

# **PEDOMAN**

Konstruksi dan Bangunan

---

## **Monitoring dan evaluasi hasil penerapan Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) dalam pengisian waduk**

Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah  
Nomor : 360/KPTS/M/2004  
Tanggal : 1 Oktober 2004



**DEPARTEMEN PERMUKIMAN DAN PRASARANA WILAYAH**

## **Prakata**

Pedoman ini termasuk dalam Gugus Kerja Hidrologi, Hidraulika, Lingkungan, Air tanah dan Air baku pada Sub-Panitia Teknik Bidang Sumber Daya Air, yang berada di bawah Panitia Teknik Konstruksi dan Bangunan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

Penulisan pedoman ini mengacu kepada Pedoman BSN No.8 Tahun 2000 dan telah mendapat masukan dan koreksi dari ahli bahasa.

Perumusan pedoman ini dilakukan melalui proses pembahasan pada Gugus Kerja, Prakonsensus dan Konsensus pada tanggal 10 September 2003 di Pusat Litbang Sumber Daya Air Bandung serta proses penetapan pada Panitia Teknik yang melibatkan para narasumber dan pakar dari berbagai instansi terkait.

Pedoman monitoring dan evaluasi hasil penerapan Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) dalam pengisian waduk adalah judul yang telah disempurnakan atas masukan para peserta pada rapat Gugus Kerja dan Pra-konsensus. Isi dan format telah disempurnakan sesuai dengan saran dan masukan dari para peserta Rapat Gugus Kerja sampai Konsensus penyusunan NSPM Bidang Sumber Daya Air Tahun Anggaran 2003 yang diselenggarakan pada tanggal 10 September 2003.

## Daftar isi

Prakata .....	i
Daftar isi .....	ii
Pendahuluan .....	iii
1 Ruang lingkup .....	1
2 Acuan normatif .....	1
3 Istilah dan definisi .....	1
4 Persyaratan .....	2
5 Waktu pelaksanaan .....	3
6 Monitoring dan evaluasi .....	3
6.1 Monitoring .....	3
6.2 Evaluasi .....	6
7 Badan pelaksana .....	11
8 Pelaporan .....	11
Lampiran A Gambar .....	12
Gambar A.1 Grafik baseflow S. Citarum, bulan April 2003 .....	12
Gambar A.2 Grafik volume aliran yang masuk ke waduk dan volume curah hujan rata-rata DAS .....	12
Lampiran B Contoh analisis manfaat berdasarkan hasil TMC di DAS Citarum, tanggal 17 April - 6 Mei 2003 .....	13
Lampiran C Daftar nama dan lembaga .....	14
Bibliografi .....	15

## Pendahuluan

Terjadinya perubahan iklim *global*, telah mempengaruhi kondisi iklim di Indonesia. Musim kemarau yang terjadi setiap tahun merupakan peristiwa alam. Lamanya musim kemarau antara satu daerah dengan daerah lain tidak sama. Hal itu tergantung pada kondisi iklim regional dan mikronya. Semakin lama musim kemarau berlangsung akan menimbulkan dampak semakin kering sehingga perlu dicarikan alternatif penanggulangannya.

Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) adalah suatu teknologi yang dapat membantu proses terbentuknya awan-awan hujan sampai jatuhnya curah hujan yang merupakan salah satu alternatif untuk mengatasi kekeringan atau menambah debit air masuk dalam rangka meningkatkan Tinggi Muka Air (TMA) waduk.

Pelaksanaan TMC dan pelaksanaan Monitoring dan Evaluasi (Monev) dilakukan oleh instansi yang berbeda. Hal itu dimaksudkan untuk menjaga tingkat independensi dan obyektivitas dalam melakukan evaluasi pada saat sebelum, saat pelaksanaan, dan pasca pelaksanaan TMC.

Selama ini pelaksanaan TMC dilakukan oleh Unit Pelaksana Teknis (UPT) Hujan Buatan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), sedangkan Monitoring dan Evaluasinya dilakukan oleh Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air. Di masa yang akan datang tidak tertutup kemungkinan pelaksanaan TMC dan Monev-nya dapat dilakukan oleh suatu badan, instansi pemerintah lain, perusahaan pemerintah (BUMN, BUMD), perusahaan-perusahaan swasta, atau lembaga-lembaga swasta yang sudah mendapatkan akreditasi dari instansi yang berwenang dan berpengalaman.

## **Monitoring dan evaluasi hasil penerapan Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) dalam pengisian waduk**

### **1 Ruang lingkup**

Pedoman monitoring dan evaluasi hasil penerapan Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) dalam pengisian waduk meliputi hal-hal sebagai berikut.

- a) Monitoring data yaitu pengumpulan data hidrologi sebelum, selama dan pasca pelaksanaan TMC. Data yang dikumpulkan terdiri atas
  - 1) data karakteristik waduk-waduk seperti data Tinggi Muka Air (TMA) waduk, tabel hubungan antara TMA dengan volume tampungan, tabel hubungan antara TMA dengan luas permukaan waduk,
  - 2) data curah hujan dan contoh air hujan, dan
  - 3) data debit sungai.
- b) Evaluasi terhadap hasil penerapan TMC yang meliputi analisis teknis hidrologi, analisis manfaat, dan analisis kualitas air.

### **2 Acuan normatif**

- SNI 03-2414-1991 : Metode pengukuran debit sungai dan saluran terbuka.
- SNI 03-3412-1994 : Metode perhitungan debit sungai harian.
- SNI 03-2822-1992 : Metode pembuatan lengkung debit dan tabel sungai/saluran terbuka dengan analisa grafis.
- SNI 06-2413-1991 : Metode pengujian kualitas fisika air.
- SNI 06-2428-1991 : Metode pengujian Natrium dalam air dengan alat spektrofotometer serapan atom.
- SNI 06-2430-1991 : Metode pengujian Magnesium dalam air dengan titrimetri EDTA.
- SNI 06-2431-1991 : Metode pengujian Klorida dalam air dengan alat Argentometri Mohr.

### **3 Istilah dan definisi**

**3.1 Aliran sungai** adalah gerakan air yang dinyatakan dengan gejala dan ukuran parameternya.

**3.2 Curah hujan** adalah semua air yang jatuh dari atmosfer setelah melalui proses kondensasi alami dan jatuh ke permukaan bumi.

**3.3 Daerah aliran sungai (DAS)** adalah suatu kesatuan wilayah tata air yang terbentuk secara alamiah yang terutama dibatasi oleh punggung-punggung bukit tempat air meresap dan atau mengalir dalam suatu sistem pengaliran melalui lahan, anak sungai, dan sungai induknya.

**3.4 Debit aliran** adalah volume air yang mengalir melalui penampang melintang sungai atau saluran dalam satuan waktu tertentu yang dinyatakan dalam satuan Liter/detik atau m<sup>3</sup>/detik.

**3.5 Evaluasi** adalah penilaian teknis terhadap suatu pekerjaan yang telah dilakukan secara teknis dan sistematis sebagai dasar pengambilan keputusan.

**3.6 Hujan buatan** adalah suatu istilah yang dipergunakan oleh instansi BPPT selama ini dalam pelaksanaan pekerjaan modifikasi cuaca yang bertujuan mempercepat proses jatuhnya curah hujan di tempat tertentu.

**3.7 Lengkung debit** adalah suatu kurva yang menggambarkan hubungan antara tinggi muka air dengan debit sungai atau saluran terbuka.

**3.8 Monitoring** adalah pemantauan suatu obyek yang dilakukan secara kronologis dan pengumpulan data akibat suatu kegiatan.

**3.9 Penakar hujan biasa** adalah alat ukur ketebalan curah hujan secara manual.

**3.10 Pengukuran debit** adalah proses pengukuran dan perhitungan kecepatan, kedalaman, dan lebar aliran serta perhitungan luas penampang basah untuk menghitung debit di sungai/saluran terbuka.

**3.11 Pos duga air** adalah bangunan di sungai yang dipilih untuk mengamati tinggi muka air secara sistematis agar dapat berfungsi untuk menentukan debit.

**3.12 Sorti** adalah jalur penerbangan yang telah direncanakan untuk menaburkan bahan-bahan semai, seperti kapur tohor dan garam dapur.

**3.13 Teknologi modifikasi cuaca (TMC)** adalah suatu upaya manusia dengan memanfaatkan parameter cuaca dan kondisi iklim pada lokasi tertentu untuk tujuan yang menguntungkan, yaitu pengurangan bencana alam yang diakibatkan oleh iklim dan cuaca seperti musim kemarau, banjir, tanah longsor, dan kebakaran hutan.

**3.14 Tinggi muka air** adalah elevasi permukaan air pada suatu penampang melintang sungai terhadap suatu titik elevasi tertentu.

**3.15 Tinggi muka air (TMA) waduk** adalah tinggi permukaan air di waduk atau danau yang diukur dengan alat ukur yang dipasang di tepinya. TMA waduk biasanya dihubungkan dengan volume atau luas permukaan waduk atau danau.

## 4 Persyaratan

Untuk dapat melaksanakan monitoring dan evaluasi TMC diperlukan persyaratan sebagai berikut.

- a) Harus tersedia peta topografi sekurang-kurangnya skala 1 : 50.000.
- b) Harus tersedia data TMA waduk, tabel hubungan antara TMA dengan volume waduk, tabel hubungan antara TMA dengan luas permukaan waduk, dan data debit air keluar.
- c) Periode pengamatan TMA untuk setiap waduk harus sama.
- d) Harus tersedia pos duga air di sungai utama (opsi).
- e) Harus tersedia pos curah hujan di dalam DAS tiap waduk dengan jumlah dan distribusi yang memadai.
- f) Harus tersedia pos meteorologi di dalam dan di luar DAS waduk.
- g) Harus tersedia tenaga ahli hidrologi yang berpengalaman di bidangnya sekurang-kurangnya 5 tahun sebanyak 4 orang.
- h) Harus tersedia teknisi hidrologi/hidrometri lapangan yang berpengalaman di bidangnya sekurang-kurangnya 5 tahun sebanyak 3 orang.

- i) Harus tersedia ahli kualitas air yang berpengalaman di bidangnya sekurang-kurangnya 5 tahun, sebanyak 1 orang.
- j) Harus tersedia supervisor yang berpengalaman di bidangnya sekurang-kurangnya 7 tahun, sebanyak 1 orang.

## 5 Waktu pelaksanaan

Pelaksanaan Monitoring dan Evaluasi dilaksanakan dalam tiga tahap, yaitu pada tahap sebelum, tahap selama TMC dalam setiap dasarian (sepuluh harian), dan pada tahap selesainya pelaksanaan TMC sampai H + 2.

## 6 Monitoring dan evaluasi

Teknologi Modifikasi Cuaca (TMC) merupakan suatu teknologi, yang sampai saat ini, dimanfaatkan untuk membantu meningkatkan TMA waduk-waduk. Setiap upaya menjatuhkan hujan di atas DAS waduk-waduk diharapkan dapat menjadi aliran dan masuk ke waduk. Dalam kenyataannya kondisi tersebut belum tentu dapat tercapai karena banyak faktor yang mempengaruhinya, antara lain intensitas curah hujan yang rendah dan tingkat kejenuhan tanah rendah sehingga menyebabkan curah hujan yang menjadi aliran sangat sedikit atau tidak menjadi aliran sama sekali.

Dalam pelaksanaan monitoring dilakukan pengumpulan data hidrologi, TMA waduk, air masuk, air keluar, dan data lain sebelum, saat pelaksanaan, dan pasca-TMC selesai. Pada pelaksanaan evaluasi dilakukan analisis hidrologi waduk, debit aliran, dan curah hujan termasuk analisis manfaatnya.

### 6.1 Monitoring

Untuk mendapatkan hasil TMC yang maksimal perlu dilakukan monitoring pelaksanaan TMC. Monitoring adalah pengumpulan data selama TMC yang dilakukan mulai hari H - 2 sampai dengan hari H + 2. Data yang dikumpulkan selama TMC meliputi hal-hal sebagai berikut.

#### 6.1.1 Peta topografi

Peta topografi diperlukan sebagai alat penunjang dalam analisis untuk mengetahui kerapatan pos curah hujan di suatu DAS/Sub DAS. Apabila kerapatan pos curah hujan tidak menyebar secara merata, perlu diadakan pemasangan pos curah hujan baru. Hal iitu dimaksudkan agar analisis curah hujan rata-rata DAS dapat mewakili kondisi DAS/sub DAS yang ada.

Peta topografi diperlukan untuk menghitung luas DAS sebagai masukan bagi model-model hidrologi yang dipergunakan.

#### 6.1.2 Data karakteristik waduk

Data karakteristik waduk yang diperlukan meliputi beberapa hal berikut.

- 1) Data TMA waduk  
Data yang dikumpulkan meliputi data TMA harian waduk sebelum, selama, dan sesudah pelaksanaan TMC.
- 2) Kurva atau tabel hubungan TMA dengan volume tampungan dan antara TMA dengan luas permukaan. Kurva atau tabel ini diperlukan untuk mengetahui kondisi volume tampungan dan luas permukaan air waduk pada TMA tertentu.
- 3) Data debit air keluar (AK) waduk  
Data debit air keluar waduk terdiri atas debit air keluar melalui turbin, keluaran bawah (*bottom outlet*), dan bangunan pelimpah (*spillway*).

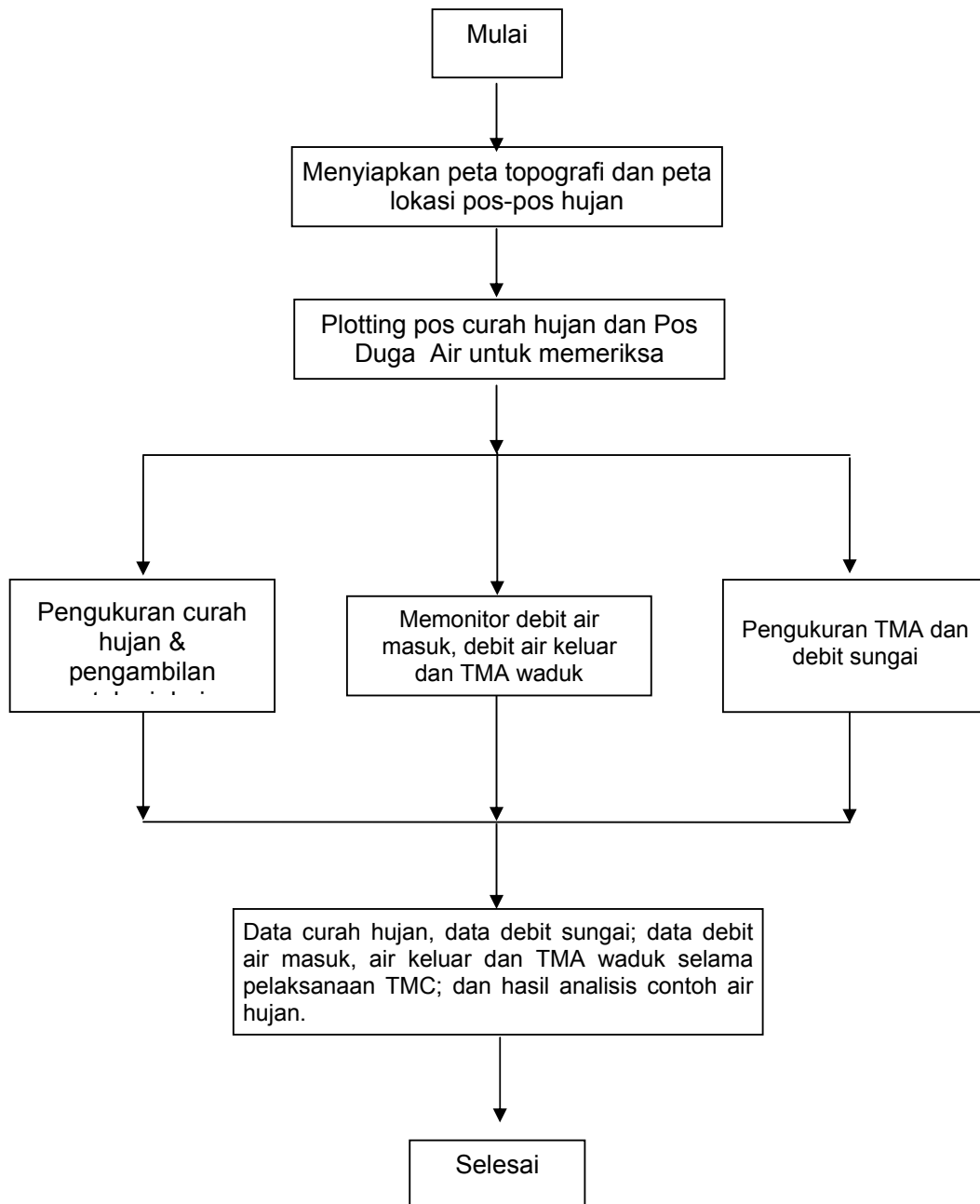
- 4) Data debit air masuk (AM)  
Data debit air masuk meliputi debit air masuk dari sungai induk maupun dari anak-anak sungai.
- 5) Data debit aliran sungai  
Data debit yang dikumpulkan meliputi debit aliran sungai yang masuk ke waduk yang berlokasi di hulu. Data debit aliran tersebut dapat diperoleh
  - (a) dari data sekunder yang telah dikumpulkan oleh instansi yang berkompeten,
  - (b) hasil pengukuran debit aliran langsung di lapangan.Data debit aliran sungai dapat dijadikan sebagai acuan untuk mengetahui peningkatan debit aliran pada sub-sub DAS sebelum masuk ke waduk.
- 6) Data curah hujan  
Data curah hujan yang dimaksudkan adalah sebagai berikut.
  - (a) Data curah hujan yang jatuh di permukaan tanah yang diamati melalui pos-pos curah hujan. Dalam hal ini termasuk yang diukur di pos meteorologi yang dibangun selama kegiatan TMC.
  - (b) Curah hujan yang terjadi di atmosfer diamati melalui pesawat terbang dan radar cuaca.
  - (c) Data curah hujan digunakan sebagai masukan dalam menghitung besarnya aliran dengan model-model hidrologi yang sesuai
- 7) Data kualitas air hujan  
Data kualitas air hujan diperoleh dari contoh air hujan yang dikumpulkan sebelum, selama, dan sesudah pelaksanaan TMC. Data tersebut dipergunakan untuk mengevaluasi pengaruh TMC terhadap lingkungan.

Langkah-langkah yang dilakukan untuk memonitor pelaksanaan TMC adalah sebagai berikut.

- a) Siapkan peta topografi dan peta lokasi pos-pos curah hujan pada DAS yang akan dilakukan TMC.
- b) Tentukan koordinat lokasi pos curah hujan, khususnya untuk pos curah hujan yang belum ada koordinatnya.
- c) Periksa kondisi dan kerapatan pos hujan. Bila pos hujan dirasa kurang kerapatannya lakukan penambahan dan bila kondisi pos hujan sudah rusak, lakukan perbaikan.
- d) Lakukan pengukuran debit aliran sungai dimulai dari hari H - 2 sampai dengan hari H + 2.
- e) Lakukan pengukuran curah hujan secara harian dimulai dari hari H - 2 sampai dengan hari H + 2.
- f) Ambil contoh air hujan untuk tebal hujan yang lebih besar dari 10 mm dimulai dari hari H - 2 sampai dengan hari H + 2.
- g) Lakukan pemantauan tinggi muka air waduk dimulai dari hari H - 2 sampai dengan hari H + 2.
- h) Beritahukan kepada Tim Pelaksana agar mengalihkan sorti penerbangan yang telah direncanakan ke daerah lain, apabila terjadi banjir atau tanah longsor di salah satu lokasi tempat TMC berlangsung.
- i) Laporkan semua data yang dikumpulkan ke Posko TMC untuk diketahui oleh pelaksana dan instansi lain yang terkait dengan TMC.

Tahap kegiatan monitoring dapat dilihat pada bagan alir Gambar 1.





Gambar 1 Bagan alir tahap monitoring

## 6.2 Evaluasi

Pada tahap evaluasi dilakukan analisis berjenjang terhadap pelaksanaan TMC. Tidak masuknya aliran ke waduk tidak berarti pelaksanaan TMC tidak mencapai sasaran. Oleh karena itu, tinjauan analisisnya dipersempit dengan melakukan analisis debit aliran pada pos-pos duga air yang terletak di bagian hulu waduk. Jika debit aliran belum terpantau di pos-pos duga air, analisisnya dilakukan ke arah hulu, yaitu dengan memonitor curah hujan yang jatuh di pos-pos curah hujan yang telah ditentukan. Jika dari seluruh pos curah hujan yang dipantau tidak terdapat satu pos curah hujan atau lebih yang mencatat curah hujan, dapat dikatakan pelaksanaan TMC tidak mencapai sasaran yang disebabkan oleh berbagai faktor sebagaimana telah dijelaskan pada pasal 6.

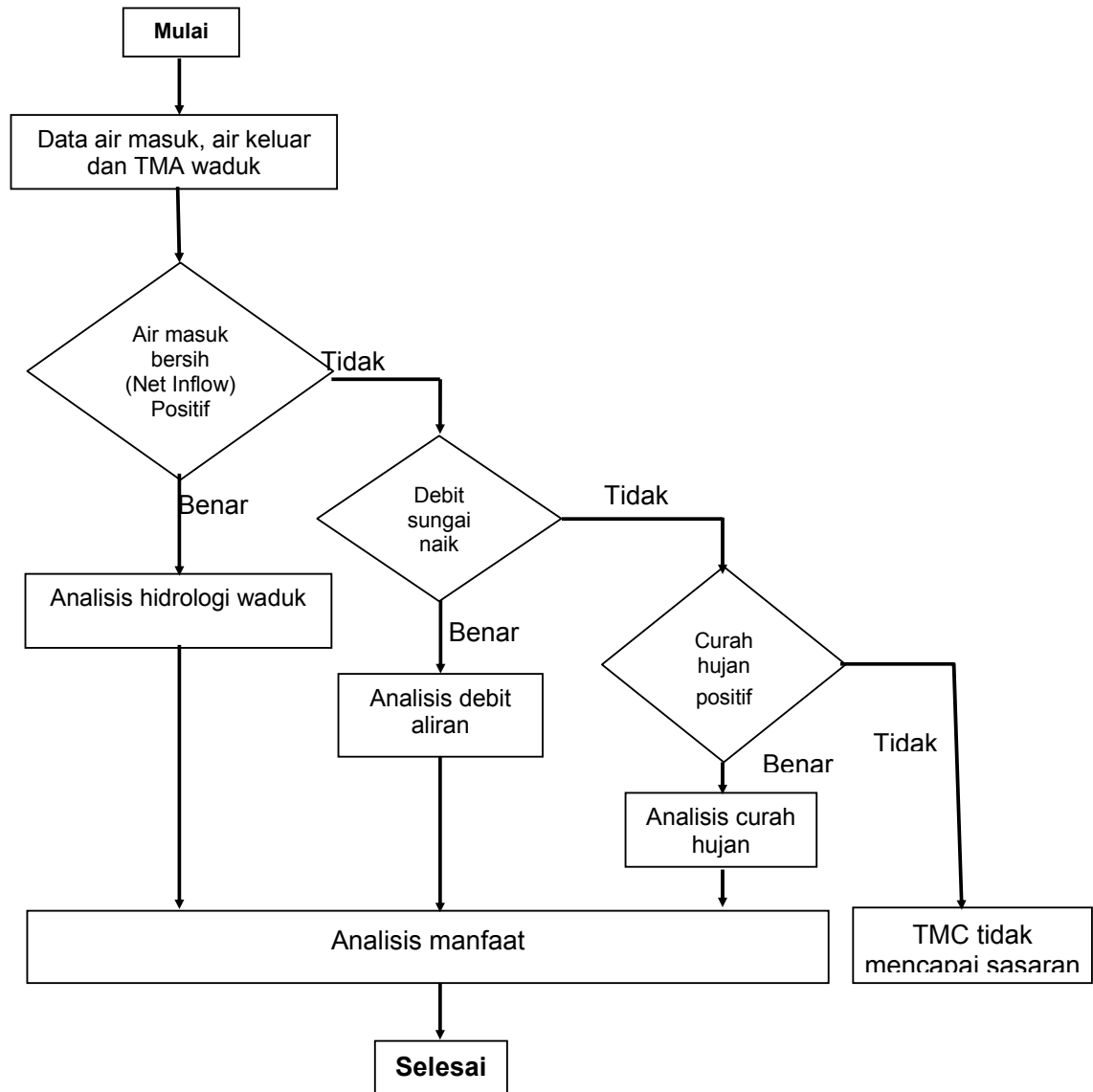
Evaluasi pelaksanaan TMC terdiri dari tiga bagian, yaitu sebagai berikut.

- a) Evaluasi teknis yang dilakukan pada tiap dasarian (sepuluh harian) selama TMC berlangsung bertujuan untuk menentukan pencapaian target dan sekaligus untuk menentukan apakah pelaksanaan TMC dapat dilanjutkan pada dasarian berikutnya. Dasar evaluasi adalah data curah hujan yang berhasil dipantau dari seluruh pos curah hujan yang telah ditentukan sebelum TMC dilaksanakan dan terletak pada satu DAS atau di sekitar DAS. Apabila dalam tiap dasarian semua pos curah hujan yang terletak di dalam DAS tidak menangkap curah hujan selama tiga hari berturut-turut serta ditunjang oleh data iklim/cuaca lainnya, atas kesepakatan bersama antara pihak pemberi kerja, pelaksana TMC, dan Tim Monev, pelaksanaan TMC pada dasarian berikutnya tidak dilanjutkan.
- b) Evaluasi lingkungan dilakukan setelah pelaksanaan TMC. Tujuannya adalah untuk mendeteksi sedini mungkin jika terjadi perubahan kualitas air akibat adanya kegiatan TMC. Hal-hal yang dipantau meliputi pengukuran kualitas air baik secara fisik maupun kimiawi serta pengamatan kondisi lingkungan secara umum. Pengukuran kualitas air tersebut dilakukan dengan cara mengambil contoh air hujan yang dibagi dalam tiga tahap, yaitu sebagai berikut.
  - 1) Tahap I (sebelum dilaksanakan kegiatan TMC)  
Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran keadaan lingkungan sebelum dilakukan kegiatan TMC. Hasil pengamatan tahap I digunakan sebagai dasar gambaran keadaan lingkungan alam sebelum adanya kegiatan TMC (informasi *base line*).
  - 2) Tahap II (pada periode kegiatan TMC)  
Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran keadaan kondisi lingkungan karena adanya kegiatan TMC sehingga dapat diketahui perubahan-perubahan yang mungkin terjadi akibat adanya kegiatan TMC.
  - 3) Tahap III (setelah periode kegiatan TMC)  
Tahap ini dilakukan untuk mendapatkan gambaran daya dukung/kemampuan lingkungan untuk memperbaiki atau memulihkan kembali bila terjadi perubahan akibat adanya kegiatan TMC.

Parameter yang diperiksa dari contoh air yang diperiksa meliputi parameter fisik dan kimiawi yang merupakan derivat dari bahan semai yang digunakan. Hasil analisis laboratorium contoh air tersebut kemudian dikaji untuk melihat apabila terjadi perubahan dalam periode waktu di atas.

- c) Evaluasi hasil TMC bertujuan untuk mengetahui tambahan air hujan dan atau aliran di daerah target selama kegiatan TMC berlangsung. Tambahan air hujan dan atau aliran adalah peningkatan curah hujan dan atau aliran pada periode kegiatan TMC bila dibandingkan dengan curah hujan dan atau aliran apabila tidak ada kegiatan TMC. Evaluasi akhir dilaksanakan setelah hari H + 2 meliputi analisis hidrologi waduk, analisis volume hidrograf aliran langsung, analisis curah hujan wilayah DAS, analisis tebal aliran yang masuk ke waduk, analisis debit aliran, analisis kualitas air, dan analisis manfaat

sebelum, selama dan sesudah operasi TMC. Curah hujan yang jatuh di suatu DAS selama pelaksanaan TMC dapat dimonitor melalui fluktuasi TMA waduk atau melalui debit aliran di sungai yang terletak di hulu waduk atau melalui data curah hujan yang dimonitor oleh pos curah hujan. Jika TMC dilaksanakan pada akhir musim kemarau, kemungkinan belum menjadi aliran dan tidak masuk ke waduk karena sebagian besar terserap oleh tanah dan mengalami penguapan. Jika TMC dilaksanakan pada akhir musim hujan, kemungkinan menjadi aliran dan masuk ke waduk karena kondisi tanah di seluruh DAS dalam keadaan jenuh. Atau kemungkinan tidak menjadi aliran karena kehilangan momentum di akhir musim hujan. Ketiga kondisi tahap kegiatan evaluasi dapat dilihat pada bagan alir Gambar 2.



**Gambar 2 Bagan alir tahap evaluasi**

### 6.2.1 Analisis data hidrologi waduk

- a) Jika waduk mempunyai data debit aliran masuk yang dimonitor oleh Pos Duga Air Otomatik, volume air yang masuk ke waduk dapat dihitung langsung dengan mengalikan debit air masuk rata-ratanya dengan waktu.

$$Vol = Q \cdot t \dots\dots\dots (1)$$

dengan pengertian :

**Q** adalah debit aliran, dalam m<sup>3</sup>/detik

**Vol** adalah volume dalam m<sup>3</sup>

**t** adalah waktu dalam detik

Contoh :

Jika diketahui debit air masuk rata-rata ke waduk sebesar 90 m<sup>3</sup>/detik, besarnya volume aliran yang masuk ke waduk dalam satu hari adalah sebagai berikut.

Waktu 1 hari = 24 jam x 60 menit x 60 detik = 86.400 detik.

Dengan menggunakan rumus (1) volume aliran yang masuk ke waduk = 90 m<sup>3</sup>/detik x 86.400 detik = 7.776.000 m<sup>3</sup>

- b) Jika tidak, debit air masuk ke waduk harus dihitung dengan metode keseimbangan air waduk.
- c) Untuk menghitung debit air masuk dengan metode seperti pada butir 6.2.1. b), data TMA waduk harus dikonversikan terlebih dahulu menjadi volume dengan menggunakan kurva hubungan antara TMA dengan volume tampungan waduk dalam m<sup>3</sup>.
- d) Konversikan data debit air keluar menjadi volume dalam satuan m<sup>3</sup>.
- e) Hitung volume air masuk ke waduk dengan rumus keseimbangan air di waduk sebagai berikut,

$$\frac{I_1 + I_2}{2} t - \frac{O_1 + O_2}{2} t = S_2 - S_1 \dots\dots\dots (2)$$

atau

$$I_{n-1} + I_n + \left( \frac{2S_{n-1}}{\Delta t} - O_{n-1} \right) = \frac{2S_n}{\Delta t} + O_n \dots\dots\dots (3)$$

atau

$$I_n = \frac{2S_n}{\Delta t} - \left( \frac{2S_{n-1}}{\Delta t} - O_{n-1} \right) + O_n - I_{n-1} \dots\dots\dots (4)$$

dengan pengertian:

**I<sub>n-1</sub>** adalah air masuk pada saat *n-1*

**I<sub>n</sub>** adalah air masuk pada saat *n*

**O<sub>n-1</sub>** adalah air keluar pada saat *n-1*

**O<sub>n</sub>** adalah air keluar pada saat *n*

**S<sub>n-1</sub>** adalah storage waduk pada saat *n-1*

**S<sub>n</sub>** adalah storage waduk pada saat *n* dan  $\Delta t$  = periode waktu

- f) Volume air masuk bersih ke waduk adalah volume air masuk yang dihitung pada sub pasal 6.2.1 e setelah dikurangi dengan besarnya debit aliran dasar (*baseflow*) harian.

### 6.2.2 Penentuan volume hidrograf aliran langsung

Karakteristik aliran suatu sungai merupakan gabungan antara aliran permukaan (*rainfall-runoff*) ditambah dengan aliran dasar. Jadi, ada atau tidak adanya TMC aliran dasar di suatu sungai tetap mengalir. Untuk menghitung besaran aliran dasar suatu sungai, dapat didekati, antara lain, dengan persamaan sebagai berikut.

$$Q_t = Q_0 e^{-\alpha t} \dots\dots\dots (5)$$

dengan pengertian :

$Q_t$  adalah debit aliran dasar pada waktu  $t$ , dalam  $m^3/detik$ ;

$Q_0$  adalah debit awal, dalam  $m^3/detik$ ;

$e$  adalah 2,7182818;

$\alpha$  adalah koefisien akifer;

$t$  adalah waktu.

Waktu awal ditetapkan dengan cara pendekatan, yaitu menentukan kapan awal musim kemarau atau akhir musim hujan, atau sebaliknya, yaitu akhir musim kemarau atau awal musim hujan.

Berdasarkan persamaan (5) besaran debit aliran dasar menurun secara eksponensial negatif seperti terlihat pada Gambar A.1 pada Lampiran A.

### 6.2.3 Analisis debit aliran sungai

Selama pelaksanaan TMC, mungkin saja turun hujan dan menjadi aliran, tetapi karena besarnya daya serap tanah dan penguapan menyebabkan aliran tidak dapat mencapai waduk. Oleh karena itu, kegiatan pemantauan aliran harus dilakukan ke arah hulu melalui pengukuran debit aliran yang dilakukan pada pos-pos duga air yang ada. Secara umum debit aliran dapat dihitung dengan rumus

$$Q = V \cdot A \dots\dots\dots (6)$$

dengan pengertian :

$V$  adalah kecepatan aliran, dalam  $m/detik$ ;

$A$  adalah luas penampang basah, dalam  $m^2$

Selanjutnya, dari hasil pengukuran debit dapat dihitung besarnya volume aliran yang terjadi dalam suatu DAS/Sub DAS dengan rumus (1).

### 6.2.4 Analisis curah hujan dan tebal aliran masuk ke waduk

Analisis curah hujan dapat mengikuti langkah-langkah sebagai berikut.

- a) Buat peta penyebaran pos-pos curah hujan dari setiap DAS waduk dan sekaligus menggambar peta isohit atau poligon Thiessen jika memungkinkan.
- b) Analisis data curah hujan yang terkumpul dan curah hujan rata-rata daerah alirannya dengan menggunakan salah satu metode, antara lain metode Thiessen, Isohit atau aritmatika, tergantung pada topografi, kepadatan, dan penyebaran lokasi pos curah hujan yang bersangkutan.
- c) Hitung jumlah curah hujan dan jumlah hari hujan yang terjadi selama TMC berlangsung.
- d) Hitung volume aliran data curah hujan dengan model-model hujan-aliran yang sesuai, seperti SSARR, Hec-1, dan Model Tangki.

Analisis tebal aliran yang masuk ke waduk perlu dilakukan. Hal itu bertujuan untuk melihat sampai seberapa jauh hubungan antara curah hujan yang jatuh di DAS suatu waduk dengan aliran yang masuk ke waduk. Caranya adalah sebagai berikut.

- a) Hitung tebal aliran yang masuk ke waduk dengan cara membagi volume aliran yang masuk ke waduk dengan luas DAS waduk yang bersangkutan dalam millimeter.
- b) Bandingkan dengan curah hujan rata-rata daerah alirannya. Terlihat tebal aliran lebih kecil dibandingkan dengan tebal curah hujan rata-rata DAS.
- c) Gambarkan kedua parameter tersebut dalam grafik yang sama yang tebal aliran dan curah hujannya terletak pada ordinat yang sama, sedangkan parameter waktu pada absis. Contoh grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar A.2 pada Lampiran A.

### 6.2.5 Analisis kualitas air

Contoh air hujan yang diambil pada saat TMC berlangsung dan pada saat TMC tidak berlangsung diuji di laboratorium untuk dianalisis unsur-unsur yang berhubungan dengan bahan semai yang ditaburkan selama TMC berlangsung. Karena bahan semai yang ditaburkan berupa kapur tohor (CaO) dan garam dapur (NaCl), unsur-unsur yang diperiksa meliputi pH, Daya Hantar Listrik (DHL), Kesadahan, Natrium dan Klorida.

Hasil dari laboratorium dievaluasi dengan membandingkan hasil pemeriksaan laboratorium terhadap contoh air hujan selama TMC berlangsung dengan curah hujan alami dengan kriteria yang berlaku. Unsur kimia yang dibandingkan adalah pH, Daya Hantar Listrik (DHL), Kesadahan, dan Natrium dan Klorida.

### 6.2.6 Analisis manfaat

Untuk mengetahui keefektifan pelaksanaan TMC perlu dilakukan analisis terhadap biaya yang dikeluarkan dan hasil yang didapatkan. Analisis meliputi perhitungan harga air per meter kubik atas biaya yang dikeluarkan (rupiah) terhadap hasil air yang diperoleh. Secara sederhana harga air per meter kubik dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$H = \frac{B}{V} \dots\dots\dots (7)$$

dengan pengertian :

**H** adalah harga air per meter kubik (rupiah)

**B** adalah biaya yang dikeluarkan untuk pelaksanaan TMC (rupiah)

**V** adalah volume air yang dihasilkan (m<sup>3</sup>)

Contoh analisis harga air dan manfaat terhadap produksi listrik dan produksi padi dapat dilihat pada lampiran B.

## 7 Badan pelaksana

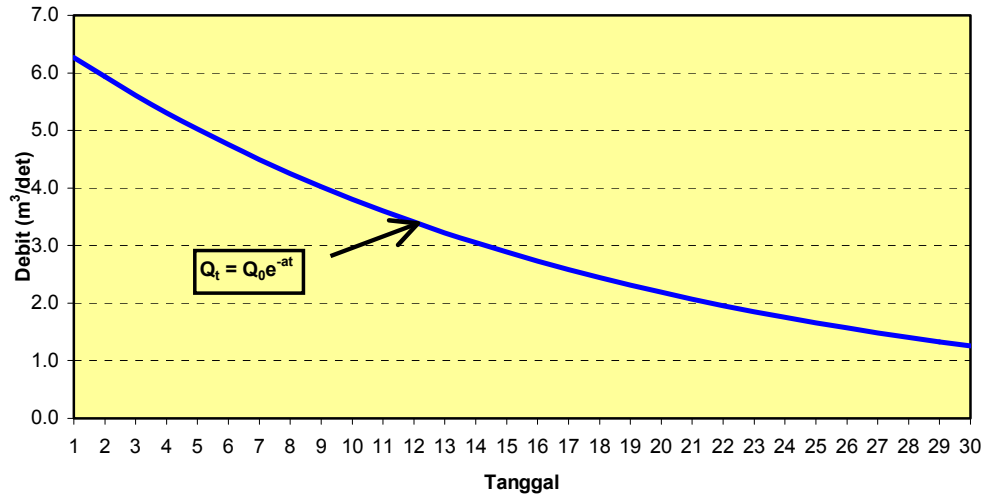
Pelaksanaan Teknologi Modifikasi Cuaca sampai sekarang masih dilaksanakan oleh instansi Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), UPT Hujan Buatan, sedangkan monitoring dan evaluasi terhadap keberhasilan pelaksanaan TMC tersebut dilakukan oleh instansi independen yaitu Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Departemen Kimpraswil. Di masa yang akan datang, tidak tertutup kemungkinan pelaksanaan TMC dan monitoring serta evaluasinya (Monev) dapat dilaksanakan oleh suatu badan, instansi pemerintah lainnya, perusahaan pemerintah (BUMN, BUMD), perusahaan-perusahaan swasta atau lembaga-lembaga swasta yang sudah mendapatkan akreditasi dari instansi yang berwenang dan berpengalaman.

## **8 Pelaporan**

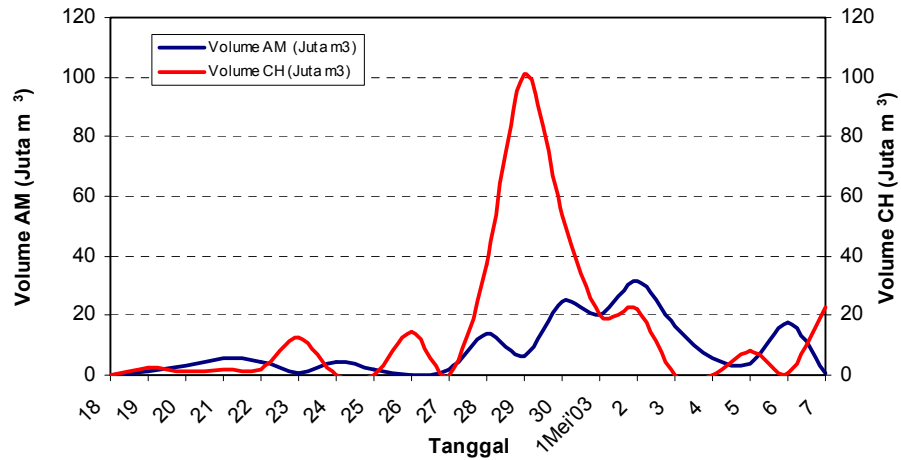
Laporan monitoring dan evaluasi berisi hasil pengumpulan dan analisis data seperti yang diuraikan pada pasal 6. Jumlah laporan dibuat sesuai dengan kebutuhan dan didistribusikan kepada instansi-instansi yang terkait erat dengan pelaksanaan TMC.

Lampiran A

Gambar



Gambar A.1 Grafik baseflow S. Citarum, bulan April 2003



Gambar A.2 Grafik volume aliran yang masuk ke waduk dan volume curah hujan rata-rata DAS



## Lampiran B

### Contoh analisis manfaat berdasarkan hasil TMC di DAS Citarum, tanggal 17 April - 6 Mei 2003

Pada pelaksanaan TMC di DAS Citarum tanggal 17 April sampai dengan 6 Mei 2003 diperoleh jumlah aliran yang masuk ke waduk-waduk adalah sebesar 283,6 juta m<sup>3</sup> dengan perincian sebagai berikut. Waduk Saguling 92,7 juta m<sup>3</sup>, Waduk Cirata 164,5 juta m<sup>3</sup>, dan Waduk Djuanda 26,4 juta m<sup>3</sup>. Dari jumlah aliran tersebut dapat dilakukan analisis berdasarkan biaya dan manfaat selama pelaksanaan TMC yaitu untuk harga air, produksi listrik, produksi padi, dan air baku sebagai berikut.

#### B.1 Harga air

Harga air per meter kubik (H) dapat dihitung berdasarkan rumus (7). Jika biaya pelaksanaan TMC menghabiskan biaya sebesar Rp.1.600.000.000,00 dan volume aliran yang diperoleh adalah sebesar 283,6 juta m<sup>3</sup>, harga air per meter kubik adalah

$$H = \frac{1.600.000.000}{283.600.000} = 5,64$$

Harga air per meter kubik adalah **Rp 5,64,00**

#### B.2 Manfaat

##### a) Produksi listrik

Untuk menghasilkan 1 kWh listrik, PLTA Saguling membutuhkan 1 m<sup>3</sup> air, PLTA Cirata 3 m<sup>3</sup> dan PLTA Djuanda 6 m<sup>3</sup> air. Jumlah kWh yang dihasilkan masing-masing PLTA sebesar :

1) PLTA Saguling	92.700.000 : 1 m <sup>3</sup>	=	92.700.000 kWh
2) PLTA Cirata	164.500.000 : 3 m <sup>3</sup>	=	54.830.000 kWh
3) PLTA Djuanda	26.400.000 : 6 m <sup>3</sup>	=	4.400.000 kWh
	Jumlah	=	151.930.000 kWh

Jika harga 1 kWh listrik sebesar Rp.100,00 hasil produksi listrik adalah  
151.930.000 x Rp 100,00 = **Rp 15.193.000.000,00**

##### b) Produksi padi

Kebutuhan air rata-rata untuk tanaman padi sekali tanam per hektar adalah 10.000 m<sup>3</sup>. Hasil air selama kegiatan TMC dapat mengairi sawah seluas 28.360 Ha.

Jika sawah per Ha menghasilkan 5 ton padi, jumlah padi yang dihasilkan sebesar  
28.360 x 5 ton = 141.800 ton.

Jika keuntungan harga padi Rp 1.500.000,-/ton maka hasil produksi keseluruhan sebesar  
141.800 x Rp 1.500.000,00 = **Rp 212.700.000.000,00**

##### c) Air baku untuk air minum DKI dan industri belum diperhitungkan

Jumlah besarnya manfaat TMC dihitung dari harga produksi listrik dan produksi padi selama pelaksanaan TMC dari tanggal 17 April sampai dengan 6 Mei 2003 (20 hari) adalah sebesar Rp 227.893.000.000,00

Jadi besarnya rasio antara harga air dan manfaat adalah :

**Rp 1.600.000.000,00 : Rp 227.893.000.000,00 = 1 : 142**

**Lampiran C****Daftar nama dan lembaga**

## 1) Pemrakarsa

Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, Badan Penelitian dan Pengembangan, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah.

## 2) Penyusun

N a m a	L e m b a g a
Drs. Petrus Syariman	Pusat Litbang Sumber Daya Air
Dr. Ir. William M. Putuhena, M.Eng.	Pusat Litbang Sumber Daya Air
Drs. Kananto, Dipl. H, M.Eng.	Pusat Litbang Sumber Daya Air
Drs. Syofyan Dt. Majo Kayo	Pusat Litbang Sumber Daya Air

## Bibliografi

1. -----, 1979, *Percobaan Hujan Buatan di Wilayah Otorita Jatiluhur*, Perusahaan Umum Otorita Jatiluhur.
2. -----, 1982, *Analisa Hidrograp*, Direktorat Penyelidikan Masalah Air, Ditjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum.
3. -----, 1998, *Laporan Hasil Kegiatan Penyemaian Awan/Modifikasi Cuaca di Daerah Pengaliran Sungai Brantas, Prop. Jawa Timur*, Puslitbang Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum
4. -----, 2002, *Laporan Modifikasi Cuaca di Propinsi Jawa Tengah*, Unit Pelaksana Teknis Hujan Buatan, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
5. -----, 2002, *Menebar Garam Menuai Hujan*, Laporan Utama - Majalah Air, Edisi Khusus 3 Desember 2002, Ditjen DA, Departemen Kimpraswil.
6. -----, 26-30 July 1994, *Report of The Seventeenth Meeting on Meteorology and Geophysics*, Vol II (Annexes), Asean 94/ Meteorology and Geophysics, Jakarta.
7. Hess, W.N., 1974. *Weather and Climate Modification*, John Wiley and Sons Inc, New York, USA.
8. Joesron Loebis, September 1999, *Hidrologi Danau Toba dan Sungai Asahan*, PT. Puri Fajar Mandiri, Jakarta
9. Linsley Jr, RK, Kohler, Paulhus, 1982, *Hydrology for Engineers*, Third Edition, McGraw-Hill International Book Company
10. Petrus Sy, 1997, *Kajian Peningkatan Volume Waduk Kaskade Citarum Selama Periode Penyemaian Awan*, Jurnal Informasi Teknik No. 21 – 1997, Ditjen Pengairan, Direktorat Bina Teknik, Departemen Pekerjaan Umum.
11. Tim Monev Puslitbang Sumber Daya Air, Januari 2003, *Laporan Monitoring dan Evaluasi Pelaksanaan TMC di Jawa Barat, Tgl 21 – 30 Oktober 2002 dan Jawa Tengah dan DIY, tgl 11 – 30 Nopember 2002*, Puslitbang Sumber Daya Air, Departemen Kimpraswil.
12. Tontowi, 1998, *Pengaruh Modifikasi Cuaca Untuk Hujan Buatan di DAS Brantas Terhadap Kualitas Air*, Jurnal Pengairan JLP. No. 40 Th 13 KW I, 1998, Puslitbang Pengairan, Bandung.