitnya terbentuk awan cumulus yang aktif akibat butir-butir awan yang

homogen karena banyaknya aerosol dengan ukuran yang sangat kecil.

Lebih jauh Rosenfelt et.al (2008) memperlihatkan bahwa tingginya konsentrasi aerosol juga memiliki efek berupa berkurangnya radiasi matahari yang mengganggu aktifitas konveksi. Tidak perlu masuk ke dalam awan untuk menghasilkan efek kompetisi, polutan di dekat permukaan juga menghambat pertumbuhan awan.

## 2.2. Mekanisme Proses Lompatan (Jumping Process Mechanism)

Sebagaimana disebutkan sebelumnya bahwa proses presipitasi terjadi akibat tingginya efisiensi tumbukan. Pada butir awan berukuran jari-jari 10% memiliki efisiensi sekitar 1%. Jari-jari 20% memiliki efisiensi sekitar 10%. Ketika jari-jari mencapai ukuran 40 mikron maka efisiensi tumbukan meningkat hingga mencapai sekitar 80%. Jelas bahwa butir awan berukuran 40 mikron menjadi hal penting meningkatnya aktifitas dalam awan yang mempercepat terjadinya presipitasi.

Pemberian bahan semai higroskopis berukuran besar pada awan yang sedang tumbuh aktif akan menghasilkan butir-butir awan berukuran besar yang akan memotong proses presipitasi menjadi lebih cepat. Ada lompatan yang signifikan dari proses presipitasi berupa penyediaan butir-butir awan berukuran besar yang secara drastis meningkatkan efisiensi tumbukan dalam awan.

Jika terdapat awan-awan cumulus pada suatu wilayah diberi perlakuan sehingga terjadi mekanisme proses lompatan (*jumping process*) ini maka awan-awan tersebut akan mengalami percepatan proses presipitasi dan segera turun menjadi hujan. Mekanisme ini bisa diaplikasikan untuk mengurangi curah hujan di suatu wilayah dengan cara mempercepat turun hujan pada awan-awan yang tumbuh di wilayah *upwind* dari suatu daerah yang menjadi target operasi.

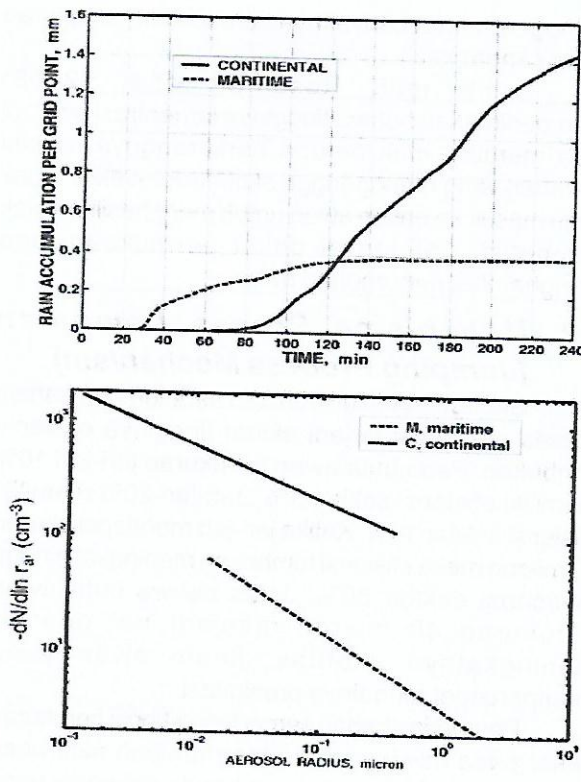
Contoh dari mekanisme proses lompatan ini dijelaskan dengan baik oleh adanya perbedaan mendasar yang terjadi pada kondisi atmosfer di atas lautan dan daratan. Menurut Khain et.al., 2005 (Gambar 4), perbedaan atmosfer di atas lautan dan daratan adalah sebagai berikut.

Atmosfir lautan:

- Aerosol berukuran besar tetapi jumlahnya sedikit
- Kelembaban tinggi
- Awan-awan yang tumbuh akan cepat menjadi hujan tetapi dengan curah hujan yang sedikit

Atmosfir daratan:

- Aerosol berukuran kecil tetapi jumlahnya banyak
- Kelembaban rendah
- Awan-awan yang tumbuh perlu waktu yang lama untuk menjadi hujan tetapi curah hujannya besar



Gambar 4. Karakteristik atmosfer di atas lautan dan daratan (Khain et.al., 2005).

Karakteristik ini sesuai dengan Pinsky et.al., 2000 dimana aerosol berukuran besar berkorelasi dengan percepatan proses hujan. Brintjes et.al., 2004 memperlihatkan bahwa aerosol sangat besar (ultra giant aerosol) dengan jari-jari lebih dari 10 mikron bisa memperpendek rangkaian proses perubahan komposisi butir awan yang menciptakan efek lompatan pada proses penggabungan.

### 3. PELAKSANAAN KEGIATAN

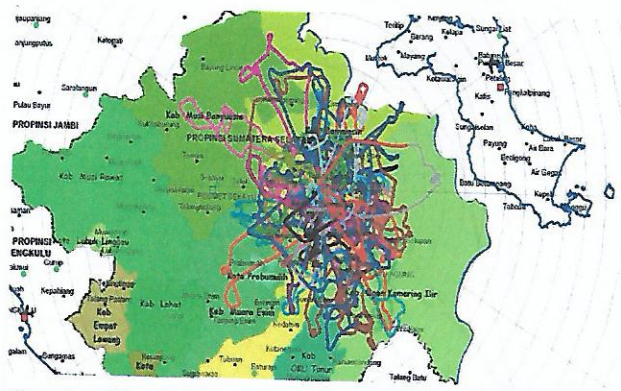
Kegiatan yang dilakukan meliputi kegiatan penerbangan dalam penyemaian awan serta kegiatan pembakaran pohon flare dan burning.

#### 3.1. Kegiatan penerbangan

Pada periode pelaksanaan TMC tanggal 09 s.d. 23 November telah dilakukan penerbangan sebanyak 80 sorti penerbangan yang di arahkan di sekitar Palembang – Jakabaring Area serta di wilayah di luar Palembang area. dengan menghabiskan bahan semai seperti Tabel 1. Secara rinci realisasi track seeding selama kegiatan penerbangan dapat ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 1. Jumlah bahan semai yang digunakan dengan pesawat terbang

Pesawat	Register	Sorti	Flare	Garam
Cessna	N 98560	22	104	-
Pipper Chayanne	PK - TMC	20	221	-
Cassa	PK-TLE	24	-	28.600
Cassa	PK-TLH	13	-	15.600



Gambar 5. Realisasi track seeding selama kegiatan tanggal 09 s.d. 23 November 2011

#### 3.2. Kegiatan pembakaran pohon flare dan burning

Selama kegiatan telah dipasang 3 pohon flare dan 12 stasiun pembakaran super hygro liquid. Banyaknya CoSAT yang dinyalakan serta super hygro liquid yang dibakar selama kegiatan dapat dilihat pada Tabel 2 :

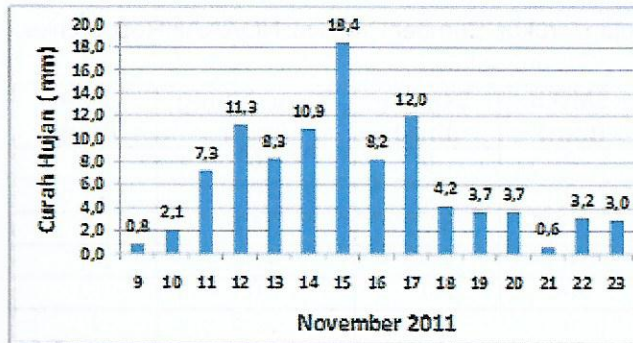
Tabel 2. Banyaknya CoSAT dan Super hygro liquid yang di gunakan selama kegiatan Tanggal 10 s.d. 22 November 2011

Periode / tanggal	CoSAT	LIQUID (liter)
10 Nop 2011	20	140
Pembukaan SEAGAMES/ 11 Nop. 2011	80	310
12 – 21 November 2011	80	2160
Penutupan SEAGAMES / 22 Nop. 2011	80	990
JUMLAH	260	3.600

### 4. HASIL KEGIATAN

#### 4.1. Kejadian Hujan secara kuantitatif

Untuk melihat kondisi hujan di daerah Sumatera Selatan pada umumnya dan Jakabaring khususnya, telah di pantau dengan menggunakan penakar hujan sebanyak 25 buah yang tersebar di seluruh wilayah Sumatera Selatan. Kondisi curah hujan wilayah Sumatera Selatan selama operasi TMC tanggal 9 s.d 23 November 2011 dapat dilihat di Gambar 6. Dari gambar 3. nampak bahwa secara umum curah wilayah Sumatera Selatan bervariasi, yang terkecil 0.6 mm pada tanggal 21 November 2011 dan yang terbesar 18.4 mm pada tanggal 15 November 2011. Berdasarkan Tabel 5 bahwa pada siang hingga sore hari tidak terjadi hujan pada tanggal 9 s.d 16 November 2011, maka dapat dipastikan bahwa hujan yang terukur terjadi pada malam hari. Untuk beberapa hari yang lain dimana ada kejadian hujan pada siang hari dengan intensitas gerimis dengan durasi 15 hingga 30 menit, dengan melihat curah hujan yang terukur, maka bisa disimpulkan kejadian hujan yang ada adalah pada malam hari. Hal ini terjadi pada tanggal 17, 19, 20 dan 22 November 2011.



Gambar 6. Grafik curah hujan wilayah Sumatera Selatan, tanggal 9 s.d 23 November 2011.

#### 4.2. Distribusi spasial hujan secara kuantitatif

Banyaknya data pengukuran curah hujan manual yang tersebar di Provinsi Sumatera Selatan yang dilakukan oleh BMKG dan BPPT yang telah dikumpulkan hingga akhir kegiatan sebanyak 25 stasiun penakar hujan. Selanjutnya berdasarkan data yang telah kita peroleh dibuat sebaran rata-rata jumlah curah hujan secara spatial menggunakan isohyet. Hasil perhitungan dan peta isohyets yang diperoleh dari data selama kegiatan TMC untuk pengurangan curah hujan dari tanggal 9 sampai dengan 23 November, menunjukkan bahwa kejadian hujan terbesar terjadi di daerah Sekayu dengan nilai curah hujan sebesar 317 mm dan yang terkecil di Pangkalan Lampan yaitu 0 mm.

Bila diperhatikan dari peta Isohyet dan keterkaitannya dengan lokasi Jaka Baring, menunjukkan bahwa di lokasi Jaka Baring memang sempat mengalami turun hujan, namun bila dibandingkan dengan wilayah disekitarnya, curah hujan yang terjadi tidak terlalu tinggi, yaitu berkisar antara 100 – 120 mm, hasil akumulasi hujan tanggal 12, 15, 18, 20, 21 dan 22 November 2011 dan terjadi pada malam hari.

#### 4.3. Kejadian Hujan di Wilayah Jakabaring

Dari pengamatan petugas di Posmet Jakabaring, secara kualitatif telah diamati jam kejadian hujan dari jam ke jam dari jam 07.00 s.d jam 07.00 WIB hari berikutnya di areal Jakabaring. Tabel 3 mencatat beberapa kejadian hujan yang terjadi antara jam 07.00 s.d jam 07.00 WIB hari berikutnya. Dari Tabel 3 nampak bahwa dari tanggal 9 s.d 16 November 2011 pada siang hingga sore hari tidak terjadi hujan, namun demikian pada malam harinya pada periode tanggal tersebut beberapa hari tercatat terjadi hujan. Pada tanggal 17, 19, 20, 21 dan 22 November 2011 pada siang hari terjadi hujan gerimis dengan durasi antara 15 s.d 30 menit.

#### 4.4. Analisis Prediksi Hujan di Jakabaring dan Kejadian Hujan

Secara umum besarnya curah hujan yang

Tabel 3 Informasi kejadian hujan secara kualitatif di daerah Jakabaring dari tanggal 9 s.d 23 November 2011.

Tanggal	Jam				
	07.00 - 10.00	10.00 - 13.00	13.00-16.00	16.00-19.00	20.00-07.00
9 November 2011	-	-	-	-	-
10 November 2011	-	-	-	-	-
11 November 2011	-	-	-	-	gerimis
12 November 2011	-	-	-	-	sedang
13 November 2011	-	-	-	-	-
14 November 2011	-	-	-	-	-
15 November 2011	-	-	-	-	sedang
16 November 2011	-	-	-	-	-
17 November 2011	-	-	ringan	-	-
18 November 2011	-	-	-	-	daras
19 November 2011	-	-	Gerimis	-	-
20 November 2011	gerimis	Gerimis	-	-	-
21 November 2011	-	-	ringan	-	-
22 November 2011	-	-	-	Gerimis	-
23 November 2011	-	-	-	-	-

terjadi relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan besarnya curah hujan yang diprediksi, kecuali untuk kejadian hujan tanggal 12 dan 15 November 2011. Perbandingan ini menggunakan hasil prediksi yang dikeluarkan oleh NOAA Air Resources Laboratory untuk titik dengan koordinat 3.01° LS dan 104.79° BT (Jakabaring Sport Center). Sedangkan sebagai pembanding digunakan curah hujan di Posmet Jakabaring (sekitar 3 km sebelah utara Jakabaring Sport Center) serta curah hujan di Bandara SMB II, Sekayu, Kayu Agung dan SBA Data selengkapnya bisa dilihat pada Tabel 4.

#### 4.5. Hasil Pengamanan Cuaca dengan Generator Partikel

Hasil Operasi pengamanan cuaca menggunakan "flare tree" dan penyalan "larutan super higroskopik" tidak dapat dipisahkan dengan hasil operasi penyemaian dari udara (aerial) seeding menggunakan pesawat udara, karena kedua moda penyemaian itu merupakan metode terintegrasi penyemaian untuk pengurangan, penghambatan dan pemecahan awan sehingga hujan menjadi sulit turun atau tebal hujan rendah bahkan secara umum berkurang atau tidak turun sama sekali atau sangat terlambat dan turun pada dinihari. Selama kegiatan berlangsung, potensi hujan yang turun sebagai hasil proses cuaca sangat bervariasi, mulai dari lemah, sedang, dan kuat (Tabel 5.). Pada situasi ini, biasanya setelah hujan diikuti dengan hujan ringan / gerimis yang turun dari awan stratus.

Selama periode Pengamanan Cuaca tanggal 11 hingga tanggal 22 November 2011, telah terjadi kondisi atmosfer dengan potensi hujan kecil sebanyak 2 hari, potensi hujan besar sebanyak 4 kali, dan potensi hujan sedang sebanyak 7 kali. Potensi hujan sedang dan besar berlangsung selama 11 hari (dominan), dengan kata lain secara umum di Jaka Baring dan sekitarnya selalu terdapat banyak

Tabel 4. Curah hujan prediksi di Jakabaring dan curah hujan terukur. Sumber Prediksi: NOAA Air Resources Laboratory

Tanggal	Prediksi (mm)	Jakabaring (mm)	SMB II (mm)	Sekayu (mm)	Kayu Agung (mm)	SBA (mm)
9 Nop. 2011	0 - 5	0	0	0	0	0
10 Nop. 2011	5 - 10	0	0	0	0	49,5
11 Nop. 2011	15 - 20	0	0,5	18,7	31,5	0
12 Nop. 2011	5 - 10	20	51,1	27,5	42,5	4,0
13 Nop. 2011	15 - 20	0	0	0	0	0
14 Nop. 2011	15 - 20	0	0	7,6	32,5	4,0
15 Nop. 2011	15 - 20	41	55,4	74,3	9,5	56,0
16 Nop. 2011	15 - 20	0	0	5,5	0	0
17 Nop. 2011	30 - 35	0	Ttu	125,3	0	14,0
18 Nop. 2011	15 - 20	16,5	10,5	0	8,0	14,0
19 Nop. 2011	10 - 15	0,5	5	0	0	16,5
20 Nop. 2011	20 - 25	17,5	2	48,7	2,0	21,5
21 Nop. 2011	10 - 15	3	1	9,2	2,0	0
22 Nop. 2011	20 - 25	2	2	0	0	0
23 Nop. 2011	10 - 15	0	3	0	0	0

awan yang menghasilkan hujan. Hal ini sesuai dengan fenomena Urban Heat Island, hanya saja banyak yang tidak tercatat karena tidak terdapat penakar yang memadai.

Pada potensi hujan lemah atau kecil, hujan biasanya terjadi secara sporadis pada tempat yang berbeda dengan intensitas lemah, sehingga secara rata-rata spasial, tebal hujan menjadi kecil. Ini sangat wajar, akan tetapi, pada potensi hujan besar, konveksi yang berjalan aktif pada lingkungan lembab menyebabkan banyak awan yang tumbuh tinggi sehingga banyak menghasilkan hujan. Hasil analisis kondisi cuaca selama kegiatan menunjukkan bahwa kondisi atmosfer memiliki potensi besar dan sedang dan kebanyakan awan di daerah ini justru terkonsentrasi di atas daerah Jaka Baring, atau pada perbatasan kompleks olah raga. Fakta yang terjadi adalah bahwa pada kondisi dengan potensi sedang dan besar (kuat) seperti tanggal 11, 19, 20, dan 21 dan 22 November 2011, populasi awan sangat banyak, di atas Komplek Olah Raga Jaka Baring, maupun diluar kompleks. Namun Teknologi ini berhasil menekan proses hujan menjadi minimal. Keberhasilan Teknologi ini dalam menekan proses hujan diulangi lagi (repeated) pada tanggal 21 dan 22 November 2011.

Untuk dapat dapat lebih menjaga dan menjamin kesuksesan acara penutupan, pada tanggal 21 November 2011, empat (4) stasiun direlokasikan ke dalam kompleks olah raga Jaka Baring (lihat berita acara kegiatan), atau pada lokasi yang sedekat dekatnya dengan batas Komplek Olah raga Jaka Baring,

Pada Tanggal 21, awan di atas kompleks jaka baring sangat banyak, mulai dari jam 9 pagi, dan mencapai puncaknya pada jam 15:00. Namun aktivitas penyemaian dari udara (aerial seeding) bersama penembakan awan dari darat menggunakan

generator partikel yang dilakukan sejak jam 9 pagi dapat menahan proses hujan, menjatuhkan di luar kompleks olah raga sehingga di kompleks olah raga tidak terjadi hujan. Hujan lebat justru terjadi luar diperbatasan kompleks. Ini sangat jelas dari observasi yang dilakukan dari areal venue Lapangan Tembak.

Pada Tanggal 22 yang merupakan acara penutupan, keadaan cuaca seperti tanggal 21 kembali terjadi, Di atas dan di perbatasan Penuh dengan awan menjulang tinggi. Sejak jam 08.:30 telah dilakukan areal seeding di sekitar Jaka Baring, penembakan awan menggunakan generator partikel juga sudah dimulai sejak jam 10 pagi. Di areal ini, Pohon Flare dan super higroskopik liquid tidak pernah berhenti di nyalakan. Untuk menekan dan menghalangi proses hujan, pada pagi harinya telah ditambahkan sebanyak empat (4) pembakar (burner) liquid super higro, sehingga pada hari penutupan ini, diyalakan delapan (8) pembakar terus menerus. Dengan aktifitas ini, Jaka Baring tetap tidak terjadi hujan walau disekitarnya diluar hujan. Pada Jam 18, awan guruh (thunder storm) terlihat di Barat, diluar kompleks Jaka Baring telah menurunkan hujan sangat lebat, hingga terlihat sebagai tembok air (rain shaft) yang tercipta dari dasar awan guruh (TS) itu hingga mencapai permukaan tanah. Rain shaft ini terus bergeser, ke selatan sambil menghasilkan angin kuat ke arah Jaka Baring. Keadaan ini sebetulnya sangat mencemaskan, karena acara penutupan masih berlangsung. Namun satu jam kemudian, kekhawatiran ini menjadi kenyataan, setelah hujan di luar arena Jaka Baring, terbentuk anvil yang mengarah ke Jaka Baring, makin lama makin tebal dan gelap, dan mulai turun gerimis kecil

Melihat keadaan gawat seperti ini, stasiun di Lapangan Tembak makin meningkatkan penembakan ke awan di atasnya dengan generator partikel, laju alirannya makin diperbesar, dibarengi dengan

penyalan flare sekaligus dua hingga tiga buah secara bersamaan. Asap yang dihasilkan dari kegiatan ini sangat banyak sehingga suasana areal lapangan tembak tampak diselimuti kabut asap. Setelah "perang" ini berlangsung selama satu jam, maka pada sekitar pukul 21:00, hujan gerimis halus berhenti total, dan beberapa saat kemudian pesta kembang api menutup acara SEAGAMES dalam keadaan cuaca yang cerah, namun sejuk. Karakteristik hujan yang hanya turun di downwind kompleks olah raga Jaka Baring menunjukkan bahwa pada tanggal 19, 21 dan 22 November 2011, terjadi efek Urban Heat Islands yang kuat di areal Jaka Baring. Bila tidak di lawan dengan TMC (areal seeding dan ground seeding), diyakini perkembangan awan pada hari hari dengan potensi sedang dan kuat membuat kompleks olah raga banyak terkena hujan, sedang maupun lebat.

## 5. KESIMPULAN

- Selama kegiatan TMC tanggal 09 s.d. 23 November 2011 telah dilakukan 80 sorti penerbangan dengan pemakaian bahan semai flare sebanyak 325 buah, powder 44,2 ton. Kegiatan pohon flare dan burning menghabiskan bahan 260 buah CoSAT dan 3.600 liter liquid.
- Berdasarkan peta isohyets yang diperoleh dari data selama kegiatan TMC dari tanggal 09 s.d. 23 November, menunjukkan bahwa kejadian hujan terbesar terjadi di daerah Sekayu dengan nilai curah hujan sebesar 317 mm dan yang terkecil di Pangkalan Lampan yaitu 0 mm. Jakabaring mempunyai curah hujan relative kecil dan hujan banyak terjadi pada malam hari.
- Hasil pengamatan hujan secara kualitatif di Jakabaring menunjukkan kejadian hujan terjadi pada malam hari, sedangkan pada siang hari ada beberapa hari yang menunjukkan gerimis.
- Hasil analisa perbandingan prediksi curah hujan di areal Jakabaring pada koordinat 3.01° LS dan 104.79° BT (Jakabaring Sport Center) yang dikeluarkan oleh NOAA Air Resources Laboratory menunjukkan bahwa secara umum besarnya curah hujan yang terjadi relative lebih kecil jika dibandingkan dengan besarnya curah hujan yang diprediksi.
- Integrasi Aerial Seeding (menggunakan pesawat) dan Ground Seeding untuk menembak awan dari darat menggunakan "flare tree" dan penyalan "burner pembakar super hygroskopik liquid" telah dilakukan di areal Jaka Baring selama penyelenggaraan SEAGAMES 26 tahun 2011 guna menghambat proses hujan, menekan perkembangan awan, dan memandulkan awan di atas kompleks olah raga Jakabaring.

## Referensi

- Givati, A. and D. Rosenfeld, 2004: Quantifying precipitation suppression due to air pollution, *Journal of Applied Meteorology*, 43, pp.1038-1056.
- Bruintjes, R. T., V. Salazar, D. Breed, Jia Li, Peter R. Buseck, T. Jensen, K. Ross, S. Piketh, and J. Reid, 2004: Aerosol-Cloud Interactions: Observation Studies of the Effects on Cloud and Precipitation Development.
- Khain, A., D. Rosenfeld, and A. Pokrovsky, 2005: Aerosol impact on the dynamics and microphysics of deep convective clouds, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, pp. 2639-2633.
- Pinsky M., A. Khain, and M. Shapiro, 2000: Collision efficiency of drops in a wide range of Reynolds numbers: effects of pressure on spectrum evaluation, *J. Atmos. Sci.*, 58, pp. 742-764.