

## **SIMULASI PERUBAHAN TATA GUNA LAHAN BERBASIS SIG PADA HIDROGRAF ALIRAN SUNGAI CISANGKUY KABUPATEN BANDUNG**

Dadang Subarna

Pusat Sains dan Teknologi Atmosfer LAPAN; Bandung

*E-mail:* [dadang.subarna@lapan.go.id](mailto:dadang.subarna@lapan.go.id)

**ABSTRAK** - Kegiatan industri, pertanian dan pemukiman dalam berbagai skala berpotensi untuk merubah tutupan dan tata guna lahan di sekitar dataran tinggi Pangalengan Bandung yang merupakan hulu Sungai Cisangkuy. Tujuan makalah ini adalah membuat simulasi pengaruh tutupan dan tata guna lahan terhadap bentuk hidrograf aliran sungai dengan menggunakan model terdistribusi berbasis SIG. Data satelit dan SIG dipadukan dengan model builder dalam SIG spasial untuk mengevaluasi dampak pembangunan dan pengembangan lahan di dataran tinggi Pangalengan terhadap aliran sungai Cisangkuy Kabupaten Bandung. Model Builder dalam SIG dikalibrasi dan divalidasi dengan menggunakan data aliran sesungguhnya sungai Cisangkuy di stasiun hidrologi Kamasan. Kinerja model diuji dengan bantuan empat kriteria seperti galat mutlak rerata (*mean absolute error/MAE*), galat akar kuadrat rerata (*root mean square error/RMSE*), koefisien Theil (U) dan koefisien determinasi (R<sup>2</sup>), diperoleh nilai masing-masing 0,83, 1,08, 0,14 dan 0,93. Dari hidrograf ditemukan bahwa perubahan pada aliran puncak (*peak flow*) dalam tahun 2001 dan 2010 sebesar 3%. Hasil penelitian menunjukkan perubahan potensi banjir di sungai Cisangkuy dikarenakan perubahan tutupan dan tata guna lahan. Model dapat diterapkan untuk rencana pembangunan dan pengembangan masa depan untuk menyelidiki dampak hidrologi agar terhindar dari irigasi air jalur pendek dan mitigasi risiko munculnya banjir.

Kata Kunci: Pembangunan Lahan, Limpasan, Model Builder, Hidroklimat, SIG, Inderaja.

### **PENDAHULUAN**

#### ***Latar Belakang***

Memahami bagaimana perubahan tata guna lahan berpengaruh terhadap hidroklimat aliran sungai akan sangat membantu para perencana untuk merumuskan kebijakan dalam meminimalisasi dampak yang tak diharapkan di masa mendatang dari perubahan tata guna lahan. Perubahan tutupan lahan akan meningkatkan kededapan permukaan tanah, menurunkan laju infiltrasi dan meningkatkan laju limpasan penyebab banjir, yang lebih lanjut akan menyebabkan aliran dasar (*base flow*) menjadi rendah saat musim kemarau. Piranti yang efisien seperti indera (*Remote Sensing*) dan Sistem Informasi Geografi (SIG) saat ini banyak digunakan untuk manajemen sumberdaya air yang keadaannya semakin terbatas. Kebutuhan dalam pendeteksian perubahan tata guna lahan secara spasial dan temporal pada skala yang luas menjadikan

penggunaan teknik pencitraan satelit menjadi sumber data yang sangat efektif, efisien dan terpercaya. Kemampuan SIG dalam mengolah data spasial menjadikannya piranti yang penting dan efisien dalam pemodelan hidroklimat secara spasial.

Perubahan tata guna lahan merupakan karakteristik penting dalam proses limpasan yang akan mempengaruhi infiltrasi, erosi dan evapotranspirasi. Dikarenakan proses pembangunan yang begitu cepat maka tutupan lahan mengalami perubahan sehingga menyebabkan beberapa tanah menjadi permukaan yang kedap (*impervious*). Hal ini akan menjadi sebab penurunan laju infiltrasi tanah dan akan meningkatkan jumlah dan laju limpasan. Penggundulan hutan, urbanisasi dan aktivitas tata guna lahan lainnya dapat merubah distribusi arus aliran musiman dan tahunan (Dunne, 1978). Memahami bagaimana aktivitas ini mempengaruhi arus aliran akan dapat meningkatkan kemampuan perencana dalam memformulasikan kebijakan-kebijakan untuk meminimalisasi dampak yang tak diharapkan pada perubahan tata guna lahan di masa depan terhadap pola arus aliran. Hal ini merupakan kejadian yang kritis di daerah dengan curah hujan tinggi seperti Indonesia khususnya jika tidak ada tandon (*reservoir*) untuk irigasi pasokan air selama musim kemarau seperti skema irigasi padi di UPTD DAS Cisangkuy. Meskipun curah hujan cukup untuk memenuhi permintaan air saat pemanenan, tetapi distribusi ruang dan waktu menjadikan pertanian tadah hujan (*rainfed farming*) rentan terhadap risiko. Kelebihan air yang tersedia saat musim tanam yang kemungkinan tak tersedia pada tahap pertumbuhan kritis, dengan demikian, terdapat kebutuhan untuk meneliti hubungan antara perubahan tata guna lahan dan rezim arus aliran.

Cepatnya pembangunan di berbagai sektor maka sumberdaya air menjadi komoditas penting sehingga setiap sektor berkompetisi untuk memperolehnya. Kehidupan nasional yang berbasis pertanian maka pemerintahnya harus menaruh 60% kecukupan air dalam produksi padi. Kualitas dan kuantitas air irigasi untuk menggandakan panen padi harus tersedia setiap saat. Permasalahan turunnya aliran pada musim kemarau hanya dapat didekati dengan cara pandang DAS secara keseluruhan dengan perkakas pengelolaan air yang perlu ditingkatkan berbasis prinsip-prinsip pengetahuan logis dan teknologi secara efisien.

Pemodelan hidroklimat merupakan teknik yang ampuh dalam penelitian sistem hidroklimat bagi peneliti klimatologi, hidrologi maupun insinyur praktisi sumberdaya air yang terlibat dalam perencanaan dan pembangunan dengan pendekatan terpadu untuk pengelolaan sumberdaya air (Seth *et al.*, 1999). Kemampuan komputasi yang meningkat dan pertumbuhan ketersediaan data spasial maka memungkinkan untuk menggambarkan dengan akurat karakteristik DAS ketika respon limpasan terhadap masukan curah hujan (Arwa, 2001). Dengan perkembangan SIG dan inderaja maka model yang berbasis tangkapan air dan terdistribusi secara fisis untuk menghitung berbagai proses hidrologi secara interaktif dengan memperhatikan keheterogenan spasial (Mohan and Shrestha, 2000).

Model hidroklimat, khususnya model yang terdistribusi spasial perlu data khusus pada tata guna lahan, jenis-jenis tanah dan lokasinya di dalam cekungan DAS. Metoda konvensional untuk mendeteksi perubahan tata guna lahan sangat berbiaya tinggi dan kurang akurat. Oleh karena kemampuannya memotret skala sinoptik dan cakupan yang berulang maka teknik inderaja menyediakan informasi yang bermanfaat untuk dinamika tutupan lahan. Teknik ini dapat menyediakan ukuran untuk berbagai variabel hidroklimat yang digunakan dalam penerapan model hidroklimat dan lingkungan dibandingkan dengan bentuk-bentuk tradisional tentang koleksi data tata guna lahan. SIG sebagai perkakas berbasis komputer yang menampilkan, menyimpan, menganalisis, mengambil ulang dan menghasilkan data (atribut) spasial dan non-spasial melengkapi alternatif yang cocok untuk pengelolaan basis data yang kompleks dan besar secara efisien. SIG dapat digunakan dalam pemodelan hidroklimat untuk memfasilitasi pengolahan, pengelolaan dan interpretasi data hidrologi.

Data inderaja dan SIG menjadi perkakas penting yang terus meningkat dalam pembangunan sumberdaya air dan hidrologi. Hal ini disebabkan adanya fakta bahwa kebanyakan data yang diperlukan untuk analisis hidrologi dapat diperoleh dengan mudah dari citra berbasis inderaja. Keuntungan besar dari pemanfaatan data berbasis inderaja untuk pemodelan hidroklimat adalah kemampuannya untuk menghasilkan informasi dalam domain spasial dan temporal yang sangat krusial dalam keberhasilan analisis model, prediksi dan validasi (Jagadeesha, 1999). Perubahan dalam tata guna lahan yang disebabkan aktivitas alami dan aktivitas manusia dapat diamati dengan menggunakan data inderaja yang terserap pada kondisi saat ini.

Model Builder dalam SIG digunakan untuk mensimulasikan respon limpasan permukaan dari DAS terhadap curah hujan dengan menggambarkan cekungan sungai sebagai sistem hidrologi yang saling berhubungan dan komponen-komponen hidrologi. Masing-masing komponen memodelkan aspek-aspek dari proses limpasan curah hujan dalam bagian DAS yang disebut sub-DAS. Suatu komponen yang menggambarkan kesatuan limpasan permukaan, kanal arus atau tandon. Representasi komponen memerlukan suatu himpunan parameter yang mencirikan karakteristik tertentu dari komponen tersebut dan hubungan matematika yang menggambarkan proses-proses fisika. Hasil proses pemodelan merupakan komputasi dari hidrograf aliran arus di lokasi yang diinginkan dalam suatu DAS. DAS digambarkan sebagai kumpulan sub-DAS yang saling berhubungan yang menggambarkan kondisi rata-rata di dalam sub-area. Jika rata-rata tersebut tak cocok untuk sub-area maka perlu dipertimbangkan sub-area yang lebih kecil pada parameter rata-rata yang diterapkan. Parameter-parameter model menggambarkan rata-rata spasial dan temporal. Dengan demikian, interval waktu yang digunakan harus cukup kecil sedemikian rupa sehingga rata-rata interval komputasi dapat diterapkan (HEC-1, 1998).

Fungsi-fungsi komponen model didasarkan pada hubungan matematika sederhana yang ditujukan untuk menggambarkan proses meteorologi, hidrologi dan hidrolis secara tersendiri. Proses-proses ini dipisahkan ke dalam curah hujan, intersepsi/infiltrasi, transformasi eksese curah hujan terhadap aliran keluar sub-

DAS serta bagian program aliran dasar dan hidrograf banjir. Intersepsi permukaan lahan, penurunan simpanan (*storage*) dan infiltrasi ditunjukkan sebagai hilangnya curah hujan di dalam model hidroklimat. Intersepsi dan penurunan simpanan ditujukan untuk menggambarkan simpanan permukaan dari air oleh pepohonan dan rumput, penurunan lokal dalam permukaan tanah, dalam rekahan dan celah-celah dalam bidang tanah atau atap atau di dalam area permukaan dimana air tidak bebas bergerak seperti di atas lahan. Infiltrasi menggambarkan pergerakan air ke area di bawah permukaan lahan.

Meskipun metoda *Soil Conservation Service-CurveNumber (SCS-CN)* atau jasa konservasi tanah (USDA, 1985) dikembangkan untuk maksud pertanian, metoda ini telah diperluas untuk penggunaan area urban dan sub-urban. Metoda ini sangat menarik sebagai parameter-parameter masukan utama didefinisikan dalam suku-suku tata guna lahan dan tipe tanah. Keuntungan dari metoda ini adalah pengguna dapat bereksperimen dengan perubahan dalam tata guna lahan dan menilai dampaknya. Tujuan penelitian ini untuk mengembangkan suatu metodologi dalam mengevaluasi dampak perubahan tata guna lahan di DAS tropis terhadap puncak limpasan dengan menggunakan inderaja dan SIG sebagai piranti untuk menyajikan suatu penilaian lahan terhadap rezim aliran.

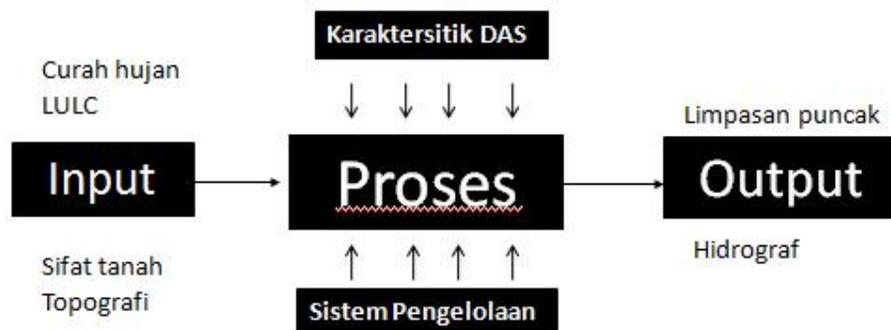
## METODE

DEM digunakan untuk menghitung nilai-nilai geometri DAS seperti area, kemiringan, panjang arus dan lain-lain. DEM yang dipakai berasal dari SRTM (<http://srtm.usgs.gov>) dengan ukuran grid 30x30 m. Perangkat lunak sistem analisis sumberdaya bumi (ERDAS IMAGINE 4.8) digunakan untuk memproses citra satelit Landsat path/row 127/57 dengan resolusi 30 m untuk tahun 2001 dan 2010. Citra dipertajam, diregister dan diklasifikasikan ke dalam tipe-tipe tata guna lahan yang berbeda dengan menggunakan klasifikasi terbimbing. *False Color Composite* digunakan untuk pengecekan visual dan interpretasi. *Training GISnatures* untuk menyajikan klasifikasi ini dipilih dari peta-peta *hard copy*. Di dalam area dimanatidak terdapat *GISnature* spektral yang berbeda dalam tipe-tipe tutupan lahan seperti hasil piksel-piksel tercampur maka data *ground truth* digunakan pada teknik digitasi layar diterapkan demarkasi kelas-kelas dengan jelas.

Metoda untuk mengevaluasi dampak hidrologi yang disebabkan oleh modifikasi tata guna lahan dapat dicapai melalui integrasi inderaja dan SIG dengan model Builder. Studi ini dilakukan dalam DAS tropis seluas 221,69 km<sup>2</sup> yang berlokasi di Pangalengan, 40 km arah selatan Bandung antara 06° 59'24" – 07° 13'51" LS dan 107° 28'55" – 107° 39'84" BT. Area dicirikan dengan elevasi antara 661 m dpal sampai 2327 m dpal dan temperatur serta kelembaban tinggi dengan variasi musiman yang kecil. Kelembaban relatif rata-rata adalah 85%, sementara temperatur minimum dan maksimum masing-masing adalah 16° dan 28°C. Curah hujan tahunan rata-rata berkisar antara 2154 mm sampai 3235 mm. Evaporasi tahunan rata-rata berkisar antara 1266 mm sampai 1568 mm dan lama penyinaran matahari harian rata-rata 6,2 jam. Angin sangat tenang sepanjang tahun, laju angin harian rata-rata adalah 1,03 m/s. Deretan empat jenis tanah

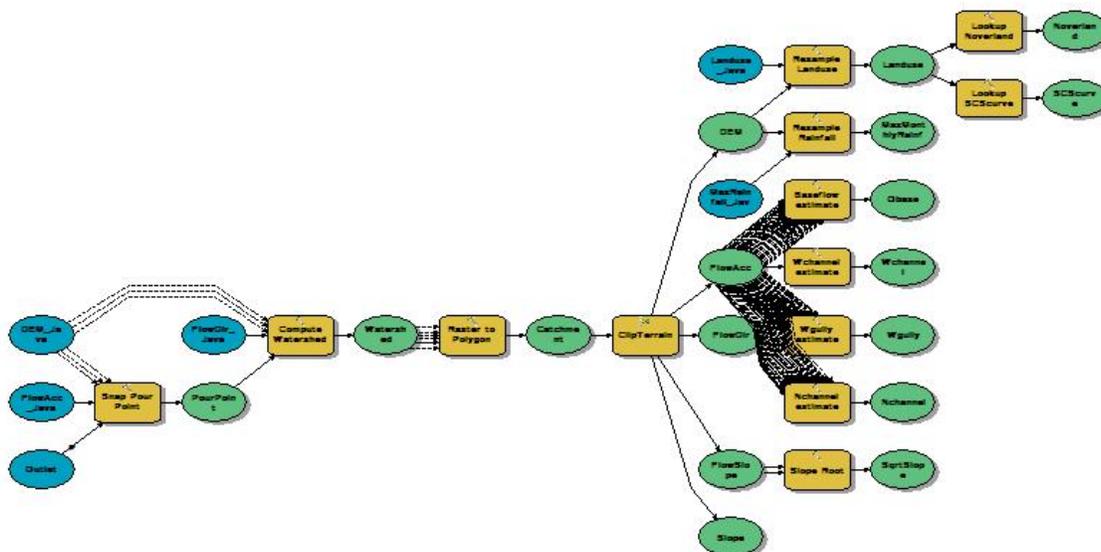
ditemukan dalam area studi. Tutupan vegetasi dominan di DAS terdiri-dari hutan hujan tropis dataran tinggi, sawah irigasi, sawah tadah hujan, semak belukar, kebun/perkebunan, tegalan/ladang, tanah kosong dan pemukiman. Tutupan lahan lainnya yang dapat ditemukan adalah sejumlah kecil dan ukuran medium area urbanisasi terbangun khususnya sisi sepanjang tepi sungai dan sisi jalan. Anak sungai utama adalah Sungai Citarik dan Sungai Cibeurem.

Model builder di SIG adalah suatu aplikasi untuk menciptakan, mengedit dan mengelola model. Model dibangun berupa aliran kerja (*workflows*) yang berupa deretan simbol yang saling sambung (ARC, 2014). Model builder dapat juga dipandang sebagai bahasa pemrograman visual untuk pembuatan aliran kerja. Model builder dibangun untuk mensimulasikan daerah yang terpengaruh oleh limpasan puncak secara spasial, puncak aliran, waktu untuk mencapai puncak aliran dan waktu yang diperlukan dari awal sampai puncak lalu turun kembali. Diagram blok diagram dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok pemodelan untuk simulasi aliran puncak dan hidrograf.

Sedangkan model builder untuk menggambarkan proses simulasi limpasan puncak dan hidrograf dapat ditunjukkan seperti pada Gambar 2.



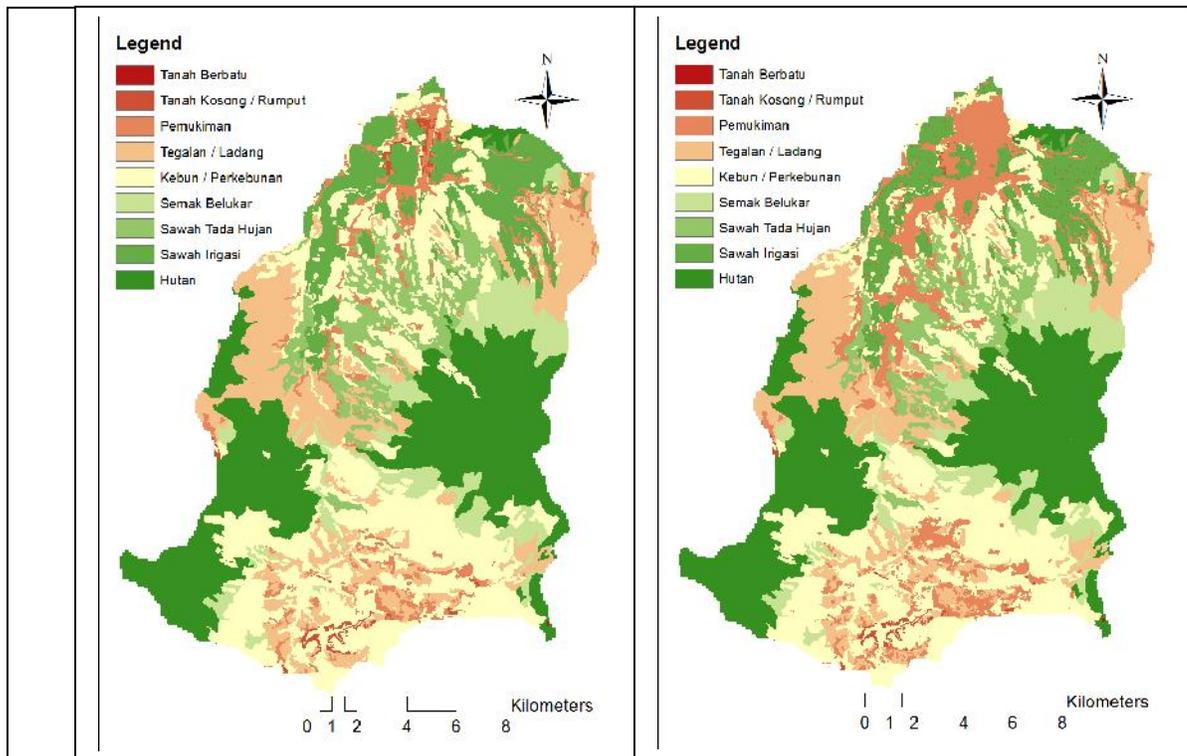
Gambar 2. Model builder untuk simulasi daerah terpengaruh limpasan puncak dan hidrograf satuan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

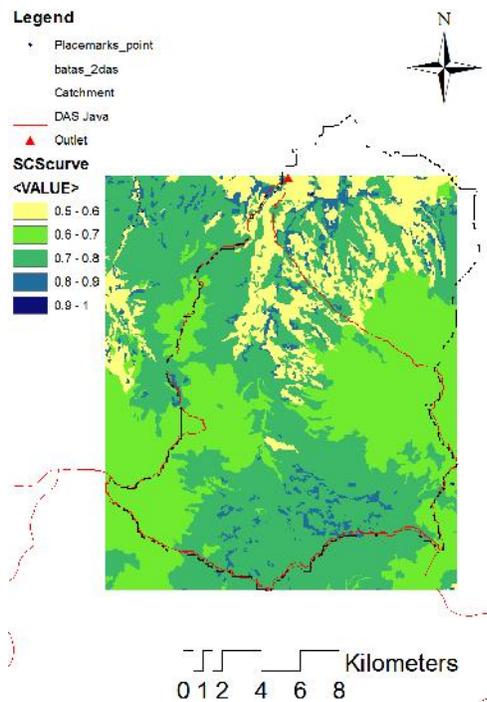
Dalam studi ini kehilangan curah hujan dihitung dengan menggunakan metoda satuan hidrograf yang diperhitungkan menjadi rata-rata sub-DAS (terdistribusi serba sama pada keseluruhan sub-DAS). Terdapat beberapa metoda untuk menghitung hilangnya curah hujan, diantaranya metoda SCS-CN (*SoilConservation Services-Curve Number*) yang dipilih dalam studi ini sebab metoda ini menghubungkan hilangnya curah hujan dengan tata guna lahan dan tipe tanah, dengan demikian, dampak perubahan tata guna lahan tergambar dari jumlah dan distribusi dari limpasan terprediksi yang dapat diobservasi dari bentuk hidrograf.

### ***Tutupan lahan dan klasifikasi kelompok tanah hidrologi (HSG)***

Penentuan CN memerlukan penggunaan lahan, tipe tanah dan informasi AMC. Potensi penurunan peta penggunaan lahan dari citra satelit merupakan fitur utama dalam studi ini. Penggunaan lahan dari area luas dapat dideteksi dengan mudah dalam waktu singkat dengan biaya kecil dibandingkan dengan metoda tradisional. Lima tipe penggunaan lahan diidentifikasi dalam area studi yaitu hutan hujan tropis dataran tinggi, sawah irigasi, sawah tadah hujan, semak belukar, kebun/perkebunan, tegalan/ladang, tanah kosong dan pemukiman dengan akurasi klasifikasi 90%. Peta raster tematik yang terklasifikasi lalu divektorisasi dan dirubah ke dalam peta *shapefile* tata guna lahan dengan menggunakan ARGIS 9.2 (Gambar 3a dan 3b). Terlihat pada Gambar 3a dan 3b peningkatan pemukiman yang signifikan pada daerah-daerah sawah irigasi. Pengamatan di lapangan menunjukkan telah terjadi alih fungsi besar-besaran dari sawah irigasi ke pemukiman dan area terbangun lainnya. Sedangkan daerah hutan relatif tidak ada perubahan yang signifikan. Gambar 4 menunjukkan klasifikasi tanah ke dalam HSG yang berbeda ditemukan dalam area studi.



Gambar 3. Peta penggunaan lahan untuk tahun 2001 (a) dan peta penggunaan lahan untuk tahun 2010 (b).



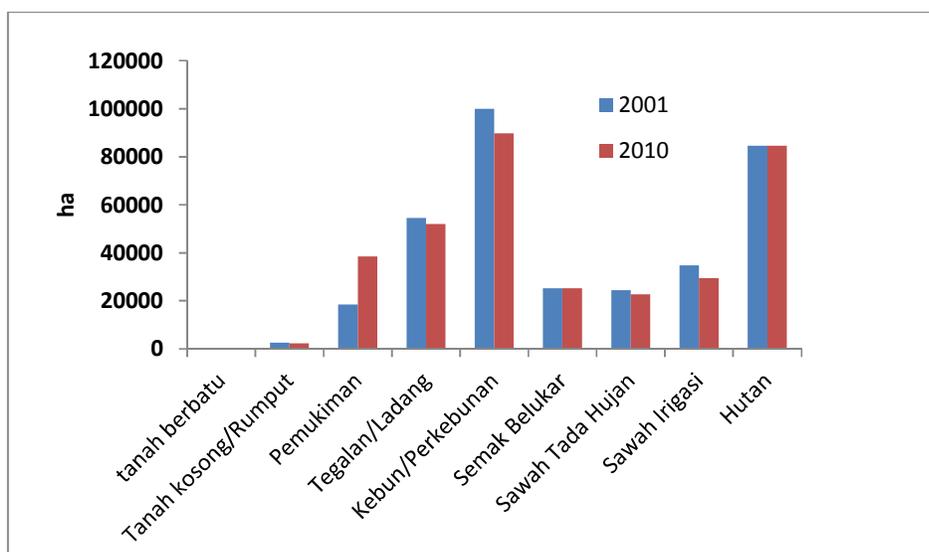
Gambar 4. Kelompok tanah hidrologi (HSG) dengan bilangan kurvanya.

### ***Penerapan Sistem Informasi geografi (SIG)***

Penyusunan informasi layer merupakan salah satu operasi dasar dan ampuh dalam SIG untuk memanipulasi data spasial dan untuk pemodelan hidroklimat. Penyusunan timpa (*overlaying*) menghasilkan parameter-parameter hidroklimat khusus seperti bilangan kurva (*curve number*) CN yang diturunkan melalui tumpangsusun tata guna lahan dan cakupan tanah dengan cakupan drainase. Dengan menggunakan proses tumpangsusun maka penggunaan lahan ditimpa dengan peta drainase. Persentase tipe penggunaan lahan yang menutupi DAS diperoleh sehingga perubahan tata guna lahan untuk setiap DAS dideteksi Tabel 1 dan Gambar 5.

Penggunaan lahan	2001 (ha)	2010 (ha)	Perubahan (ha)	%
Tanah berbatu	30	30	0	0,00
Tanah kosong/Rumput	2665	2380	-285	-10,69
Pemukiman	18597	38503	19906	107,04
Tegalan/Ladang	54494	52049	-2445	-4,49
Kebun/Perkebunan	99957	89717	-10240	-10,24
Semak belukar	25276	25261	-15	-0,06
Sawah tada hujan	24426	22763	-1663	-6,81
Sawah irigasi	34560	84530	-5228	-15,04
Hutan	84560	84530	-20	-0,04

Tabel 1. Area tutupan dan penggunaan lahan (ha).



Gambar 5. Perbandingan dan perubahan tata guna lahan dari tahun 2001 dan 2010.

Untuk menilai respon hidrologi dari sub-DAS sebagai hasil dari perubahan tata guna lahan yang menggunakan teknik CN maka layer SIG tanah yang memperlihatkan kelompok tanah hidrologi (HSG) dipersiapkan melalui

pemindaian (*scanning*), geo-referensi dan digitasi peta *hard copy*. Lima HSG yang ditemukan dalam area studi meliputi masing-masing dengan bilangan kurva (0,9-1), (0,8-0,9), (0,7-0,8), (0,6-0,7), dan (0,5-0,6) untuk kelima kelompok (Gambar 2). Layer vektor dari HSG dipetakan untuk timpaan spasial dengan informasi tutupan lahan. SIG digunakan untuk mengkombinasikan data dari inderaja dengan bentuk-bentuk data spasial lain seperti topografi, peta tanah dan variabel hidroklimat seperti distribusi curah hujan dan kelembaban tanah. Peta penggunaan lahan dan peta HSG ditimpakan. CN gabungan (*composite*) untuk setiap DAS dihitung dengan mengambil area terbobot rata-rata dari CN berbeda untuk daerah berbeda (tipe tanah dan kombinasi penggunaan lahan) di dalam DAS.

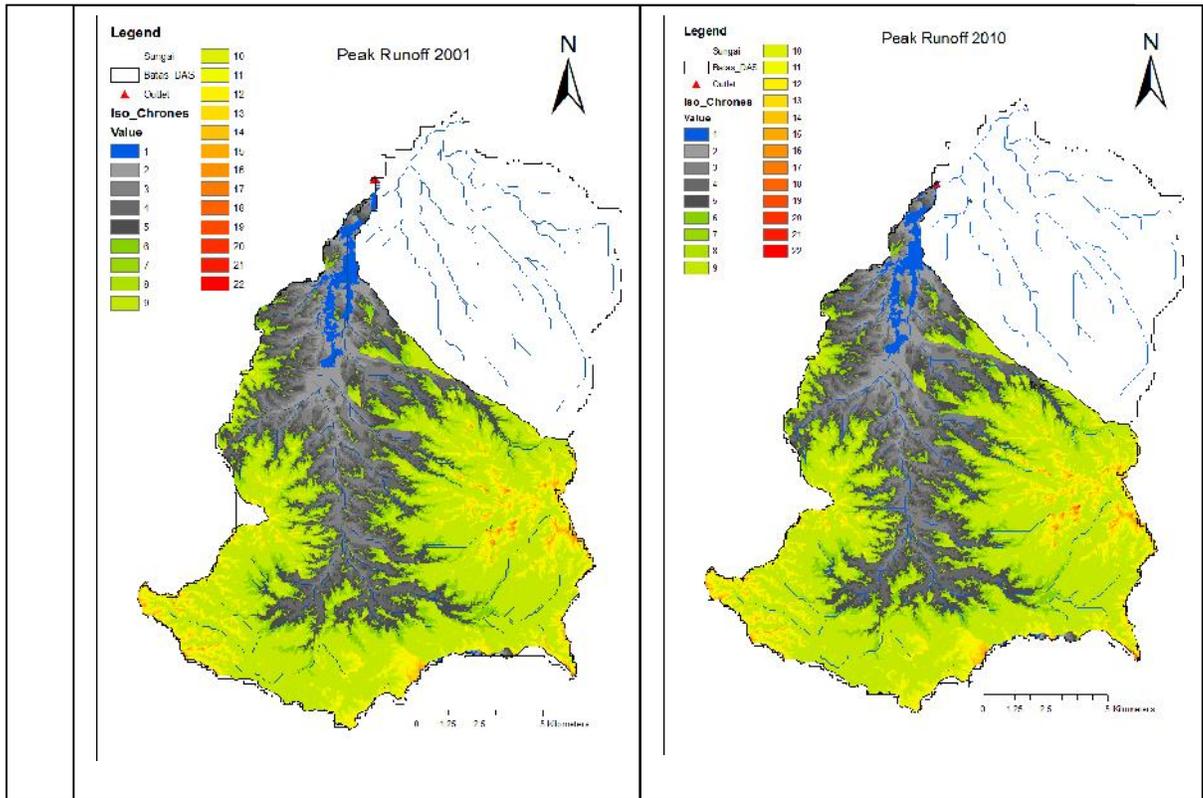
Model dijalankan setelah persiapan dan pasokan masukan yang diperlukan untuk model dengan kejadian hujan rata-rata dan tata guna lahan yang berbeda untuk simulasi jumlah limpasan dan distribusi limpasan puncak dalam DAS yang berbeda melalui pembentukan hidrograf limpasan. Hidrograf simulasi dibandingkan dengan hidrograf observasi pada titik keluaran (*outlet*) DAS. Model dikalibrasi dan divalidasi serta kinerja model diuji dengan empat kriteria evaluasi rata-rata yaitu galat absolut rata-rata (MAE), galat akar kuadrat rata-rata (RMSE), koefisien Theil (U) dan koefisien determinasi ( $R^2$ ) seperti persamaan 1 sampai 3.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - A_i| \dots\dots\dots(1)$$

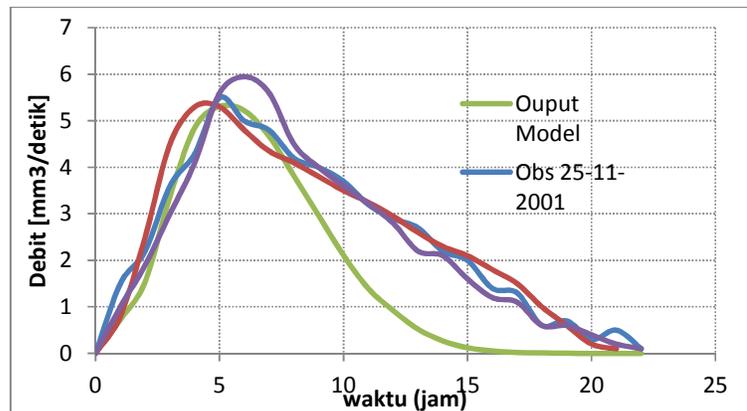
$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2} \dots\dots\dots(2)$$

$$U = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - A_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i)^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (A_i)^2}} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana  $P_i$  adalah data keluaran dari model,  $A_i$  adalah data observasi dan  $n$  adalah jumlah rekaman (Naylor 1970; Hossein and Velu, 2004). Statistik MAE menunjukkan ukuran seberapa dekat hasil model dan observasi sedangkan RMSE menunjukkan nilai rata-rata galat, MAE dan RMSE mempunyai batas terendah, nilai 0 yang merupakan nilai optimum sama juga untuk nilai U dan sampai nilai tak-hingga. Gambar 4 menunjukkan zona yang terpengaruh limpasan puncak dengan keadaan tata guna lahan dan tutupan lahan tahun 2001 dan 2010. Hidrograf prediksi dengan menggunakan peta penggunaan lahan 2001 dan kejadian hujan rata-rata dibandingkan tiga hasil observasi sesungguhnya ditunjukkan pada Gambar 7 dan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 1, 2 dan 3 didapat hasil kinerja model ditunjukkan dalam Tabel 2.



Gambar 6. Simulasi zona yang sangat terpengaruh oleh limpasan puncak pada tahun 2001 dan 2010. (Cat: Besar puncak limpasan tahun 2001 sebesar 5,31 m<sup>3</sup>/detik dan tahun 2010 sebesar 5,48 m<sup>3</sup>/detik).



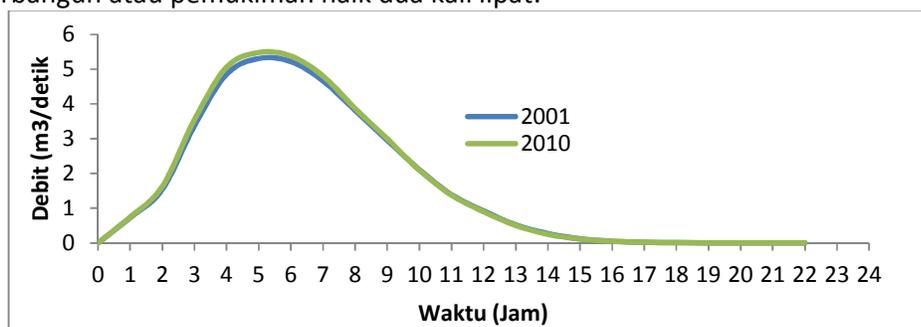
Gambar 7. Hidrograf prediksi dengan menggunakan peta penggunaan lahan 2001 dibandingkan tiga hasil observasi sesungguhnya. (Sumber data Obs: Safarina, 2007).

Kejadian Hujan	Kriteria Kinerja			
	R <sup>2</sup>	MAE	RMSE	U
8,9 mm/hari	0,84	0,93	1,22	0,32

Tabel 2. Kinerja model berdasarkan empat kriteria statistik.

Hidrograf limpasan digunakan sebagai indikator untuk mengevaluasi perubahan dalam hidrologi DAS dikarenakan perubahan spasial dalam penggunaan lahan di dalam DAS. Untuk menyajikan evaluasi ini kejadian hujan terpilih dipasok untuk model dengan menggunakan penggunaan lahan untuk tahun 2001 dan 2010 untuk mengamati perubahan dalam limpasan puncak dan waktu menuju puncak yang disebabkan perubahan penggunaan lahan. Kejadian hujan rata-rata 8,2 mm/hari digunakan untuk menjalankan model untuk tahun 2001 dan 2010. Hasil dibandingkan dengan plot hidrograf untuk tahun 2001 dan 2010 ditunjukkan pada Gambar 7, terlihat bahwa dampak perubahan dalam CN atau jenis tanah bersama dengan perubahan LULC digambarkan lebih jelas dalam lekukan naik dari lekukan yang turun.

Dari perbandingan hidrograf dapat diamati bahwa limpasan puncak naik sekitar 3% antara tahun 2001 dan 2010. Disamping itu, waktu menuju puncak 5 jam dalam tahun 2001 sama dengan pada tahun 2010. Konsekuensinya resesi aliran akan mencul lebih awal sepanjang sisa volume limpasan yang sama. Kemunculan aliran rendah diduga lebih awal. Hal ini dapat dikatakan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai aliran puncak sebagai respon dari semua DAS adalah 5 jam dalam kumpulan pertama tahun simulasi. Dari Tabel 1 jelas bahwa area hutan, sawah tada hujan, sawah irigasi dan kebun/perkebunan menurun sekitar 0,04%, 6,81%, 15,04% dan 10,24% masing-masing antara tahun 2001 dan 2010 sementara area terbangun atau pemukiman naik sekitar 107,04%. Area terbangun naik sekitar hampir dua kali antara tahun 2001 dan 2010. Teramati disini bahwa perubahan spasial dalam tata guna lahan telah merubah pola lairan sungai walaupun modifikasi lahan sedikit pada hutan tetapi area terbangun atau pemukiman naik dua kali lipat.



Gambar 8. Perubahan dalam bentuk hidrograf disebabkan oleh perubahan tata guna lahan.

Model dapat digunakan untuk skenario tata guna lahan masa depan untuk memprediksi perubahan yang terduga/diharapkan dalam rezim aliran sungai. Hal ini akan membantu dalam menghindarkan aliran pendek ke dalam air irigasi

untuk musim kemarau disebabkan penurunan aliran dasar atau dapat digunakan sebagai bahan rencana mitigasi banjir yang mungkin disebabkan oleh aliran puncak yang lebih tinggi. Untuk insinyur tandon serta perancang jaringan pengairan harus menghitung perubahan jangka panjang yang mungkin terjadi pada pola aliran sungai dikarenakan perubahan dalam permukaan tanah yang kedap air di dalam DAS ketika penentuan kemampuan dan dimensi dams. Hal ini dapat dicapai melalui penerapan metodologi di atas untuk simulasi berbagai skenario-skenario perubahan tutupan lahan.

## KESIMPULAN

Dalam area studi di dataran tinggi Pangalengan, maka aliran puncak naik sekitar 3% antara tahun 2001-2010 yang disebabkan oleh perubahan tata guna lahan. Disamping itu, waktu menuju puncak hampir sama sekitar 5 jam dalam tahun 2001 dan tahun 2010. Perubahandalam aliran puncak disebabkan oleh perubahan dalam area hutan, sawah tada hujan, sawah irigasi dan kebun/perkebunan menurun sekitar 0,04%, 6,81%, 15,04% dan 10,24% masing-masing antara tahun 2001 dan 2010 sementara area terbangun atau pemukiman naik sekitar 107,04%. Metoda evaluasi dampak pembangunan lahan ini pada ketersediaan air dapat digunakan ketika perencanaan untuk musim-musim tanam pertanian khususnya selama waktu permintaan tinggi dari pasokan air irigasi. Juga metoda ini dapat diterapkan untuk skenario-skenario tata guna lahan masa depan untuk prediksi perubahan yang terjadi terhadap rezim aliran sungai. Integrasi inderaja, SIG dan model Builder melengkapi perkakas yang ampuh untuk menilai dampak pembangunan lahan pada pola aliran sungai dan ketersediaan air irigasi. Kemampuan inderaja dalam cakupan secara spasial dan pengulangan secara temporal melengkapi informasi yang bermanfaat pada dinamika perubahan lahan. SIG merupakan perkakas yang efisien untuk presentasi data masukan yang diperlukan oleh model hidroklimat dengan menggunakan data inderaja dan SIG untuk simulasi proses limpasan lebih menguntungkan ketika area studi luas. Model Builder dalam SIG dikalibrasi dan divalidasi dengan menggunakan data aliran sesungguhnya sungai Cisangkuy di stasiun hidrologi Kamasan. Kinerja model diuji dengan bantuan empat kriteria seperti galat mutlak rerata (*mean absolute error/MAE*), galat akar kuadrat rerata (*root mean square error/RMSE*), koefisien Theil (U) dan koefisien determinasi ( $R^2$ ), diperoleh nilai masing-masing 0,83, 1,08, 0,14 dan 0,93. Dari hidrograf ditemukan bahwa perubahan pada aliran puncak (*peak flow*) dalam tahun 2001 dan 2010 sebesar 3%. Hasil menunjukkan perubahan potensi banjir di sungai Cisangkuy dikarenakan perubahan tutupan dan tata guna lahan. Model dapat dijalankan untuk rencana pembangunan dan pengembangan masa depan untuk menyelidiki dampak hidrologi agar terhindar dari irigasi air jalur pendek dan mitigasi risiko munculnya banjir.

## PENGHARGAAN (acknowledgement)

Data yang diperlukan untuk studi ini berasal dari Dinas Pengelolaan Sumberdaya Air Jawa Barat.

## REFERENSI

- ARC [Argis Resource Centre]. (2014). <http://help.arcgis.com/>, diunduh 20 Oktober 2014
- Arwa D. O. (2001) GIS Based Rainfall Runoff Model for the Turasha Sub Catchment Kenya, MSc. thesis. International institute for aero space survey and earth sciences, Enschede, the Netherlands.
- Corps of Engineers (1960) Routing of Floods through River Channels. Engineering Manual 1110-2-1408, U.S. Army, Washington, D.C.
- Dunne, T. and Leopold, (1978) L.B. Water in Environmental Planning, W.H. Freeman & Co., New York, NY, pp 818.
- Earth Resources Data Analysis System (ERDAS) (1999) ERDAS Field Guide, 5th ed., ERDAS Inc, Atlanta, GA, 671.
- Environmental Systems Research Institute ESRI, (2002) Environmental Systems Research Institute, ArcView 8.3. Redlands, CA.
- HEC-1, (1998) Flood Hydrograph Package, Users Manual, version-4, Hydrologic Engineering Centre.
- Jagadeesha, C. J. (1999) Water Resources Development and Management, Asia's first GIS/GPS/RS/ monthly magazine (November-December).
- Maidment, D.R.(1996) GIS and Hydrologic Modeling, The Third International Conference on GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, New Mexico.
- Martz, L. W., and J. Garbrecht. (1992). Numerical Definition of Drainage Network and Subcatchment Areas from Digital Elevation Models. *Computers and Geosciences*, 18(6):747-761.
- Mohan and Madhav Narayan Shrestha (2000) A GIS based Integrated Model for Assessment of Hydrological change due to Land use modifications, proceeding of symposium on Restoration of Lakes and Wetlands, Indian Institute of Science, November 27-29, Banglore, India.
- Safarina, A.B. (2007). Modifikasi Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasa Sungai Cisangkuy Dengan Metoda Optimasi. *ULTIMATE-Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, Vol.3 No.2.
- SCS – Soil Conservation Service, (1986), National Engineering Handbook, section 4, Hydrology, Rev. Ed., U.S.D.A., Washington D.C., U.S.A.
- Seth, S. M., Jain, S. K., and Jain, M. K. (1999) Remote Sensing and GIS Application Studies at National Institute of Hydrology. Map India.
- SRTM [Shuttle Radar Topography Mission]. 2013. <http://srtm.usgs.gov>, diunduh 5 Agustus 2012.
- HEC [The Hydrologic Engineering Center]. (1981) US Army Corps of Engineers, Water Support Center, USDA Soil Conservation Service (1986) Urban Hydrology for Small Watersheds, Technical Release 55, 2nd ed., NTIS PB87-101580, Springfield, VA.
- USDA, Soil Conservation Service (1985) National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. U.S. Government Printing Office, Washington, DC