

TRANSFORMASI NDVI UNTUK ESTIMASI NILAI KOEFISIEN ALIRAN KASUS DI DAS CITARUM HULU

Hendro Wibowo^a, M. Pramono Hadi^b, & Suharyadi^b

^a*Staf Peneliti Puslit Limnologi - LIPI*

^b*Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*

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 antara nilai NDVI dan persentase luas permukaan kedap air melalui analisis regresi dengan menggunakan sampel yang terukur dari data satelit Quickbird. Persamaan regresi yang diperoleh kemudian digunakan untuk kuantifikasi persentase tutupan permukaan kedap air daerah penelitian. Dalam penelitian ini juga dilakukan perhitungan kerapatan vegetasi dari nilai NDVI. Persentase luas permukaan kedap air dan kerapatan vegetasi selanjutnya digunakan sebagai masukan untuk memperkirakan nilai koefisien aliran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini dapat diterapkan di DAS Citarum Hulu. Nilai koefisien debit aliran memiliki pola distribusi yang dikontrol oleh Persentase luas permukaan kedap air dan kerapatan vegetasi. Nilai koefisien aliran DAS Citarum didominasi oleh kelas normal yaitu sebesar 57,49% dari luas total DAS.

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

ABSTRACT

NDVI TRANSFORMATION FOR ESTIMATING RUNOFF COEFFICIENT VALUE CASE IN UPPER CITARUM WATERSHED. *Simple approach to estimate watershed runoff coefficient value is needed to deal with the lack of hydrology data problem. This case was conducted at Upper Citarum watershed. It aims to implement conceptual approach determining daily watershed runoff coefficient value based on normalized difference vegetation index (NDVI) transformation toward Landsat ETM+ data. Method used to examine the correlation between NDVI value and percentage of impervious surface area (% ISA) is regression analysis by using measurable data sample from Quickbird satellite data. It obtains regression equation which was used to calculate % ISA. This study also calculates vegetation density from NDVI value. The percentage of impervious surface area and vegetation density were used as input for estimating runoff coefficient value. The study found that this method was applicable in Upper Citarum watershed. Runoff coefficient value has distribution pattern controlled by % ISA and vegetation density. Upper Citarum watershed runoff coefficient value is dominated by normal class or equal to 57.49% of total watershed area.*

Key words: NDVI, impervious surface area, vegetation density, runoff coefficient

PENDAHULUAN

Kondisi suatu daerah aliran sungai (DAS) dapat dilihat dari nilai koefisien aliran, yaitu perbandingan volume aliran permukaan dengan volume curah hujan yang menjadi penentunya. Permasalahan yang terjadi pada sebagian besar DAS di Indonesia adalah keterbatasan data, baik data hidrologi maupun data karakteristik DAS guna menetapkan nilai tersebut. Model hidrologi untuk memperkirakan aliran yang dihasilkan suatu DAS telah banyak dikembangkan, namun model-model tersebut tetap memerlukan data karakteristik DAS sebagai masukan model, seperti faktor topografi, kondisi tanah, simpanan permukaan dan tutupan lahan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan lebih sederhana yang mampu memperkirakan nilai koefisien aliran, sehingga 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. Tutupan vegetasi yang rapat akan sedikit menghasilkan aliran permukaan karena peran intersepsi oleh tajuk dan meningkatnya laju infiltrasi akibat tingginya kapasitas penyerapan oleh seresah. Pengamatan-pengamatan hidrologi hutan selama bertahun-tahun telah menunjukkan bahwa limpasan permukaan pada DAS yang berhutan adalah jarang sekali terjadi (Seyhan, 1993). 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 hasil analisis digital citra penginderaan jauh.

Transformasi *NDVI* adalah salah satu teknik yang telah digunakan secara luas untuk berbagai aplikasi penginderaan jauh (Liang, 2004). Menurut Ray (1995) dalam Mirza (2005), *NDVI* merupakan indeks vegetasi sederhana namun memiliki sensitifitas yang paling tinggi terhadap perubahan kerapatan tajuk vegetasi dibanding indeks vegetasi lainnya. Selain keunggulannya dalam membedakan kerapatan vegetasi, nilai *NDVI* juga berasosiasi dengan persentase permukaan kedap air pada tiap-tiap piksel (Xian & Crane, 2003; Mathias & 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.

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 menjadi ide utama dalam penelitian ini, yaitu penentuan nilai koefisien aliran menggunakan pendekatan transformasi *NDVI*. 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.

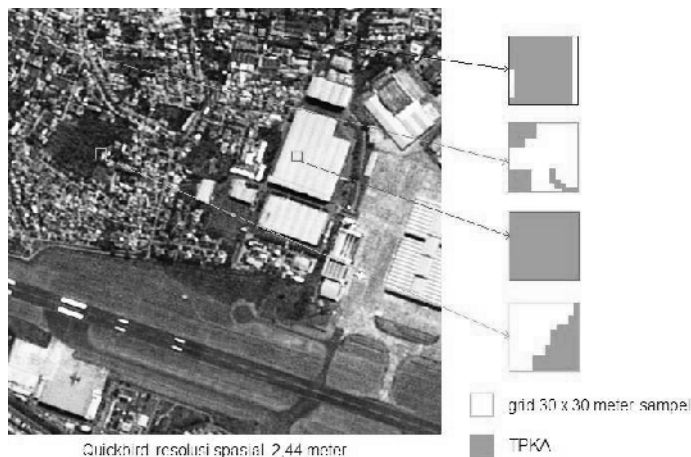
METODOLOGI

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 contoh nilai *NDVI* yang dipilih dengan pengambilan contoh secara proporsional berstrata (*stratified proporsional sampling*). Contoh berupa piksel tunggal dipilih 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. Tinjauan lapangan dilakukan untuk lebih meyakinkan hasil interpretasi citra *Quickbird* terutama untuk contoh berupa piksel tunggal yang dalam tahap interpretasi masih diragukan kebenarannya jenis-jenis obyeknya.

Analisis regresi digunakan untuk menunjukkan hubungan antara variabel terikat, yaitu hasil pengukuran berupa persentase TPKA suatu piksel contoh dan variabel bebas berupa nilai *NDVI* piksel tersebut. Persamaan regresi yang dihasilkan digunakan untuk mengkalkulasi nilai persentase TPKA, yang akan digunakan sebagai masukan dalam estimasi nilai koefisien aliran. Terkait dengan hal itu diperlukan asumsi, yaitu : (1) tanah basah dengan nilai *NDVI* negatif diasumsikan



$$\% TPKA = (\text{luas TPKA} / \text{luas grid sampel}) \times 100\%$$

Gambar 1. Cara perhitungan persentase tutupan permukaan kedap air pada grid sampel terpilih

Cara perhitungan persentase tutupan permukaan kedap air pada grid contoh terpilih, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 1. Sebanyak 120 contoh diambil secara proporsional terhadap jumlah piksel.

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+.

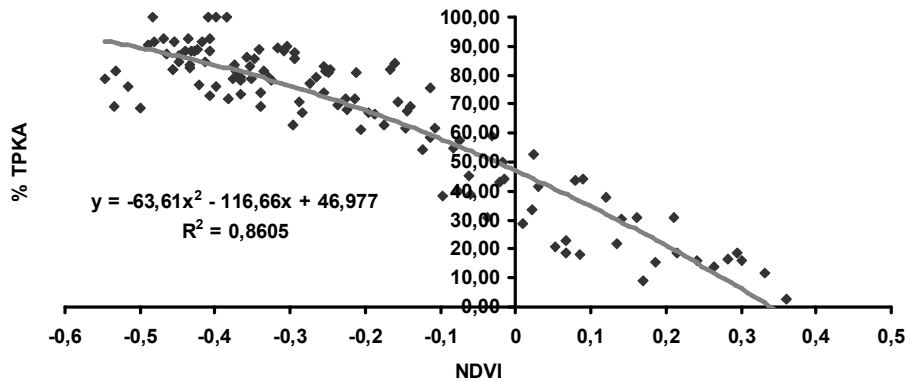
Estimasi nilai koefisien aliran dilakukan untuk dapat mewakili nilai koefisien rata-rata harian pada satu periode musim hujan yang sama dengan waktu perekaman citra. Estimasi dilakukan dengan cara membagi DAS dalam tiga bagian berdasarkan nilai *NDVI*. Nilai *NDVI* DAS < *a* diubah menjadi persentase TPKA menggunakan persamaan regresi di atas, hasilnya ditransformasi menjadi nilai koefisien aliran menggunakan persamaan $c = 0,05 + 0,91 * TPKA$ (Schueler, 1994 dengan modifikasi). Nilai *NDVI* DAS > *b* diubah menjadi persentase kerapatan vegetasi (PKV) menggunakan persamaan $y = 127,19x - 2,4779$. (Mirza, 2005 dengan modifikasi), hasilnya ditransformasi menjadi nilai koefisien aliran berdasarkan hubungan logis keduanya, yang diekspresikan dalam persamaan $C = -PKV + 1$. Nilai *NDVI* DAS *a* – *b* 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 PKV dan TPKA dengan nilai persentase yang sama. Nilai *a* 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 *b* dihitung menggunakan persamaan $y = 127,19x - 2,4779$.

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) dan tabel nilai koefisien aliran untuk daerah perkotaan dari Schwab dkk. (1981, dalam Arsyad, 2000) 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. Apabila hasilnya baik, nilai koefisien aliran hasil estimasi akan dibedakan dalam empat kelas mengacu pada klasifikasi Cook's dan Kazumi Ueda (1971) dalam Gunawan (1991), untuk mengetahui persebaran nilai koefisien aliran rendah, normal, tinggi, dan ekstrim pada DAS Citarum Hulu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis regresi menunjukkan hubungan yang kuat antara nilai *NDVI* dan persentase tutupan permukaan kead air dengan koefisien determinasi, r^2 sebesar 0,8605 (Gambar 2). Hubungan tersebut menghasilkan persamaan polinomial orde dua, $y = -63,61x^2 - 116,66x + 46,977$. 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 contoh 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.



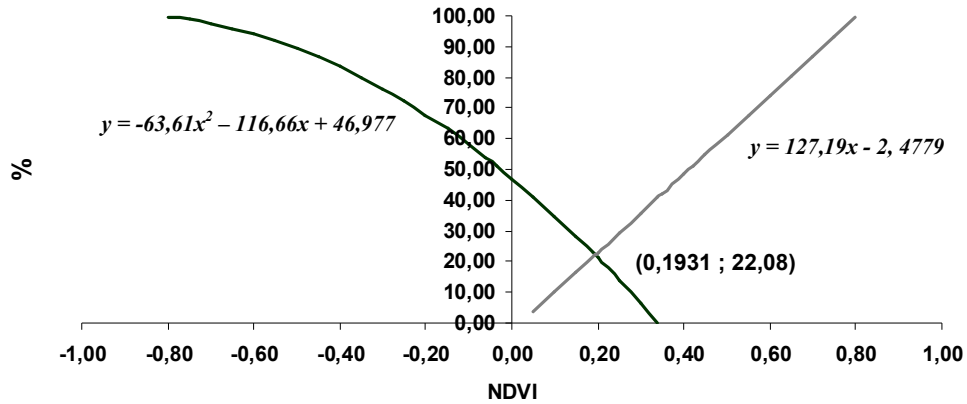
Gambar 2. Hubungan ilai *NDVI* dan persentase tutupan permukaan kedap air (% TPKA)n

Estimasi nilai koefisien aliran dilakukan menggunakan pendekatan dua regresi, yaitu regresi hubungan nilai *NDVI* dengan persentase TPKA yang dihasilkan dan hubungan nilai *NDVI* dengan PKV. Penggunaan dua regresi secara bersamaan 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*).

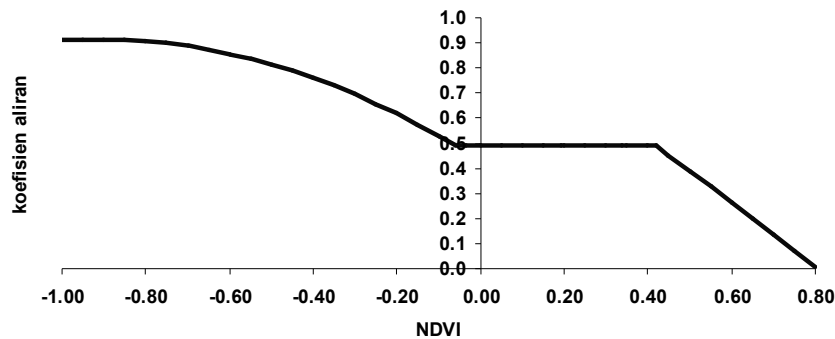
Pendekatan menggunakan titik potong kedua garis regresi menghasilkan

nilai koefisien aliran rata-rata sebesar 0,4903 (Gambar 3). 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 rata-rata 0,4903 diberikan pada bagian DAS dengan nilai *NDVI* antara -0,0607 hingga 0,4202.

Hubungan antara nilai *NDVI* dengan nilai koefisien aliran estimasi ditunjukkan pada Gambar 4. 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.



Gambar 3. Titik potong garis regresi $y = -63,61x^2 - 116,66x + 46,977$ dan garis regresi $y = 127,19x - 2,4779$



Gambar 4. Hubungan nilai NDVI dengan nilai koefisien aliran hasil estimasi

Nilai koefisien aliran yang digunakan sebagai pembanding nilai koefisien aliran rata-rata hasil estimasi diperoleh melalui perhitungan data hidrologi periode 15 Nopember 2001 – 28 Januari 2002, yaitu

sebesar 0,5126. Persentase selisih antara nilai koefisien aliran hasil estimasi dan hasil perhitungan untuk DAS Citarum Hulu dan empat subDAS di dalamnya adalah 0,14% (Tabel 1).

Tabel 1. Perbandingan nilai koefisien aliran hasil estimasi dengan hasil perhitungan data hidrologi

No	DAS/subDAS	Luas (km ²)	c est	c hitung	selisih (%)
1	DAS Citarum - Nanjung	1762,0625	0,4570	0,5126	-10,85
2	DAS Citarum -Dayeuhkolot	1054,8899	0,4632	0,3743	23,75
3	DAS Citarum - Majalaya	203,4569	0,3933	0,3471	13,31
4	SubDAS Cikapundung - Gandok	90,2221	0,4122	0,4416	-6,66
5	SubDAS Cisangkuy - Kamasan	198,1011	0,3788	0,4668	-18,85
selisih rata-rata					0,14

Sumber : hasil analisis data

Nilai yang lebih tinggi disebabkan oleh adanya tutupan vegetasi yang dikalkulasi sebagai tutupan permukaan kedap air 0% sehingga menghasilkan estimasi koefisien aliran 0,05, tetapi kenyataan di lapangan mempunyai nilai koefisien aliran lebih tinggi. Sebaliknya, nilai koefisien hasil estimasi yang 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.

Nilai koefisien aliran estimasi tidak berbeda jauh dengan hasil perhitungan nilai koefisien aliran melalui aplikasi tabel nilai koefisien aliran dari *U.S Forest Service* (Asdak, 2004) dan tabel nilai koefisien aliran untuk daerah perkotaan dari Schwab dkk. (1981, dalam Arsyad, 2000) terhadap tutupan lahan sebesar 0,4647. Presentase selisih keduanya pada DAS Citarum Hulu

dan 10 subDAS di dalamnya bervariasi dengan rata-rata 0,05% (Tabel 2).

Perbedaan yang terjadi disebabkan oleh tanah basah dengan nilai *NDVI* negatif diasumsikan sebagai tutupan permukaan kedap air sehingga nilai koefisien aliran estimasi yang dihasilkan tinggi. Berdasarkan sebaran *NDVI* di DAS Citarum Hulu, tanah basah dengan nilai *NDVI* negatif berada pada daerah datar di tengah cekungan DAS. Daerah tersebut pada Peta Penggunaan Lahan diklasifikasikan sebagai penggunaan lahan sawah yang pada tabel diberi nilai koefisien aliran rendah. Di sisi lain, kisaran *NDVI* yang diberi nilai rata-rata hasil perpotongan regresi menempati daerah yang luas, yaitu mencapai 31,31% dari luas total DAS, sehingga menekan nilai koefisien aliran estimasi ke arah nilai rata-rata tersebut. Berdasarkan pengamatan pada citra *RGB432* dan citra *Quickbird*, nilai koefisien aliran rata-rata 0,4903 tersebar pada tanah garapan bervegetasi, tanah kosong, padang rumput, perumahan dengan kerapatan rendah hingga sedang di perkotaan dan daerah pinggiran kota. Nilai koefisien aliran daerah tersebut pada tabel memiliki kisaran nilai koefisien aliran rata-rata 0,3 hingga 0,5.

Tabel 2. Perbandingan nilai koefisien aliran (c) hasil estimasi dengan hasil perhitungan menggunakan tabel

No	DAS/subDAS	Luas (km ²)	c estimasi	c hitung	selisih (%)
1	DAS Citarum - Nanjung	1762,0625	0,4570	0,4647	-1,66
2	DAS Citarum - Dayeuhkolot	1054,8899	0,4632	0,4418	4,87
3	DAS Citarum - Majalaya	203,4569	0,3933	0,3991	-1,45
4	SubDAS Cikapundung - Gandok	90,2262	0,4122	0,4350	-5,24
5	SubDAS Cisangkuy - Kamasan	198,1011	0,3788	0,3946	-4,00
6	SubDAS Ciwidey - Cukangenteng	166,6067	0,3777	0,3991	-5,36
7	SubDAS Cidurian Sukapada	15,1711	0,4949	0,5425	-8,77
8	SubDAS Cikapundung2	55,9381	0,6763	0,6697	0,99
9	SubDAS Cikapundung	140,5351	0,4905	0,5014	-2,17
10	SubDAS Ciwidey2	43,8433	0,5072	0,4483	13,14
11	SubDAS Citarik	269,3049	0,4606	0,4180	10,19
				selisih rata-rata	0,05

Sumber : hasil perhitungan

Nilai koefisien aliran hasil estimasi dianggap dapat mewakili kondisi DAS karena sudah diperbandingkan dengan nilai koefisien aliran hasil perhitungan data hidrologi dan hasil perhitungan menggunakan tabel nilai koefisien aliran dari *U.S Forest Service* dan Schwab, dengan persentase selisih rata-rata masing-masing 0,14% dan 0,05%. Selain itu statistik menunjukkan kedua kelompok data tidak berbeda nyata pada taraf uji 95%. Citra nilai koefisien aliran estimasi tersebut kemudian dikelaskan berdasarkan klasifikasi Cook's dan Kazumi Ueda, hasilnya ditunjukkan pada Tabel 3.

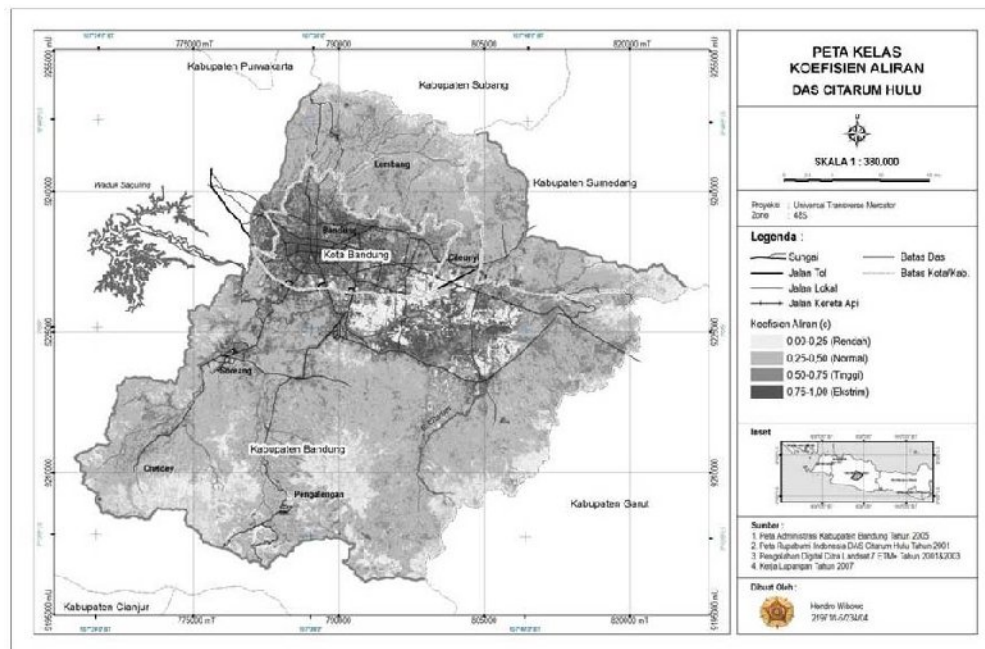
Secara visual distribusi koefisien aliran ditampilkan sebagai Peta Koefisien Aliran DAS Citarum Hulu seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5. Pola sebaran kelas koefisien aliran DAS Citarum Hulu

dikontrol oleh tutupan permukaan kedap air dan kerapatan vegetasi. Nilai koefisien aliran pada hutan dan kawasan bervegetasi lebat berkebalikan dengan tingkat kerapatan vegetasi. Daerah dengan vegetasi rapat yang tersebar pada bagian hulu dan tengah DAS termasuk dalam klasifikasi nilai koefisien rendah. Di sisi lain, daerah perkotaan yang menempati bagian hilir dan tengah DAS memiliki nilai koefisien aliran searah dengan persentase tutupan permukaan kedap airnya. Hal tersebut dapat menjelaskan bahwa hubungan antara persentase tutupan permukaan air dengan koefisien aliran dan kerapatan vegetasi dengan koefisien aliran dapat digunakan untuk estimasi nilai koefisien aliran DAS. Sebaran koefisien aliran DAS Citarum Hulu didominasi oleh kelas normal, yaitu sebesar 57,49% dari luas total DAS.

Tabel 3. Distribusi koefisien aliran DAS Citarum Hulu

Kelas	Nilai c	luas (ha)	% luas	keterangan
I	0.00 - 0.25	24377.0400	13.83	koefisien aliran rendah
II	0.25 - 0.50	101301.2429	57.49	koefisien aliran normal
III	0.50 - 0.75	36312.4070	20.61	koefisien aliran tinggi
IV	0.75 - 1.00	14215.5580	8.07	koefisien aliran ekstrim
		176206.2479	100.00	

Sumber : hasil analisis data



Gambar 5. Peta kelas koefisien aliran DAS Citarum Hulu

KESIMPULAN

Nilai koefisien aliran DAS Citarum Hulu hasil estimasi berdasarkan transformasi *NDVI* adalah 0,46. Uji statistik menunjukkan bahwa pada taraf uji 95% hasil estimasi tidak berbeda dengan hasil perhitungan, dengan demikian persentase tutupan permukaan kedap air dan kerapatan vegetasi yang diprediksi dari nilai *NDVI* dapat digunakan untuk estimasi nilai koefisien aliran DAS. Pola sebaran kelas koefisien aliran DAS Citarum Hulu dikontrol oleh tutupan permukaan kedap air dan kerapatan vegetasi serta didominasi oleh kelas normal, yaitu sebesar 57,49% dari luas total DAS.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, C.L., & 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., & 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/~c5_hema/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, & 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. & 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).