

INFRASTRUKTUR DATA PENGEMBANGAN ANGGARAN AIR BULANAN SPASIAL: KASUS SUB-DAS HULU CITARUM

M.R. Djuwansah
Puslit Geoteknologi-LIPI

Abstract

Spatial monthly water budget for the uppermost of Citarum Watershed have been developed based on soil water balance. CN-SCS, soil permeability distribution and soils-rocks hydraulic conductivity differences methods have been elaborated to separate runoff, infiltration, percolation water and ground water recharge. Input and output data have been stored under the form of GIS database format. This database could be represented as thematic maps of the local quantity of monthly water resources components production as well as graphics of tabular data. Validation have been made by comparing the calculation result by hydrograph recorded at Nanjung AWLR monitoring station. Calculation result still shows an important different to the measurement result. Improvement of calculation procedure is to be made to have a better result and reliability for the application in another region. Some data infrastructure problems arise during development this method are: spatial representatives of rainfall data, automatic land cover classification from satellite image, and lack of appropriate (1:50 000) soil maps for many region in Indonesia.

Keywords: water budget, soil water balance, spatial, monthly, error, data infrastructure

Abstrak

Anggaran Air di hulu DAS Citarum telah disusun secara spasial berdasarkan neraca airtanah. Metode metode CN-SCS, distribusi permeabilitas tanah, dan perbedaan nilai konduktivitas hidraulik tanah dan batuan dipakai untuk memisahkan air larian, air infiltrasi dan air perkolasi serta imbuhon airtanah. Data masukan dan luaran proses penghitungan disimpan dalam bentuk basis data pada perangkat lunak SIG. Basis data dapat ditampilkan dalam bentuk peta tematik produksi komponen SDA setempat atau dalam bentuk grafik data tabular. Validasi hasil dilakukan dengan cara memperbandingkan hasil perhitungan dengan kurva hidrograf yang terekam di stasiun Nanjung. Hasil perhitungan masih memperlihatkan perbedaan yang cukup besar dengan hasil pengukuran. Prosedur perhitungan masih dapat diperbaiki untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan konsisten untuk diterapkan di tempat lain. Beberapa masalah infrastruktur data yang dihadapi dalam pengembangan metode ini adalah: representativitas spasial data curah hujan, klasifikasi otomatis tutupan lahan dari citra satelit dan ketiadaan peta tanah pada skala yang diinginkan (1:50 000) untuk banyak daerah di Indonesia.

Kata Kunci: anggaran air, neraca airtanah, spasial, bulanan, kesalahan, infrastruktur data

1. Pendahuluan

Pemanfaatan SDA dan lahan di tanah air, khususnya di daerah berpenduduk padat, pada saat ini banyak yang telah tidak sesuai lagi dengan batas-batas daya dukungnya. Terlampaunya batas-batas daya dukung ini dicirikan dengan peningkatan jumlah kejadian dan intensitas bencana yang berkaitan dengan air, seperti banjir, longsor, serta kekeringan di musim kemarau yang di beberapa tempat sudah menjadi kasus tahunan. Peningkatan pemanfaatan lahan dan air terjadi berangsur-angsur sejalan dengan pertumbuhan jumlah penduduk dan aktifitas ekonomi di atas lahan tersebut, sedangkan batas-batas

kernampuan daya dukungnya tidak diketahui dengan pasti. Metode untuk menilai dan mengevaluasi daya dukung sumberdaya lahan dari sisi geologi teknik (misalnya: dayaangga atau bearingcapacity) atau dari sisi kesuburan tanah dan kesesuaian tanaman telah umum dipakai dan banyak yang sudah dibakukan. Tetapi dari sisi ketersediaan air di suatu lokasi atau daerah, sampai saat ini belum ada metode baku yang dapat dipakai sebagai dasar untuk perencanaan dan evaluasi. Sehingga pada akhirnya, banyak daerah atau lokasi yang dikembangkan untuk aktifitas-aktifitas yang boros air tanpa sebelumnya memperhatikan kondisi sumberdaya yang (masih) tersedia.

Untuk mengevaluasi dan memperbaiki kondisi hidrologis di daerah berpenduduk padat diperlukan suatu gambaran kondisi hidrologis yang rinci dan terukur baik secara kuantitas, fluktuasi maupun sebarannya. Gambaran kondisi ini harus pula meliputi paling tidak untuk seluruh satuan wilayah hidrologis yang batas-batasnya ditentukan oleh batas-batas DAS. Suatu konsep kuantitatif yang mempertimbangkan semua komponen SDA (air permukaan, air tanah dangkal dan airtanah dalam) beserta fluktuasinya pada suatu daerah dikenal dengan istilah anggaran air (water budget) yang banyak dikembangkan pada dekade terakhir.

Anggaran air untuk daerah hulu DAS Citarum disusun sebagai alat bantu untuk mengevaluasi pengelolaan penggunaan SDA dan lahan di daerah ini. DAS Citarum merupakan salah satu daerah strategis yang pada saat ini mengalami tekanan penduduk yang terberat di Indonesia. Daerah ini harus mendukung perkembangan kebutuhan akan sumberdaya lahan (pemukiman) dan air untuk sektor-sektor domestik dan industri. Air sungai Citarum dimanfaatkan pula untuk penyediaan 5 miliar Kwh Tenaga Listrik (Saguling, Cirata dan Jatiluhur) serta airirigasi bagi 300.000 Ha pesawahan di Pantai Utara Jawa Barat. Dengan beban yang harus didukungnya, fenomena kerusakan fungsi hidrologis DAS Citarum, khususnya di bagian hulu telah tampak berupa banjir tahunan, kekurangan air di musim kemarau dan sedimentasi yang tinggi di Waduk Saguling.

Anggaran air yang dimaksud pada penelitian ini dikembangkan berdasarkan pada prinsip neraca airtanah dengan memisahkan air presipitasi yang jatuh pada suatu daerah menjadi komponen-komponen evapotranspirasi, air permukaan, airtanah dalam dan airtanah dangkal. Pemisahan komponen-komponen tersebut dilakukan Gabungan model SCS dan kesetimbangan airtanah (Djuwansah 2005). Dengan bantuan perangkat SIC, model-model pemisahan komponen SDA dapat dilakukan secara spasial dan hasilnya dapat dipergunakan sebagai basisdata anggaran air.

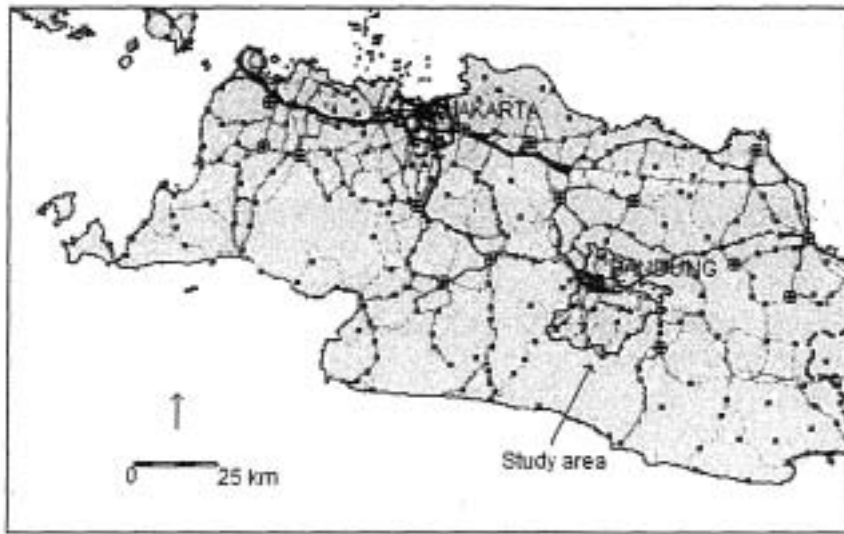
2. Bahan dan Metode

2.1 Daerah studi

Daerah studi merupakan bagian paling hulu DAS Citarum (Gambar 1), mulai dari puncak-puncak dan punggung-punggung gunung yang mengitari cekungan Bandung sampai dengan stasiun pengukurluah Sungai Citarum di Nanjung. Pada area seluas kira-kira 18.000 Km² dengan ketinggian antara 600-2500 mdpl., daerah ini memiliki bentuk lahan yang datar dan bergelombang di bagian tengahnya sampai berlereng dan bergunung pada batas-batas DAS yang mengitarinya. Bagian tengah sub-DAS merupakan dasardanau purba (holosen) yang dikelilingi oleh pegunungan vulkanik di sekitarnya. Endapan banjir menutupi bagian terluas dasar cekungan, yang dialasi oleh endapan danau, berselang-seling dengan endapan fluvial dan endapan rawa (DAM 1994). Sedangkan batuan vulkanik

Infrastruktur Data Pengembangan Anggaran Air Bulanan Spasial: Kasus Sub-DAS Hulu Citarum

di sekeliling-nya terdiri dari berbagai formasi kuartar muda (pleistosen atas) yang didominasi oleh tufa yang berselang-seling dengan breksi dan lava (Ruchiyat et al. 1999; Aust 1994). Batuan terobosan dijumpai di bagian barat sub-DAS yang merupakan bagian



Gambar 1. Lokasi daerah studi

Curah hujan tahunan yang jatuh di daerah ini berkisar antara 1800 mm di dasar cekungan sampai dengan sekitar 3000 mm di puncak-puncak gunung (Narulita 2004). Terdapat perbedaan jumlah curah hujan yang jelas antara musim hujan dan kemarau, tetapi pada umumnya, sejumlah kecil curah hujan masih jatuh di musim kemarau, terutama di bagian puncak pegunungan.

Sebagian besar tanah di daerah studi tergolong tanah masih muda tahap perkembangannya (inceptisols menurut taksonomi tanah). Tanah-tanah berciri sifat andic yang merupakan tanah khas daerah vulkanik (andosol) banyak terdapat di daerah pegunungan yang relatif datar. Sedangkan pada bahan induk hasil endapan di dataran dasar cekungan tanah umumnya memperlihatkan ciri-ciri pengaruh genangan (hidromorfik). Tanah yang memiliki kesarangan relatif besar dijumpai di ketinggian, pada bahan induk yang berasal dari pasir vulkanik muda. Di bagian lereng, umumnya kesarangan tanah berkurang dengan tingginya kandungan butiran liat sebagai hasil pelapukan tanah. Pada endapan aluvial di dasar cekungan, kesarangan massa tanah amat kecil, bahkan lapisan bawah (subsoil) tanah alluvial ini banyak yang kedap pada musim hujan karena tingginya kandungan partikel halus (liat). Kesarangan tanah-tanah aluvial ini mengalami peningkatan pada musim kemarau dengan adanya rekahan-rekahan tanah (cracks) dan tingginya kandungan bahan organik yang tercampur.

Daerah yang datar atau berkemiringan rendah di daerah penelitian umumnya digunakan untuk sawah. Pada daerah dengan kemiringan lebih tinggi, pertanian beralih pada kultur lahan kering. Sayuran merupakan komoditi yang paling banyak dibudidayakan, terutama pada lahan pertanian pada elevasi tinggi. Perkebunan teh dan kina dikembangkan pada daerah perbukitan sejak zaman Belanda. Sedangkan hutan yang dijumpai pada daerah-daerah puncak luasannya mengalami pengurangan karena terdesak oleh perluasan lahan pertanian, terutama sayuran. Hal yang mencolok di daerah ini adalah

cepatnya perluasan lahan pemukiman. Alih fungsi ini tidak saja terjadi pada lahan-lahan pertanian yang datar, tetapi merambah sampai ke lereng-lereng yang bahkan kesesuaiannya sangat rendah meski untuk lahan pertanian.

2.2. Metode

Pemisahan air hujan menjadi komponen-komponen SDA dilakukan melalui tahapan berikut: Pertama, menghitung jumlah air hujan yang meresap (infiltrasi) ke dalam tanah dengan metode CN yang dikembangkan oleh US-SCS. Air yang meresap ke dalam tanah kemudian dipisahkan lagi berdasarkan distribusi ukuran pori (tegangan air = pF) tanah menjadi air yang mengalir sebagai runoff, menguap kembali melalui evapotranspirasi, dan air perkolasi ke dalam tanah dan mengisi airtanah dangkal pada muka airtanah. Sedangkan air yang mengisi lapisan pembawa air pada batuan yang lebih dalam di pisahkan dari airtanah dangkal berdasarkan perbedaan konduktivitas hidraulik (k) tanah dan batuan. Prinsip metode yang dipakai pada setiap tahap di atas adalah sebagai berikut:

a. Metode CN

Metoda CN didasarkan atas hubungan infiltrasi pada setiap jenis tanah dengan jumlah curah hujan yang jatuh pada setiap kali hujan. Total curah yang jatuh pada setiap hujan (P) di atas tanah dengan potensi maksimal tanah untuk menahan (retention) air (S) tertentu, akan terbagi menjadi tiga komponen; air larian (Q), infiltrasi (F) dan abstraksi awal (Initial Abstraction: I_a), dengan hubungan:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad \dots\dots(1)$$

Menurut hasil pengalaman empiris di banyak tempat (di AS) diperoleh, sehingga persamaan (1) menjadi:

$$Q = \frac{(P - 0.25)^2}{P - 0.85} \quad \dots\dots(2)$$

Q dan P dapat diketahui dari hasil pengukuran, sedangkan S dan I_a merupakan parameter yang tidak diketahui. Penetapan nilai S dilakukan dengan melalui nilai runoff CN dengan rumus:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254, \text{ untuk } S \text{ dalam mm} \quad \dots\dots(3)$$

CN adalah indeks yang mencerminkan kombinasi faktor-faktor hidrologis tanah yang merupakan fungsi dari tiga faktor: jenis (tekstur) tanah, tutupan lahan dan kelembaban tanah awal. SCS mengelaskan tanah menjadi empat kelas (A, B, C dan D), mengelaskan tutupan lahan menjadi 21 kelas, serta mengelaskan kelembaban tanah awal (antecedent moisture classes-AMC) menjadi tiga kelas. Nilai CN berada pada kisaran antara 0 sampai 100. Dengan diketahui nilai P , Q , dan S maka infiltrasi (F) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F = P - I_a - Q \quad \dots\dots(4)$$

b. Distribusi Ukuran Pori

Pemisahan air infiltrasi menjadi komponen air yang bergerak ke lapisan tanah yang lebih dalam (perkolasi) dan komponen air yang menguap melalui evapotranspirasi, didasarkan atas prinsip sebagai berikut. Air infiltrasi ke dalam tanah pertama-tama akan

mengisi pori-pori halus, sedangkan pori-pori yang lebih kasar diisi berikutnya setelah pori halus dijenuhi. Pada proses pelepasan air, pori-pori berukuran kasar akan dikosongkan terlebih dahulu. Air mengisi pori-pori kasar (pori drainase) yang tertahan oleh tanah dengan tegangan yang lebih lemah dari gaya gravitasi ($pF < 2$) akan mengalir ke lapisan yang lebih bawah atau keluar lagi sebagai mata air di tempat yang lebih rendah. Air yang masuk ke dalam pori-pori yang lebih kecil (pori kapiler), tertahan oleh tegangan tanah yang lebih besar dari gaya gravitasi ($pF > 2$) sehingga tidak akan mengalir dan hanya bisa dilepaskan dari tanah dengan hisapan akar atau penguapan. Sedangkan pada pori-pori yang sangat halus akan ditahan oleh tanah sangat kuat ($pF > 4,2$) sehingga akan tetap berada di dalam tanah.

Dua faktor terpenting yang mempengaruhi proporsi dan distribusi ukuran pori-pori di dalam tanah adalah tekstur dan aktifitas biota tanah. Di lain pihak proporsi dan distribusi ukuran pori-pori tanah amat menentukan permeabilitas tanah. Untuk pengembangan Anggaran air, pendugaan proporsi berbagai kelas pori tanah didekati berdasarkan hubungan antara tekstur dan permeabilitas. Jumlah air perkolasi pada setiap kali hujan adalah jumlah air infiltrasi dikurangi jumlah air yang mengisi pori kapiler. Pada bulan basah pori kapiler yang diisi kembali pada setiap kali hujan diperkirakan hanya $\frac{1}{5}$ dari keseluruhan pori kapiler, sedangkan pada musim kemarau diperkirakan setengahnya.

Jumlah air perkolasi (p) adalah:

$$p = \left(\frac{F}{S} - 0.2k \right) F, \text{ pada bulan basah} \dots (5)$$

$$p = \left(\frac{F}{S} - 0.5k \right) F, \text{ pada bulan kering} \dots (5)$$

Dimana k menyatakan persentase pori kapiler, F air infiltrasi, dan S kapasitas simpan tanah. Batas bulan basah dan bulan kering pada curah hujan bulanan = 60 mm.

c. Perbedaan Nilai k

Pengisian air tanah dalam dari zona tak jenuh dilakukan berdasarkan dasar hukum Darcy. Pada model anggaran air, peralihan antara tanah dan batuan dianggap terjadi pada satu bidang kontak. Pada bidang kontak ini, terdapat tekanan hidraulik atau aliran air yang diakibatkan oleh beban air di atasnya sampai dengan dari paras. Apabila terdapat kekosongan atau penurunan tekanan di dalam akifer airtanah dalam (akifer tertekan) sebagai akibat kebocoran (leakage) atau pengambilan air tanah, maka akan ada aliran air dari masa tanah ke dalam masa batuan. Apabila k tanah (k_1) lebih besar daripada k batuan (k_2), debit air tanah yang mengisi batuan adalah sebesar:

$$k_1 q_1 = k_2 q_2 \text{ atau } q_1 = k_2/k_1 * q_2 \dots (7)$$

Sedangkan sisanya akan mengalir secara lateral dan akan keluar ke permukaan sebagai mata air. Apabila k_1 lebih besar atau sama dengan k_2 maka debit air pada tanah dan batuan akan sama besar. Untuk kondisi cekungan Bandung, sejak tahun 1960 terjadi kekosongan yang semakin bertambah karena adanya pengambilan airtanah (Delinom 2003; Rahmat 2005).

d. Penyesuaian spasial dan temporal

Metode CN didisain untuk menduga perbandingan air hujan dan air larian pada setiap kali hujan di atas tanah tertentu. Untuk mendapatkan luaran spasial perhitungan

dilakukan untuk satu satuan lahan dengan karakteristik tanah, geologi dan tutupan lahan yang seragam. Sedangkan untuk mendapatkan gambaran tentang variasi temporal, perhitungan secara spasial dilakukan untuk setiap bulan. Data masukan curah hujan yang dipakai pada perhitungan adalah curah hujan harian rata-rata pada bulan yang bersangkutan.

23. Data

Data input untuk pembangkitan Anggaran air ini adalah sebagai berikut: peta topografi 1:25000, Peta isohyet bulanan yang dibuat berdasarkan hasil rekaman curah hujan pada 11 stasiun di dalam wilayah studi sepanjang tahun 2001, peta tanah, tutupan lahan yang dihasilkan dari penafsiran Citra LANDSAT-TM7 tahun 2001, dan Peta Geologi (litologi).

3. Hasil

Data masukan dan luaran proses penghitungan disimpan dalam bentuk basisdata pada perangkat lunak SIG. Data tersebut dapat ditampilkan sebagai peta-peta tematik, baik untuk data masukan (misalnya distribusi curah hujan, porositas tanah atau tutupan lahan) maupun untuk luarannya (misalnya: distribusi spasial jumlah bulanan masing-masing data komponen SDA). Data tabular untuk keseluruhan daerah studi maupun daerah tertentu yang diinginkan dapat pula diekstrak untuk ditampilkan (Gambar 2). Hasil perhitungan tersebut baru memuat besaran komponen-komponen SDA yang dihasilkan pada suatu lokasi yang berasal dari hujan yang jatuh di tempat tersebut, sedangkan penambahan dan pengurangan yang diakibatkan adanya air yang masuk dan keluar belum diperhitungkan.

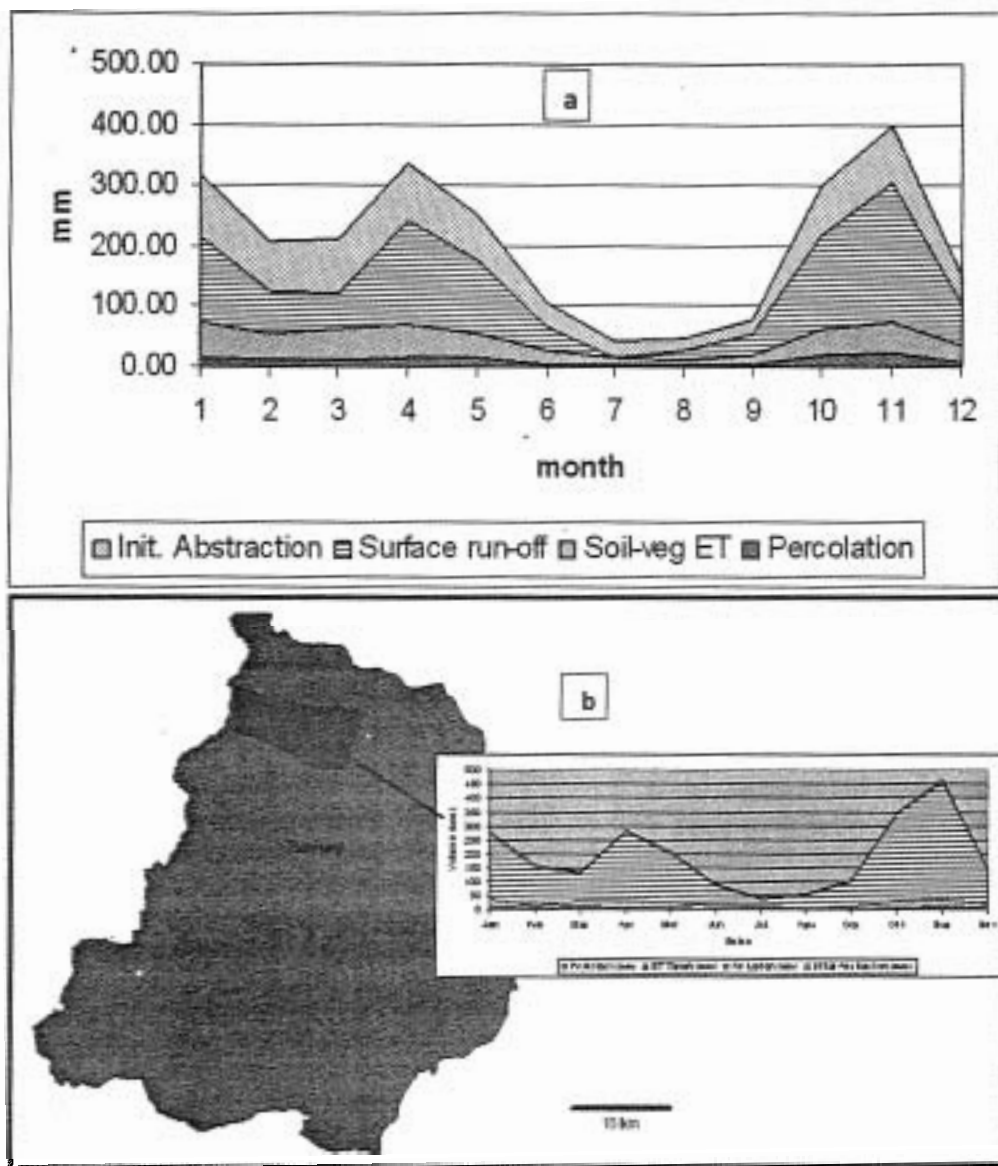
Basisdata ini dapat dipakai untuk melihat potensi ketersediaan air di suatu lokasi beserta perbandingannya dengan lokasi-lokasi lain di sekitarnya di wilayah sub-DAS yang dipelajari. Dengan basisdata ini pula peran hidrologis suatu lokasi di dalam lingkungan sub-DAS bisa dianalisis, misalnya penentuan daerah resapan produktif, daerah penghasil air limpasan, dsb. Basisdata tersebut bisa diperbarui setiap saat misalnya dengan merubah masukan data curah hujan dan tutupan lahan yang dari tahun ke tahun selalu berubah atau besaran lainnya apabila diperlukan.

Validasi hasil dilakukan dengan cara membandingkan air larian total bulanan/tahunan hasil perhitungan terhadap total aliran tinggi (highflow) yang di pisahkan dari kurva hidrograf yang terekam di stasiun Nanjung. Gambar 3 memperlihatkan adanya perbedaan antara hasil perhitungan dan hasil pengukuran yang bervariasi untuk setiap bulan. Perbedaan ($\text{error} = \frac{(\text{hsl terukur} - \text{hsl terhitung})}{(\text{hsl terukur} + \text{hsl terhitung})}$) terbesar dijumpai pada bulan juli (0.87) yang merupakan bulan terkering, sedangkan perbedaan terendah (0.006) dijumpai pada bulan Nopember yang merupakan bulan terbasah. Perbedaan rata-rata bulanan sebesar 0,117 dan perbedaan tahunan sebesar 0.027.

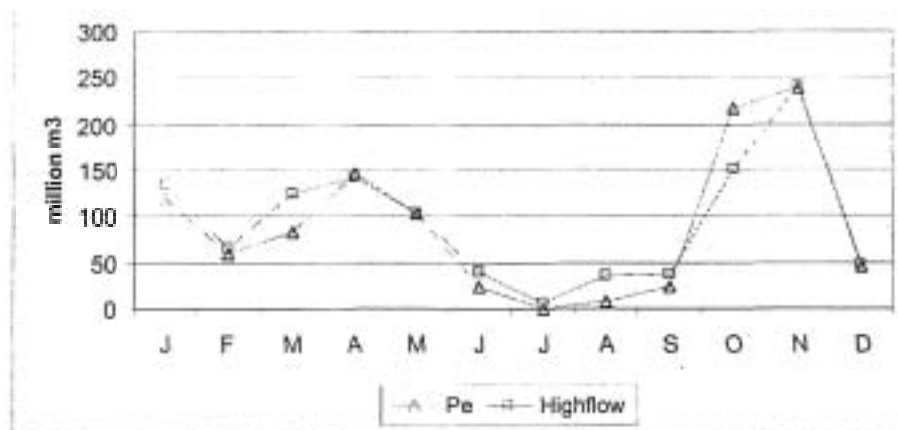
Karena belum terdapat data intensitas hujan rata-rata bulanan maka untuk perhitungan di atas dipakai pendekatan dengan mernakai rata-rata curah hujan harian sebagai masukan untuk memperoleh distribusi bulanan. Rerata dilakukan pula untuk data spasial seperti misalnya untuk permeabilitas tanah dan batuan. Pada dasarnya setiap langkah pada prosedur perhitungan memiliki kerawanan terhadap terjadinya kesiaian. Memperhatikan distribusi kesalahan pada hasil di atas tampak bahwa hasil perhitungan memiliki kesalahan yang kecil untuk rata-rata tahunan, tetapi besar untuk setiap bulannya. Hal yang sama akan dijumpai pula dari sisi distribusi spasial. Meski demikian, tampaknya data ini bisa dipakai untuk informasi yang setara dengan peta skala 1:50.000. Sedangkan

Infrastruktur Data Pengembangan Anggaran Air Bulanan Spasial: Kasus Sub-DAS Hulu Citarum

variasi bulanan dan variasi spasial, untuk sementara, belum bisa dianggap sebagai nilai acuan mutlak untuk memperkirakan jumlah ketersediaan. Di lain pihak, untuk tujuan penggunaan yang lebih detil, seperti misalnya untuk disain engineering, akan diperlukan studi yang lebih rinci secara setempat di sekitar lokasi yang akan dikembangkan. Meski masih terdapat kesalahan-kesalahan seperti di atas, perbaikan prosedur perhitungan di atas masih memungkinkan untuk diperbaiki untuk mendapatkan hasil yang lebih baik dan konsisten untuk diterapkan di tempat lain.



Gambar 2. Ketersediaan air bulanan tahun 2001 untuk keseluruhan daerah studi (a) dan daerah terpilih (b).



Gambar 3. Kalibrasi jumlah bulanan air larian terhadap jumlah aliran tinggi terukur di stasiun Nanjung.

4. Masalah Infrastruktur Data

Meski basis data Anggaran Air ini dibangun berdasarkan teori-teori yang sudah baku dan diuji, tetapi di dalamnya terdapat sejumlah asumsi yang sifatnya subjektif sehingga akan menimbulkan ketidak-konsistenan untuk digunakan di tempat lain dan masih rawan terhadap kesalahan masih tinggi. Kesalahan ini akan sulit ditemukan untuk daerah-daerah dimana tidak terdapat prasarana data untuk verifikasi/validasi. Oleh karena itu untuk diterapkan di daerah lain, diperlukan pembakuan metode, diperlukan pula persyaratan pembuatan format data dasar yang akan menjadi masukan untuk perhitungan, termasuk diantaranya pembangkitan data spasial (peta) dari data titik. Berdasarkan pengalaman untuk hulu DAS Citarum, beberapa pembenahan (infrastruktur) data yang memerlukan perhatian antara lain:

4.1. Data Curah hujan

Kerapatan stasiun pengukur curah hujan khususnya di Pulau Jawa cukup memadai untuk skala peta 1:50.000. Tetapi stasiun-stasiun yang ditempatkan di ketinggian (di atas 1000 mdpl) masih sangat sedikit sehingga mengurangi akurasi hasil apabila dibuat peta isohet. Padahal untuk mendapatkan distribusi spasial di daerah yang bergunung-gunung seperti P. Jawa dan P. Sumatera, penggunaan metode polygon Thiessen seringkali memberikan hasil yang tidak bisa diterima.

Data intensitas hujan di kebanyakan daerah di Indonesia sangat sulit diperoleh. Jumlah stasiun curah hujan yang melakukan pengukuran dalam selang waktu yang rapat (setiap 5, 10, 15, atau 30 menit, atau real time) sangat kurang. Besaran intensitas hujan diperlukan sebagai data masukan pada banyak model aplikasi (mis: hubungan hujan limpasan, infiltrasi, erosi, dsb.). Intensitas hujan rata-rata di suatu daerah dapat didekati melalui model hubungan *Intensity-duration-frequency*, yang untuk penyusunannya diperlukan data intensitas hujan selama 50 tahun. Stasiun-stasiun klimatologi yang telah memiliki model ini di kawasan Asia Tenggara (sepanjang pengetahuan penulis) baru ada di Serawak, Malaysia dan Jakarta (V.d. Wert 1994; Ishak 2006), sehingga sebagian besar kawasan masih belum memiliki stasiun perwakilan.

4.2. Pengkelasan jenis tutupan lahan dari citra satelit.

Dengan adanya citra satelit multispektral, sebaran jenis tutupan dan penggunaan lahan untuk skala 1:50.000 lebih mudah dilakukan dengan cara pengkelasan otomatis berdasarkan perbedaan nilai intensitas pantulan (*reflectance*) gelombang-gelombang elektromagnetik tertentu. Tetapi yang menjadi masalah adalah akurasi dan konsistensinya, karena pada akhirnya hasil yang diperoleh sangat tergantung pada metode yang dipakai oleh penafsir. Oleh karena itu perlu dicari dan dibakukan: (1) metode penafsiran yang paling mendekati nilai sebenarnya, (2) sistem klasifikasi penggunaan/tutupan lahan. Pembakuan ini harus dilakukan untuk setiap format data dari setiap satelit, karena setiap satelit merekam kisaran panjang gelombang (*band*) yang berbeda, sehingga memberikan karakter citra yang berbeda dan untuk pengolahan datanya memerlukan algoritma yang berbeda pula. Studi karakter setiap jenis citra dan pembakuan algoritma perlu dilakukan agar perbedaan hasil yang diberikan oleh masing-masing citra bisa diminimalkan.

4.3. Peta Tanah

Sebaran jenis tanah relatif tetap. Hal berbeda yang bisa menyebabkan perubahan adalah apabila terjadi perubahan tutupan lahan yang drastis sehingga menimbulkan erosi yang besar yang menyisakan lapisan residu tanah yang berbeda di permukaan, misalnya apabila sebagian besar horizon A tererosi. Meski demikian peta tanah dapat dipakai apabila sudah dipetakan dengan baik dan benar. Masalahnya adalah baru sebagian dari wilayah kita yang dipetakan dengan skala yang cukup besar (*Semi detail, > 1:50.000*). Sebagian besar wilayah di tanah air baru memiliki peta tanah tinjau (*1:100.000*) atau peta eksplorasi (*skala di bawah 1:250.000*). Peta pada skala-skala rendah tidak banyak bermanfaat untuk pembangunan model Anggaran air yang rinci.

Sampai saat ini, deskripsi dari peta-peta tanah lebih banyak ditujukan untuk penilaian kesuburan tanah, sedangkan untuk deskripsi sifat-sifat hidrologis baru digambarkan secara kualitatif (*mis: drainase baik, buruk, terhambat, dsb.*). Hubungan antara proporsi berbagai kelas pori-pori tanah dengan tekstur tanah telah dapat dirumuskan dengan model matematis, tetapi untuk hubungannya yang melibatkan aktifitas biota tanah belum ada.

4.4. Nilai CN untuk jenis tutupan lahan di Indonesia

Metode CN/SCS dikembangkan di Amerika Serikat dimana iklim, jenis tanah, dan pola tutupan lahannya banyak berbeda dengan yang biasa kita temukan di Indonesia. Sawah misalnya, merupakan salah satu jenis penggunaan lahan yang umum di Indonesia (dan Asia Timur pada umumnya) yang memiliki karakteristik hidrologis tersendiri karena ter-genang pada sebagian besar masa pemanfaatannya. Misal lainnya adalah kebun campuran atau talun, yang merupakan cara penggunaan lahan yang umum dan khas di Asia Tenggara. Untuk jenis-jenis penggunaan lahan seperti ini diperlukan pendekatan/penilaian CN khusus yang didasarkan hasil studi empirik.

4.5. Pembuatan program makro pada perangkat SIG

Disamping perbaikan dan pembakuan metode dan format data masukan, diperlukan pula modifikasi dan penyempurnaan perangkat lunak yang dipakai agar bisa lebih akrab pengguna (*userfriendly*).

5. Kesimpulan

Pengembangan Anggaran air ditujukan untuk mendapatkan gambaran kuantitatif yang lebih rinci tentang SDA secara spasial dapat dilakukan dengan menggunakan metode-metode CN-SCS, distribusi permeabilitas tanah, dan perbedaan nilai konduktivitas hidraulik tanah dan batuan. Meski demikian untuk pengulangan aplikasi metode ini di tempat lain masih rawan akan kesalahan sebagai akibat perbedaan dalam sumber data masukan yang dipakai serta penanganannya. Sejumlah studi mengenai penyempurnaan dan pembakuan metode serta pengolahan data diperlukan agar metode ini dapat diterapkan di tempat lain dengan memberikan hasil yang handal dan konsisten.

Daftar Pustaka

- . 1985. SCS National Engineering handbook, sect 4: Hydrology. Soil Conservation Service, USDA.
- Aust H, M Siebenhuner, M Toloczyki, and W Wagner. 1994. Groundwater Protection and Selection of Waste Disposal sites in the Greater Bandung Area., Indonesia. Natural Resources and Development. Vol 40. Inst. for Sci. Co-operation Fed. Rep. of Germany. Tubingen.
- Chow VT, DR Maidment and LW Mays. 1988. Applied Hydrology. Mc. Graw Hill co.
- Dam MAC. 1994. The late quaternary evolution of Bandung Basin, West Java Indonesia. Dept. of Quaternary Geology, Fac. Of Earth Sciences Vrije University, Amsterdam.
- Djuwansah MR, R Haryanto. 2006. Spatial Monthly water budget Development of Bandung Basin. Proc. Of Int. Symp on Geotechnical Hazards. LIPI-ENGGEOL-Codata-IAGI.
- Kumar CP. 1993. Estimation of Ground Water Recharge due to Rainfall by Modelling of Soil Moisture Movement. National Institute of Hydrology, Roorke Uttaranchal, Technical report No. TR-142, 1992-1993.
- Narulita I, MR Djuwansah. 2006. Some Rainfall Characteristics in Bandung Basin. Proc. Of Int. Symp. on Geotechnical Hazards. LIPI-ENGGEOL-Codata-IAGI.
- Mc Cuen RH. 1982 A Guide to Hydrologic Analysis using SCS Methods. Prentice Hall Publ.
- Ruchiyat S, A Sukrisna. 1999. Penyelidikan Potensi Cekungan Airtanah Bandung- Jawa Barat.. Direktorat Geologi Tata Lingkungan- Dept. Pertambangan dan Energi.
- Ishak SAM. 2006. Analysis of Rainfall pattern triggering landslides at taman hillview, Ampang Selangor. Proc. Int. Symp. on geotechnical Hazards. LIPI-ENGGEOL-Codata-IAGI.
- Van der Wert R. 1994. Hydrological Conditions in Indonesia. Delft Hydraulics, Jakarta.