**APLIKASI FOTO UDARA INFRAMERAH UNTUK PREDIKSI
KOEFSIEN LIMPASAN DI DAS WURYANTORO,
KABUPATEN WONOGIRI**

*(The Application of Infrared Aerial Photography for Prediction of Runoff Coefficient
in Wuryantoro Watershed, Wonogiri)*

Oleh:

Sugiharto Budi Santoso

Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta

*Jl. A. Yani Pabelan Kartosuro Tromol Pos 1 Surakarta 57162, Telp (0271) 717417
Psw 151-153, Fax: (0271) 715448, E-Mail: FORUM GEOGRAFI@yahoo.com*

ABSTRACT

This research was carried out in Wuryantoro Watershed, Wonogiri. The goal of this study is to examine the remote sensing technology capability to obtain the physical characteristics data of watershed in the prediction of runoff coefficient using Cook method. The physical characteristics is topography (relief), landcover, water storage, and infiltration. The physical characteristics is interpreted on infrared aerial photography on scale 1 : 10.000 based on element of interpretation i.e. tone, texture, size, shape, pattern, site, and association. The result of the prediction is tested by comparing them with the data of field measurement result.

The accuracy of the result of aerial photo interpretation of physical characteristics of watershed can be obtained as follows: 1) the accuracy of the interpretation of landuse 88,5%, 2) the accuracy of slope interpretation 87,67 %. The accuracy of prediction of the runoff coefficient 86,9%.

Key word: runoff coefficient, aerial photography.

PENDAHULUAN

Permasalahan umum Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah: 1) fisiografik seperti lereng terjal, hujan lebat, limpasan permukaan berlebihan, menurunnya kesuburan dan produktivitas; 2) masalah pemanfaatan sumberdaya antara lain kerusakan hutan, ladang berpindah, 3) masalah proses/ mekanisme akhir seperti erosi-sedimentasi tinggi, banjir, kekeringan, dan 4) masalah sosial

ekonomi penduduk (Gunawan et al, 1995).

Salah satu masalah fisiografik adalah banjir yang menjadikan kendala dalam pelaksanaan pengelolaan DAS. Keadaan banjir dalam DAS dapat diperkirakan antara lain dengan penetapan nilai koefisien limpasan. Koefisien limpasan adalah perbandingan antara tinggi limpasan pada saat tertentu

terhadap hujan penyebabnya (BTP DAS Surakarta, 2000).

Metode untuk mengukur besarnya koefisien limpasan dapat dilakukan dengan (1) analisis hidrograf satuan, 2) berdasarkan faktor karakteristik fisik DAS yang berperan dalam proses air hujan menjadi aliran permukaan. Hidrograf satuan adalah hidrograf aliran langsung yang disebabkan oleh satu satuan hujan efektif yang jatuh merata di seluruh DAS dalam waktu tertentu. Metode yang digunakan untuk pendugaan koefisien limpasan dengan mendasarkan karakteristik fisik DAS antara lain dikemukakan oleh Meijerink (1970), Bransby dan William dalam Meijerink (1974), dan model yang dikembangkan oleh Cook seperti yang dijelaskan Chow (1964) dan Meijerink (1970). Dalam model Cook faktor-faktor karakteristik fisik DAS yang dipertimbangkan adalah relief, infiltrasi tanah vegetasi penutup, dan limpasan permukaan (Gunawan, 1992).

BTP DAS Surakarta sejak tahun 1974 menyelenggarakan kegiatan monitoring terhadap 13 DAS yang meliputi sub DAS Padas, Tapan, Ngunut I, Ngunut II, Keduang, gobeh, Temon, Wader, Duren, Alang, Plawatan, Ungu, dan Wuryantoro. Tujuan kegiatan ini adalah untuk mengetahui hubungan antara masukan (hujan), kondisi morfometri dan biofisik DAS dengan keluaran DAS. Kegiatan pengamatan Stasiun Arus

Sungai (SPAS) meliputi pengamatan (1) curah hujan, harian, hujan maksimum, dan jumlah hari hujan, (2) tinggi muka air untuk menghitung debit aliran yang meliputi debit aliran tahunan, maksimum, limpasan, koefisien limpasan, dan (3) suspensi (kadar Lumpur). Berdasarkan laporan tahun 1999/2000 hasil pengamatan terhadap 13 sub DAS menunjukkan bahwa debit maksimum mengalami kecenderungan peningkatan mulai tahun 1997 ke tahun 1998 yang terjadi pada seluruh sub DAS. Koefisien limpasan DAS Wuryantoro tahun 1997 sebesar 0,63, tahun 1998 sebesar 0,50. Hal ini berarti sebagian besar hujan masih menjadi limpasan, meskipun besarnya koefisien limpasan masih terbatas pada klasifikasi kondisi sub DAS yang cukup normal-sedang. Oleh karena itu, kegiatan monitoring masih terus dilakukan dalam rangka untuk menduga keadaan laju sedimentasi.

Data permukaan bumi hasil perekaman dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh telah dilakukan sejak tahun 1919 (Howard, 1990). Hingga saat ini, pemanfaatan data penginderaan jauh masih perlu terus dikembangkan. Salah satu kemungkinan pemanfaatan data penginderaan jauh yang dapat dikembangkan adalah untuk pendugaan koefisien limpasan yang mendasarkan karakteristik fisik DAS.

Citra penginderaan jauh menyajikan kenampakan obyek sesuai dengan

ujud dan letaknya di permukaan bumi, dan relatif lengkap. Dengan demikian, citra penginderaan jauh sangat berguna dalam mengamati keadaan medan serta analisis keruangan. Pendekatan keruangan dapat dilakukan dengan baik melalui citra penginderaan jauh, karena hubungan antar obyek dalam ruang dapat diamati dengan jelas (Dulbahri, 1992).

Dari uraian tersebut diperoleh gambaran bahwa untuk memprediksi koefisien limpasan suatu DAS dapat dilakukan dengan pendekatan karakteristik lingkungan fisik DAS. Karakteristik lingkungan fisik DAS dapat diinterpretasi dari foto udara.

Citra penginderaan jauh yang digunakan dalam penelitian ini adalah foto udara inframerah berwarna. Film inframerah berwarna dirancang untuk merekam saluran hijau, saluran merah, dan saluran inframerah hingga panjang gelombang 0,9 mm. Foto udara inframerah berwarna mempertajam bayangan, memperbesar kontras antara air dan obyek sekitarnya, dan menyajikan warna menonjol (Avery dan Berlin, 1985; Schawars, 1985; Lo, 1976 dalam Sutanto, 1987). Perujudan memanjang, daerah rembesan, permukaan tererosi, tipe erosi, tipe vegetasi, vegetasi yang mati, dan pola aliran mudah dikenali pada foto udara inframerah (Stephens, 1976 dalam Sutanto, 1987).

Berdasarkan uraian tersebut, penulis melakukan penelitian dengan judul

"Aplikasi Foto Udara Inframerah Untuk Prediksi Koefisien Limpasan di DAS Wuryantoro, Kabupaten Wonogiri". Adapun permasalahan yang dapat dikemukakan adalah:

1. Seberapa mampu teknik penginderaan jauh dapat mengidentifikasi faktor-faktor karakteristik fisik DAS yang digunakan untuk prediksi koefisien limpasan.
2. Berapa besar koefisien limpasan daerah penelitian.

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menguji kemampuan teknik penginderaan jauh untuk identifikasi karakteristik lingkungan fisik DAS untuk memprediksi koefisien limpasan.
2. Memprediksi koefisien limpasan daerah penelitian.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengambil lokasi di DAS Wuryantoro. Daerah penelitian merupakan salah satu bagian dari daerah tangkapan Waduk Wonogiri. Luas daerah penelitian adalah 3.269,82 Ha. Berdasarkan letak bujur dan lintang DAS Wuryantoro terletak antara 110°48'27,79" BT dan 110°52'32,2" BT serta antara 7°49'55,93"LS dan 7°54'38,73"LS.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penginderaan jauh dengan teknik interpretasi. Langkah yang ditempuh dalam penelitian ini, pertama adalah menentukan satuan

pemetaan yang digunakan; kedua, melakukan interpretasi faktor-faktor lingkungan fisik yang digunakan dalam prediksi koefisien limpasan; ketiga, menghitung koefisien limpasan tiap satuan lahan.

Peta satuan lahan disusun dari tumpang susun peta bentuklahan, peta lereng, peta jenis tanah, dan peta penggunaan lahan. Peta bentuklahan dibuat berdasarkan interpretasi foto udara dan data bantu berupa peta geologi dan peta topografi. Delineasi satuan bentuklahan didasarkan pada kesamaan relief, material, dan proses geomorfologi yang terjadi. Pada foto udara yang bertampalan kesan relief tampak jelas. Dalam penelitian ini untuk menentukan material penyusun bentuklahan didasarkan pada peta geologi yang kemudian diuji di lapangan. Peta geologi yang digunakan adalah peta geologi skala 1:100.000.

Karakteristik lingkungan fisik DAS yang dipertimbangkan:

Topografi (relief)

Diklasifikasikan menurut pengaruhnya terhadap aliran permukaan.

Infiltrasi tanah:

Diklasifikasikan menurut kemampuan tanah untuk meresapkan air hujan.

Simpanan permukaan:

Diklasifikasikan menurut keadaan depresi permukaan yang ada, atau kemampuan tanah untuk mengurangi.

Vegetasi penutup:

Diklasifikasikan menurut kemampuan tanah untuk menghambat aliran permukaan.

Sumber: Gunawan (1991)

Proses geomorfologi dalam penelitian ini adalah torehan (kikisan) dengan tingkat kikisan ringan, sedang, dan berat. Proses geomorfologi tidak dapat diidentifikasi secara langsung pada foto udara, tetapi berdasarkan hasil proses yang ditinggalkan dapat diduga proses yang telah terjadi.

Kondisi topografi (relief) permukaan dinyatakan dengan kemiringan lerengnya. Pengukuran lereng dalam penelitian ini dilakukan melalui foto udara. Peta penggunaan lahan diinterpretasi dari foto udara. Jenis tanah tidak diinterpretasi pada foto udara, tetapi berdasarkan pada peta jenis tanah yang sudah ada.

Faktor-faktor Untuk Prediksi Koefisien Limpasan

Besar koefisien limpasan tiap satuan lahan diduga menggunakan tabel penentuan koefisien aliran yang dikembangkan dalam metode Cook (Tabel 1).

Tabel 1. Karakteristik DAS yang Dapat Menghasilkan Aliran untuk Penentuan w Dalam Tabel Metode Cook

Karakteristik DAS yang dipertimbangkan	Karakteristik yang menghasilkan aliran			
	100 (ekstrem)	75 (tinggi)	50 (normal)	25 (rendah)
Relief (w)	Medan terjal kasar dengan lereng rata-rata umumnya di atas 30% (40)	Perbukitan dengan lereng rata-rata antara 10 – 30 % (30)	Bergelombang dengan lereng rata-rata antara 5 – 10% (20)	Lahan relatif datar, dengan lereng 0 – 5% (10)
Infiltrasi tanah (w)	Tidak ada penutup tanah efektif, lapisan tanah tipis, kapasitas infiltrasi diabaikan (20)	Lambat untuk menyerap air, material liat atau tanah dengan kapasitas infiltrasi rendah (15)	Lempung dalam, dengan kapasitas infiltrasi sejenis dengan tanah-tanah prairi (10)	Pasir dalam atau tanah lain mampu menyerap air cepat (5)
Vegetasi penutup (w)	Tidak ada tanaman penutup efektif atau sejenisnya (20)	Tanaman penutup sedikit hingga sedang, tidak ada tanaman pertanian dan penutup alami sedikit, kurang dari 10% DAS tertutup baik (15)	Kira-kira 50% DAS tertutup baik oleh pohon-pohonan dan rumput (10)	Kira-kira 90% DAS tertutup baik oleh rumput, kayu-kayuan atau sejenisnya (5)
Simpanan permukaan (w)	Diabaikan: beberapa depresi permukaan dan dangkal, alur drainase terjal dan kecil (20)	Rendah: Sistem alur-alur drainase kecil dan mudah dikenali (15)	Normal: Simpanan depresi dalam bentuk danau, rawa atau telaga tidak lebih 2% (10)	Tinggi: Simpanan depresi permukaan tinggi, sistem drainase sukar dikenali, banyak dijumpai danau, rawa atau telaga (5)

Sumber: Meijerink, 1970

Topografi (relief)

Kondisi topografi (relief) permukaan dinyatakan dengan kemiringan lerengnya. Pengukuran lereng dalam penelitian ini dilakukan melalui pengukuran pada pasangan foto udara yang bertampalan, dalam hal ini adalah tampalan depan (*endlap*).

Caranya dengan menghitung kotangen (cotg) sudut kemiringan lereng permukaan dengan bantuan alat paralaks meter dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Cotg } a = \frac{P_a \cdot d}{\Delta P_{ab} \cdot f} + \frac{d}{f} \quad \dots (1)$$

Keterangan:

Cotg a : kemiringan lereng (°)

P_a : paralaks absolut (mm)

ΔP_{ab} : beda paralaks antara titik a dan titik b

d : jarak horisontal pada foto udara (cm) antara a dan b

f : panjang fokus kamera (mm)

(Sumber: Verstaappen, 1983).

Pengukuran lereng didasarkan pada perbedaan paralaks antara puncak dan lembah yang kemudian dimasukkan pada rumus (1).

Infiltrasi

Infiltrasi tanah diduga pada setiap satuan lahan, dan diklasifikasikan secara kualitatif dengan kriteria lambat, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Hasil interpretasi kemudian diuji di lapangan. Hasil uji lapangan ini dimasukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Laju Infiltrasi Menurut Richard dan Cossens (1965)

Laju infiltrasi	laju infiltrasi (mm/jam)
sangat lambat	< 2,5
Lambat	2,5 - < 15,0
Sedang	15,0 - < 28,0
Tinggi	≥ 28,0

Sumber: ILRI (1974) dalam Gunawan (1991)

Vegetasi penutup

Vegetasi penutup (vegetal cover) yang dimasukkan adalah penutup lahan yang berupa tanaman atau vegetasi. Interpretasi penutup lahan berdasarkan pada klasifikasi penutup lahan dari Malingreau (dengan modifikasi) kemudian disesuaikan dengan klasifikasi vegetasi penutup dalam metode Cook (Tabel 3). Penyesuaian klasifikasi ini dilakukan setelah uji lapangan.

Simpanan permukaan

Simpanan air permukaan dinilai berdasarkan keberadaanya pada

permukaan DAS, baik ditinjau dari jenis maupun kerapatannya. Dalam penelitian ini peranan simpanan permukaan dalam mempercepat atau memperlambat aliran permukaan didekati dari kondisi kerapatan alur sungai/kerapatan drainasenya. Klasifikasi kerapatan drainase mengikuti pembagian Linsley (1949) menurut kemampuan DAS dalam menunjukkan cepat kering atau selalu mengalami penggenangan (Tabel 4).

Koefisien aliran setiap satuan lahan adalah jumlah semua skor (total) dari komponen-komponen fisik DAS yang dipertimbangkan dan dihitung secara tertimbang. Koefisien aliran dalam DAS yang adalah jumlah koefisien aliran satuan lahan yang terkandung dalam DAS yang bersangkutan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian yang penulis lakukan adalah prediksi koefisien limpasan dengan memanfaatkan data penginderaan jauh berupa foto udara inframerah dan perangkat sistem informasi geografis. Satuan pemetaan yang digunakan dalam penelitian ini adalah satuan lahan. Prediksi koefisien limpasan metode Cook.

Foto udara digunakan sebagai sumber data utama untuk penyadapan parameter fisik lahan, baik untuk pembuatan peta satuan lahan maupun dalam pengukuran dan interpretasi faktor-faktor yang digunakan dalam metode Cook. Perangkat Sistem

Tabel 3. Penyesuaian Klasifikasi Penutup Lahan dari Malingreau (dengan Modifikasi) terhadap Klasifikasi Vegetasi Penutup dalam Metode Cook

Klasifikasi Vegetasi dalam metode Cook	Harkat	Klasifikasi penutup lahan menurut Malingreau (dengan modifikasi)
Tidak ada tanaman penutup efektif atau sejenisnya	20	Tegalan, sawah tadah hujan
Tanaman penutup sedikit hingga sedang, tidak ada tanaman pertanian dan penutup alami sedikit, kurang dari 10% DAS tertutup baik	15	sawah irigasi, semak
Kira-kira 50% DAS tertutup baik oleh pohon-pohonan dan rumput	10	permukiman, kebun campur, hutan kurang rapat
Kira-kira 90% DAS tertutup baik oleh rumput, kayu-kayuan atau sejenisnya	5	hutan rapat

Sumber: Chow (1964) dan Meijerink (1970)

Informasi Geografis digunakan dalam pembuatan peta, analisis peta berupa tumpang-susun, untuk penghitungan panjang dan luas obyek.

Lereng diukur pada pasangan foto udara yang bertampalan. Foto udara diamati di bawah stereoskop cermin, sehingga diperoleh kenampakan tiga dimensi. Pada foto udara setiap bidang

lereng didelineasi dan diukur lerengnya. Setelah dilakukan delineasi dan pengukuran lereng, dilakukan klasifikasi kelas lereng. Hasil pengukuran lereng dari foto udara diuji di lapangan. Berdasarkan uji lapangan pada daerah sampel diperoleh diperoleh besarnya kesalahan 12,33 % atau ketelitian 87,67%. kesalahan ini dapat diakibatkan ketidaktepatan dalam menempatkan tanda apung

Tabel 4. Penyesuaian Milai Kelas Kerapatan Drainase terhadap Kondisi Simpanan Permukaan

Nilai kerapatan Aliran (mil/mil ²)	Klasifikasi metode Cook
> 5	Simpanan permukaan diabaikan, pengeringan cepat, tidak dijumpai danau dan sejenisnya
2 – 5	Simpanan permukaan sedikit, pengeringan baik, tidak dijumpai danau dan sejenisnya
1 – 2	Dijumpai beberapa simpanan permukaan, kurang dari 2% luas DAS terdiri dari danau dan rawa-rawa
< 1	Simpanan permukaan tinggi, sistem drainase kurang dapat dikenali, banyak dijumpai danau, telaga dan rawa

Sumber: Linsley (1949) yang Dimodifikasi Gunawan (1991)

(floating mark) dari paralaks meter pada foto udara. Tanda apung yang seharusnya tepat pada permukaan tanah, tetapi kadang jauh di atas atau di bawah permukaan sudah dibaca. Hal ini yang menyebabkan kesalahan dalam pembacaan batang paralaks.

Penggunaan lahan diinterpretasi pada foto udara. Pengenalan bentuk penggunaan lahan didasarkan atas unsur-unsur interpretasi yang berupa rona, tekstur, bentuk, pola, situs, dan asosiasi. Berdasarkan hasil interpretasi dan uji lapangan, daerah penelitian dapat dibedakan tujuh bentuk penggunaan lahan, yakni hutan, kebun campur, tegalan, sawah irigasi, sawah tadah hujan, permukiman dan semak. Dari hasil interpretasi kemudian diambil sampel untuk uji lapangan. Berdasarkan hasil uji lapangan ternyata terdapat kesalahan sebesar 11,5%, atau ketelitian hasil interpretasi sebesar 88,5%. Kesalahan ini kemungkinan disebabkan karena waktu pemotretan dan uji lapangan ada selang waktu 10 tahun, sehingga dalam kurun waktu tersebut sudah terjadi perubahan bentuk penggunaan lahan di beberapa tempat.

Simpanan permukaan berupa ledokan, tubuh air (danau, rawa) dan genangan air permukaan lainnya. Simpanan permukaan mudah diinterpretasi pada foto udara inframerah. Kenampakan yang berupa ledokan, baik yang kering maupun yang terisi air mudah dikenali pada foto udara inframerah.

Besar koefisien limpasan tiap satuan lahan diduga menggunakan tabel penentuan koefisien aliran yang dikembangkan dalam metode Cook. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien limpasan DAS Wuryantoro adalah 0,68. Berdasarkan analisis data hujan pada kejadian hujan 1 mei 2000 besarnya koefisien limpasan DAS Wuryantoro sebesar 0,59. Ketelitian pendugaan dengan metode Cook mengalami penyimpangan sebesar 13,1% atau mempunyai kesamaan 86,9%. Koefisien limpasan 0,68 mempunyai arti bahwa sebagian besar hujan yang jatuh menjadi limpasan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Teknik penginderaan jauh khususnya menggunakan foto udara inframerah berwarna skala 1:10.000 dapat digunakan untuk identifikasi parameter fisik lahan yang berkaitan dengan prediksi koefisien limpasan. Ketelitian hasil interpretasi adalah penggunaan lahan sebesar 88,5%, besar sudut lereng 87,67%, koefisien limpasan mempunyai ketelitian 86,9%.
2. Hujan yang jatuh di daerah penelitian sebagian besar masih menjadi limpasan. Hal ini ditunjukkan dengan koefisien limpasan sebesar 0,68.

PUSTAKA

- Aronoff, S. 1991. *Geographic Information Systems: A Management Perspective*, WDL Publication, Canada.
- Dulbahri. 1992. Pemanfaatan Foto Udara Inframerah Berwarna Untuk Kajian Airtanah dan Pemetaan Airtanah di Daerah Pengaliran Sungai Progo. *Disertasi*. Fakultas Pasca Sarjana, UGM, 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 Pasca Sarjana, IPB, Bogor.
- . 1992. Penginderaan Jauh Terapan Untuk Hidrologi. *Diktat*. Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta.
- et al. 1995. Upaya Rehabilitasi dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah Aliran Sungai, *Prosiding*. Fakultas Geografi UGM-Kantor Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Howard, John A. 1990. *Remote Sensing of Forest Resources – Theory and Application*, Chapman and Hall, Melbourne.
- Lillesand, T.M., and Kiefer, R.W. 1987. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley and Sons, New York.
- Meijerink. 1970. *Photo Interpretation in Hydrology, A Geomorphological Approach*. Enschede, Netherland.
- Sutanto. 1987. *Penginderaan Jauh Jilid 2*. Gadjah University Press, Yogyakarta.
- Van Zuidam, R. A. and Van Zuidam-Cancelado, F.I. 1979. *Terrain Analysis and Classification Using Aerial Photograph Geomorphological Approach*. ITC, Enschede, Netherlands.
- Verstappen, H.Th. 1977. *Remote Sensing in Geomorphology*. Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.