

PENGEMBANGAN METODE PREDIKSI PRODUKSI AIR DAS UNTUK SUNGAI-SUNGAI UTAMA DI ACEH

Developing Prediction Method of Watershed for Main Rivers in Aceh

Husnan¹, Hidayat Pawitan², Gatot Irianto³, Kukuh Murti Laksono⁴, dan Hairul Basri⁵

¹ Mahasiswa Sekolah Pascasarjana IPB, Bogor, ² Staf Pengajar Departemen Ilmu Tanah dan Sumber Daya Lahan Fakultas Pertanian IPB, Bogor, ³ Staf Pengajar Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

ABSTRACT

The conversion of rural land to urban land usually increases erosion, discharge and volume of storm runoff in watershed. It also causes other problem that effect soil and water. An urban or urbanizing watershed is one in which impervious surface cover or will soon cover a considerable area. Impervious surface include roads, side walk, parking lots and building. Natural flow paths in the watershed may be replaced or supplemented by paved gutters, storm sewers or other elements of artificial drainage. Hydrologic studies to determine runoff and peak discharge should ideally be base on long-term stationary stream flow records for the area, such records are seldom available for small drainage areas. Even where they are available, accurate statistical analysis of them is usually impossible because of the conversion of land to urban uses during period of record. It therefore is necessary to estimate peak discharge with hydrologic models based on measurable watershed characteristics. Only through an understanding of these characteristic and experience in using these models can be make sound judgments on how to alter model parameters to reflect changing watershed conditions.

Keywords : watershed, water yield, metode, degradation, land cover

PENDAHULUAN

Degradasi dan transformasi : jenis, komposisi, proporsi dan kualitas vegetasi dibagian hulu (*upstream*) apalagi di bagian hilir (*downstream*) Daerah Aliran Sungai (DAS) berdasarkan pemantauan di lapangan lajunya terus meningkat, serta tidak terkendali. Bentuk dan pola degradasi yang terjadi sangat beragam mulai dari : (1) penurunan kerapatan dan jenis vegetasi (2) perubahan tipe vegetasi penutup lahan (*land cover type*) (3) impermeabilitas yaitu perubahan lahan budidaya (*cultivated land*) menjadi lahan pemukiman yang permukaannya kedap air (*non cultivated land yang impermeable*). Ketiga pola tersebut masing-masing mempunyai karakteristik yang berbeda dalam hal : pelaku, luas areal dan dampak yang ditimbulkan. Pola pertama umumnya dilakukan masyarakat di sekitar kawasan hutan untuk memenuhi kebutuhan kayu bakar dan menyambung hidupnya yang sangat terbatas. Sementara pola kedua dilakukan oleh masyarakat yang lapar tanah akibat distribusi, alokasi dan pemilihan

tanah lahan yang timpang dalam masyarakat. Pola kedua juga dapat terjadi akibat pemanfaatan masyarakat lokal oleh pemodal kuat untuk menguasai tanah negara (hutan lindung). Sedangkan pola ketiga, umumnya dilakukan oleh pemodal kuat, penguasa, mantan pejabat, perampok, dengan areal yang sangat luas dengan karakteristik permukaannya tidak meloloskan air (*impermeable area*). Berdasarkan hasil pemantauan dilapangan, maka pola ketiga mempunyai dampak yang paling merusak terhadap : siklus hidrologi, produksi air dan dalam jangka panjang dapat memicu terjadinya krisis air (*water crisis*) yang akut dan berkepanjangan. Pola ketiga umumnya sulit dicegah dan dikendalikan, karena umumnya mereka mempunyai akses yang kuat terhadap pengambil kebijakan baik di tingkat pusat, propinsi maupun kabupaten/kota.

Tahun 2000 hingga 2008 Provinsi Aceh telah mengalami ratusan kali bencana alam banjir yang terjadi secara beruntun dengan intensitas, frekuensi, dan distribusi atau wilayah yang terkena bencana semakin meningkat dan meluas. Berkenaan dengan

wilayah yang terkena bencana semakin dampak yang ditimbulkan dari bencana banjir dan kekeringan tersebut, maka perlu dilakukan penelitian dalam untuk mengoptimalkan pengelolaan DAS. Sehingga pengambil kebijakan dapat mengelola banjir dan kekeringan untuk meraih manfaat secara maksimal. Namun demikian dari upaya dan hasil penanggulangan banjir yang dilakukan selama ini masih jauh dari yang diharapkan, apalagi metode penanggulangan yang diterapkan masih menggunakan pendekatan parsial. Berkenaan dengan produksi air DAS dipropinsi Aceh, perlu dikembangkan suatu Metode untuk prediksi produksi air pada sungai-sungai utama di propinsi Aceh, sehingga akan memecahkan permasalahan banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau. Penelitian ini akan mencoba untuk mengembangkan Metode produksi air untuk sungai- sungai utama di Propinsi Aceh dengan Metode H2U, NRCS dan Metode Mock.

Penelitian bertujuan untuk : (1) Analisis karakteristik biofisik DAS (tanah, topografi, penggunaan lahan, hujan/iklim) untuk Sungai-sungai utama Propinsi Aceh; (2) Analisis karakteristik geomorfologi DAS (luas, keliling, panjang sungai, bentuk DAS, type jaringan sungai dan kerapatan jaringan drainase); (3) Menghitung kapasitas produksi air DAS pada sungai-sungai utama di Propinsi Aceh; dan (4) Optimasi produksi air DAS

METODE PENELITIAN

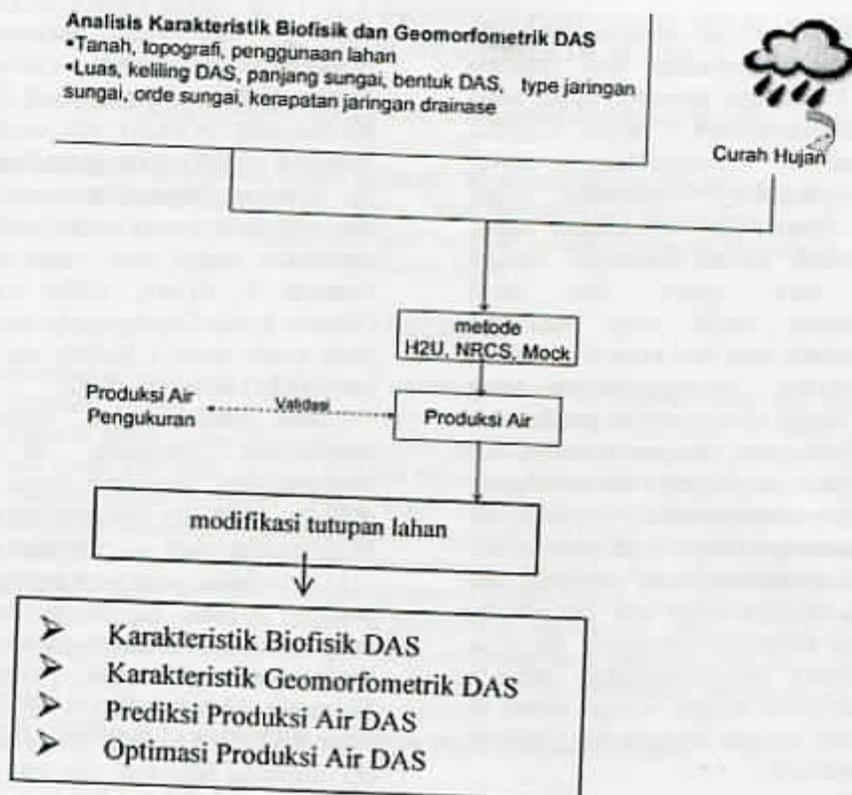
Penelitian sederhana ini dilaksanakan di beberapa Daerah Aliran Sungai (DAS) di Propinsi Aceh yaitu : Daerah Aliran Sungai (DAS) Krueng Peusangan (Kabupaten Aceh Utara, Kabupaten Bireuen, Kabupaten Bener Meriah, Kabupaten Aceh Tengah), DAS Krueng Pase (Kabupaten Aceh Utara dan Kabupaten Bener Meriah), DAS Lawe Alas (Kabupaten Aceh Tenggara dan Kabupaten Gayo Lues dan Kabupaten Singkil), DAS Aih Tripe hulu (kabupaten Gayo Lues), DAS Krueng Aceh (Kabupaten Pidie, Kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh). Penelitian lapangan dilakukan bulan Oktober 2005 sampai dengan September 2006. Alat yang digunakan pada

meningkat dan meluas. Berkenaan dengan penelitian ini terdiri dari : *Global Position System* (GPS), alat pengukur tinggi muka air otomatis (AWLR), alat pengukur iklim otomatis (AWS), alat pengukur kecepatan air (*Current Metter*), personal komputer, dan alat tulis kantor. Bahan-bahan yang digunakan terdiri dari : data digital citra Landsat 7 ETM+, DEM dari SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), peta jenis tanah skala 1:50.000, dan peta rupa bumi (RBI) skala 1:50.000.

Data debit sungai diperoleh dari pengukuran langsung di lapangan menggunakan pengukur tinggi muka air otomatis (AWLR) dan dari data sekunder. Pengumpulan data yang dilakukan meliputi : (1) Peta dasar, yaitu peta topografi dengan skala 1 : 50.000, (2) Peta tanah, yaitu peta yang memberikan informasi tentang tanah berdasarkan klasifikasinya, (3) Data *Digital Elevation Metode* (DEM), diperoleh dari radar SRTM, (4) Peta penggunaan lahan, (5) Informasi hidrologi dan iklim, diperoleh dari Dinas Sumberdaya Air Propinsi Aceh, Badan Pengelola Daerah Aliran Sungai Propinsi Aceh, Dinas Kehutanan Propinsi Aceh dan Badan Meteorologi dan Geofisika Propinsi Aceh.

Kegiatan penelitian dilaksanakan dalam bentuk identifikasi dan karakterisasi melalui pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan, namun untuk data debit dan curah hujan yang dilakukan pengukuran langsung dilapangan adalah pada DAS Aih Tripe hulu, sedangkan DAS lainnya digunakan data sekunder. Setelah pengamatan dan pengukuran dilakukan selama 1 (satu) tahun dan data-data berhasil dikumpulkan, maka dilakukan analisis data untuk mendapatkan hasil penelitian (Gambar 1).

Metode H2U menghitung kurva pdf (*probability density function*) butir hujan berdasarkan dua parameter yang dapat dihitung pada peta jaringan sungai yaitu n , orde sungai maksimum menurut Strahler (Strahler, 1952) dan L rata-rata, yaitu panjang rata-rata jalur aliran air. Versi awal Metode H2U tidak memperhitungkan aspek hidrologis lereng (Kartiwa 2005).



Gambar 1. Diagram alir penelitian

$$\rho(L) = \frac{dN_L}{N \cdot dL} = \left(\frac{n}{2L}\right)^{\frac{n}{2}} \cdot \frac{1}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \cdot L^{\frac{n}{2}-1} \cdot e^{-\frac{nL}{2L}} \quad (1)$$

dengan :

$\rho(L)$: pdf panjang alur hidraulik.

L : panjang alur hidraulik.

n : orde sungai.

\bar{L} : panjang rata-rata alur hidraulik.

Γ : fungsi gamma.

Berdasarkan asumsi bahwa orde sungai maksimum (n) pada lereng adalah sama dengan 2, maka persamaan di atas dapat digunakan untuk menghitung pdf lereng dengan bentuk persamaan sebagai berikut :

$$\rho_v(l_o) = \frac{1}{l_o} \cdot e^{-\frac{l_o}{l_o}} \quad (2)$$

$\rho(l_o)$: pdf panjang alur hidraulik pada lereng.

l_o : panjang alur hidraulik pada lereng.

\bar{l}_o : panjang alur hidraulik rata-rata pada lereng.

Selanjutnya, dengan menetapkan kecepatan aliran pada lereng, pdf waktu tempuh butir hujan pada lereng dapat dihitung berdasarkan persamaan sebagai berikut :

$$\rho_v(t) = \frac{\bar{V}_v}{l_o} \cdot e^{-\frac{\bar{V}_v \cdot t}{l_o}} \quad (3)$$

$\rho_v(t)$: pdf lereng sebagai fungsi waktu.

t :

\bar{V}_v : kecepatan aliran rata-rata pada lereng.

\bar{l}_o : panjang rata-rata jalur hidraulik pada lereng.

t : interval waktu.

Sedangkan untuk menghitung pdf waktu tempuh butir hujan pada jaringan sungai, digunakan persamaan sebagai berikut :

$$\rho_{RH}(t) = \left(\frac{n \bar{V}_{RH}}{2L} \right)^{\frac{n}{2}} \cdot \frac{1}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \cdot t^{\frac{n}{2}-1} \cdot e^{-\frac{n \bar{V}_{RH} t}{2L}} \quad (4)$$

- $\rho_{RH}(t)$: pdf jaringan sungai sebagai fungsi waktu t.
 n : orde sungai maksimum.
 \bar{V}_{RH} : kecepatan aliran rata-rata pada jaringan sungai.
 L : panjang rata-rata jalur hidraulik pada jaringan sungai.
 Γ : fungsi gamma.
 t : interval waktu.

Untuk mendapatkan pdf DAS, dihitung berdasarkan hasil konvolusi antara pdf lereng dengan pdf jaringan sungai :

$$\rho_{DAS}(t) = \rho_r(t) \otimes \rho_{RH}(t) \quad (5)$$

- $\rho_{DAS}(t)$: pdf DAS sebagai fungsi waktu.
 $\rho_r(t)$: pdf lereng sebagai fungsi waktu t.
 $\rho_{RH}(t)$: pdf jaringan sungai sebagai fungsi waktu t.

Untuk menghitung debit aliran permukaan, digunakan rumus sebagai berikut :

$$Q(t) = S[P_N(t) \otimes \rho(t)] \quad (6)$$

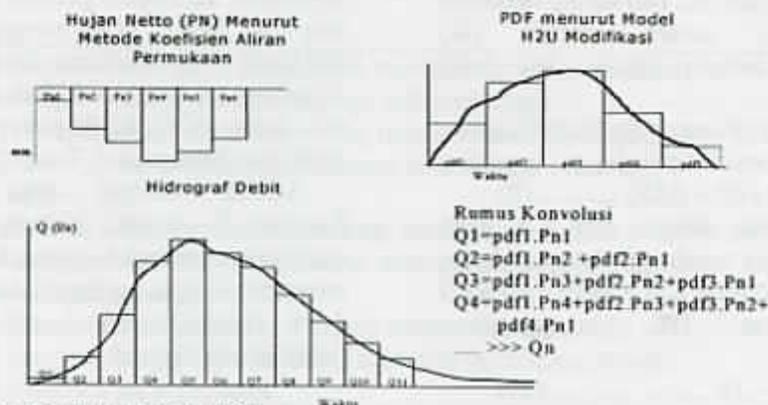
- $Q(t)$: debit aliran permukaan pada waktu t.
 S : luas DAS.
 $P_N(t)$: intensitas hujan netto pada waktu t.

$\rho(t)$: pdf waktu tempuh butir hujan pada waktu t (dihitung dari pdf panjang alur hidraulik berdasarkan penetapan kecepatan aliran).

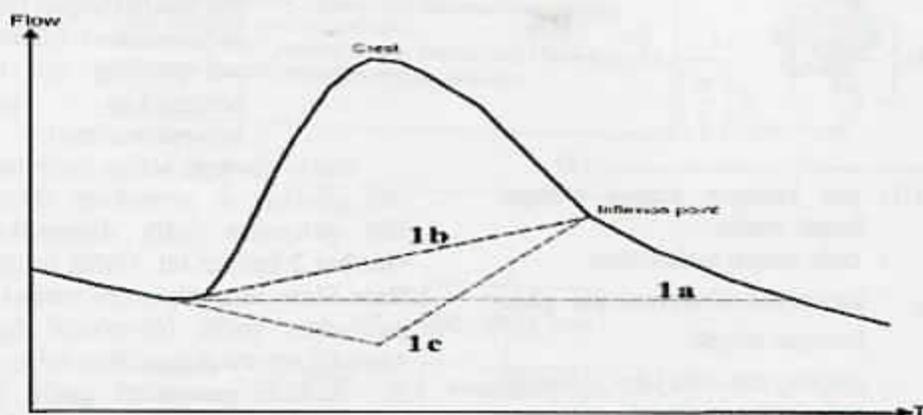
Waktu tempuh setiap butir hujan dari titik jatuhnya di permukaan DAS sampai titik pelapasan (pdf), ditampilkan pada Gambar 2 berikut ini. Untuk penghitungan Base Flow akan diperoleh melalui metode pemisahan grafik (*Graphical Separation Methods*), seperti ditampilkan dalam Gambar 3. Metode pemisahan grafik baseflow yaitu: (1a) constant discharge method, (1b) constant slope method and, atau (1c) concave method (Linsley *et al.* 1958).

Metode NRCS (*Natural Resources Conservation Service*)

Metode *Natural Resources* (NRCS) *United States Departement of Agriculture* (USDA) yang sejak januari 1975 telah merilis prosedur NEH-4 (masih bernama SCS), *Team Release 20* (TR-20) dan TR-55 (tahun 1986), yang dikembangkan untuk digunakan pada DAS kecil (*small watershed*) khususnya daerah urban di Amerika Serikat. Metode ini menampilkan prosedur-prosedur yang telah dipermudah untuk menghitung aliran permukaan, debit puncak, hidrograf dan *storage volume* yang dibutuhkan untuk reservoir air banjir. NRCS memasukkan hasil penelitian terakhir dan perubahan berdasarkan pengalaman para pakar Daerah Aliran Sungai (DAS) di Amerika Serikat.



Gambar 2. pdf menurut Metode H2U



Gambar 3. Metod pemisahan grafik baseflow

Prediksi produksi air metode NRCS menggunakan runoff curve number (CN). Nilai CN tergantung kepada kondisi tanah dan penutup lahan suatu DAS, nilai CN merepresentasikan kondisi kelompok hidrologi tanah, tutupan lahan, pengelolaan lahan dan kondisi hidrologi.

Dalam Metode NRCS, penghitungan aliran permukaan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \dots\dots\dots(7)$$

Dari berbagai penelitian yang dilakukan oleh United States Departement of Agriculture (USDA), nilai I_a dapat diperoleh dari persamaan empiris berikut :
 $I_a = 0,2 S \dots\dots\dots(8)$

Initial abstraction (I_a) adalah semua kehilangan sebelum aliran permukaan dimulai, yang mencakup air yang tersimpan pada surface depression (cekungan), air diintersepsi oleh vegetasi, evaporasi dan infiltrasi. (I_a) sering berubah-ubah, namun secara umum (I_a) berhubungan dengan tanah dan jenis tutupan lahan.

Apabila persamaan (2) disubstitusi ke persamaan (1), maka diperoleh persamaan :
 $Q = (P - 0,2S)^2 / (P + 0,8S) \dots\dots\dots(9)$

Nilai S berkaitan dengan nilai CN yang dipengaruhi oleh tanah dan tutupan lahan dari suatu DAS, nilai CN berkisar antara 0 sampai dengan 100, menggunakan persamaan :

$$S = (1000/CN) - 10 \dots\dots\dots(10)$$

dimana :

- Q : Runoff (in);
- P : curah hujan (in);
- I_a : abstraksi awal (in);
- S : maksimum penyimpanan (retensi) potensial setelah runoff terjadi (in); dan
- CN : Curve Number.

Nilai CN ditentukan dengan menggunakan prosedur seperti pada Gambar 4.

Klasifikasi kelompok tanah

NRCS telah mengembangkan suatu sistem klasifikasi tanah yang mengelompokkan tanah ke dalam empat kelompok yang ditandai dengan huruf A, B, C dan D. Penentuan kelompok tanah tersebut didasarkan peta hasil detail, sifat-sifat tanah dan laju infiltrasi minimum tanah, seperti tertera pada Tabel 1.

Klasifikasi Kelompok Tutupan Lahan

Menurut NRCS dalam Arsyad (1989), klasifikasi kelompok penutup tanah terdiri atas tiga faktor, yaitu penggunaan tanah, perlakuan atau tindakan konservasi yang diberikan dan keadaan hidrologi. Penentuan nilai kurva (CN) kelompok penutup tanah dilakukan berdasarkan Tabel 2.

Setelah didapat nilai CN dari Gambar 2, maka dihitung tampungan maksimum potensial (potensial maximum retention) dengan menggunakan rumus:

$$S = (1000/CN) - 10 \text{ (inchi)} \text{ atau } S = (25400/CN) - 254 \text{ (mm)} \dots\dots\dots(11)$$

Nilai tersebut berguna untuk mendapatkan nilai abstraksi atau kehilangan dari curah hujan yang jatuh kepermukaan bumi. Selanjutnya ditentukan nilai base flow, dengan cara yang sama dilakukan pada Metode H2U, yaitu menggunakan metode pemisahan grafik (*Graphical Separation Methods*).

Sehingga diperoleh nilai produksi air DAS dengan menjumlahkan debit aliran permukaan (Q) dengan base flow (BF).

Metode Mock

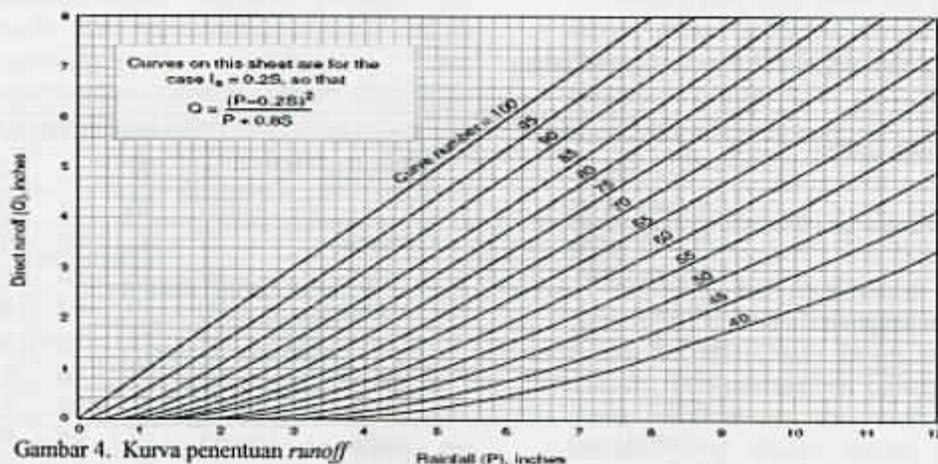
Perhitungan dengan metode Mock meliputi langkah-langkah sebagai berikut : Hubungan antara aliran ke dalam (*inflow*) dan aliran keluar (*out flow*) yang dinyatakan dengan keseimbangan air *Water Balance* memakai persamaan :

$$P = E_a + GS + TRO \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan :

- P = presipitasi
- E_a = evapotranspirasi actual
- GS = perubahan *Groundwater storage*
- TRO = total *run off*

Proporsi permukaan luar yang tidak ditumbuhi tumbuhan hijau (*exposed surface*) oleh F.J Mock mengklasifikasikan menjadi tiga daerah untuk nilai *exposed surface* (m) yaitu m = 0 (untuk daerah primer dan skunder), m = 10-40% (untuk daerah tererosi) dan m = 30-50% untuk daerah ladang pertanian). Proporsi permukaan luar yang tidak ditumbuhi tumbuhan hijau (*exposed surface*) dan jumlah hari hujan, mempengaruhi selisih



Gambar 4. Kurva penentuan runoff

Tabel 1. Klasifikasi kelompok tanah

Kelompok Tanah	Sifat Tanah	Laju infiltrasi minimum (mm/jam)
A	Potensi aliran permukaan kecil, termasuk tanah pasir dalam dengan unsur debu dan liat, laju infiltrasi tinggi	8 – 12
B	Potensi aliran permukaan kecil, tanah berpasir lebih dangkal dari A, tekstur tanah halus sampai sedang, laju infiltrasi sedang	4 – 8
C	Potensi aliran permukaan sedang, tanah dangkal dan mengandung cukup liat, tekstur sedang sampai halus, laju infiltrasi rendah.	1 – 4
D	Potensi aliran permukaan tinggi, kebanyakan tanah liat dangkal dengan lapisan kedap air dekat permukaan tanah, infiltrasi paling rendah	0 – 1

Sumber: Schwab *et al.* (1981)

evapotranspirasi terbatas, seperti ditunjukkan pada formulasi 13 dan 14 berikut :

$$E = E_p (m/20)(18-n) \dots \dots \dots (13)$$

$$E_a = E_p - E \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan :

- E = Evapotranspirasi terbatas
- E_p = Evapotranspirasi potensial
- E_a = Evapotranspirasi aktual
- n = Jumlah hari hujan
- m = *Exposed surface*

Setelah didapat nilai CN dari Gambar 2, maka dihitung tampungan maksimum potensial (*potensial maximum retention*) dengan menggunakan rumus:

$$S = (1000/CN) - 10 \text{ (inci)} \text{ atau } S = (25400/CN) - 254 \text{ (mm)} \dots \dots \dots (15)$$

Nilai tersebut berguna untuk mendapatkan nilai abstraksi atau kehilangan dari curah hujan yang jatuh ke permukaan bumi. Selanjutnya ditentukan nilai base flow, dengan cara yang sama dilakukan pada Metode H2U, yaitu menggunakan metode pemisahan grafik (*Graphical Separation Methods*).

Sehingga diperoleh nilai produksi air DAS dengan menjumlahkan debit aliran permukaan (Q) dengan base flow (BF).

Metode Mock

Perhitungan dengan metode Mock meliputi langkah-langkah sebagai berikut : Hubungan antara aliran ke dalam (*inflow*) dan aliran keluar (*out flow*) yang dinyatakan dengan keseimbangan air

Tabel 2. Nilai CN kelompok tutupan lahan

Tata Guna Lahan	Cara Bercocok Tanam	Keadaan Hidrologi	Kolompok Tanah			
			A	B	C	D
Bera	Larikan lurus	-	77	86	91	94
	Larikan lurus	Buruk	72	81	88	91
Tanaman berjajar	Larikan lurus	Baik	67	78	85	89
	Kontur	Buruk	70	79	84	88
	Kontur	Baik	65	75	82	86
	Teras	Buruk	66	74	80	82
	Teras	Baik	62	71	78	81
	Larikan lurus	Buruk	63	74	82	85
Padi, gandum	Kontur	Baik	61	73	81	84
	Teras	Buruk	61	72	79	82
	Teras	Baik	59	70	78	81
	Larikan lurus	Buruk	66	77	85	89
Tanaman Legum	Larikan lurus	Baik	58	72	81	85
	Kontur	Buruk	64	75	83	85
	Kontur	Baik	55	68	78	83
	Teras	Buruk	63	73	80	83
	Teras	Baik	51	67	76	80
	Larikan lurus	Buruk	68	79	86	89
Padang Rumput	-	Baik	39	61	74	80
Hutan	-	Buruk	45	66	77	83
	-	Cukup	36	60	73	79
	-	Baik	25	55	70	77
Pemukiman Desa	-	-	59	74	82	86

Sumber : Schwab *at al.* (1981)

Water Balance memakai persamaan :

$$P = E_a + GS + TRO \dots \dots \dots (16)$$

Keterangan :

- P = presipitasi
- E_a = evapotranspirasi actual
- GS = perubahan *Groundwater storage*
- TRO = total *run off*

Proporsi permukaan luar yang tidak ditumbuhi tumbuhan hijau (*exposed surface*) oleh F.J Mock mengklasifikasikan menjadi tiga daerah untuk nilai *exposed surface* (m) yaitu $m = 0$ (untuk daerah primer dan skunder), $m = 10-40\%$ (untuk daerah tererosi) dan $m = 30-50\%$ untuk daerah ladang pertanian). Proporsi permukaan luar yang tidak ditumbuhi tumbuhan hijau (*exposed surface*) dan jumlah hari hujan, mempengaruhi selisih evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi terbatas, seperti ditunjukkan pada formulasi 17 dan 18 berikut :

$$E = E_p (m/20)(18-n) \dots \dots \dots (17)$$

$$E_a = E_p - E \dots \dots \dots (18)$$

Keterangan :

- E = Evapotranspirasi terbatas
- E_p = Evapotranspirasi potensial
- E_a = Evapotranspirasi aktual
- n = Jumlah hari hujan
- m = *Exposed surface*

Water Surplus (WS) merupakan air hujan yang telah mengalami evapotranspirasi dan mengisi tampungan kelembaban tanah (*Soil Moisture Capacity*) atau SMC memenuhi persamaan:

$$WS = (P - E_a) + SMC \dots \dots \dots (19)$$

Sedangkan tampungan kelembaban tanah dihitung sebagai berikut:

$$SMC = ISMS + (P - E_a) \dots \dots \dots (20)$$

Keterangan:

- SMC = Tampungan kelembaban
- ISMS = *Initial Soil Moisture Storage* (tampungan kelembaban tanah awal)
- $(P - E_a)$ = Presipitasi yang telah mengalami evapotranspirasi

Selanjutnya menurut Mock besarnya infiltrasi adalah *Water Surplus* (WS) dikalikan dengan koefesien infiltrasi (if)

(ditentukan oleh kondisi porositas dan kemiringan daerah pengaliran). Infiltrasi dihitung dengan formula:

$$\text{Infiltrasi } (i) = WS \times if \dots \dots \dots (21)$$

Penghitungan perubahan *Groundwater Storage* memakai formula:

$$GS = (0,5 \times (1 + K) \times i + (K \times GS_{\text{Som}})) \dots (22)$$

Keterangan:

- K = Konstanta resesi aliran bulanan
- GS_{Som} = *Groundwater Storage* bulan sebelumnya

Nilai *Groundwater Storage* sebelumnya diasumsikan sebagai konstanta awal, dengan anggapan bahwa water balance merupakan siklus tertutup yang ditinjau selama setahun. Sehingga asumsi nilai awal ini harus dibuat dengan nilai akhir tahun.

Sedangkan *Base Flow* (BF) merupakan selisih antara infiltrasi dengan perubahan *Groundwater Storage*, dalam bentuk persamaan ditulis

$$BF = i - GS \dots \dots \dots (23)$$

BF = Base Flow

Optimasi Metode Prediksi Produksi Air DAS

Produksi air merupakan Jumlah air yang mampu dihasilkan oleh suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) dalam satuan waktu tertentu, perlu dilakukan beberapa skenario untuk menerapkan dan mengembangkan Metode yang efektif dalam pengelolaan suatu DAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Prediksi Produksi Air DAS Metode NRCS

Produksi air DAS Aih Tripe melalui pengukuran langsung di lapangan, menghasilkan produksi air tahunan sebesar $3.536,24 \text{ m}^3 \text{ dtk}^{-1}$, produksi air menggunakan metode NRCS pada kondisi aktual menghasilkan produksi air tahunan sebesar 11.586,49 mm, nilai *Curve Number* (CN) pada kondisi aktual adalah 75, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 82.62 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 16.52 mm. Untuk kondisi lahan hutan terdegradasi 30% akan dihasilkan air tahunan

sebesar 9.282,67 mm, nilai *Curve Number* (CN) 80, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 64,16 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 12,83 mm. Untuk kondisi lahan hutan terdegradasi 50%, akan dihasilkan produksi air tahunan sebesar 7.355,96 mm, nilai *Curve Number* (CN) 83, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 52,79 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 10,56 mm.

Produksi air DAS Krueng Aceh melalui pengukuran langsung di lapangan, menghasilkan produksi air tahunan sebesar 12.719,02 m³ dtk⁻¹, produksi air menggunakan metode NRCS pada kondisi aktual menghasilkan produksi air tahunan sebesar 23.120,82 mm, nilai *Curve Number* (CN) pada kondisi aktual adalah 77, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 74,19 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 14,84 mm. Untuk kondisi lahan hutan terdegradasi 30%, akan dihasilkan produksi air tahunan sebesar 20.236,33 mm, nilai *Curve Number* (CN) 80, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 64,31 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 12,86 mm. Untuk kondisi lahan hutan terdegradasi 50%, akan dihasilkan produksi air tahunan sebesar 18.407,91 mm, nilai *Curve Number* (CN) 81, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 58,05 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 11,61 mm.

Produksi air DAS Krueng Peusangan melalui pengukuran langsung di lapangan, menghasilkan produksi air tahunan sebesar 35.097,06 m³ dtk⁻¹, produksi air menggunakan metode NRCS pada kondisi aktual menghasilkan produksi air tahunan sebesar 21.223,43 mm, nilai *Curve Number* (CN) pada kondisi aktual adalah 79, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 69,24 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 13,85 mm. Untuk kondisi lahan hutan terdegradasi 30%, akan dihasilkan produksi air tahunan sebesar 19.437,42 mm, nilai *Curve Number* (CN) 80, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 63,13 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 12,63 mm. Untuk kondisi lahan

hutan terdegradasi 50%, akan dihasilkan produksi air tahunan sebesar 19.075,67 mm, nilai *Curve Number* (CN) 80, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 61,89 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 12,38 mm.

Produksi air DAS Krueng Pase melalui pengukuran langsung di lapangan, menghasilkan produksi air tahunan sebesar 2.215,10 m³/dtk, produksi air menggunakan metode NRCS pada kondisi aktual menghasilkan produksi air tahunan sebesar 28.435,24 mm, nilai *Curve Number* (CN) pada kondisi aktual adalah 73, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 95,90 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 19,18 mm. Untuk kondisi lahan hutan terdegradasi 30%, akan dihasilkan produksi air tahunan sebesar 27.158,72 mm, nilai *Curve Number* (CN) 74, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 91,52 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 18,30 mm. Untuk kondisi lahan hutan terdegradasi 50%, akan dihasilkan produksi air tahunan sebesar 26.323,50 mm, nilai *Curve Number* (CN) 74, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 88,66 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 17,73 mm.

Produksi air DAS Lawe Alas melalui pengukuran langsung di lapangan, menghasilkan produksi air tahunan sebesar 5.329,81 m³ dtk⁻¹, produksi air menggunakan metode NRCS pada kondisi aktual menghasilkan produksi air tahunan sebesar 33.743,38 mm, nilai *Curve Number* (CN) pada kondisi aktual adalah 70, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 108,79 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 21,76 mm. Untuk kondisi lahan hutan terdegradasi 30%, akan dihasilkan produksi air tahunan sebesar 25.052,13 mm, nilai *Curve Number* (CN) 76, dengan nilai *potential maximum retention* setelah *runoff* dimulai sebesar 79,02 mm dan nilai *Initial Abtraction* (Ia) sebesar 15,80 mm. Untuk kondisi lahan hutan terdegradasi 50%, akan dihasilkan produksi air tahunan sebesar 22.897,18 mm, nilai *Curve Number* (CN) 78, dengan nilai *potential maximum retention* setelah

runoff dimulai sebesar 71,64 mm dan nilai *Initial Abtraction* (*Ia*) sebesar 14,33 mm.

Produksi air simulasi diperoleh dengan menggunakan data masukan tahun 1995 dan parameter model (*land use*) tahun 2005, kecuali DAS Aih Tripe yang menggunakan data pengukuran langsung di lapangan pada tahun 2006 dan parameter *land use* tahun 2006. Produksi air DAS menggunakan metode NRCS dan perubahannya akibat perubahan penggunaan lahan dapat dilihat pada tabel 3 berikut.

Prediksi Produksi Air DAS Metode Mock

Besarnya produksi air menggunakan metode Dr. F.J. Mock, ditentukan oleh curah hujan, nilai evapotranspirasi aktual dan perubahan *ground water storage*. Faktor yang terasa kurang akurat dalam penghitungan produksi air menggunakan metode ini adalah kurang detailnya

pembagian nilai proporsi permukaan luar yang tidak ditumbuhi tumbuhan hijau (*expose surface*), yang dilambangkan dengan huruf *m*. Dr. F.J. Mock hanya mengklasifikasikan besaran nilai *m* kedalam 3 (tiga) kategori, yaitu : $m = 0$ untuk hutan primer dan sekunder, $m = 10-40\%$ untuk DAS tererosi dan $m = 30-50\%$ untuk lahan pertanian. Dalam penelitian ini, nilai proporsi permukaan luar yang tidak ditumbuhi tumbuhan hijau (*expose surface*) dibuat dengan kategori yang lebih detail, sehingga lebih mendekati kondisi lapangan, dengan menentukan nilai *m* pada tanah terbuka, tambang, pemukiman, kebun, semak belukar, sistem pengolahan tanah, dan lain-lain. Dalam penelitian ini, dilakukan pengembangan model Dr. F.J. Mock dengan menambah mengklasifikasikan nilai *m* sesuai kondisi lapangan, sebagaimana terlihat pada Tabel 4.

Tabel 3. Perbandingan produksi air tahunan antara simulasi dan pengukuran menggunakan metode NRCS

No.	Nama DAS	Curah Hujan Pengukuran (mm)	Produksi Air Pengukuran (m ³ /det)	Produksi Air Simulasi			Perubahan Karena		Perubahan Karena	
				Aktual (mm)	Skenario 30% (mm)	Skenario 50% (mm)	Degradasi hutan 30% (mm)	%	Degradasi hutan 50% (mm)	%
1	Aih Tripe	1,275.00	3,536.24	11,586.49	9,282.67	7,355.96	2,303.82	19.88	4,230.53	36.51
2	Krueng Aceh	1,458.70	12,719.02	23,120.82	20,236.33	18,407.91	2,894.49	12.48	4,712.91	20.38
3	Krueng Peurangan	1,004.51	35,097.60	21,223.43	19,437.42	19,075.67	1,786.01	8.42	2,147.76	10.12
4	Krueng Pase	434.00	2,215.10	28,435.24	27,158.72	26,323.50	1,276.52	4.49	2,111.74	7.43
5	Lawe Alas	1,978.00	5,329.81	33,743.38	25,052.13	22,897.18	8,691.25	25.76	10,846.20	32.14

Tabel 4. Klasifikasi proporsi permukaan luar yang tidak ditumbuhi tumbuhan hijau (*expose surface*)

No.	Jenis Penggunaan Lahan	Nilai <i>Expose Surface</i>
1.	Hutan Primer	0
2.	Hutan Lindung	0
3.	Hutan Sekunder	0
4.	Hutan Produksi	10
5.	Kebun	20
6.	Pertanian Lahan Kering	30
7.	Semak Belukar	30
8.	Sawah	40
9.	Pemukiman	50
10.	Tambang	60
11.	Tanah Terbuka	60

Hasil produksi air yang di peroleh dengan menggunakan metode Dr. F.J. Mock, ditunjukkan pada Tabel 5.

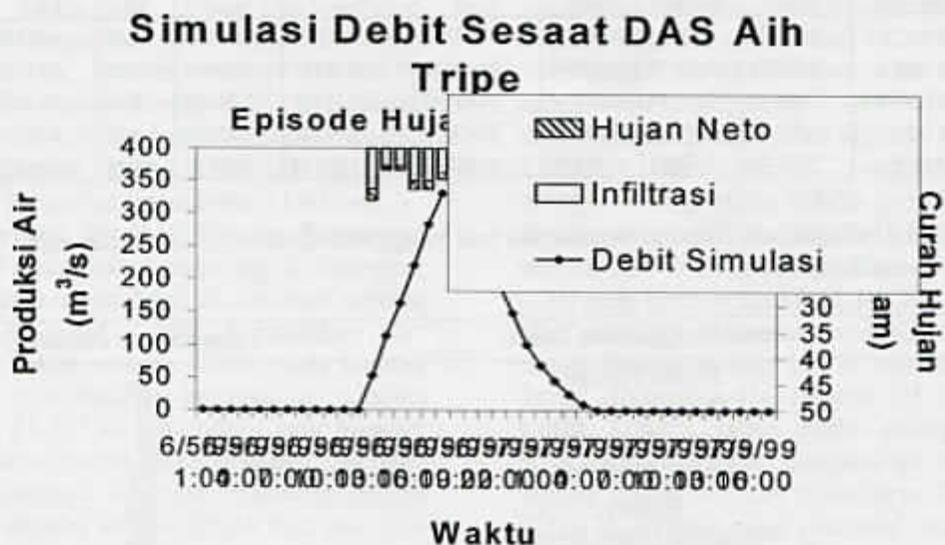
Pada Tabel 5 terlihat bahwa, produksi air DAS Krueng Aceh rata-rata yang terukur dilapangan adalah $18,98 \text{ m}^3 \text{ dtk}^{-1}$, dengan menggunakan metode Mock besarnya produksi air rata-rata adalah sebesar $7,53 \text{ m}^3 \text{ dtk}^{-1}$, *Base Flow* (Q_{base}) rata-rata sebesar $86,94 \text{ mm bulan}^{-1}$. Produksi air DAS Krueng Pase rata-rata yang terukur dilapangan adalah $6,12 \text{ m}^3 \text{ dtk}^{-1}$, dengan menggunakan metode Mock besarnya produksi air rata-rata adalah sebesar $54,04 \text{ m}^3 \text{ dtk}^{-1}$, *Base Flow* (Q_{base}) rata-rata sebesar $468,35 \text{ mm bulan}^{-1}$. Produksi air DAS Lawe Alas rata-rata yang terukur dilapangan adalah $14,64 \text{ m}^3 \text{ dtk}^{-1}$, dengan menggunakan metode Mock besarnya produksi air rata-rata adalah sebesar $54,04 \text{ m}^3 \text{ dtk}^{-1}$, *Base Flow* (Q_{base}) rata-rata sebesar $468,35 \text{ mm bulan}^{-1}$.

Prediksi Produksi Air DAS Metode H2U (*Hydrogramme Unitaire Universal*)

Metode ini digunakan untuk pendugaan debit sesaat/even dengan menggunakan

data curah hujan dan produksi air menitan dan jam-jaman, dengan kondisi jaringan hidrometeorologi yang ada di lokasi penelitian, sangat sulit menerapkan metode ini. Di Propinsi Aceh dari sekian banyak staiun taksiran sungai (*River Gauging Station*) dan stasiun pemantau curah hujan (*Rainfall Station*) hanya 2 (dua) sampai 3 (tiga) unit yang beroperasi, sehingga kami menilai penerapan metode ini hanya dapat dilakukan pada DAS Aih Tripe yang telah terpasang *Automatic Water Level Recorder* yang dapat mengukur data curah hujan dan produksi air menitan.

DAS Krueng Tripe (Aih Tripe) dengan luas 11.4094,9 Ha merupakan DAS orde 5 (lima), produksi air DAS Aih Tripe menggunakan metode H2U menghasilkan produksi air rata-rata sebesar $4,19 \text{ m}^3 \text{ dtk}^{-1}$, L rataan alur hidraulik jaringan sungai $29.855,4 \text{ m}$, kecepatan aliran pada jaringan sungai $1,5 \text{ m dtk}^{-1}$, L rataan alur hidraulik pada lereng $367,5 \text{ m}$, dengan *Probability density function* (pdf) DAS rata-rata sebesar $0,021277$. Gambar 5 menampilkan produksi air DAS Aih Tripe menggunakan metode H2U.



Gambar 5. Produksi air DAS Aih Tripe menggunakan metode *Hydrogramme Unitaire Universal* (H2U)

Tabel 5. Hasil produksi air yang di peroleh dengan menggunakan metode Dr. F.J. Mock

No.	Nama DAS	Produksi Air Pengukuran (m ³ dtk ⁻¹)	Produksi Air Simulasi	
			Base Flow (mm)	Produksi Air (mm)
1.	Krueng Aceh	18,98	86,94	7,53
2.	Krueng Pase	6,12	468,35	54,04
3.	Lawe Alas	14,64	436,33	44,94

SIMPULAN DAN SARAN

DAS Krueng Aceh mempunyai panjang sungai utama 95,79 km, panjang total jaringan sungai 47.927,27 km, dengan lebar persegi 97,24 km dan panjang persegi 15,49 km. DAS Krueng Peusangan mempunyai panjang sungai utama 140,77 km, panjang total jaringan sungai 140,77 km, dengan lebar persegi 126,46 km dan panjang persegi 17,32 km. DAS Aih Tripe mempunyai panjang sungai utama 167,16 km, panjang total jaringan sungai 166.026,67 km, dengan lebar persegi 148,08 km dan panjang persegi 18,87 km. DAS Krueng Pase mempunyai panjang sungai utama 55,69 km, panjang total jaringan sungai 6.322,75 km, dengan lebar persegi 44,90 dan panjang persegi 12,05. DAS Lawe Alas Aceh mempunyai panjang sungai utama 113,63 km, panjang total jaringan sungai 43.921,42 km, dengan lebar persegi 108,05 km dan panjang persegi 17,29 km. Semua DAS di lokasi penelitian, memiliki bentuk memanjang. DAS Krueng Aceh memiliki kerapatan jaringan sungai 31,82 km/km², DAS Krueng Peusangan 47,5, DAS Aih Tripe 59,43, DAS Krueng Pase 11,68 dan DAS Lawe Alas 23,51. Nilai CN meningkat dengan berkurangnya luasan lahan hutan, hal ini menyebabkan menurunkan kapasitas produksi air DAS. Metode NRCS lebih efektif digunakan dalam perencanaan pengelolaan DAS di Propinsi Aceh, karena terbatasnya sumber data yang tersedia. Perlu pengembangan yang lebih detail, dalam penentuan nilai proporsi permukaan luar yang tidak ditumbuhi tumbuhan hijau (*Expose Surface*) dalam metode Dr. F.J. Mock, karena nilai *Expose Surface* masih kurang akurat.

Pemerintah Daerah Propinsi Aceh perlu melakukan sosialisasi dan pencerahan yang lebih serius kepada aparat Pemerintah dan masyarakat tentang perlunya pemeliharaan DAS dan cara melakukannya, dengan mengundang pakar-pakar yang mengerti tentang hal tersebut, sehingga tenaga, pikiran dan biaya tidak terbuang percuma. Untuk keberlanjutan pengelolaan DAS di Aceh, Pemerintah Propinsi Aceh perlu segera menyusun Tata Ruang Propinsi berbasis DAS dan dijadikan sebagai hukum dengan sanksi yang tegas, mengingat seringnya terjadi banjir dan longsor yang telah banyak merenggut harta, benda dan jiwa manusia akhir-akhir ini. Kepada *stakeholders* supaya sama-sama meningkatkan akurasi data yang dibutuhkan dalam peningkatan pengelolaan DAS, termasuk menjaga alat ukur curah hujan dan debit air sungai yang telah terpasang di berbagai lokasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 2000. Konservasi tanah dan air. IPB Press, Bogor.
- Asdak, C. 2002. Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai. Gadjah Mada University, Yogyakarta.
- Black, P. E. 1996. Watershed Hidrology. 2nd ed. State University of New York. Syracuse, New York.
- Chow V.T., D. R. Maidment, & L. W. Mays. 1988. Applied Hydrology. McGraw-Hill. International Edition, New York
- Green W. H., & G. A. Ampt. 1911. Studies on soils physics : 1, flow of air and water through soils. J. Agric. Sci. 4 : 1-24

- Horton R. E. 1933. The role of infiltration in the hydrologic cycle. *EOS Trans A.G.U.*, 14 : 446-460.
- Irianto, G., P. Perez, & J. Duchesne. 2001. Metodologi the influence of irrigated terraces on the hydrological response of a small basin. *Environmental Metodologi & Software*, 16:31-36.
- Irianto, G. 2004. Evaluasi banjir dan kekeringan : Analisis sistem, adaptasi, dan mitigasinya. Badan Litbang Pertanian, Jakarta (Tidak dipublikasikan).
- Irianto, G. 2006. Pengelolaan sumberdaya lahan dan air : Strategi Pendekatan dan Pemanfaatannya. Papyrus Sinar Sinanti, Jakarta
- Kartiwa, B. 2004. Metodologie du fonctionnement hydrologique des bassins versants, application sur des bassins versants de Java et Sumatra. These de doctorat. Universite d'Angers. France. 197 pp
- Llamas J., 1993. *Hydrologie Générale, Principes et Applications*. Gaétan Morin Editeur, Boucherville, Québec, Canada. 527 p.
- Musy, A. 2000. *Hydrologie générale. Course virtuelle. Section SIE et GC 4ème semestre*. ESPL. Lausanne.
- Mock F. J. 1973. Land Capability Appraisal Indonesia. United Nations Development Programme, Food and Agriculture Organization The United Nations. Bogor, Indonesia.
- Nash J. E., & J. V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting through conceptual Models, 1, a discussion of principles. *J. Hydrol.* (10 1, 282-290).
- Natural Resources Conservation Service. 1986. Conservation Engineering Division, Technical Release 55 : Urban Hydrology For Small Watershed, US Department of Agriculture, Washington.
- Philip, J. 1957. The theory of infiltration : 1. The infiltration equation and its solution. *Soil Science* 83, 345-357.
- Rodriguez-Iturbe, I., & J. B. et Valdés. 1979. The geomorphologic structure of hydrologic response. *Water Resour. Res.* 15(5) : 1409-1420.
- Seyhan, E. 1977. Fundamentals of Hydrology. Geografisch Institut der Ryks Universiteit te Utrecht.
- Sherman, L. K. 1932. Streamflow from rainfall by the unit hydrograph method. *Eng. News-Record*, 108, 501-505.
- Strahler, A. N. 1952. Hypsometric analysis of erosional topography. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 63, 117-142.