

MODEL PENENTUAN DEBIT ALIRAN/SUNGAI UNTUK PENGELOLAAN SISTEM DAS MENGGUNAKAN DATA PENGINDERAAN JAUH (STUDI KASUS DAS CILIWUNG)

Susanto dan Nana Suwargana

Pusat Pengembangan Pemanfaatan dan Teknologi Penginderaan Jauh, LAPAN

Email : susanto_lapan@yahoo.com dan nana.suwargana@gmail.com

ABSTRAK

Alih fungsi penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan kaidah konservasi akan cenderung meningkatkan nilai koefisien aliran permukaan yang akan berpengaruh terhadap debit aliran/sungai. DAS Ciliwung merupakan DAS yang berada di daerah Bogor yang telah mengalami perubahan penggunaan lahan. Alih fungsi penggunaan lahan umumnya dikaitkan dengan fungsi positif tata air dalam suatu ekosistem DAS dan semua alih guna lahan dianggap akan berdampak negatif terhadap kuantitas dan kualitas air bagi masyarakat di daerah hilir. Ketersediaan data debit (aliran/sungai) di setiap wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah sangat penting bagi kegiatan program perencanaan dan pengembangan sumberdaya air. Kegiatan ini bertujuan untuk mengkaji sebaran debit aliran permukaan/sungai pada wilayah DAS Ciliwung dengan menggunakan data penginderaan jauh citra SPOT dan Landsat. Informasi tentang pola DAS diperoleh berdasarkan analisis DEM (Digital Elevation Model) SRTM (Shuttle Radar Tophography Mission) dan informasi tentang sebaran debit aliran/sungai menggunakan data kemiringan, penutup lahan dan data curah hujan (TRMM dan QMorph). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model pengembangan debit aliran permukaan (surface flow) dengan asumsi curah hujan 10 mm/jam rata-rata di seluruh DAS Ciliwung memberikan nilai pendekatan sebaran spasial sebesar 0.0 hingga 0.02 m³/det dan debit sungai di pintu air Katulampa (DAS Ciliwung Hulu) memberikan sumbangan 44% dari total debit DAS.

Kata Kunci : aliran permukaan, DAS, penutup lahan ,curah hujan, dan kelerengan.

ABSTRACT

The misuse of land is not in line with conservation technique tends to enhance the surface runoff coefficient rate which will affect the surface flow/river current. DAS Ciliwung, located in Bogor, is DAS which has undergone some changes in the use of its land. The misuse of land generally are associated with positive watershed functions and all land use change is expected to negatively affect the quantity and quality of river flow from the perspective of people living downstream. Availability of current (surface flow / river) data at any region or catchment area were very important for development and planning of water resources program. The objective of this research was studied the (surface flow/river) current distribution in the Ciliwung watershed area by using remote sensing data of SPOT and Landsat image. Information on the watershed pattern was obtained by analysis of DEM (Digital Elevation Model) SRTM (Shuttle Radar Tophography Mission), whereas information on the distribution of current (surface flow/river) by using inclination, land cover and the rainfall (TRMM dan QMorph) data. The result of the research showed that flow current development model with assumption of rainfall 10 mm/hour on the average of all over the Ciliwung watershed gives the estimating value of spatial distribution that are 0,0 – 0,02 m³/det and the river current in the Katulampa outlet gives the collection that are 44 %from of watershed current total.

Keywords : run-off, watershed, land cover, rainfall, and inclination.

PENDAHULUAN

Pengukuran debit aliran/sungai sangat diperlukan untuk mengetahui potensi sumberdaya air di suatu wilayah DAS. Debit aliran dapat dijadikan sebuah alat untuk memonitor dan mengevaluasi neraca air di suatu kawasan melalui pendekatan potensi sumberdaya air permukaan yang ada. Terbentuknya sungai karena adanya aliran air dari satu atau beberapa sumber air yang datang dari suatu daratan/permukaan tanah yang tinggi. Sumber air dari puncak bukit atau gunung yang tinggi dengan air hujan yang sangat banyak jatuh di daerah tersebut, kemudian terkumpul dibagian yang cekung dan lama kelamaan dikarenakan sudah terlalu penuh akhirnya mengalir keluar melalui bagian bibir cekungan. Selanjutnya air tersebut akan mengalir di atas permukaan tanah yang lebih rendah dan masuk pada sistem sungai.

Di suatu wilayah DAS debit aliran/sungai selalu dikaitkan dengan banjir, karena peristiwa banjir merupakan volume air yang meningkat atau meluapnya limpasan air permukaan yang melebihi kapasitas pengaliran sistem drainase. Ada berbagai faktor penyebab banjir, baik yang bersifat alamiah maupun akibat kegiatan manusia. Beberapa faktor yang bersifat alamiah yang berpengaruh terhadap kejadian banjir dapat dibagi dalam 2 kelompok. Kelompok pertama berkaitan dengan kondisi alam yang relatif statis, antara lain kondisi fisiografi dan kondisi alur sungai (pembendungan/hambatan akibat *meandering* alur sungai, *bottle neck*, ambal alam, kemiringan dasar sungai yang landai). Kelompok kedua berkaitan dengan peristiwa/kejadian alam yang bersifat dinamis, antara lain curah hujan yang tinggi, pembendungan di muara sungai akibat pasang laut, pembendungan dari sungai induk terhadap anak sungai, amblesan tanah (*land subsidence*), dan sedimentasi (erosi dasar sungai). Sedangkan kegiatan manusia yang berpengaruh terhadap kejadian banjir, antara lain konversi lahan (*perubahan penggunaan lahan*) yang tidak terkendali, pembangunan pemukiman di bantaran sungai dan pembuangan sampah di sungai. Kegiatan tersebut berdampak pada kerusakan ekosistem dan sistem hidrologi DAS sehingga menyebabkan tingginya debit aliran/sungai yang pada akhirnya dapat meningkatkan resiko terjadinya banjir.

Konversi lahan yang paling besar pengaruhnya terhadap kelestarian sumberdaya air adalah perubahan dari kawasan hutan ke penggunaan lainnya seperti, pertanian, perumahan ataupun industri. Apabila kegiatan tersebut tidak segera dikelola dengan baik, maka akan menyebabkan banjir pada saat musim hujan dan kekeringan pada saat musim kemarau. Melalui teknologi penginderaan jauh (*remote sensing*) sebagai sarana penyedia data dan informasi dewasa ini dapat dimanfaatkan untuk membantu dan menangani permasalahan diatas. Pesatnya perkembangan teknologi ini tentunya sangat menguntungkan, terutama dalam menyiapkan sistem informasi kerawanan bencana, khususnya banjir. Kondisi topografi, geografi, bentuk lahan, vegetasi penutup lahan dan lingkungan dapat dipantau melalui citra satelit. Berkaitan dengan penentuan debit aliran/sungai dapat dibuat pula batas dan luas DAS melalui citra satelit. Kegiatan ini masih memerlukan pengembangan lebih lanjut, karena bentuk model menentukan debit aliran/sungai untuk pemantauan potensi banjir masih memerlukan pengamatan lebih detil terutama mengenai karakteristik debit aliran/sungai yang terjadi di wilayah DAS yang dapat mempengaruhi banjir di seluruh wilayah DAS (hulu, tengah dan hilir).

Kegiatan penulisan paper bertujuan untuk mengkaji sebaran spasial debit aliran/sungai (debit aliran permukaan (*surface flow*) dan debit sungai (*outlet*)) di wilayah DAS dengan menggunakan data satelit penginderaan jauh. Sebaran dan besarnya debit aliran/sungai akan sangat berpengaruh terhadap potensi kejadian banjir di wilayah DAS tersebut. Data yang digunakan adalah *Digital Elevation Model* (DEM) SRTM, citra satelit (SPOT dan Landsat), dan data curah hujan (TRMM dan QMorph). DEM SRTM digunakan untuk menentukan pola dan batas DAS dengan menggunakan metode aliran kemiringan, penurunan luas penampang piksel untuk perhitungan luas penutup lahan. Data penutup lahan diturunkan dari citra satelit SPOT, sedangkan intensitas curah hujan dan sebaran koefisien *run-off* diturunkan dari data TRMM dan Qmorph. Semua informasi yang dihasilkan akan menjadi masukan untuk menghitung sebaran spasial debit aliran permukaan di wilayah penutup lahan DAS dan debit sungai di beberapa pintu air. Selanjutnya pemantauan distribusi spasial debit harian di wilayah DAS dapat dijadikan data masukan untuk bahan simulasi dalam penentuan model analisis banjir sebagai

pengaruh intensitas curah hujan dan tutupan lahan. Hasil kegiatan ini diharapkan dapat menjadi masukan secara institusional maupun kepada para peneliti untuk pemantauan debit aliran/sungai dalam mengantisipasi bencana banjir di DAS berbasis data satelit penginderaan jauh.

METODOLOGI

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan yang digunakan dalam kegiatan ini adalah sebagai berikut:

- Data Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) untuk wilayah Jabotabek dengan resolusi spasial 90 m untuk perekaman 2000
- Data Landsat 7 ETM⁺ untuk wilayah Jabotabek dan sekitarnya dengan resolusi spasial 30 m untuk perekaman tahun 2002.
- Data SPOT-4 untuk wilayah Jabotabek dan sekitarnya dengan resolusi spasial 20 m untuk perekaman tahun 2007.
- Data Tropical Rainfall Measurement Mission (TRMM) bulanan dengan resolusi spasial 27 km untuk perekaman tahun 1998-2009
- Data Qmorph dengan resolusi spasial 8 km untuk perekaman 28-30 November 2009
- Data batas aliran sungai dari BP-DAS, Departemen Kehutanan

Lokasi penelitian untuk pembuatan batas DAS adalah DAS Ciliwung dengan mempertimbangkan bahwa:

- DAS tersebut memang menjadi fokus kegiatan mitigasi bencana banjir karena hampir setiap tahun terjadi bencana banjir di DAS tersebut.
- Kondisi topografi DAS dan tutupan lahan yang bervariasi
- Ketersediaan data utama dan data pendukung

Metode Penelitian

Metoda penelitian dilakukan menggunakan data penginderaan jauh dengan informasi pola aliran (bentuk dan luas) DAS diperoleh berdasarkan analisis Digital Elevation Model (DEM) SRTM. Penentuan sebaran debit (aliran/sungai),

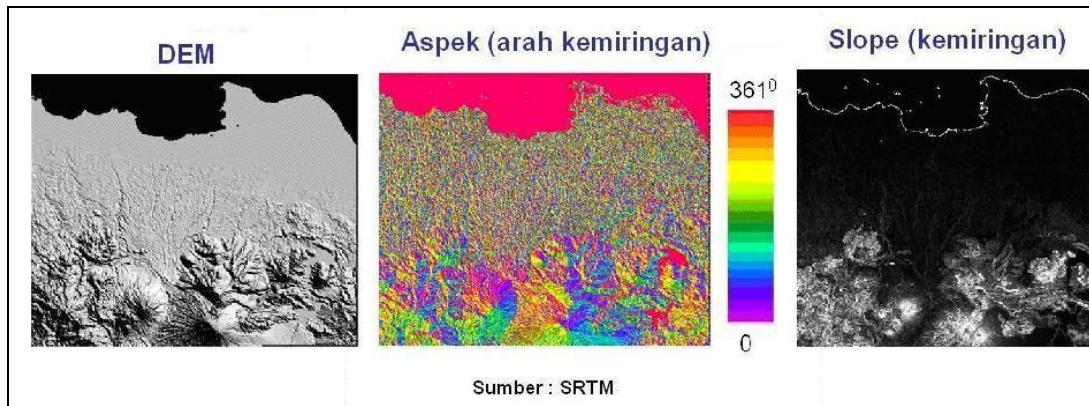
pengolahannya dengan mengoverlaykan data-data dari luas penampang piksel, kemiringan, penutup lahan (Lapan, 2007), karakter sungai, data curah hujan (TRMM dan QMorph). Kemudian koefisien aliran (Run-off) disesuaikan dengan berbagai tipe penutup lahan (sumber: Puslitbang air (1984) dan Hardiningrum (2005)). Sehingga metode yang digunakan untuk menentukan nilai debit air pada penelitian ini adalah metode rasional sebagai berikut:

$$Q = K C I A$$

Q: Debit (m^3/s), K: Konstanta pengubah (konversi), C: Koefisien Run off (fungsi dari tutupan lahan, jenis tanah slope) adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan (Run-off) terhadap besarnya curah hujan, I : Intensitas curah hujan (mm/jam), dan A: Luas area DAS (m^2)

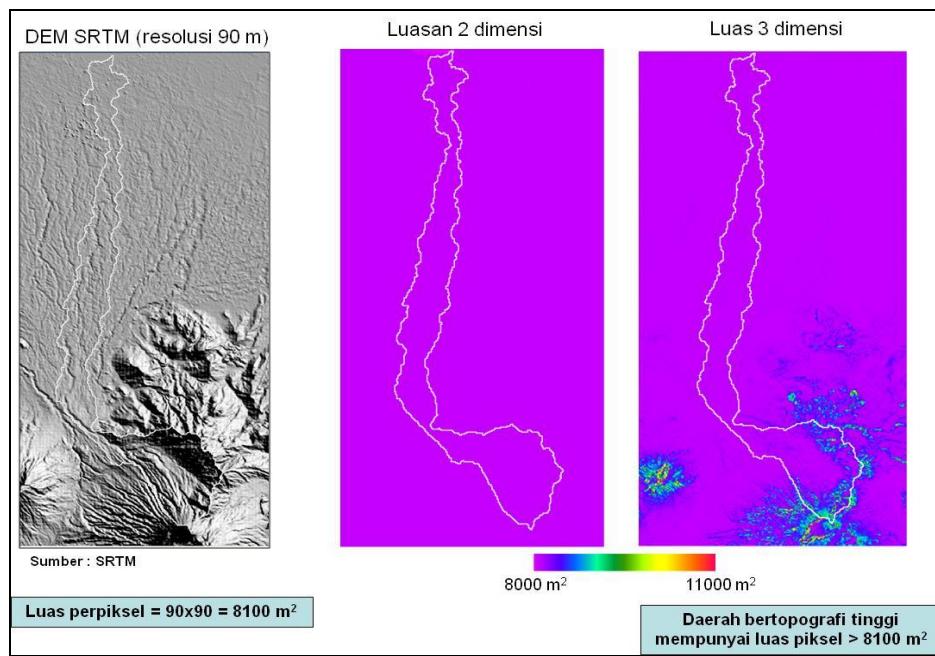
- **Penentuan Luas Penampang Piksel**

Perhitungan luas DAS dan luas tutupan lahan dilakukan berbasis luas penampang piksel 2 dimensi (tidak mempertimbangkan kondisi topografi wilayah) dan 3 dimensi (mempertimbangkan kondisi topografi wilayah). Gambar 1 memperlihatkan data DEM serta parameter topografi, yaitu: informasi kemiringan (slope) dan arah kemiringan (aspek) yang diekstrak dari data DEM untuk wilayah Jakarta dan sekitarnya. Slope diperlihatkan dengan nilai sudut kemiringan setiap piksel dengan range dari 0^0 (kondisi flat) sampai dengan 90^0 (kondisi tegak lurus). Sedangkan aspek adalah arah kemiringan dari setiap piksel yang diperlihatkan dengan nilai sudut 0^0 (piksel menghadap ke utara), kemudian semakin besar sudut hingga mencapai 360^0 berarti arah kemiringan berubah sesuai perputaran jam (utara, timur, selatan, barat dan kembali ke utara). Sedangkan nilai 361^0 adalah kondisi piksel flat (tidak punya arah kemiringan), yang diperlihatkan oleh wilayah perairan.



Gambar 1. DEM, Aspek dan slope untuk wilayah Jakarta dan sekitarnya

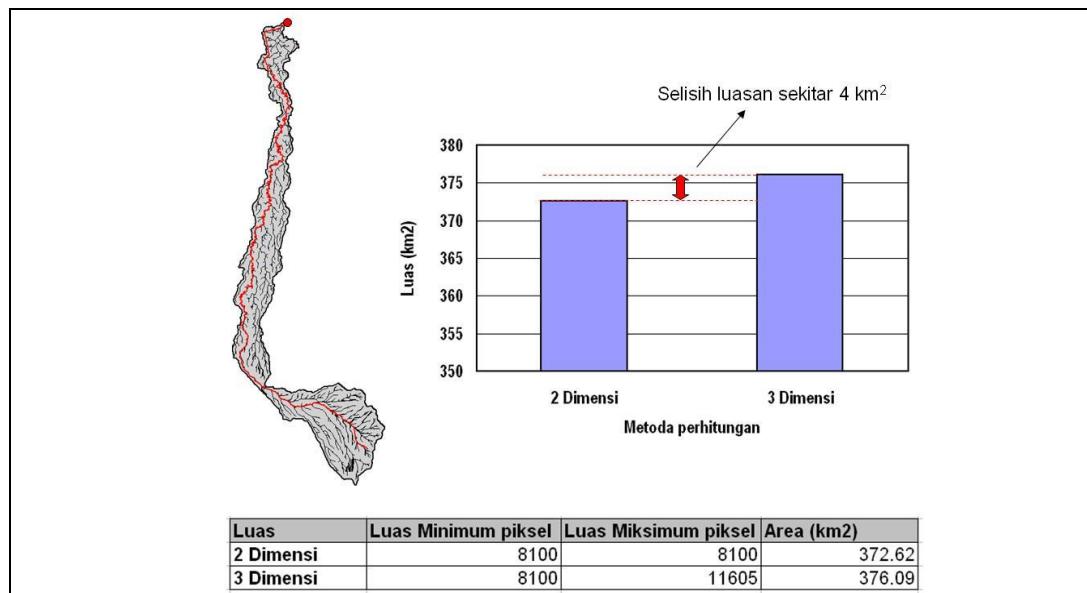
Hasil perhitungan luas penampang piksel 2 dimensi dan 3 dimensi yang ditampilkan secara spasial diperlihatkan pada Gambar 2. Luas berbasis 2 dimensi (Gambar tengah) mempunyai luas penampang piksel tetap yaitu 8100 m^2 (merupakan hasil perkalian resolusi spasial 90 m), sedangkan luas berbasis 3 dimensi (Gambar kanan) mempunyai luas penampang piksel yang berbeda untuk daerah dengan kemiringan berbeda. Semakin miring wilayah (pegunungan) semakin besar luas penampang pikselnya. Sebagai contoh luas penampang piksel dibagian hulu DAS Ciliwung mempunyai nilai mencapai 11000 m^2 .



Gambar 2. Luasan penampang piksel 2 dimensi dan 3 dimensi

Luas penampang piksel 2 dimensi dan 3 dimensi yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung luas DAS Ciliwung. Gambar 3 dan luas setiap jenis

tutupan lahan di DAS tersebut. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa terdapat perbedaan luas sebesar kira-kira 4 km^2 antara perhitungan berbasis 2 dimensi dan 3 dimensi, dimana luas 2 dimensi DAS Ciliwung sebear 372 km^2 sedangkan luas 3 dimensi sebesar 376 km^2 . Hasil ini tidak terlalu berbeda dengan hasil perhitungan luas DAS Ciliwung yang dikeluarkan oleh BP-DAS Citarum-Ciliwung, yaitu sebesar 375 km^2 .



Gambar 3. Luas DAS Ciliwung berbasis 2 dan 3 dimensi

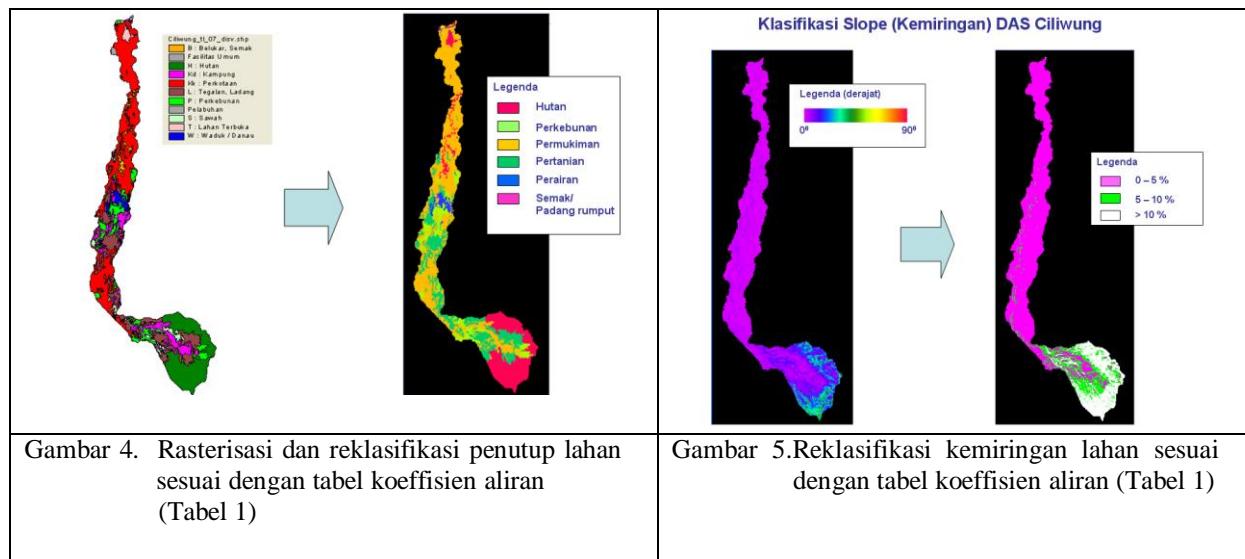
- **Klasifikasi Penutup Lahan**

Klasifikasi penutup lahan dilakukan dengan menggunakan metoda digitasi visual dari data SPOT-4 untuk perekaman 2007. Pada tahap awal penutup lahan diklasifikasikan dalam 10 kelas yaitu: semak belukar, fasilitas umum, hutan, kampung, perkotaan, tegalan dan ladang, perkebunan, sawah, lahan terbuka dan tubuh air (waduk/danau). Selanjutnya dilakukan perubahan data dari bentuk vektor menjadi raster dan dilakukan klasifikasi ulang menjadi 6 kelas sesuai referensi Puslitbang air (1984) dan Hardiningrum (2005), Tabel 1. Rasterisasi dan reklassifikasi penutup lahan sesuai dengan tabel koefisien aliran (Tabel 1) diperlihatkan pada Gambar 4. Kemudian informasi kemiringan lahan di kelaskan menjadi 3 kelas kemiringan lahan (0-5%, 5-10% dan >10%), seperti pada Gambar 5.

Tabel 1. Tabel koefisien aliran (Run-off) untuk berbagai tipe penutup lahan

Tutupan lahan	Kemiringan	Koefisien run-off (tipe tanah lempung)
Perairan	-	0
Pertanian	0 - 5%	0.5
	5 - 10%	0.6
	10 - 30 %	0.7
Perkebunan	0 - 5%	0.5
	5 - 10%	0.6
	10 - 30 %	0.72
Permukiman	0 - 5%	0.45
	5 - 10%	0.55
	10 - 30 %	0.65
Hutan	0 - 5%	0.3
	5 - 10%	0.35
	10 - 30 %	0.5
Semak-semak/padang rumput	0 - 5%	0.3
	5 - 10%	0.35
	10 - 30 %	0.4

Sumber: Puslitbang air (1984) dan Hardiningrum (2005))



• Koefisien Aliran

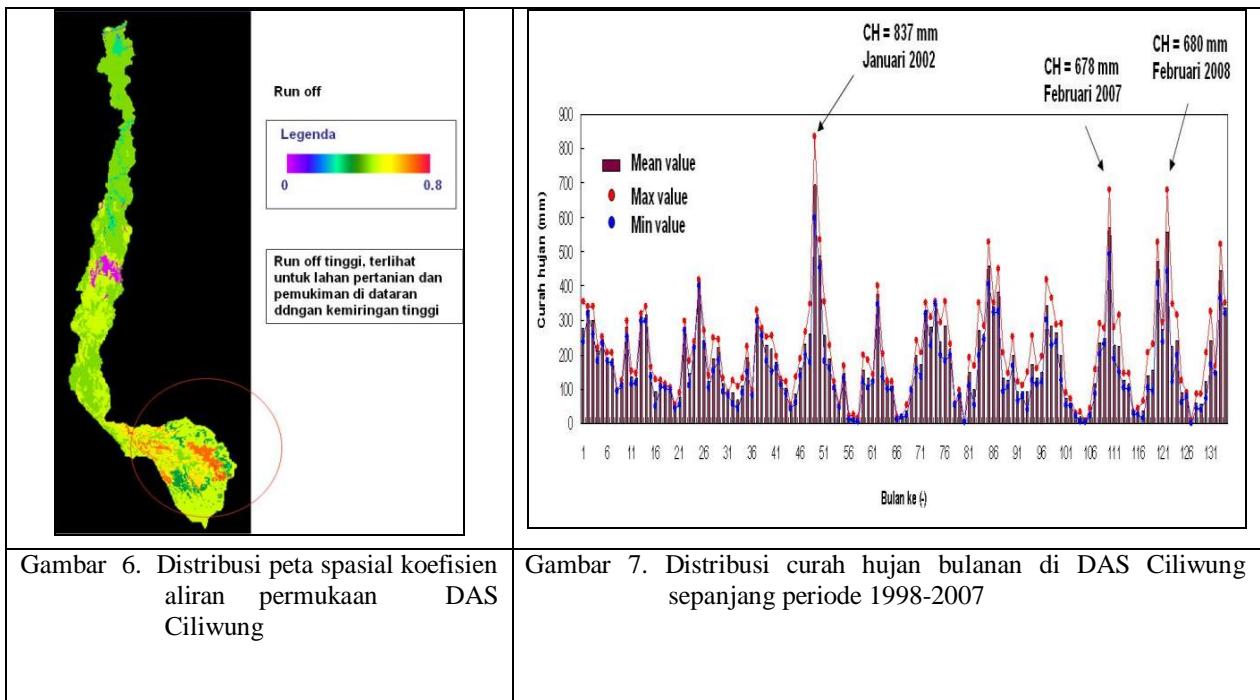
Koefisien aliran adalah koefisien atau bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan (aliran diatas permukaan tanah/tidak terserap) terhadap besarnya curah hujan yang jatuh. Koefisien aliran ditentukan berdasarkan tabel koefisien aliran (Tabel 1), yang bersumber dari Puslitbang Air dan Hardiningrum et. Al (2005). Untuk menentukan koefisien aliran diperlukan informasi penutup lahan, kemiringan lahan dan jenis tanah.

Berdasarkan laporan-laporan sebelumnya diketahui bahwa jenis dan tekstur tanah di DAS Ciliwung didominasi oleh jenis tanah aluvial dan dapat digolongkan kedalam tipe tanah lempung. Diantaranya menurut hasil penelitian Sawiyo (2005) menyatakan bahwa keadaan tanah di daerah Sub DAS Cibogo (DAS Ciliwung) berkembang dari bahan induk tufa volkan, drainase baik, solum dangkal dan sedang, tekstur lempung sampai lempung berpasir, reaksi tanah masam, pH 4,6-5,0, yang diklasifikasikan sebagai Andosol Coklat atau Typic Hapludans (Soil Survey Staff, 1998).

Distribusi peta spasial koefisien aliran permukaan untuk DAS Ciliwung diperlihatkan pada Gambar 6. Koefisien aliran yang tinggi teridentifikasi di bagian hulu DAS Ciliwung. Bila kita memperhatikan kondisi penutup lahan dan kemiringan lahan di wilayah tersebut, maka dapat diketahui bahwa daerah dengan tutupan lahan permukiman dan pertanian yang terdapat pada daerah dengan kemiringan yang tinggi mempunyai koefisien aliran yang tertinggi.

- **Penentuan Intensitas Curah Hujan**

Curah hujan dipantau dengan menggunakan data TRMM multi temporal 1998-2009 dengan resolusi spasial 27 km. Data TRMM yang sudah direktifikasi, kemudian digabung secara time series bulanan, dan diekstrak curah hujan tertinggi yang terjadi sepanjang periode tersebut. Gambar 7 memperlihatkan distribusi curah hujan di DAS Ciliwung sepanjang periode 1998-2009. Luas wilayah DAS Ciliwung mempunyai luas yang sama dengan sekitar 4-5 piksel TRMM, sehingga dilakukan perhitungan statistik untuk mencari nilai minimum, rata-rata dan maksimum dari curah hujan di wilayah DAS Ciliwung. Dari gambar ini dapat diketahui bahwa intensitas curah hujan maksimum terjadi pada tahun 2002, 2007 dan 2008 terutama intensitas terbesar terjadi pada bulan Januari 2002. Bila diasumsikan bahwa 1 bulan adalah 31 hari dan hujan turun setiap hari, maka intensitas maksimum selama 1 hari di DAS Ciliwung berkisar 20-30 mm.



HASIL DAN PAMBAHASAN

Debit Aliran Permukaan /Sungai

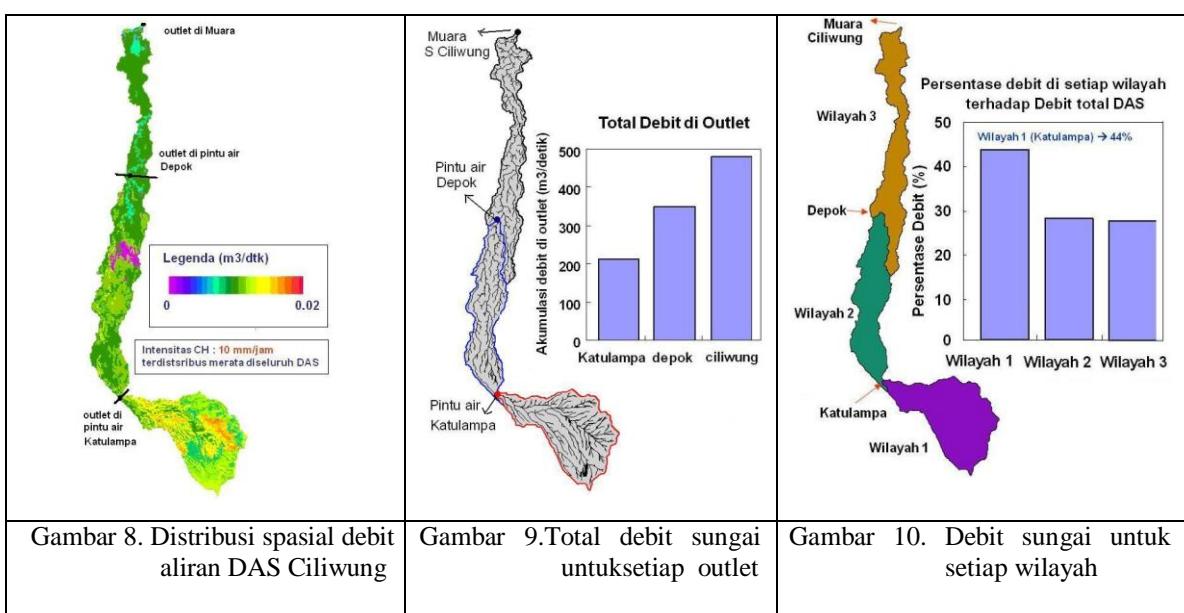
Perlu dijelaskan bahwa, debit aliran permukaan adalah nilai debit air yang terdapat pada setiap piksel, sedangkan debit sungai adalah debit pada titik outlet di pintu air. Input yang dibutuhkan untuk menghitung debit adalah luas penampang piksel, koefisien aliran dan intensitas curah hujan (asumsi). Curah hujan diasumsikan sebesar 10 mm dengan distribusi yang merata di seluruh DAS Ciliwung. Hasil distribusi spasial debit aliran untuk seluruh DAS Ciliwung diperlihatkan pada Gambar 8 yang dibagi menjadi 3 outlet yaitu : outlet muara ciliwung, outlet wilayah pintu air Katulampa (outlet di pintu air Katulampa) dan wilayah pintu air Depok (outlet di pintu air Depok).

Jika pada Gambar 8 amati dengan cermat, maka sebaran spasial debit aliran permukaan di seluruh wilayah DAS dapat diketahui dengan jelas. Dengan intensitas curah hujan 10 mm/jam yang terdistribusi merata diseluruh DAS, maka akan mempunyai nilai estimasi sebaran debit aliran permukaan dari yang terendah (warna merah ping) hingga tinggi (warna merah merah) berkisar 0,0 hingga 0,02 m^3/det . Pada bagian hulu DAS Ciliwung (Pintu air Katulampa)

mempunyai debit aliran yang paling besar (warna kuning dan merah) dibandingkan bagian tengah dan hilir DAS Ciliwung. Pengaruh setiap pintu air terhadap total debit air di DAS Ciliwung dapat dibandingkan secara kuantitatif dengan menghitung debit sungai pada setiap outlet.

Hasil penentuan debit air sungai ditunjukkan pada Gambar 9 yang memperlihatkan total outlet muara ciliwung, outlet wilayah pintu air Katulampa (outlet di pintu air Katulampa) dan wilayah pintu air Depok (outlet di pintu air Depok). Outlet Katulampa merupakan total debit sungai wilayah hulu (dibatasi garis merah), outlet Depok merupakan total debit sungai di Katulampa dan Depok (dibatasi garis biru), sedangkan outlet muara Ciliwung merupakan total debit sungai di seluruh DAS Ciliwung. Sehingga semakin kehilir debit sungai semakin besar.

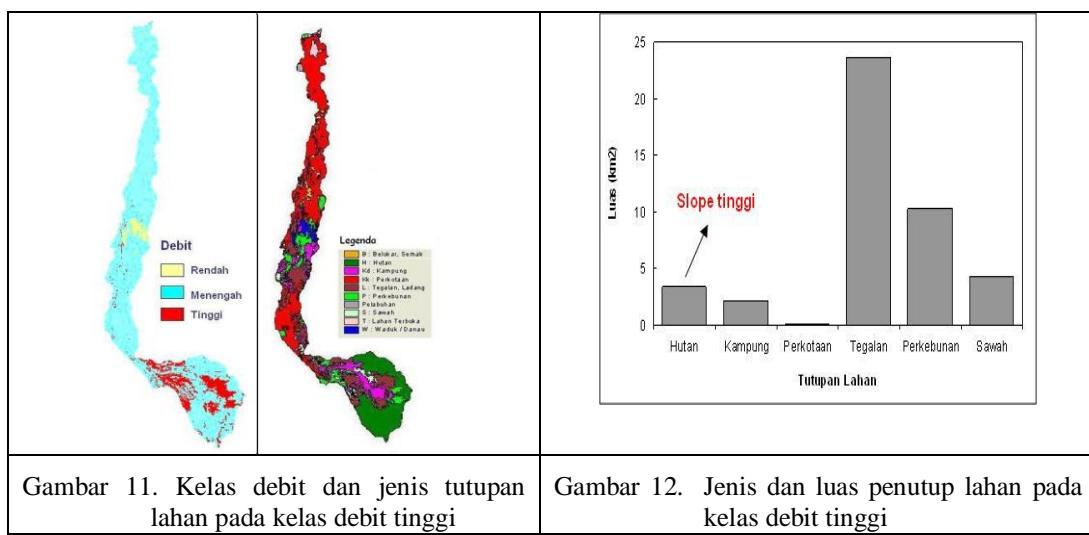
Untuk mengetahui pengaruh setiap pintu air terhadap besar total debit sungai maka dihitung debit sungai di setiap wilayah seperti diperlihatkan pada Gambar 10. Hasil memperlihatkan bahwa debit sungai di pintu air Katulampa (wilayah 1) menyumbangkan 44% dari total debit sungai di seluruh DAS Ciliwung. Hasil ini tidak terlalu berbeda dengan yang disampaikan oleh Pawitan (2002) bahwa bagian hulu dan tengah DAS Ciliwung menyumbang 49 – 51 % dari total debit sungai di seluruh DAS Ciliwung.



Pemanfaatan Debit Aliran Permukaan

Informasi mengenai distribusi spasial debit aliran permukaan dapat dimanfaatkan untuk memetakan area DAS yang mempunyai debit aliran permukaan yang tinggi. Sebagai contoh, interval debit aliran permukaan pada Gambar 8 dibagi secara linear menjadi 3 kelas yaitu: debit rendah, debit sedang dan debit tinggi seperti pada Gambar 11 (kiri). Selanjutnya penutup lahan di area DAS yang mempunyai kelas debit tinggi diidentifikasi untuk mengetahui jenis penutup lahan Gambar 11 (kanan) dan luas setiap jenis penutup lahan tersebut Gambar 12. Berdasarkan Gambar-4 terlihat bahwa kelas debit tinggi terdapat di bagian hulu DAS yang mempunyai kondisi kemiringan yang tinggi dengan jenis tutupan lahan utama adalah tegalan/ladang (coklat) dan perkebunan (hijau). Sementara berdasarkan Gambar 12 terlihat bahwa bahwa jenis tutupan lahan yang terluas adalah tegalan (sekitar 24 km²) kemudian perkebunan (sekitar 10 km²), sawah (sekitar 4 km²), hutan (3.5%) dan perkotaan.

Informasi area DAS dengan kelas debit tinggi, jenis tutupan lahan dan luas tutupan lahan pada area tersebut dapat digunakan sebagai masukan untuk perencanaan tata ruang wilayah dan usaha pengendalian banjir. Sebagai contoh bila jenis tutupan lahan di area tersebut adalah hutan maka perlu dilakukan konservasi untuk memelihara dan melindunginya sehingga debit aliran tidak meningkat. Sebaliknya bila wilayah itu sudah mengalami kerusakan dan konversi lahan maka perlu dilakukan usaha penghijauan kembali untuk mengurangi debit aliran permukaan di area tersebut.



Gambar 11. Kelas debit dan jenis tutupan lahan pada kelas debit tinggi

Gambar 12. Jenis dan luas penutup lahan pada kelas debit tinggi

KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa model pengembangan debit aliran permukaan (*surface flow*) dengan asumsi curah hujan 10 mm/jam rata-rata di seluruh DAS Ciliwung memberikan nilai estimesi sebaran spasial sebesar 0.0 hingga 0.02 m³/det. Pengamatan total debit sungai di setiap outlet (misalnya: pintu air) dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh setiap bagian DAS terhadap total debit DAS, sebagai contoh: debit sungai di pintu air Katulampa (DAS Ciliwung Hulu) memberikan sumbangan 44% dari total debit DAS.

Distribusi spasial debit aliran permukaan bermanfaat untuk mengidentifikasi area di DAS yang mempunyai debit tinggi, sehingga menjadi informasi masukan untuk penataan ruang wilayah dan usaha pengendalian banjir.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 2000. Konservasi Tanah dan Air, Serial Pustaka, IPB Press , Bagian Proyek Penelitian Sumberdaya Agroklimat dan Hidrologi (BP2SAH) dan Bagian Proyek Pembinaan Perencanaan Sumber Air Ciliwung - Cisadane , 2004. *Laporan Akhir Pengembangan Teknologi Dam Parit untuk Penanggulangan Banjir dan Kekeringan*. Balai Agroklimat dan Hidrologi. Bogor.
- Fakhrudin, M. 2003. Kajian Respon Hidrologi Akibat Perubahan Penggunaan Lahan di DAS Ciliwung. *Bahan Seminar Program Pascasarjana IPB*. Bogor
- Irianto, G., N, Pujilestari dan N, Heryani. 2001. Pengembangan Teknologi Panen Hujan dan Aliran Permukaan. *Laporan Akhir. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat*.
- Irianto, G. 2003. *Kumpulan Pemikiran : Banjir dan Kekeringan – Penyebab dan antisipasi dan Solusinya*. CV. Universal Pustaka Media. Bogor. 135 hal.
- Karama, A, S, Irianto, G, Pawitan, H. 2002. *Panen Hujan dan Aliran Permukaan untuk Menanggulangi Banjir dan Kekeringan serta Mengembangkan Komoditas Unggulan*. Kantor MENRISTEK dan LIPI. Jakarta
- Kartiwa, B. 2004. Modelisation Du Functionnement Hydrologique Des Bassins Versants. *These De Doctorat, Universite D'Angers*. France
- Kustiyo dkk, 2008. Analisis ketelitian Kertinggian Data DEM SRTM. *Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN ke XIV*. Bandung
- Parwati dkk. 2008. Sistem Peringatan Dini untuk Banjir/longsor berbasis data Penginderaan Jauh. *Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN ke XIV*. Bandung

- Pawitan, H. 2002. Flood hydrology and an integrated approach to remedy the Jakarta floods. *International Conference on Urban Hydrology for the 21st Century*. Kuala Lumpur, Malaysia
- Perrin, C., Andreassian, V. 2003. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology* 279 (1-4) 275-289.
- Rodriguez-Iturbe I. et Valdes. J. B., The geomorphologic structure of hydrologic response. *Water Resour. Res.* 15 (5:1409-1420)
- Runtunuwu.N., Pujilestari. N., Ramdani. F., Hari Adi. S., dan Hamdani A., 2004, Panduan Perangkat Lunak "Water and Agroclimate Reseouces Management" (WARM) Laboratorium Numeric dan Sistem Informasi Spasial Agroklimat dan Hidrologi. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Bogor
- Soil Survey Staff. 1998, Key to Soil Taxonomy 8th edition. USDA- NRCS Washington DC.
- Suripin, 2002, Pelestarian Sumberdaya Tanah dan Air, ANDI, Yogyakarta
- [Http://www.docstoc.com/Google./Prinsip-Dasar-Pengelolaan-Daerah-Aliran-Sungai](http://www.docstoc.com/Google./Prinsip-Dasar-Pengelolaan-Daerah-Aliran-Sungai)
- <http://mayong.staff.ugm.ac.id>

CATATAN

1. Metode rasional digunakan untuk DAS kecil, outlet tunggal. Ketika digunakan untuk piksel (8.100 dan 11.000) tentu akan banyak distorsinya.
2. Perlu dijelaskan mengenai bagaimana proses *overland flow* dari piksel ke piksel. Apakah translasi atau *routing* karena hal ini berpengaruh terhadap penjumlahan debit total untuk satu outlet, misal Katulampa, yang berpotensi akan mengakibatkan kesalahan (*over estimated*).
3. Penggunaan HRU pada model lebih tepat untuk memperkirakan besarnya aliran.