

ESTIMASI NILAI KOEFISIEN ALIRAN DAS CITARUM HULU MENGUNAKAN TRANSFORMASI NDVI CITRA LANDSAT

Hendro Wibowo* dan Dini Daruati

ABSTRAK

Untuk mengatasi permasalahan keterbatasan data hidrologi guna penentuan nilai koefisien aliran, diperlukan pendekatan lebih sederhana yang mampu memperkirakan nilai koefisien aliran suatu DAS. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan pendekatan konseptual penentuan nilai koefisien aliran harian DAS berdasarkan transformasi NDVI terhadap data Landsat ETM+. Metode yang digunakan adalah mengkaji hubungan nilai NDVI dengan persentase tutupan permukaan kedap air melalui analisis regresi dari data sampel terukur. Persamaan regresi yang diperoleh kemudian digunakan untuk kuantifikasi persentase tutupan permukaan kedap air daerah penelitian. Hasil yang diperoleh bersama kerapatan vegetasi kemudian ditransformasi menjadi nilai koefisien aliran melalui persamaan dan asumsi berdasarkan analisis regresi dan hubungan logis masing-masing variabel. Hasil penelitian menunjukkan sebaran nilai NDVI secara keruangan dapat menggambarkan dengan baik sebaran persentase tutupan permukaan kedap air dan kerapatan vegetasi dalam DAS. Hubungan nilai NDVI dan persentase tutupan permukaan kedap air menghasilkan persamaan regresi polinomial orde dua $y = -63,61x^2 - 116,66x + 46,977$. Hubungan tersebut bersama kerapatan vegetasi dapat diterapkan untuk estimasi nilai koefisien aliran DAS Citarum Hulu. Nilai yang dihasilkan memiliki pola sebaran yang dikontrol oleh tutupan permukaan kedap air dan kerapatan vegetasi. Nilai koefisien aliran DAS Citarum Hulu hasil estimasi saat DAS dalam kondisi kering, rata-rata dan banjir berturut-turut 0,29, 0,46, dan 0,70. Uji statistik menunjukkan bahwa pada taraf uji 95% hasil estimasi dan perhitungan tidak berbeda nyata.

Kata kunci : NDVI, tutupan permukaan kedap air, kerapatan vegetasi, koefisien aliran, estimasi

ABSTRACT

Simple approach to estimate watershed runoff coefficient value is needed to deal with the lack of hydrology data problem. This case study was conducted at Upper Citarum watershed. It aims to implement conceptual approach determining daily watershed runoff coefficient value based on NDVI transformation toward Landsat ETM+ data. Method used to address the aim of the study was to examine the correlation between NDVI value and percentage of impervious surface area (% ISA) through regression analysis using measurable data sample. It obtains regression equation which was used to calculate % ISA. These calculation and vegetation density were transformed as runoff coefficient value through equation and assumption based on regression analysis and logical connection of each variable. The study found that NDVI value can describe distribution of % ISA and vegetation density well. The results of regression analysis showed strong correlation between NDVI and % ISA with polynomial equation, $y = -63.61x^2 - 116.66x + 46.977$. This equation and vegetation density was applicable in estimating the runoff coefficient in the case study area. Runoff coefficient value has distribution pattern controlled by % ISA and vegetation density. Estimation of upper Citarum watershed runoff coefficient value in dry, saturated, and average conditions are 0,29, 0,70, dan 0,46 respectively. The statistic test showed that no difference between estimation value and measurement at 95% significant level.

Keywords: NDVI, impervious surface area, vegetation density, runoff coefficient, estimation

* Pusat Penelitian Limnologi LIPI
e-mail: ojend2002@yahoo.com

PENDAHULUAN

Nilai koefisien aliran, yaitu perbandingan volume aliran permukaan dengan volume curah hujan penyebabnya merupakan salah satu cara untuk melihat kondisi suatu daerah aliran sungai (DAS). Namun, keterbatasan data baik data hidrologi maupun data karakteristik DAS guna penentuan nilai tersebut menjadi hal yang umum terjadi pada sebagian besar DAS di Indonesia. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan lebih sederhana yang mampu memperkirakan nilai koefisien aliran, sehingga dampak perubahan iklim maupun degradasi yang kemungkinan terjadi pada DAS dengan data terbatas dapat diketahui lebih dini.

Estimasi nilai koefisien aliran secara sederhana dapat didekati dengan kondisi dan komposisi kerapatan vegetasi dan tutupan permukaan kedap air dalam suatu DAS . Pada tutupan vegetasi yang rapat, aliran permukaan yang dihasilkan lebih sedikit karena peran intersepsi oleh tajuk dan meningkatnya laju infiltrasi akibat tingginya kapasitas penyerapan seresah. Seyhan (1993) menyatakan pengamatan-pengamatan hidrologi hutan selama bertahun-tahun telah menunjukkan bahwa limpasan permukaan pada DAS yang berhutan adalah jarang sekali. Di sisi lain, tutupan permukaan kedap air baik alami maupun buatan manusia berperan sebagai penghalang terjadinya infiltrasi air permukaan ke lapisan di bawahnya (Arnold dan Gibbon, 1996). Semakin tinggi persentase tutupan permukaan kedap air akan menyebabkan semakin tingginya nilai koefisien aliran (Schueler, 1994). Data kerapatan vegetasi dan tutupan permukaan kedap air tersebut dapat diperoleh dari data citra satelit melalui analisis digital.

Transformasi *NDVI* adalah salah satu teknik yang telah digunakan secara luas untuk berbagai aplikasi (Liang, 2004). *NDVI* merupakan indeks vegetasi sederhana namun memiliki sensitifitas yang paling tinggi terhadap perubahan kerapatan tajuk vegetasi dibanding indeks vegetasi lainnya (Ray, dalam Mirza, 2005). Selain keunggulannya dalam membedakan kerapatan vegetasi, nilai *NDVI* juga berasosiasi dengan persentase permukaan kedap air pada tiap-tiap piksel (Xian dan Crane, 2003; Mathias dan Martin, 2003; Sawaya et al, 2003). Tutupan permukaan kedap air dengan persentase rendah akan memiliki nilai *NDVI* tinggi karena adanya tutupan vegetasi yang dominan, demikian juga sebaliknya.

Ide utama dalam penelitian ini, yaitu penentuan nilai koefisien aliran menggunakan pendekatan transformasi *NDVI* dibangun berdasarkan hubungan antara nilai *NDVI* dengan kerapatan vegetasi dan persentase tutupan permukaan kedap air serta hubungan antara nilai koefisien aliran dengan kerapatan vegetasi dan persentase tutupan permukaan kedap air. Pendekatan ini sangat sederhana dan tanpa mempertimbangkan faktor topografi, timbunan permukaan, infiltrasi dan intensitas hujan. Secara konseptual penentuan nilai koefisien aliran menggunakan pendekatan transformasi *NDVI* ini menyediakan alternatif teknik estimasi yang lebih cepat, murah dan sesuai untuk DAS yang cukup luas. Hubungan antara nilai *NDVI* dengan persentase tutupan permukaan kedap air menjadi fokus penelitian ini. Transformasi *NDVI* dilakukan terhadap citra Landsat ETM+, sedangkan persentase tutupan permukaan kedap air diperoleh melalui pengukuran pada citra Quickbird. Penelitian ini diterapkan di DAS Citarum Hulu dengan pertimbangan bahwa kondisi dan komposisi tutupan lahan serta ketersediaan data curah hujan dan data debit alirannya dipandang sesuai untuk evaluasi hasil estimasi.

BAHAN DAN METODE

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Citra Landsat ETM+ *Path/Row* 122/065 tanggal perekaman 22 Desember 2001 dan *Path/Row* 121/065 (8 April 2003).
2. Citra komposit warna nyata Quickbird liputan Kota Bandung tahun 2004.
3. Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Skala 1 : 25.000.
4. Peta Tutupan Lahan DAS Citarum Hulu Tahun 2000
5. Data curah hujan harian dari stasiun hujan yang tersebar di DAS Citarum Hulu; Bandung, Cililin, Batujajar, Chinchona, Cicalengka, Ujungberung, Ciparay, Cisondari, Paseh, dan Sukawana.
6. Data debit harian dari stasiun Nanjung, Dayeuhkolot, Majalaya, Gandok, dan Kamasan

Metode

Transformasi *NDVI* dilakukan terhadap citra Landsat ETM+ perekaman tanggal 22 Desember 2001, yang telah dikoreksi radiometrik maupun geometrik serta dipotong sesuai batas DAS Citarum Hulu. Nilai *NDVI* dikalkulasi sebagai perbandingan nilai pantulan radiasi matahari pada saluran inframerah dekat dan saluran merah, sehingga menghasilkan nilai baru dalam kisaran -1 hingga $+1$.

Pengukuran persentase tutupan permukaan kedap air dilakukan melalui interpretasi visual citra Quickbird pada sampel nilai *NDVI* yang dipilih secara *stratified proporsional sampling*. Sebanyak 120 sampel diambil secara proporsional berupa piksel tunggal pada area permukiman dan komersial, yang meliputi bangunan termasuk vegetasi atau permukaan lolos air lain di sekitarnya. Batas masing-masing obyek kedap air dalam grid 30 meter x 30 meter kemudian didigit menggunakan ArcView 3.3. Selanjutnya persentase tutupan permukaan kedap air (TPKA) dapat dihitung. Cek lapangan dilakukan untuk lebih meyakinkan hasil interpretasi citra Quickbird terutama untuk sampel berupa piksel tunggal yang dalam tahap interpretasi masih diragukan kebenaran jenis-jenis obyeknya.

Hubungan antara variabel terikat, yaitu hasil pengukuran berupa persentase TPKA suatu piksel sampel dan variabel bebas berupa nilai *NDVI* piksel tersebut dianalisis menggunakan regresi. Persamaan regresi yang dihasilkan kemudian digunakan untuk mengkalkulasi nilai persentase TPKA. Terkait dengan hal itu diperlukan asumsi, yaitu : (1) tanah basah dengan nilai *NDVI* negatif diasumsikan sebagai TPKA karena dalam kondisi jenuh, (2) badan air baik jernih maupun keruh dianggap TPKA nol persen karena air hujan yang jatuh di atasnya diasumsikan tidak akan menjadi aliran sampai kapasitas tampungan badan air tersebut terlampaui, dan (3) daerah yang tertutup awan diberi nilai sama dengan nilai persentase obyek di sekitarnya. Penentuan batas badan air dilakukan menggunakan *masking* nilai piksel di bawah 36 pada saluran 4, sedangkan penentuan batas awan dilakukan secara lokal terhadap nilai di atas 106 pada saluran 3 citra Landsat ETM+.

Nilai koefisien aliran suatu DAS dalam satu periode musim hujan akan bervariasi menurut kondisi tampungan intersepsi, tampungan depresi atau simpanan

permukaan, dan lengas tanah. Oleh karena itu, estimasi nilai koefisien aliran pada penelitian ini dilakukan dalam tiga kondisi, yaitu saat DAS dalam kondisi kering, DAS dalam kondisi basah, dan DAS dalam kondisi rata-rata yang mewakili kondisi pada satu periode musim hujan tersebut.

a. Estimasi Nilai Koefisien Aliran Saat DAS Dalam Kondisi Kering

Estimasi nilai koefisien aliran dilakukan dengan cara merubah persentase tutupan permukaan kedap air satuan pemetaan yang dihasilkan, menggunakan persamaan sebagai berikut (Schueler, 1987 dengan modifikasi):

$$c = 0,05 + 0,91*TPKA \quad (1)$$

Keterangan:

c = koefisien aliran

$TPKA$ = persentase tutupan permukaan kedap air

b. Estimasi Nilai Koefisien Aliran Saat DAS Dalam Kondisi Basah

Apabila DAS dalam kondisi basah, maka estimasi nilai koefisien aliran DAS dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. nilai $NDVI$ DAS $< a$ diubah menjadi persentase tutupan permukaan kedap air (TPKA) menggunakan persamaan regresi yang diperoleh. Nilai a adalah nilai $NDVI$ pada persentase TPKA terendah (mendekati nol) hasil perhitungan menggunakan persamaan regresi tersebut;
2. pada saat DAS dalam kondisi basah, diasumsikan bahwa simpanan permukaan untuk permukaan kedap air dan permukaan lolos air maksimum, sehingga nilai koefisien aliran dihitung menggunakan persamaan :

$$C = 1 - (0,25(1 - TPKA) + 0,06TPKA) \quad (2)$$

(Jackson dkk, 1977 dalam Engman dan Gurney, 1991 dengan modifikasi);

3. nilai $NDVI$ DAS $> a$ diubah menjadi kerapatan vegetasi (LPT) menggunakan persamaan regresi hubungan $NDVI$ dengan tingkat kerapatan vegetasi:

$$y = 127,19x - 2,4779 \quad (3)$$

(Mirza, 2005 dengan modifikasi);

4. pada saat basah tutupan permukaan bukan vegetasi dianggap sebagai tutupan permukaan kedap air, oleh karena itu nilai LPT kemudian diubah menjadi nilai koefisien aliran menggunakan persamaan:

$$C = 0,05 + 0,91(1 - LPT) \quad (4)$$

(Schueler, 1994 dengan modifikasi).

c. Estimasi Nilai Koefisien Aliran Saat DAS Dalam Kondisi Rata-rata

Telah disampaikan di awal bahwa nilai *NDVI* tergantung pada keberadaan daun hijau vegetasi yang kelimpahannya sangat tergantung pada musim, sehingga diasumsikan nilai *NDVI* pada satu musim tidak berubah. Oleh karena itu, estimasi nilai koefisien aliran juga dilakukan untuk dapat mewakili nilai koefisien rata-rata harian pada satu periode musim hujan yang sama dengan waktu perekaman citra. Estimasi dilakukan dengan cara:

1. nilai *NDVI* $DAS < b$ diubah menjadi persentase TPKA menggunakan persamaan regresi yang diperoleh. Nilai persentase TPKA kemudian diubah menjadi nilai koefisien aliran menggunakan persamaan (1);
2. nilai *NDVI* $DAS > d$ diubah menjadi kerapatan vegetasi (LPT) menggunakan persamaan (3). Nilai LPT yang diperoleh kemudian diubah menjadi nilai koefisien aliran menggunakan persamaan:

$$C = -LPT + 1 \quad (5)$$

3. Nilai *NDVI* DAS $b - d$ diubah menjadi nilai koefisien aliran rata-rata yang dihitung berdasarkan titik potong kedua garis regresi. Titik potong tersebut mempunyai absis berupa nilai *NDVI* dan ordinat berupa LPT dan TPKA dengan nilai persentase yang sama persentase yang sama. Nilai b adalah nilai *NDVI* pada nilai koefisien aliran yang sama dengan nilai koefisien aliran rata-rata di atas, dihitung menggunakan persamaan regresi hubungan *NDVI* dengan persentase TPKA, sedangkan untuk nilai d dihitung menggunakan persamaan (5).

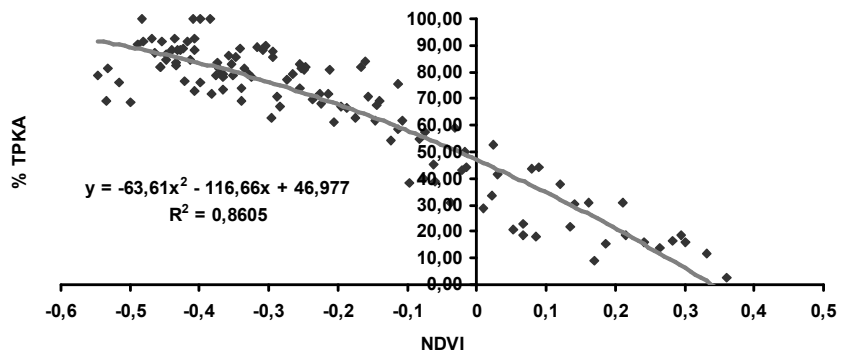
Nilai koefisien aliran yang dihasilkan dikelaskan dengan interval 0,1, kemudian masing-masing kelas dirata-rata timbang untuk memperoleh nilai koefisien aliran DAS. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui sejauh mana ketepatan hasil estimasi, dengan

melihat perbedaan dan persentase selisih antara nilai hasil estimasi dengan nilai hasil perhitungan data hidrologi ataupun tabel koefisien aliran *U.S. Forest Service* (1980, dalam Asdak, 2004) yang diaplikasikan pada tutupan lahan DAS Citarum Hulu tahun 2000. Hasilnya kemudian akan dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui sejauh mana transformasi *NDVI* dapat digunakan sebagai pendekatan estimasi nilai koefisien aliran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara nilai *NDVI* dan persentase tutupan permukaan kedap air dengan koefisien determinasi, r^2 sebesar 0,8605 (Gambar 1). Hubungan tersebut menghasilkan persamaan polinomial orde dua:

$$y = -63,61x^2 - 116,66x + 46,977 \quad (6)$$



Gambar 1. Hubungan Nilai *NDVI* dan Persentase Tutupan Permukaan Kedap Air (% TPKA)

Persamaan ini merupakan model paling baik yang dapat menggambarkan pola non linier hubungan antara kedua variabel. Pola non linier tersebut dipengaruhi oleh sebaran titik-titik sampel pada nilai *NDVI* rendah (-), berupa piksel yang memuat obyek dengan material aspal, beton, tanah basah di sekitar vegetasi, bangunan di sekitar tanah basah, bangunan yang dikelilingi permukaan air terbuka dan atap bangunan dengan material seng baru.

Estimasi Nilai Koefisien Aliran

Nilai koefisien aliran suatu DAS dalam satu periode musim hujan akan bervariasi menurut kondisi tampungan intersepsi, tampungan depresi atau simpanan permukaan, dan lengas tanah. Hujan yang terjadi pada saat kapasitas intersepsi, tampungan depresi, dan lengas tanah pada DAS belum jenuh, akan menghasilkan nilai koefisien aliran nol sampai rendah tergantung besarnya hujan lebih. Sebaliknya, apabila dalam kondisi jenuh atau kapasitas tampungan maksimumnya terlampaui, akan menghasilkan nilai koefisien aliran yang tinggi. Oleh karena itu, untuk menggambarkan hal di atas, maka estimasi nilai koefisien aliran pada penelitian ini dilakukan dalam tiga kondisi, yaitu saat DAS dalam kondisi kering, DAS dalam kondisi basah, dan DAS dalam kondisi rata-rata yang mewakili kondisi pada satu periode musim hujan tersebut.

Estimasi Nilai Koefisien Aliran Saat DAS Dalam Kondisi Kering

Nilai koefisien aliran diperoleh dengan cara mentransformasi nilai persentase tutupan permukaan kedap air menggunakan persamaan (6). Persamaan tersebut memuat pengertian bahwa hanya 5% dari hujan yang turun pada tutupan permukaan lolos air akan menjadi aliran permukaan, sedangkan 95% akan hilang karena intersepsi, meresap ke dalam tanah, dan tertahan dalam tampungan depresi. Kondisi tersebut terjadi pada saat kondisi kapasitas tampungan maksimum ketiganya belum terlampaui, atau dengan kata lain DAS dalam kondisi kering. Rerata timbang nilai koefisien aliran DAS Citarum Hulu hasil estimasi pada kondisi ini adalah 0,2902.

Estimasi Nilai Koefisien Aliran Saat DAS Dalam Kondisi Basah

Saat banjir diasumsikan bahwa tampungan depresi untuk permukaan kedap air, permukaan lolos air, dan badan air mencapai maksimum, sehingga air yang jatuh di atasnya langsung meluap menjadi aliran permukaan. Oleh karena itu estimasi nilai koefisien aliran pada bagian DAS dengan nilai persentase tutupan permukaan kedap air di atas 0% dilakukan berdasarkan tampungan depresi maksimumnya. Di sisi lain, satuan pemetaan dengan persentase tutupan permukaan kedap air 0% merupakan tutupan vegetasi dengan berbagai tingkat kerapatan. Oleh karena itu, pada saat DAS dalam kondisi basah digunakan dua persamaan regresi sebagai pendekatan estimasi nilai

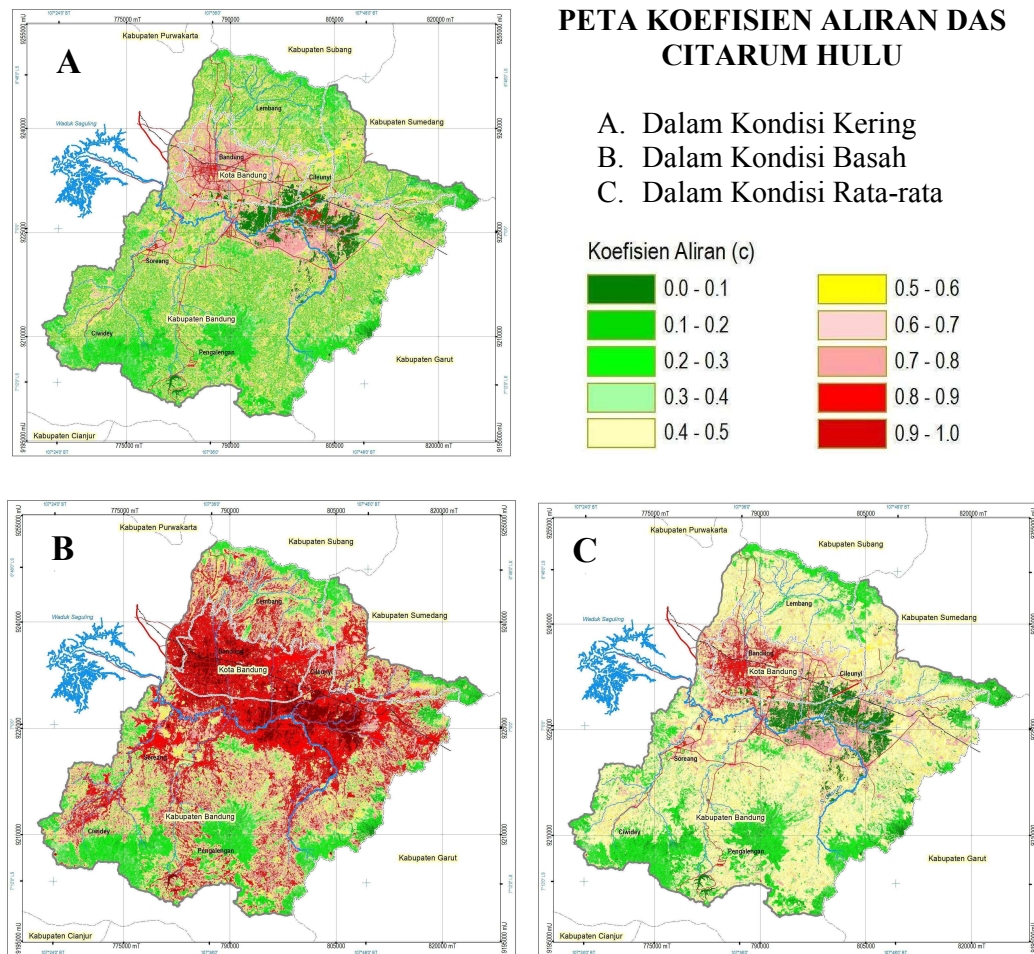
koefisien aliran, yaitu persamaan (6) dan persamaan (3). Nilai *NDVI* pasangan dari nilai persentase tutupan permukaan kedap air terendah ditetapkan sebagai pembatas. Berdasarkan perhitungan nilai tersebut adalah 0,3397. Dengan demikian bagian DAS dengan nilai *NDVI* lebih kecil dari 0,3397 diubah menjadi persentase tutupan permukaan kedap air menggunakan persamaan (6), sedangkan yang sama dengan dan lebih besar dari nilai tersebut diubah menjadi kerapatan vegetasi menggunakan persamaan (3).

Nilai persentase tutupan permukaan kedap air diubah menjadi nilai koefisien aliran menggunakan persamaan (2). Di sisi lain, tutupan permukaan selain vegetasi pada daerah bervegetasi dianggap sebagai tutupan permukaan kedap air. Nilai kerapatan vegetasi diubah menjadi nilai koefisien aliran menggunakan persamaan (4). Rerata timbang nilai koefisien aliran DAS Citarum Hulu hasil estimasi pada kondisi ini adalah 0,6960

Estimasi Nilai Koefisien Aliran Saat DAS Dalam Kondisi Rata-rata

Estimasi nilai koefisien aliran pada kondisi ini dilakukan menggunakan pendekatan dua regresi, yaitu regresi hubungan nilai *NDVI* dengan persentase TPKA yang dihasilkan dan hubungan nilai *NDVI* dengan LPT. Penggunaan dua regresi secara bersama-sama dapat memperkecil kesalahan estimasi jika dibanding dengan penggunaan satu regresi. Pendekatan menggunakan persentase tutupan permukaan kedap air saja akan mengkalkulasi semua piksel yang mempunyai persentase kekedapan 0% menjadi koefisien aliran bernilai 0,05, sehingga hasil estimasi cenderung lebih rendah (*underestimate*). Sebaliknya, penggunaan kerapatan vegetasi akan mengubah semua piksel dengan kerapatan 0% menjadi koefisien aliran bernilai 1, sehingga hasil estimasi cenderung lebih tinggi (*overestimate*).

Pendekatan menggunakan titik potong kedua garis regresi menghasilkan nilai koefisien aliran rata-rata sebesar 0,4903. Nilai *a* dan *b* pada nilai koefisien aliran tersebut masing-masing -0,0607 dan 0,4202. Dengan demikian, dalam estimasi ini bagian DAS dengan nilai *NDVI* di bawah -0,0607 ditransformasi menjadi nilai koefisien aliran berdasarkan persentase tutupan permukaan kedap air, nilai *NDVI* di atas 0,4202 diubah menjadi nilai koefisien aliran berdasarkan kerapatan vegetasi, dan nilai koefisien



Gambar 2. Peta Koefisien DAS Citarum Hulu Hasil Estimasi

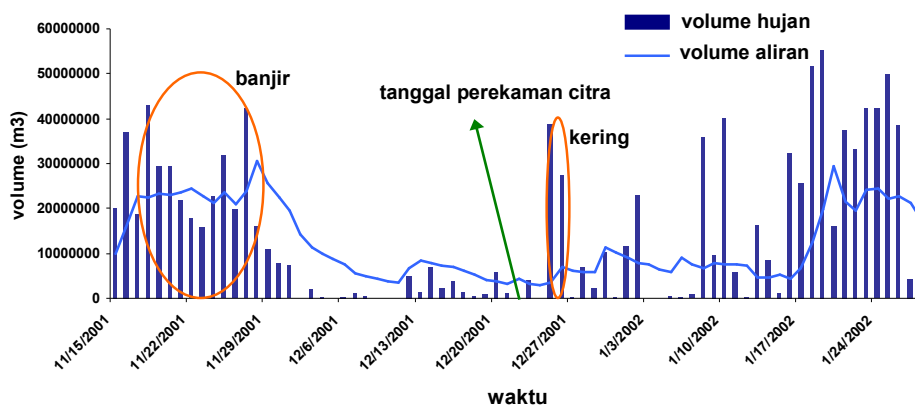
rata-rata 0,4903 diberikan pada bagian DAS dengan nilai *NDVI* antara -0,0607 hingga 0,4202. Citra koefisien aliran yang dihasilkan pada pendekatan ini kemudian dikelompokkan menjadi 10 kelas dan dirata-rata timbang sehingga menghasilkan nilai koefisien DAS Citarum Hulu sebesar 0,4570.

Ketepatan Nilai Koefisien Aliran Harian Hasil Estimasi

Estimasi nilai koefisien aliran pada penelitian ini dilakukan untuk tiga kondisi DAS, yaitu saat kering, banjir, dan rata-rata yang dianggap mewakili variasi kondisi DAS. Oleh karena itu sebagai pembanding, perhitungan nilai koefisien aliran DAS dari

data hidrologi juga dilakukan pada tiga kondisi di atas. Nilai yang dihasilkan digunakan sebagai pembandingan nilai koefisien aliran hasil estimasi. Perbandingan keduanya dapat dilihat dalam bentuk persentase selisih nilai.

Nilai koefisien aliran yang digunakan sebagai pembandingan nilai koefisien aliran hasil estimasi pada tiga kondisi DAS diperoleh melalui perhitungan data hidrologi periode 15 Nopember 2001 – 28 Januari 2002. (Gambar 3). Persentase selisih antara nilai koefisien aliran hasil estimasi dan hasil perhitungan untuk DAS Citarum Hulu saat DAS dalam kondisi kering, basah, dan rata-rata dengan empat subDAS di dalamnya berturut-turut adalah -2,94%, 10,61%, dan 0,14%, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.



Gambar 3. Plot Volume Hujan dan Volume Aliran DAS Citarum Hulu tanggal 15 Nopember 2001 – 28 Januari 2002

Nilai koefisien hasil estimasi pada kondisi kering lebih besar dari hasil perhitungan data hidrologi disebabkan oleh asumsi bahwa 96% dari hujan yang jatuh pada tutupan permukaan kedap air akan menjadi aliran. Kenyataan di lapangan, sebagian hujan yang jatuh pada tutupan permukaan kedap air akan mengalir pada tutupan lolos air di sekitarnya, kemudian meresap ke dalam tanah. Sebab yang lain adalah curah hujan rendah yang jatuh pada tutupan permukaan kedap air datar tidak akan menjadi aliran, karena pada air rendah kondisi tanah dan faktor lereng lebih berperan dalam terjadinya aliran (Schueler, 1994).

Tabel 1. Perbandingan Nilai Koefisien Aliran Hasil Estimasi dengan Hasil Perhitungan Data Hidrologi

Kondisi Kering

No	DAS/subDAS	Luas (ha)	c estimasi	c hitung	selisih (%)
1	DAS Citarum Hulu - Nanjung	176206,2479	0,2902	0,2679	8,32
2	DAS Citarum Hulu - Dayeuhkolot	105488,9949	0,3365	0,3641	-7,58
3	DAS Citarum Hulu - Majalaya	20345,9271	0,1959	0,1134	72,75
4	SubDAS Cikapundung - Gandok	9022,6214	0,2027	0,2965	-31,64
5	SubDAS Cisangkuy - Kamasan	19810,1154	0,1981	0,4561	-56,57
selisih rata-rata					-2,94

Sumber : hasil analisa data

Kondisi Basah

No	DAS/subDAS	Luas (ha)	c estimasi	c hitung	selisih (%)
1	DAS Citarum - Nanjung	176206,2479	0,6960	0,6566	6,00
2	DAS Citarum - Dayeuhkolot	105488,9949	0,7249	0,6069	19,44
3	DAS Citarum - Majalaya	20345,6927	0,5821	0,4191	38,89
4	SubDAS Cikapundung - Gandok	9022,6214	0,6064	0,5887	3,01
5	SubDAS Cisangkuy - Kamasan	19810,1154	0,5616	0,6551	-14,27
selisih rata-rata					10,61

Sumber : hasil analisis data

Kondisi Rata-rata

	DAS/subDAS	Luas	c est	c hitung	selisih (%)
1	DAS Citarum - Nanjung	176206,2479	0,4570	0,5126	-10,85
2	DAS Citarum - Dayeuhkolot	105488,9949	0,4632	0,3743	23,75
3	DAS Citarum - Majalaya	20345,6927	0,3933	0,3471	13,31
4	SubDAS Cikapundung - Gandok	9022,6214	0,4122	0,4416	-6,66
5	SubDAS Cisangkuy - Kamasan	19810,1154	0,3788	0,4668	-18,85
selisih rata-rata					0,14

Sumber : hasil analisis data

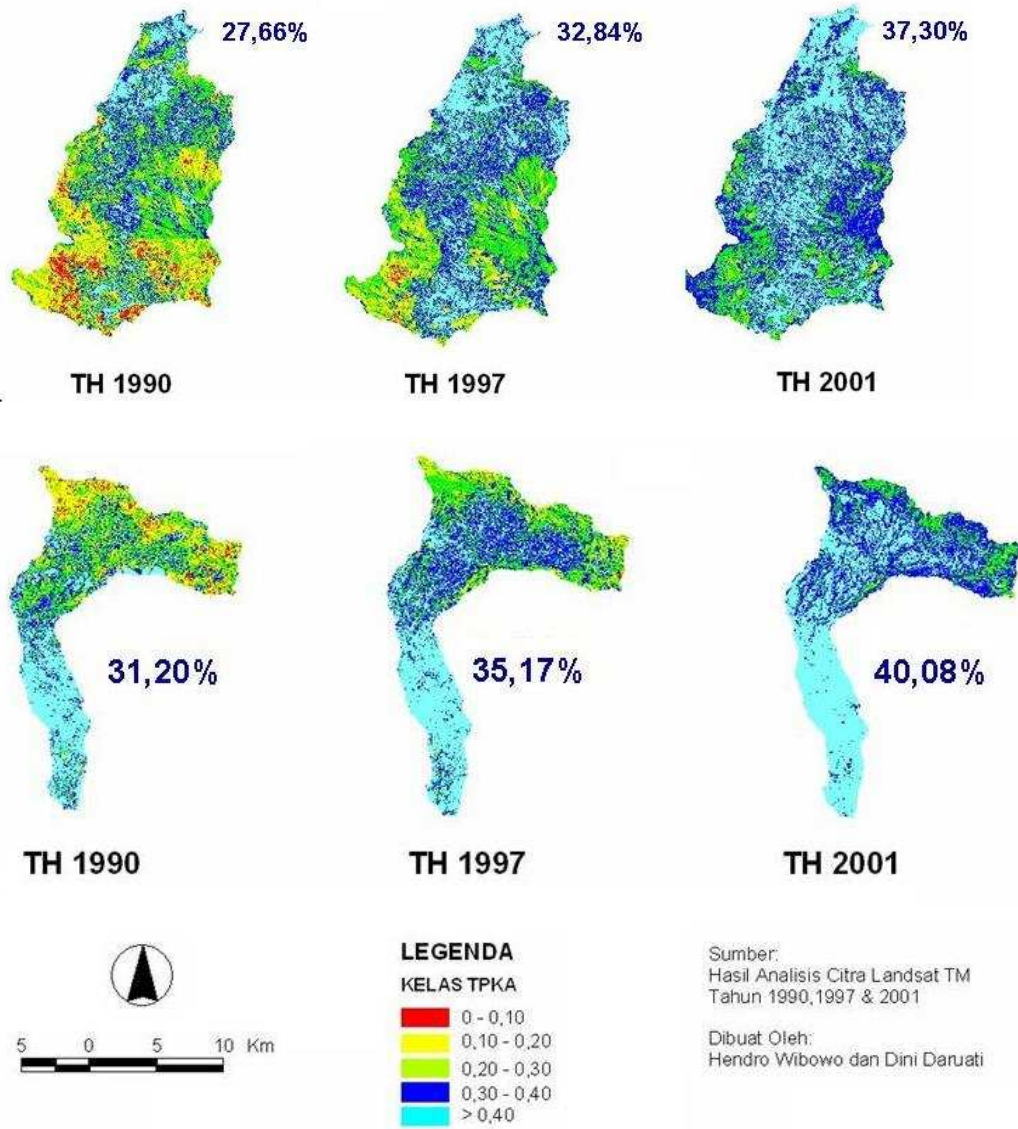
Pendekatan yang digunakan dalam estimasi nilai koefisien aliran saat banjir ini mengasumsikan tampungan depresi untuk tutupan permukaan keadap air, tutupan permukaan lolos air maupun badan air dalam keadaan maksimum, sehingga air hujan yang jatuh padanya akan langsung menjadi aliran. Di sisi lain, tutupan vegetasi tetap diasumsikan sebagai penghambat efektif terjadinya aliran seperti tergambar dalam persamaan yang digunakan. Kedua asumsi di atas menghasilkan nilai koefisien aliran estimasi yang lebih besar dibanding hasil perhitungan, kecuali pada subDAS Cisangkuy outlet Kamasan.

Pendekatan yang dilakukan dalam estimasi ini adalah penentuan nilai koefisien aliran rata-rata melalui perpotongan dua garis regresi yang digunakan. Nilai yang dihasilkan yaitu sebesar 0,4903 kemudian diberikan pada daerah dalam DAS dengan kisaran nilai *NDVI* -0,0607 hingga 0,4202 seperti yang sudah dibahas di atas. Sebaran daerah tersebut cukup luas sehingga nilai koefisien aliran estimasi yang dihasilkan cenderung mendekati nilai rata-rata di atas.

Perbandingan antara nilai koefisien aliran harian hasil estimasi dengan nilai koefisien aliran harian hasil perhitungan pada tiga kondisi di atas menghasilkan persentase selisih yang cukup baik antara keduanya, yaitu 2,60%. Uji statistik yang dilakukan menggunakan uji beda dua kelompok data yang saling berpasangan, *t-student*, menghasilkan kesimpulan statistik bahwa nilai rata-rata koefisien aliran estimasi dan nilai koefisien aliran perhitungan data hidrologi tidak berbeda nyata pada taraf signifikansi 95%.

Perubahan Persentase Tutupan Permukaan Kedap Air

Berdasarkan hasil evaluasi di atas, persamaan regresi hubungan nilai *NDVI* dengan persentase tutupan permukaan kedap air dapat digunakan untuk melihat perubahan persentase tutupan permukaan kedap air setiap bagian DAS Citarum Hulu. Persamaan 6 diterapkan pada subDAS Cikapundung dan subDAS Cisangkuy, untuk melihat perubahan kondisi tutupan permukaan kedap air dari tahun 1990, 1997, dan 2001. Hasil perhitungan menunjukkan dalam kurun waktu 11 tahun (1990 – 2001), peningkatan persentase utupan permukaan kedap air di subDAS Cisangkuy dan subDAS Cikapundung masing-masing 34,85% dan 28,46%, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Kelas Tingkat Tutupan Permukaan Kepad Air

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Sebaran nilai *NDVI* secara keruangan dapat menggambarkan dengan baik sebaran persentase tutupan permukaan kedap air dan kerapatan vegetasi dalam DAS. Nilai *NDVI* dan persentase tutupan permukaan kedap air menunjukkan hubungan yang kuat dan berlawanan arah, dengan koefisien determinasi 0,86. Hubungan tersebut menghasilkan persamaan regresi polinomial orde dua $y = -63,61x^2 - 116,66x + 46,977$. Kesalahan baku regresi dalam memprediksi persentase tutupan permukaan kedap air dari setiap nilai *NDVI* adalah 10,06%.
2. Nilai koefisien aliran DAS Citarum Hulu hasil estimasi saat DAS dalam kondisi kering, kondisi basah, dan kondisi rata-rata masing-masing adalah 0,29, 0,70, dan 0,46. Hasil perhitungan data hidrologi pada tiga kondisi tersebut masing-masing 0,27, 0,66, dan 0,51. Persentase selisih rata-rata nilai koefisien aliran hasil estimasi dengan hasil perhitungan data hidrologi pada DAS Citarum Hulu dan empat subDAS di dalamnya adalah 2,60%.
3. Uji statistik menunjukkan bahwa hasil estimasi tidak berbeda dengan hasil perhitungan pada taraf uji 95%, dengan demikian persentase tutupan permukaan kedap air dan kerapatan vegetasi yang diprediksi dari nilai *NDVI* dapat digunakan untuk estimasi nilai koefisien aliran DAS.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka saran yang dapat diajukan adalah sebagai berikut.

1. Nilai *NDVI* tiap piksel citra Landsat merupakan gambaran dari berbagai macam obyek di dalamnya. Oleh karena itu, nilai tersebut perlu dikalibrasi menggunakan rata-rata nilai *NDVI* citra resolusi spasial tinggi yang ditumpangsusunkan padanya, sehingga ekstraksi informasi terutama persentase tutupan permukaan kedap air dapat lebih optimal.
2. Signifikansi model estimasi ini perlu diuji pada DAS-DAS lain yang mempunyai karakteristik berbeda-beda dengan komposisi tutupan permukaan kedap air dan kerapatan vegetasi bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, C.L. and C.J. Gibbons, 1996. Imperviousness Surface: The Emergence of a Key Urban Environmental Indicator. *American Planning Association Journal*, 62(2), p 243 – 258.
- Asdak, C., 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Cetakan Ketiga, Yogyakarta
- Gunawan, T. 1991. Penerapan Teknik Penginderaan Jauh untuk Menduga Debit Puncak Menggunakan Karakteristik Lingkungan Fisik DAS studi kasus di DAS Bengawan Solo Hulu Jawa Tengah. *Disertasi*, Fakultas Pascasarjana IPB. Bogor.
- Liang, S., 2004. *Quantitative Remote Sensing of Land Surface*. John Wiley & Sons, Inc. New Jersey
- Matthias, B. and H. Martin, 2003. Mapping imperviousness using NDVI and linear spectral unmixing of ASTER data in the Cologne-Bonn region Germany, *Proceeding of the SPIE 10th International Symposium on Remote Sensing*, Barcelona. www.geogr.uni-jena.de/~c5hema/pub (14 Juni 2006 pk 8.49)
- Mirza, M., 2005. Hubungan Kerapatan Vegetasi dan NDVI Dalam Kaitannya dengan Estimasi Nilai Koefisien Aliran, *Skripsi*, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Sawaya, K.E., L.G. Olmanson, N.J. Heinert, P.L. Brezonik, and M.E. Bauer. 2003. Extending satellite remote sensing to local scale: land and water resource monitoring using high-resolution imagery, *Remote Sensing of Environment* 88, Elsevier. www.sciencedirect.com (1 Februari 2007 pk 14.47)
- Schueler, 1994. The Importance of Imperviousness, *Watershed Protection Techniques*, 1(3), p 100 – 111.
- Seyhan, E. 1993. *Dasar-dasar Hidrologi*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Xian, G. and M. Crane, 2003. Evaluation of urbanization influences on urban climate with remote sensing and climate observation. www.isprs.org/commission8/workshop_urban/xian.pdf (14 Juni 2006 pk 10.56)