BASEFLOW SEBAGAI VARIABEL HIDROLOGIS DAERAH ALIRAN SUNGAI, STUDI KASUS 30 DAS DI PULAU BALI[1]

Oleh:
M. Saparis Soedarjanto[2]
[2]Balai Pengelolaan DAS Bone Bolango, Gorontalo
Jl. Yusuf Hasiru No. 164 Po.Box 47 Limboto Kab. Gorontalo
Telepon/Fax.: (0271) 716709 ; Fax (0271) 716959
Email: saparis68@yahoo.com

ABSTRAK

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan salah satu bentuk bentang lahan yang kondisinya sangat ditentukan oleh proses-proses permukaan. Dalam hal ini, air merupakan pelaku utama dalam mempengaruhi rona permukaan lahan suatu sistem DAS melalui proses penorehan (dissection). Kondisi tersebut menjadi konsideran penting digunakannya limpasan sebagai parameter penilaian kinerja DAS. Sudah menjadi sebuah thesis bahwa kondisi limpasan memiliki keterkaitan signifikan dengan tingkat penorehan.

Kondisi limpasan suatu DAS dipresentasikan sebagai hidrograf yang terdiri atas limpasan langsung, interflow dan baseflow. Berbagai variabel hidrologi telah banyak digunakan untuk penilaian kinerja DAS yang mencakup fluktuasi aliran (koefisien variansi dan koefisien rejim aliran) dan tingkat alih ragam hujan menjadi aliran (koefisien limpasan). Variabel-variabel tersebut diperoleh melalui analisis terhadap limpasan langsung. Baseflow kurang diposisikan sebagai variabel penentu kondisi DAS, padahal secara substantif justru paling merepresentasikan hasil interaksi antar atribut-atribut bentang lahan DAS secara komprehensif (menggambarkan interaksi komposit antara aspek penutupan lahan, morfologi DAS, morfometri DAS, tanah, dan geologi).

Baseflow diperoleh dari pemisahan hidrograf aliran menggunakan metode digital filtering dengan software ABSCAN. Metode ini dinilai lebih akurat dibandingkan metode manual (stright line, fixed based maupun master depletion curve). Indikator yang dapat digunakan untuk menilai variabel baseflow adalah koefisien baseflow dan koefisien resesi baseflow. Dalam tulisan ini digunakan indikator koefisien resesi baseflow, karena mampu menggambarkan trend perubahan kondisi baseflow sebagai akibat adanya variabilitas kondisi atribut-atribut lahan. Penelitian ini dilaksanakan pada 30 DAS di Pulau Bali. Hasil analisis regresi linier sederhana dan berganda menunjukkan bahwa baseflow dipengaruhi oleh tutupan vegetasi (KT), kerapatan aliran (Dd), kemiringan rerata DAS (Sb) dan laju infiltrasi tanah (IR). Hasil tersebut konsisten dengan penerapan analisis statistik multivariate dengan teknik clustering yang menunjukkan bahwa DAS-DAS dengan tingkat KT, Dd, Sb dan IR yang hampir sama mengelompok pada satu kategori. Analisis-analisis tersebut dilakukan setelah hasil pengujian nilai ketercukupan sampel seluruh variabel memenuhi syarat karena memiliki nilai Keiser Meyer Olkin – Measure of Sampling Adequacy (KMO-MSA) sebesar 0,602 (lebih dari 0,5).

Kata Kunci: B*aseflow*, interaksi, komposit, variabel

[1]Disampaikan dalam Seminar Nasional Restorasi DAS : Mencari Keterpaduan di Tengah Isu Perubahan Iklim diselenggarakan atas kolaborasi dari BPTKPDAS, Pascasarjana UNS dan Fakultas Geografi UMS di Surakarta, pada tanggal 25 Agustus 2015.

I. PENDAHULUAN

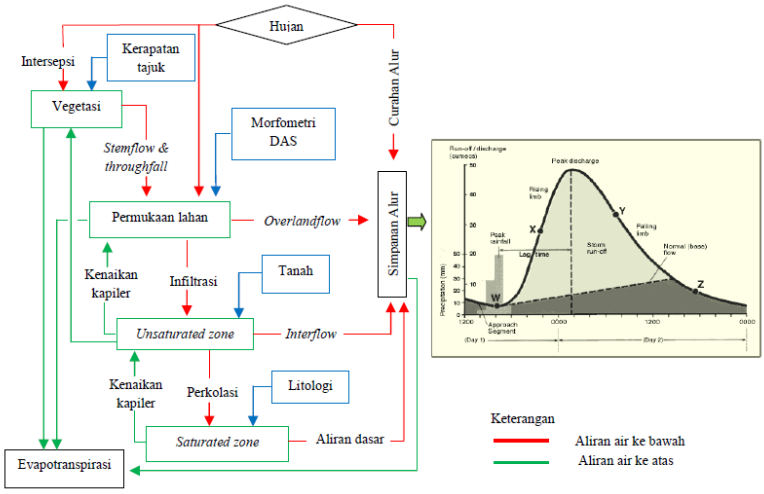
1.1 Latar Belakang

Dalam formulasi strategi pembangunan berkelanjutan, identifikasi kondisi obyektif sumber daya menurut ekosistem alami merupakan suatu keharusan, dan Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan unit yang relevan untuk penilaian dimaksud. Pengelolaan DAS dapat menjadi pijakan dan sekaligus kerangka solusi permasalahan global yang terkait dengan ketahanan pangan, air dan energi. FAO (1985) menyatakan bahwa kebijakan pengelolaan DAS merupakan langkah strategis dalam pemenuhan barang dan jasa tanpa berakibat pada kerusakan tanah, air dan sumber daya alam lainnya, sehingga penting untuk menjamin ketahanan pangan dalam konteks hubungan hulu dan hilir.

Secara substantif, pengelolaan DAS merupakan upaya pengendalian limpasan dan proteksi tanah. Upaya tersebut melibatkan berbagai atribut lahan seperti tanah, air, fisiografi, vegetasi, manusia, bahkan faktor geologi. Pengelolaan DAS dimaksudkan untuk mengelola interaksi berbagai atribut tersebut secara komposit dalam me-respon faktor input (baca: hujan), sehingga limpasan terkendali. *Output* tersebut mempengaruhi hampir sebagian besar rona permukaan lahan suatu DAS, dan berimplikasi pada sumber daya DAS secara menyeluruh, termasuk air tanah. Tingkat penorehan (*dissection*) merupakan presentasi hasil berbagai interaksi antar atribut lahan yang berlangsung, dimana limpasan merupakan pelaku utamanya. Bentuk dan intensitas interaksi yang terjadi bervariasi antara tempat yang satu dengan lainnya, sehingga dihasilkan konfigurasi permukaan yang bervariasi pula. Kesesuaian variasi spasial antar atribut-atribut lahan tersebut disebut sebagai kovariasi spasial (Sutanto, 1994).

Kovariasi spasial merupakan ekspresi dari paradigma geomorfologi,dan menurut Holt-Jensen (1999) didefinisikan sebagai cara pandang atas fenomena bentang lahan yang digunakan untuk menjelaskan berbagai macam proses dan karakteristik komponen bentang lahan yang terbentuk. Total limpasan merupakan salah satu komponen bentang lahan yang terbentuk melalui proses yang panjang

dan melibatkan berbagai komponen bentang lahan lainnya. Mengenali kondisi hidrologis dan geomorfologis wilayah merupakan perwujudan dari penerapan paradigma proses-bentuk sebagaimana dinyatakan Harrison (2006). Kondisi hidrologi dipresentasikan dalam bentuk hidrograf yang menggambarkan interaksi berbagai komponen bentang lahan sebagai respon terhadap hujan ke dalam sistem DAS. Analisis kondisi bentang lahan berdasarkan aspek hidrologi mengacu pada karakteristik hidrograf yang dicatat stasiun hidrometri (Stasiun Pengamat Arus Sungai, SPAS).



Gambar 1.1. Diagram sistem hidrologi skala lokal/ regional (Ward, 1974).

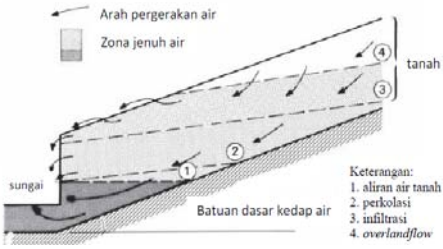
Pengaruh kondisi lahan dalam transformasi hujan menjadi aliran merupakan fokus penelitian ini. Geomorfologi, geologi, tanah, dan penutupan lahan merupakan atribut-atribut ruang yang secara faktual mempengaruhi pergerakan dan transformasi hujan menjadi aliran permukaan maupun air tanah. Interaksi antar atribut ruang merupakan pelaku transformasi hujan menjadi aliran.

Mekanisme pergerakan air dan transformasi hujan dalam skala lokal dan Regional secara skematis disajikan pada Gambar 1.1. Berbagai analisis hidrologi fokus pada limpasan, sementara itu aliran dasar (*baseflow*) tidak banyak digunakan. Berdasarkan Gambar 1.1. dapat diketahui bahwa aliran dasar merupakan unsur aliran sungai yang

paling merepresentasikan gambaran holistik aspek hidrologi dalam penilaian respon lahan terhadap hujan.

Berbagai hasil survei dan penelitian menunjukkan bahwa kondisi sumber daya air di Pulau Jawa dan Bali, sudah termasuk kategori kritis. Hasil perhitungan neraca air pada musim kemarau tahun 2003 dan prediksi tahun 2020 untuk pulau-pulau di Indonesia, Pulau Jawa dan Bali pada tahun 2003 mengalami defisit sebesar 13,1 miliar m^3. Pada tahun 2020 besarnya defisit meningkat cukup signifikan, yaitu menjadi 18,8 miliar m^3. Indeks ketersediaan air Pulau Jawa dan Pulau Bali, dimana 60% penduduk Indonesia bermukim, berdasarkan survei tahun 1986 sebesar 1.750 m3/kapita/th, termasuk kategori kritis menurut klasifikasi *World Water Resources Institut* (Weert, 1994). Silang pendapat terkait dengan faktor-faktor dominan yang berpengaruh perlu dibuktikan secara ilmiah, dan aliran dasar merupakan salah satu indikator penting yang dapat dipergunakan untuk penilaian kondisi sumber daya air pada musim kemarau. Penilaian tersebut perlu dilakukan karena defisit sumber daya air mempunyai implikasi dan mencakup aspek yang cukup luas baik sektor pangan, energi (listrik), industri, domestik, maupun sektor-sektor lainnya.

Dari perspektif kehutanan sendiri, penilaian pengaruh vegetasi (tegakan) terhadap kondisi hidrologis DAS sering dinilai secara individual, padahal berdasarkan skema pada Gambar 1.1. peran vegetasi bersifat kombinatif dengan faktor-faktor fisik lahan lainnya. Penentuan indeks dalam penilaian kinerja DAS misalnya, menempatkan tutupan vegetasi sebagai faktor dominan dengan nilai indeks yang tinggi. Padahal secara substantif limpasan merupakan *gravitative process*, sehingga faktor kemiringan lereng menjadi dominan, namun demikian hal tersebut juga terkait dengan sifat fisik tanah dan konfigurasi topografisnya. Terkait hal tersebut maka penilaian komposit faktor-faktor yang mempengaruhi aliran dasar perlu dilakukan.

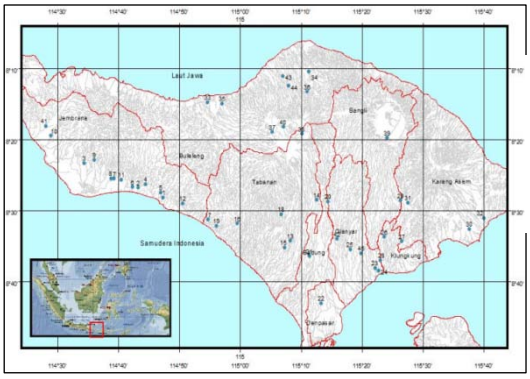


Gambar 1.2.

Air tanah mengisi saluran sebagai aliran dasar (Knapp, 2002)

Sumber air utama aliran dasar adalah air tanah. Air yang terinfiltrasi ke dalam tanah dapat terus turun dan tertampung pada tampungan air tanah, atau bergerak secara lateral pada lapisan tanah yang miring dan selanjutnya muncul ke permukaan tanah pada tekuk lereng (*break of slope*) sebagai *throughflow* atau masuk ke tubuh saluran sungai sebagai *interflow* (Fetter, 1980). Air terinfiltrasi yang mencapai *water table* dan tersimpan dalam reservoir air tanah tidak bersifat statis. Air tanah bergerak secara konstan, dan apabila mengalir dan keluar ke tubuh saluran, disebut sebagai aliran dasar.

Penelitian ini dilaksanakan di Pulau Bali, khususnya pada DAS-DAS yang di bagian *outlet*-nya terdapat Stasiun Pengamat Arus Sungai (SPAS) dan datanya terekam dengan baik (Gambar 1.3.).Dari 45 SPAS yang ada, terdapat 30 yang datanya cukup handal untuk dianalisis, sehingga dipilihlah 30 DAS sebagai sasaran penelitian. Kondisi 30 DAS tersebut mempunyai variasi karakteristik fisik lahan, yang dicirikan oleh kondisi morfometri, penutupan lahan, jenis tanah dan batuan. Berdasarkan variasi kondisi fisik yang ada di Pulau Bali, maka dapat diperoleh gambaran kovariasi spasial aliran dasar menurut kombinasi berbagai variabel.



Gambar 1.3.

Peta Sebaran Lokasi SPAS di P. Bali

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui beberapa hal yang terkait dengan aliran dasar, yaitu:

1) Hubungan matematis aliran dasar dengan variabel-variabel fisik DAS;
2) Komponen-komponen fisik DAS yang penting dalam mengontrol aliran dasar;
3) Tipologi DAS berdasarkan kovariasi spasial aliran dasar.

1.3 Manfaat Penelitian

Manfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1) Diketahuinya faktor-faktor dominan yang mempengaruhi resesi aliran dasar DAS;
2) Diketahuinya peran vegetasi dan keterkaitannya dengan aspek-aspek morfometri DAS, jenis batuan dan sifat tanah dalam mempengaruhi resesi aliran dasar;
3) Diketahuinya kovariasi spasial aliran dasar DAS-DAS di Pulau Bali.

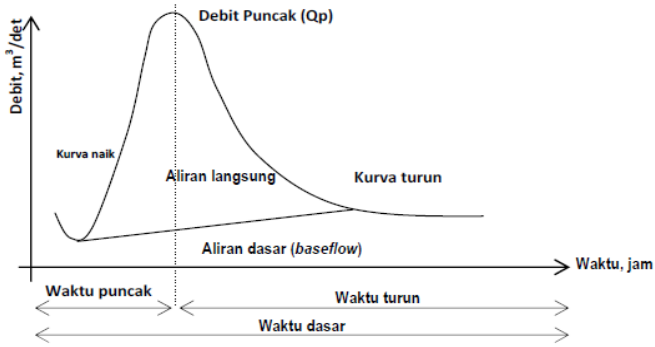
II. METODE PENELITIAN

2.1 Aliran Dasar

Aliran dasar merupakan komponen utama sungai *perennial* pada musim kering, yang dalam hal ini disebabkan oleh muka air tanah (*water table*) dan tidak pernah di bawah dasar sungai (tipe sungai *influent*). Pada suatu model DAS, aliran dasar didefinisikan sebagai pengatusan dari tubuh air tanah yang mempunyai tinggi muka air di atas dasar sungai (Haan *et al*., 1982). Aliran dasar mengalami resesi apabila tidak ada imbuhan air ke tubuh air tanah. Harto (1991) mengatakan bahwa resesi merupakan pengatusan air tanah, dan dimulai dari suatu titik pada hidrograf, bila limpasan permukaan ke dalam sungai telah berhenti (*inflection point*). De Vries (1975) menganalogikan pengatusan sebagai model pengosongan sebuah

bejana. Penurunan muka air tanah menyebabkan jumlah aliran yang berpartisipasi dalam pengeluaran air tanah juga menurun.
Hingga saat ini karakteristik aliran dasar yang dapat diukur dan dihitung adalah resesinya (sebagai koefisien resesi). Berbagai literatur dan publikasi yang relevan menggunakan hidrograf aliran sebagai visualisasi kondisi resesi aliran dasar (Cao *et al.* , 2009; Kienzle ,2006; Huang dan Zhang, 2004 dalam Dou *et al*., 2008).

Koefisien resesi aliran dasar dihitung berdasarkan hasil visualisasi aliran dalam bentuk hidrograf aliran. Horton (dalam Schulz, 1976) mengatakan bahwa titik belok (*inflection point)* pada sisi resesi suatu hidrograf terjadi ketika timbunan air simpanan permukaan (*surface detention*) teratuskan. Pada beberapa kasus, setelah titik belok, aliran sungai berasal dari tampungan saluran (*channel storage*), aliran antara (*interflow*) dan aliran dasar.



Gambar 2.1. Komponen-komponen hidrograf aliran. Resesi *baseflow* dihitung setelah *inflection point* (Schulz, 1976)

Memperhatikan gambar 2.1., resesi aliran dasar dihitung setelah aliran dasar dipisahkan dari total limpasan dengan metode *digital filtering* menggunakan *software Automated Baseflow Separation for Canadian Dataset* (ABSCAN) (Lyne dan Hollick, 1979 dalam anonymus, 2006) sebagai berikut:

$$b_t = \alpha \times q_{t-1} + \frac{(1+\alpha)}{2} \times (Q_t - Q_{t-1}) \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan:
Q= debit *streamflow* (m^3/det) q= debit *direct runoff* (m^3/det)
bt= debit aliran dasar (m^3/det) α = parameter filter

Chapman (1991, dalam anonymus 2006) menegaskan bahwa persamaan Lyne dan Hollick mengandung kesalahan dalam menyajikan data limpasan dan aliran dasar yang konstan pada saat limpasan langsung (*direct runoff*) berhenti, sehingga dilakukan penyesuaian menjadi persamaan berikut:

$$bt = \frac{3\alpha - 1}{3 - \alpha} \times b_{t-1} + \frac{1-\alpha}{3-\alpha} \times (Q_t + Q_{t-1}) \quad \text{.....(2)}$$

Persamaan hasil penyempurnaan yang dibuat Chapman (2) digunakan dalam penelitian ini. Nilai α terbaik yang digunakan untuk persamaan (2) adalah 0,925 (Nathan dan McMahon, 1990).

Pada penelitian ini dipilih koefisien resesi aliran dasar sebagai besaran untuk menilai karakteristik aliran dasar. Pemilihan tersebut didasarkan atas pertimbangan bahwa koefisien tersebut mampu menggambarkan *trend* kondisi aliran dasar akibat adanya variabilitas kondisi atribut-atribut lahan baik dari aspek ruang (spasial) maupun waktu (temporal). Koefisien resesi aliran dasar diperoleh menggunakan rumus Barnes (Schulz, 1976) sebagai berikut:

$$Qt = Qo.K^t \quad \text{.....(3)}$$

Keterangan:
Qt = debit sesudah waktu t (m^3/det) K = koefisien resesi
Qo = debit permulaan (m^3/det) t diambil dalam interval waktu harian

2.2 Tingkat Kerapatan Tajuk

Salah satu komponen vegetasi yang dipertimbangkan dalam studi hidrologi adalah tingkat kerapatan tajuk. Tingkat kerapatan tajuk

sebagai fungsi dari potensi evapotranspirasi merupakan indikator yang digunakan sebagai parameter penilaian vegetasi pada penelitian ini. Menurut Schipkan *et al*. (2005) evapotranspirasi merupakan proses mendasar pada ekosistem terestrial. Dalam analisis aliran dasar, penilaian kapasitas evapotranspirasi mutlak diperlukan terkait peran langsung vegetasi dalam penyerapan air tanah. Proses tersebut menyebabkan berkurangnya tampungan air tanah dan mempengaruhi nilai koefisien resesi aliran dasar (Seyhan, 1977; Fetter, 1980; Chow, 1988; Knap, 2002, Schipkan *et al*. 2005).

Menurut Falkenmark (2001, dalam Seiler dan Gat, 2007) disamping faktor atmosferik, hutan merupakan faktor dominan yang mempengaruhi besarnya evapotranspirasi. Laju evapotranspirasi tegakan hutan tropika basah dataran rendah yang berada pada ketinggian 100 m dari permukaan laut (dpl) adalah sekitar 1.415 mm/th, sedangkan pada ketinggian 1750 m dpl sekitar 1225 mm/th. Sebagai perbandingan, rata-rata evapotranspirasi tanaman pertanian sekitar 1.100 – 1.200 mm/th (Bruijnzeel, 1990). Indikator yang digunakan dalam penilaian tersebut adalah indeks kerapatan tajuk (*Leaf Area Index*, LAI). LAI merupakan indikator tingkat penutupan tajuk yang menjadi fokus penelitian ini, karena merupakan faktor pengontrol terjadinya evapotranspirasi (Lee, 1980; Gutman dan Ignatof, 1998 dalam Jiang *et al*., 2006; Monteith, 1965 dalam Shelton, 2009) .

Pada penelitian ini digunakan penilaian indeks vegetasi yang paling umum dan banyak digunakan, yaitu NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) untuk pengukuran LAI. NDVI merupakan representasi dari kondisi tanaman dan kapasitas aparatus fotosintesis serta konsentrasi biomasanya (Groten, 1993; Loveland *et al*., 1991 dalam anonymus, 2010).Citra satelit yang digunakan untuk penilaian NDVI adalah Landsat 7 ETM+ yang penutupan awannya paling sedikit (minimal). Berdasarkan *quicklook* citra Landsat 7 ETM+, wilayah Bali mencakup 2 (dua) *scene* yaitu *path-row* 116-066 dan 117-066, dan dipilih citra hasil perekaman pada tanggal 28 Mei 2002 untuk *path-row* 117-066, dantanggal 21 Maret 2003 untuk *path-row* 116-066. Konsekuensi digunakannya 2 *scene* citra satelit tersebut adalah data aliran yang dianalisis pada penelitian ini disesuaikan dengan tahun 2 *scene* citra tersebut, yaitu tahun 2002 dan 2003.

2.3 Morfometri DAS

Morfometri DAS adalah ukuran kuantitatif aspek luas, panjang, bentuk dan relief suatu DAS (Seyhan, 1977). Beberapa unsur morfometri DAS yang dipergunakan dalam penelitian ini dipilih yang benar-benar menggambarkan respon limpasan dari sistem DAS terhadap input hujan dan benar-benar bersifat *independent* terhadap unsur-unsur morfometri lainnya (tidak terjadi auto-korelasi). Berdasarkan hasil pengujian tingkat *independentcy* 25 unsur morfometri DAS oleh Seyhan dan Keet (1981) dipilih unsur-unsur berikut ini:

1) Rata-rata kemiringan DAS (*mean slope of watershed, Sb*)
2) Faktor bentuk DAS (*shape of watershed, Rc*)
3) Kerapatan aliran (*drainage density, Dd*)

2.4 Infiltrasi Tanah

Laju infiltrasi merupakan parameter yang digunakan untuk penilaian kapasitas infiltrasi tanah pada penelitian ini. Pengukuran infiltrasi dilakukan pada setiap klas lereng menurut sistem lahan menggunakan *double ring infiltrometer*. Pada satu sistem lahan terdiri atas satu kombinasi batuan induk, tanah, dan topografi, iklim dan lainnya yang mencerminkan kesamaan potensi dan faktor-faktor pembatasnya. Berdasarkan konsep sistem lahan, maka pada satu sistem lahan kondisi kapasitas infiltrasinya relatif sama. Skala analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah skala 1:25.000. Titik pengamatan infiltrasi ditentukan pada setiap klas lereng berdasarkan peta topografi skala 1:25.000. Peta sistem lahan (skala 1:250.000) digunakan sebagai *guide* dalam penentuan titik pengukuran infiltrasi pada setiap klas lereng. Penggunaan peta sistem lahan dan peta lereng merupakan upaya untuk meningkatkan representasi nilai infiltrasi dan meminimalkan tingkat kesalahan akibat adanya variabilitas kapasitas infiltrasi di dalam DAS.

2.5 Analisis Statistik

Beberapa metode dan uji statistik yang dipergunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Uji normalitas data
   Screening terhadap normalitas data (dengan metode Kolmogorov-Smirnov merupakan langkah awal yang harus dilakukan untuk setiap analisis *multivariate*, khususnya untuk tujuan inferensi (Ghozali, 2006).
2) Uji linearitas
   Uji linearitas digunakan untuk menentukan spesifikasi model regresi yang akan digunakan. Berdasarkan hasil uji linearitas, ditentukan fungsi yang digunakan, yaitu apakah berbentuk linier, kuadrat atau kubik. Uji linearitas yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah uji Durbin Watson.
3) Korelasi dan regresi sederhana
   Analisis korelasi sederhana digunakan untuk menentukan derajat dan arah hubungan garis lurus (linier) antara dua variabel. Analisis regresi sederhana merupakan metode statistika untuk menentukan kemungkinan bentuk hubungan antara variabel *dependent* dan variabel *independent*. Nilai kebaikan model hubungan antar variabel ditentukan berdasarkan nilai koefisien determinasi yang menggambarkan seberapa besar variasi dari variabel *dependent* dapat dijelaskan oleh variasi dari *independent*.
4) Korelasi dan regresi berganda
   Analisis korelasi berganda digunakan untuk mengetahui hubungan dari beberapa variabel *independent* dengan variabel *dependent* yang digunakan pada penelitian ini. Analisis regresi berganda digunakan untuk menentukan kemungkinan bentuk hubungan antara variabel *dependent* dan beberapa variabel *independent*. Pada analisis regresi berganda juga dilakukan penilaian kebaikan model menurut nilai koefisien determinasi.
5) Analisis faktor
   Berdasarkan matriks korelasi pada hasil analisis regresi berganda, dapat diketahui hubungan antara sejumlah variabel *independent* yang digunakan pada penelitian ini. Analisis faktor dilakukan untuk mengidentifikasi struktur hubungan antar variabel dengan cara melihat korelasi antar variabel *independent*. Dua keluaran yang

diperhatikan pada analisis faktor adalah (1) nilai Kaiser-Meyer-Olkin *Measure of Sampling Adequacy* (KMO-MSA)untuk menentukan kelanjutan dari proses analisis faktor berdasarkan data seluruh variabel *independent* yang dianalisis, dan (2) nilai Eigen untuk menentukan jumlah faktor menurut kesamaan variabilitas datanya berdasarkan hasil ekstraksi.

6) Analisis *cluster*
   Prinsip analisis *cluster* adalah reduksi data dengan cara mengurangi informasi yang terkandung dalam sampel (dalam hal ini DAS) menjadi informasi yang lebih spesifik. Jika pada analisis faktor, pengelompokan dilakukan berdasarkan homogenitas variabel, maka analisis *cluster* melakukan pengelompokan menurut homogenitas obyek. Data penelitian ini memiliki variabilitas satuan, sehingga perlu dilakukan standardisasi atau transformasi terhadap data seluruh variabel dalam bentuk z *score* (sebagai indeks).

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hubungan Matematis Aliran Dasar dengan Variabel-variabel Fisik DAS

Hasil perhitungan seluruh variabel penelitian di 30 DAS sasaran penelitian disajikan pada Tabel 3.1**.** Rekapitulasi data pada Tabel 3.1. dipergunakan untuk menentukan hubungan matematis aliran dasar dengan variabel-variabel lainnya yang bersifat metrik dan merupakan data nominal. Dimasukkannya data non- metrik yaitu litologi digunakan untuk penentuan Tilologi DAS berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhi aliran dasar pada Sub Bab berikutnya.

Tabel 3.1. Rekapitulasi Data Seluruh Variabel Menurut DAS

NO	DAS	Luas (km^2)	Litologi	BCr	Dd (Km/km2)	Sb	Rc (km)	Infiltrasi mm/jam	Kerapatan Tajuk
1	Medewi	45,45	Andesit	0,94	4,13	0,50	9,60	5,32	0,58
2	Yeh Embang	42,49	Batupasir	0,97	2,84	0,29	13,43	4,75	0,65
3	Jogading	22,08	Batupasir	0,94	3,26	0,47	11,56	5,28	0,48
4	Yeh Satang	17,76	Andesit	0,92	4,11	0,60	8,41	5,28	0,69
5	Bilukpoh	15,04	Andesit	0,94	3,35	0,40	7,58	4,63	0,69
6	Pergung	20,82	Andesit	0,92	3,92	0,46	9,62	7,02	0,65
7	Daya Timur	30,37	Andesit	0,90	4,85	0,63	9,61	3,60	0,65
8	Sangiang Gede	48,27	Batupasir	0,97	2,50	0,25	14,90	3,24	0,52
9	Sungi	4,66	Tefra	0,97	2,82	0,11	4,17	3,93	0,41
10	Yeh Otan	144,87	Tefra	0,91	3,73	0,34	13,31	4,22	0,69
11	Yeh Leh	17,40	Andesit	0,93	4,22	0,40	11,66	5,49	0,69
12	Yeh Hoo	37,17	Tefra	0,99	2,63	0,28	16,09	6,81	0,52
13	Balian	12,10	Tefra	0,98	2,53	0,34	7,91	3,44	0,48
14	Sangsang	71,62	Tefra	0,96	2,29	0,18	13,55	5,23	0,52
15	Telagawaja	24,14	Tefra	0,99	2,53	0,20	11,10	12,83	0,58
16	Janga	29,21	Andesit	0,98	2,90	0,33	8,92	15,91	0,48
17	Buhu	7,39	Andesit	0,92	4,03	0,35	4,97	3,98	0,52
18	Nyuling	33,17	Aluvium	0,99	2,46	0,26	9,50	9,48	0,48
19	Sabah Titab	130,46	Tefra	0,93	2,58	0,37	12,94	3,13	0,55
20	Daya	78,21	Tefra	0,96	3,10	0,43	13,81	7,46	0,52
21	Mendaum	6,84	Tefra	0,99	2,28	0,35	4,50	8,27	0,38
22	Penarukan	31,99	Tefra	0,97	3,79	0,31	17,57	7,76	0,52
23	Melaya	24,50	Tefra	0,95	1,94	0,21	13,07	4,38	0,65
24	Oos	102,49	Tefra	0,97	2,41	0,17	17,66	5,42	0,52
25	Banyumala	20,17	Tefra	0,99	2,16	0,32	11,66	7,37	0,35
26	Buleleng	12,80	Andesit	0,91	4,31	0,43	7,13	4,99	0,72
27	Pakerisan	32,00	Tefra	0,92	4,84	0,21	9,63	4,28	0,58
28	Ayung	153,00	Tefra	0,92	2,69	0,35	18,05	3,55	0,72
29	Badung	6,73	Aluvium	0,98	1,74	0,04	5,94	6,80	0,45
30	Petanu	58,41	Tefra	0,94	2,63	0,19	11,96	4,94	0,48

Sumber: Hasil Analisis

Hubungan matematis antara aliran dasar dengan variabel-variabel fisik DAS diperoleh dari hasil uji statistik parametrik, sehingga harus dilakukan uji normalitas data. Hasil uji normalitas data BCr dengan metode Kolmogorov-Smirnov menunjukkan bahwa nilai *absolute* dari *most extreme difference* atau nilai D_{hitung} = 0,173. Nilai D_{tabel} untuk n = 30 dengan α = 5% adalah 0,242, yang berarti nilai $D_{hitung} < D_{tabel}$ yang berarti distribusi data BCr adalah normal. Nilai K-S adalah 0,897 dengan probabilitas signifikansi 0,397 (> α = 5%), yang berarti data variabel BCr terdistribusi secara normal dan dapat digunakan untuk uji statistik parametrik. Hasil pengujian dengan metode yang sama untuk variabel kerapatan aliran (Dd), kemiringan DAS (Sb), bentuk DAS (Rc) dan laju infiltrasi juga menunjukkan bahwa kesemuanya memiliki $D_{hitung} < D_{tabel}$, yang berarti seluruh variabel distribusi datanya normal. Bentuk dan kekuatan hubungan antar variabel ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2. Matriks Korelasi Variabel-variabel yang Dinilai

	BCr	KT	Dd	Sb	Rc	Infiltrasi
BCr	1,000					
KT	-0,711	1,000				
Dd	-0,743	0,539	1,000			
Sb	-0,554	0,443	0,645	1,000		
Rc	0,225	0,058	-0,320	-0,149	1,000	
Infiltrasi	0,533	-0,293	-0,206	-0,115	-0,078	1,000

Sumber: Hasil analisis

Tabel 3.2. menunjukkan bahwa variabel bebas yang mempunyai korelasi paling kuat dengan variabel tidak bebas (BCr) adalah Dd, kerapatan tajuk, Sb, dan infiltrasi. Selanjutnya dilakukan uji regresi berganda terhadap semua variabel yang digunakan untuk memperoleh bentuk hubungan seluruh variabel. Metode pemilihan variabel yang digunakan untuk uji regresi berganda adalah metode "*enter*" dengan memasukkan semua variabel dalam analisisnya tanpa ada seleksi terhadap anggota variabel yang memiliki kriteria baik (Santosa dan Ashari, 2005). Hasil dari penerapan metode "*enter*" menunjukkan beberapa hal sebagai berikut:

1) Koefisien korelasi berganda antara variabel-variabel bebas dengan variabel tidak bebas pada Tabel 3.2. adalah 0,911 dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,830 dan koefisien determinasi yang disesuaikan (*adjusted* R^2) sebesar 0,786 yang menunjukkan bahwa 78,6% variasi atau perubahan nilai koefisien resesi aliran dasar dapat dijelaskan oleh variasi atau perubahan dari seluruh variabel bebas yang ada, sedangkan 21,4% lainnya dipengaruhi oleh faktor lain;
2) Nilai F hitung sebesar 18,763 dengan nilai signifikansi 0,000, sedangkan nilai F_{tabel} dengan v_1 (numerator) = 6 dan V_2 (denumerator) = 23 adalah 2,53, hal tersebut menunjukkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan nilai signifikansi $< \alpha$ = 5 %, yang berarti koefisien determinasi signifikan secara statistik.
3) Hubungan antara variabel tidak bebas koefisien resesi aliran dasar (y) dengan variabel infiltrasi (x1), KT (x2), panjang DAS (x3), Dd (x4), Sb (x5), dan Rc (x6) berdasarkan nilai koefisien-koefisien *slope* sebagai berikut:

$$y = 1{,}081 - 0{,}003x1 - 0{,}313x2 - 0{,}002x3 - 0{,}011x4 - 0{,}027x5 + 0{,}002x6$$

4) Nilai signifikansi variabel-variabel bebas yang membentuk persamaan pada butir 3) ternyata ada yang lebih besar daripada α = 5%, yaitu Sb sebesar 0,327, yang berarti persamaan regresi yang dihasilkan tidak signifikan secara statistik.
5) Hasil analisis statistik di atas menunjukkan bahwa nilai koefisien resesi aliran dasar dikontrol oleh kombinasi faktor-faktor kerapatan tajuk, morfometri dan tanah.

Terkait butir 4) maka perlu digunakan metode "*stepwise*"untuk memperoleh persamaan terbaik. Metode ini menyeleksi variabel yang akan menjadi anggota persamaan regresi dengan melakukan pemilihan berdasarkan kriteria toleransi dari variabel (Santosa dan Ashari, 2005). Metode ini menentukan variabel-variabel bebas yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap variabel tidak bebas, dan tidak terjadi korelasi antar variabel bebas. Hasil penerapan metode "*stepwise*" sebagai berikut:

1) Variabel bebas yang masuk formula ini adalah Dd, infiltrasi dan kerapatan tajuk;
2) Variabel Sb yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap variabel tidak bebas (koefisien resesi aliran dasar) secara statistik, tidak masuk pada metode ini karena berdasarkan matriks korelasi pada Tabel 3.2, variabel tersebut mengalami auto-korelasi dengan variabel bebas lainnya (variabel Dd);
3) Bentuk-bentuk persamaan regresi berganda dengan metode *stepwise* disajikan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Persamaan Regresi Berganda dengan Metode *Stepwise*

No	Persamaan regresi	r	R^2
1	BCr = 1,029 - 0,025 Dd	0,743	0,551
2	BCr = 0,996 – 0,022 Dd + 0,004 infiltrasi	0,838	0,702
3	BCr = 1,094 – 0,016 Dd + 0,003 infiltrasi – 0,338 KT	0,887	0,786

Sumber: Hasil analisis

4) Nilai F_{hitung} model 1= 34,411 dengan nilai signifikansi 0,000, sedangkan nilai F_{tabel} dengan v_1 (numerator) = 1 dan V_2 (denumerator) = 28 adalah 4,226, hal tersebut menunjukkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan nilai signifikansi < α = 5 %, yang berarti koefisien determinasi adalah signifikan secara statistik;

5) Nilai F_{hitung} model 2 = 31,792 dengan nilai signifikansi 0,000, sedangkan nilai F_{tabel} dengan v_1 (numerator) = 2 dan V_2 (denumerator) = 27 adalah 3,362, hal tersebut menunjukkan bahwa $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan nilai signifikansi < α = 5 %, yang berarti koefisien determinasi adalah signifikan secara statistik;

6) Nilai F_{hitung} model 3 = 31,839 dengan nilai signifikansi 0,000, sedangkan nilai F_{tabel} dengan v_1 (numerator) = 3 dan V_2 (denumerator) = 26 adalah 2,948, sehingga $F_{hitung} > F_{tabel}$ dan nilai signifikansi < α = 5 %, yang berarti koefisien determinasi signifikan secara statistik;

7) Nilai signifikansi seluruh koefisien *slope*< α, artinya persamaan pada Tabel 3.2. signifikan secara statistik;

8) Tabel 3.2. menunjukkan bahwa persamaan ketiga dengan memasukkan variabel bebas Dd, infiltrasi dan kerapatan tajuk merupakan model yang terbaik dengan nilai korelasi (r) = 0,887 dan koefisien determinasi (R^2) = 0,786, yang lebih tinggi daripada model pertama dan kedua.

Hasil uji statistik tersebut menunjukkan bahwa keberadaan vegetasi ternyata mereduksi persediaan aliran dasar sesuai dengan pendapat yang diberikan oleh Smith dan Scott (1992, dalam Dou *et al*., 2008), Cao *et al*. (2009) dan Bruijnzeel (2009) yang menyatakan bahwa "*'Scientific' perceptions tend to overemphasize high water use of trees".* Kondisi tersebut sesuai dengan hasil perhitungan Falkenmark (2001, dalam Seiler dan Gat, 2007) yang menyatakan bahwa pelaku evapotranspirasi air daratan terbesar di daerah tropis dan iklim sedang adalah hutan (sebesar 57%), jauh di atas lahan basah yang hanya 2%. Hasil tersebuttidak sesuai dengan berbagai pendapat yang selama ini menyatakan bahwa hutan (vegetasi) justru memperbesar debit aliran dasar (Liu, 2004, dalam Dou *et al*. 2008 dan Huang *et al*.,2004, dalam Dou *et al.*, 2008).

Peranan vegetasi secara langsung dalam meningkatkan aliran dasar memang tidak terdefinisikan dengan jelas. Berbagai pendapat para ahli mengaitkan peranan tidak langsung vegetasi tersebut dalam hal seresah yang dihasilkan pohon sehingga meningkatkan kandungan bahan organik dan meningkatkan kapasitas infiltrasi (Seyhan, 1975; Lee, 1980; Weert, 1984; Bharati *et al*., 2002; Davie, 2002.). Seyhan (1975) menyatakan bahwa penutupan vegetasi dapat meningkatkan infiltrasi melalui perlambatan *overlandflow* sehingga memberi

kesempatan air untuk meresap dan mengurangi terjadinya kompaksi tanah akibat percikan air hujan. Keberadaan organisme tanah akibat keberadaan vegetasi akanmeningkatkan kapasitas infiltrasi tanah dan aliran dasar.

Pengaruh vegetasi terhadap aliran dasar tidak bersifat individual, namun bersifat kombinatif dengan faktor-faktor lainnya seperti ditunjukkan persamaan 3 pada Tabel 3.2. Peran kombinatif tersebut sesuai dengan pernyataan Seyhan (1977) menyatakan bahwa ketika sifat-sifat tanah, geologi, dan geomorfologi dipertimbangkan dalam analisis hidrologis DAS, diperoleh suatu pengertian bahwa hal-hal tersebut mengendalikan infiltrasi, kapasitas penyimpanan air (*Water Holding Capacity*, WHC) dan aliran air tanah.

3.2 Komponen Komponen Penting Variabel Fisik DAS dalam Mempengaruhi Aliran Dasar

Variabel-variabel bebas yang digunakan untuk pembuatan model berdasarkan Tabel 3.1. menunjukkan adanya hubungan antara sejumlah variabel (*interrelationship*), sehingga perlu dilakukan analisis faktor. Data pada Tabel 3.1. memiliki nilai ketercukupan sampel (*Measure of Sampleng Adequacy*, MSA) Kaiser-Meyer-Olkin (KMO MSA) sebesar 0,602 (>0,5), sehingga analisis faktor dapat dilakukan terhadap semua variabel bebas. Nilai *Eigen* pada 5 variabel yang dianalisis, dapat diekstraksi menjadi 2 faktor (nilai *Eigen value*> 1), faktor 1 mampu menjelaskan 38,06% variasi, sedangkan faktor 2 mampu menjelaskan 26,92% variasi, atau secara keseluruhan kedua faktor mampu menjelaskan 64,99% variasi. Hasil Transformasi data melalui rotasi matriks dengan metode *varimax*adalah sebagai berikut

a) Nilai Dd sebesar -0,098
b) Nilai Sb sebesar -0,133
c) Nilai Rc sebesar 0,878
d) Nilai infiltrasi sebesar -0,251
e) Nilai KT sebesar 0,360

Berdasarkan nilai *Eigen* yang dihasilkan dalam analisis faktor, terdapat 2 kelompok faktor. Pengelompokan variabel Dd, Sb, dan infiltrasi pada faktor faktor 1menunjukkan bahwa tingkat pengatusan melalui proses limpasan mempengaruhi kapasitas infiltrasi tanah. Kerapatan alur (Dd) pada dasarnya merupakan gambaran dari tingkat proses penorehan yang terjadi. Permukaan bumi tersusun satuan-satuan

bentuklahan (*landforms*) yang merupakan hasil interaksi antara proses-proses yang bekerja padanya dengan batuan/material penyusun dan topografi/relief. Pengelompokan Dd dan Sb dalam satu faktor yang sama menunjukkan hal tersebut. Penorehan merupakan proses yang terjadi di permukaan lahan yang meninggalkan bentuk yang khas tergantung intensitas interaksi yang terjadi.

Thornbury (1965) mengatakan bahwa proses yang pernah terjadi meninggalkan bentukan yang khas pada permukaan lahan dan akan terus berlangsung pada saat ini dan pada masa yang akan datang dengan intensitas yang berbeda-beda. Gerakan air merupakan agen yang paling efektif dalam membentuk permukaan lahan berupa lembah-lembah yang selanjutnya membentuk pola aliran tertentu (Emmons *et al*.,1955). Proses-proses tersebut berperan penting dalam menentukan karakteristik tanah, termasuk kapasitas infiltrasinya. Hal tersebut sesuai pendapat Radke dan Berry (1993 dalam Bharati *et al*., 2002) yang menyatakan bahwa infiltrasi terkait dengan karakteristik tanah dan sebagai indikator relevan untuk menggambarkan perubahan sifat fisik dan biologis tanah.

Pengelompokan variabel KT dan Rc pada faktor 2 cenderung merupakan gejala statistik yang menunjukkan kesamaan dalam variabilitas data. Kemiripan nilai Eigen hanya merupakan hasil dari rotasi terhadap matriks komponen yang menunjukkan kemiripan dalam variabilitas datanya. Fenomena pengelompokan KT dan Rc dalam konteks proses tidak dapat dijelaskan. Hal tersebut ditunjukkan Tabel 3.2. yang menyatakan bahwa tingkat korelasi antara KT dan Rc sangat rendah, yaitu sebesar 0,058.

3.3 Tipologi DAS berdasarkan Kovariasi Spasial Aliran Dasar

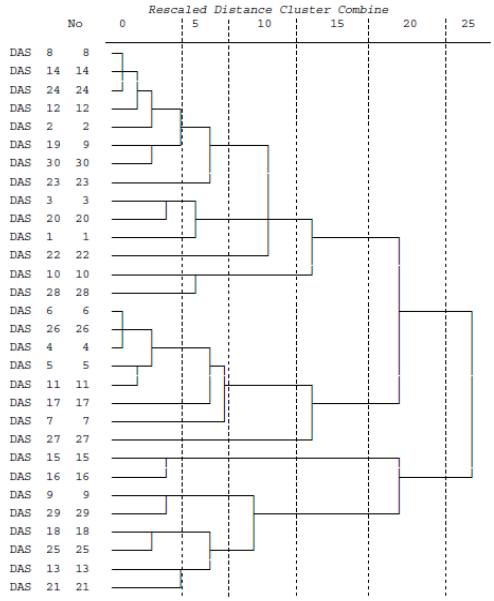
Penentuan tipologi DAS pada dasarnya merupakan upaya identifikasi karakteristik dan klasifikasi DAS. Penentuan tipologi DAS sangat terkait dengan faktor-faktor yang mempengaruhi proses-proses hidrologis yang terjadi dalam suatu DAS. Seyhan (1977) menyatakan bahwa variabel-variabel yang terkait dengan proses hidrologi DAS dikelompokkan dalam empat kategori yaitu (1) variabel iklim, (2)

variabel fisik lahan (morfometri, vegetasi, liputan lahan dan tanah), (3) variabel *keluaran*; dan (4) variabel proses .

Penentuan tipologi DAS dan identifikasi kovariasi spasial aliran dasar pada penelitian ini dilakukan melalui penilaian terhadap variabel permukaan fisik lahan dan variabel *keluaran* untuk penentuan tipologi sekelompok DAS (30 DAS). Penentuan tipologi DAS dilakukan berdasarkan data variabel permukaan fisik lahan sebagai variabel *independent* dan variabel *keluaran* (nilai koefisien resesi aliran dasar) sebagai variabel *dependent* dengan menggunakan analisis *cluster.*

Berdasarkan penelitian Seyhan dan Keet (1981) di DAS Ahr, Bolzano, Italy, variabel-variabel morfometri yang diteliti tidak menunjukkan sebagai faktor penentu tipologi DAS. Faktor geologi yang bukan merupakan variabel metrik (kontinyu) dan tidak diteliti pada penelitian tersebut ternyata justru merupakan faktor penting dalam mengontrol pengelompokan DAS. Pengaruh faktor geologi dalam mengontrol pengelompokan DAS dapat dipahami, karena terbentuknya suatu DAS serta proses yang bekerja di dalam DAS sangat dipengaruhi oleh kondisi geologi yang ada. Skinner dan Porter (1987) dan Darsomartoyo (1980) menyatakan bahwa profil dari sungai dan pola aliran suatu DAS dipengaruhi oleh jenis batuan pada saat DAS terbentuk. Keterkaitan faktor litologi terhadap tipologi dan morfometri DAS juga diteliti oleh Reddy *et al*. (2004) di India Tengah dan menunjukkan bahwa tipologi DAS secara kuat dikontrol oleh aspek litologi.

Penelitian ini dilakukan oleh Skinner dan Porter (1987) dan Reddy *et al*. (2004) tidak menempatkan faktor geologi sebagai variabel bebas yang mengontrol pembentukan tipologi DAS. Kesimpulan mengenai pengaruh geologi diperoleh setelah hasil analisis *cluster* dibandingkan dengan peta geologi yang ada. Berbagai pendapat dan hasil penelitian yang telah dipublikasikan menyatakan bahwa faktor geologi merupakan faktor penting dalam mengontrol penentuan tipologi (pengelompokan) DAS (Seyhan, 1977; Zavoianu, 1985). Berdasarkan peranan faktor litologi tersebut, maka hasil analisis *cluster* 30 DAS sasaran penelitian dibandingkan dengan jenis batuan dominan setiap DAS disajikan dalam bentuk dendogram pada Gambar 3.2



Gambar 3.2.

Dendogram hasil analisis *Cluster* metode herarki

Tabel 3.4. Kenggotaan *Cluster* Setiap Nilai RDCC

RDCC	*Cluster*	Nomor *Case*/DAS
4,5	1	8,14,24,12,2
	2	19,30
	3	23
	4	3,20
	5	1
	6	22
	7	10
	8	28
	9	6,26,4,5,11
	10	17
	11	7
	12	27,15,16
	13	19,29
	14	18,25
	15	13
	16	21
7,5	1	8,14,24,12,2,19,30,23,
	2	3,20,1
	3	22
	4	10,28
	5	6,26,4,5,11,17
	6	7
	7	27
	8	15,16
	9	9,29
	10	18,25,13,21
12,5	1	8,14,24,12,2,19,30,23, 3,20,1,22,
	2	10,28
	3	6,26,4,5,11,17,7
	4	27
	5	15,16
	6	9,29,18,25,13,21
17,5	1	8,14,24,12,2,19,30,23, 3,20,1,22,10,28
	2	6,26,4,5,11,17,7,27
	3	15,16
	4	9,29,18,25,13,21
22,5	1	8,14,24,12,2,19,30,23,3,20,1,22,10,28,6,26,4,5,11,17, 7,27
	2	15,16, 9,29,18,25,13,21

Sumber: Hasil analisis

Berdasarkan Tabel 3.4 dapat disampaikan beberapa hal sebagai berikut :

1) Terdapat 5 nilai jarak kombinasi *cluster* yang diskalakan kembali (*Rescaled Distance Cluster Combine*, *RDCC*) pada Tabel 5.21.

2) Tabel 3.2. menunjukkan bahwa pengelompokan DAS dengan nilai RDCC = 17,5 merupakan pengelompokan DAS yang memungkinkan untuk diinterpretasi kesamaan karakteristiknya berdasarkan kondisi data seluruh variabel sebagaimana disajikan pada Tabel 3.1.;
3) Berdasarkan kondisi data seluruh variabel dalam penentuan *cluster* pada Tabel 3.4. maka penggabungan *cluster* 1 dan *cluster* 2 menjadi *cluster* tunggal mempunyai makna yang lebih baik dalam menilai kesamaan karakteristik berdasarkan variabel tertentu, yaitu nilai kerapatan tajuk;
4) Terkait butir 3, maka jumlah *cluster* tereduksi menjadi 3 *cluster*, dengan faktor pengontrol spesifik, yaitu:
   a. *Cluster* 1 (hasil penggabungan) dikontrol oleh nilai kerapatan tajuk dengan nilai antara 0,32 hingga 0,38
   b. *Cluster* 2 dikontrol oleh nilai infiltrasi yang besar, yaitu 13 dan 16 mm/jam
   c. *Cluster* 3 dikontrol oleh nilai kerapatan tajuk dengan nilai antara 0,27 hingga 0,31;

5) Analisis keterkaitan hasil pengelompokan pada Tabel 3.4. dengan variabel yang tidak dinilai (faktor litologi pada Tabel 3.1.)dapat diketahui bahwa *cluster* 1 dikontrol oleh batuan tefra dan *cluster* 2 dikontrol oleh batuan andesit/breksi, sedangkan kontrol faktor litologi tidak terlihat pada *cluster* 3.

Berdasarkan hasil pada Tabel 3.4., maka selanjutnya dilakukan analisis *cluster* non herarki. Pengelompokan 3 *cluster* yang memberikan makna paling baik (pada metode herarki), digunakan dalam penentuan jumlah *cluster* pada penerapan metode non herarki dengan hasil pada Tabel 3.5

Tabel 3.5. Keanggotaan *Cluster* Metode Non Herarki

No	*Case*/DAS	*Cluster*	No	*Case*/DAS	*Cluster*
1	Medewi	1	16	Janga	2
2	Embang	3	17	Buhu	1
3	Jogading	1	18	Nyuling	2
4	Yeh Satang	1	19	Sabah Titab	3
5	Bilukpoh	1	20	Daya-Sawan	3
6	Pergung	1	21	Mendaum	2
7	Daya Timur	1	22	Penarukan	3
8	Sangiang Gede	3	23	Melaya	3
9	Sungi	2	24	Oos	3
10	Yeh Otan	1	25	Banyumala	2
11	Yeh Leh	1	26	Buleleng	1
12	Yeh Hoo	3	27	Pakerisan	1
13	Balian	2	28	Ayung	3
14	Sangsang	3	29	Badung	2
15	Telagawaja	2	30	Petanu	3

Sumber: Hasil analisis

Hasil pengelompokan dengan metode non herarki pada Tabel 3.5. menunjukkan bahwa DAS-DAS sasaran penelitian didominasi *cluster* 1 dan *cluster* 3. Ada 11 DAS yang termasuk kategori *cluster* 1, 8 DAS termasuk kategori *cluster* 2, 11 DAS termasuk kategori *cluster* 3. Hasil pengelompokan 3 *cluster* dengan metode herarki menghasilkan kelompok DAS yang hampir sama dengan penerapan metode herarki untuk nilai RDCC = 17,5. Dibandingkan dengan penerapan metode herarki untuk nilai RDCC= 17,5, anggota pada *cluster* 3 dan 4 masuk pada kategori *cluster* yang sama. Anggota *cluster* 2 pada metode herarki dan non herarki tidak ada perbedaan. Anggota *cluster* 1 pada metode herarki dan non hierarki sebagian besar sama, kecuali untuk *case*/DAS nomor 3, 1 dan 10.

Beberapa hal yang dapat disampaikan terkait hasil pada Tabel 3.5. adalah sebagai berikut:

1) Faktor-faktor pengontrol yang membentuk pengelompokan pada *cluster* 1 dan *cluster* 2, yaitu
   a) Nilai koefisien resesi aliran dasar, pada *cluster* 1 nilainya cukup rendah, yaitu 0,90 hingga 0,94, sedangkan pada *cluster* 2 nilainya cukup tinggi, yaitu 0,97 hingga 0,99;
   b) Nilai kerapatan tajuk, pada *cluster* 1 nilainya cukup tinggi, yaitu 0,52 hingga 0,72, sedangkan pada *cluster* 2 lebih rendah, yaitu 0,35 hingga 0,45;
2) Pembentukan *cluster* 3 hanya dikontrol oleh faktor Rc, DAS-DAS yang termasuk kategori cluster 3 mempunyai nilai RC > 13 km ;

3) Kovariasi spasial aliran dasar pada hasil metode non herarki terlihat jelas dan terdapat pengelompokan DAS-DAS yang termasuk kategori *cluster* 1 dan *cluster* 2 sebagaimana disebutkan pada butir 1;
4) Pengelompokan DAS-DAS pada *cluster* 1 dan *cluster* 2 menunjukkan adanya tipologi DAS, serta menggambarkan nilai koefisien resesi aliran dasar yang tertentu pula.
5) Hasil analisis *cluster* menunjukkan bahwa kovariasi spasial aliran dasar ditentukan oleh kombinasi faktor-faktor lahan dan infiltrasi tanah, sehingga hasil analisis *cluster* membuktikan hipotesis ketiga penelitian ini.

Hasil analisis *cluster* menunjukkan bahwa DAS-DAS dengan nilai koefisien resesi aliran dasar yang rendah mempunyai tingkat kerapatan penutupan tajuk yang tinggi (0,52- 0,72), sedangkan DAS-DAS dengan nilai koefisien resesi aliran dasar yang tinggi justru mempunyai tingkat kerapatan penutupan tajuk yang rendah (0,35-0,48). Hasil yang diperoleh dalam analisis *cluster* sesuai dan konsisten dengan hasil analisis regresi sederhana yang menyatakan bahwa semakin tinggi nilai kerapatan penutupan tajuk, semakin rendah nilai koefisien resesi aliran dasarnya.

Mekanisme reduksi air tanah oleh vegetasi tidak diteliti pada penelitian ini, namun berdasarkan beberapa teori, pendapat dan hasil penelitian yang dikemukakan oleh Bruijnzeel (2009), Zadroga (1976, dalam Bruijnzeel, 1990) dan Chow (1988) dinyatakan bahwa keberadaan vegetasi di atas permukaan lahan akan mengurangi persediaan air tanah melalui mekanisme transpirasi. Menurut Falkenmark (2001, dalam Seiler dan Gat, 2007), hutan merupakan pelaku penguapan (evapotranspirasi) air daratan yang terbesar (57%) di daerah tropis dan iklim sedang. Evapotranspirasi akan mengurangi kelengasan tanah (*soil moisture*) dan tampungan air tanah (*groundwater storage*) sebagaimana dinyatakan oleh Fetter (1980), Lee (1980), Smith dan Scott (1992, dalam Dou *et al*., 2008) dan Bosch dan Hewlet (1982, dalam Newson 1997).

IV. KESIMPULAN DAN SINTESIS HASIL ANALISIS

Beberapa hal yang dapat disimpulkan sebagai sintesis hasil penelitian ini adalah sebagai berikut:

1) Semakin tinggi tingkat kerapatan tajuk vegetasi, semakin tinggi penyerapan air tanah, sehingga semakin berdaya guna peranan vegetasi sebagai sistem pompa dalam transformasi air tanah menjadi uap air melalui mekanisme transpirasi;
2) Peran ganda vegetasi terhadap aliran dasar bersifat kombinatif dan terkait dengan faktor-faktor fisik lahan lainnya, yaitu kerapatan aliran (*drainage density*) dan kapasitas infiltrasi tanah;
3) Kerapatan tajuk dan jenis batuan merupakan faktor pengontrol dalam menentukan kovariasi spasial aliran dasar di Pulau Bali melalui kombinasi analisis *cluster* metode hierarki dan non hierarki.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada Prof.Dr. rer.nat. Junun Sartohadi, M.Sc.; Dr. Pramono Hadi, M.Sc. dan Drs. Projo Danoedoro, M.Sc., PhD., guru-guru penulis di almamater tercinta, Fakultas Geografi UGM, atas bimbingan dan arahannya terkait pola pikir substantif dan komprehensif dalam penelitian ini, serta kiat-kiat melakukan sintesis untuk menemukan *state of the art* hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

Anonymus, 2010. *NDVI Definition*. http://en.wikipedia.org/wiki/Normalized Difference _Vegetation_Index 16 Februari 2010

Anonymus, 2006. *ABSCAN User Guide*. Thinknew Analytics. Ottawa, Canada.

Bharati, L.; Lee, K.H.; Isenhart, T.M.; Schultz, R.C. 2002. Soil-Water Infiltration under Crops, Pasture, and Established Riparian

Buffer in Midwestern USA. *Agroforestry Systems* **56:** *249–257, 2002. 249© 2002 Kluwer Academic Publishers. Netherlands.*

Bruijnzeel. L.A. 1990. *Hydrology of Moist Tropical Forests and Effects of Conversion: A State of Knowledge Review*. UNESCO International Hydrology Programme.

Bruijnzeel. L.A. 2009. *Tropical Reforestation and Streamflow: The Need for a Balanced Account*. Vrije Universiteit. Amsterdam.

Cao, W and Bowden, W.B. and Davie, T and Fenemor, A. 2009. Modelling Impacts of Land Cover Change on Critical Water Resources in the Motueka River Catchment, New Zealand.*Water Resour Manage (2009) 23:137–151 DOI 10.1007/s11269-008-9268-2.*

Chow, V.T.; Maidment, D.R.; Mays, L.W. 1988. *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Co. Singapore.

Chorley. 1969. *Introduction to Geographical Hydrology*. Methuen&Co. Ltd. London.

Darsomartoyo, Suseno. 1980. *Pola Drainase*. Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta.

Davie. 2007. *Fundamentals of Hydrology*. Routledge 2 Park Square, Milton Park, Abingdon, Oxon, OX14 4RN.

De Vries, J.J. 1975. *Groundwater Hydraulics.* Communication of Earth Sciences. Free Reformed University. Amsterdam.

Dou, L and Huang, M and Hong, Y. 2008. Statistical Assessment of the Impact of Conservation Measures on Streamflow Responses in a Watershed of the Loess Plateau, China. *Water Resour ManageDOI*

Emmons, W.H., Thiel, G.A., Stauffer, C.R. and Allison, I.S. 1955. *Geology, Principle and Processes.*McGraw Hill Book. New York.

Fetter. J.J. 1980. *Principles of Hydrogeology*. McGraw-Hill Book Co. New York.

Food and Agricultural Organization (FAO). 1985. *The Role of Forestry in Food Security*. Rome: Committee on Food Security, FAO of the UN.

Ghozali, I. 2006. *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program SPSS (cetakan VI)*. Badan Penerbit Universitas Diponegoro. Semarang.

Haan, C.C. Johnson, H.P. and Brakenslek, D.L. 1982. *Hydrology Modelling of Small Watershed. The American Society of Sanitary Engineering*. Michigan. USA.

Harrison, S. 2006. What Kind of Science is Physical Geography? In: Castree, N., Rogers, A., and Sherman, D. (eds). *Questioning Geography*, Oxford: Blackwell Publishing.

Harto, S. 1991. *Hidrologi Terapan*. Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil, Fakultas Teknik UGM.

Holt-Jensen, A. 1999. *Geography – History and Concept*, Third Edition, London: Sage Publications.

Jiang Zhangyan, Alfredo R. Huete, Jin Chen, Yunhao Chen, Jing Li, Guangjian AYan dan Xiaoyu Zhang. 2006. Analysis of NDVI and Scaled Difference Vegetation Index Retrievals of Vegetation Fraction. *Remote Sensing of Environment 101 (2006) 366–378. doi:10.1016/j.rse.2006.01.003*.

Kienzle S. W. 2006. The Use of the Recession Index as an Indicator for Streamflow Recovery After a Multi-Year Drought. *Water Resources Management (2006) 20: 991–1006 DOI: 10.1007/s11269-006-9019-1.*

Knapp, B. 2002. *Elements of Geographical Hydrology*. Unwin Hyman. London.

Lee, R. 1980. *Forest Hydrology*. Columbia University Press. New York.

Nathan, R.J. and McMahon, T.A. 1990. Evaluation of Automated Techniques for Base Flow and Recession Analysis. *Water Resources Research, Vo. 26. No. 7, Pages 1465-1473, July 1990*.

Newson, M. 1997. *Land, Water and Development, Sustainable Management of River Basin Systems*. Routledge. London.

Reddy, G.P.O., Maji, A.K., Gajbhiye, K.S. 2004. Drainage Morphometry and Its Influence on Landform Characteristics in a Basaltic Terrain, Central India – a Remote Sensing and GIS Approach. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 6 (2004) 1–16.*

Santosa, P.B. dan Ashari. 2005. *Analisis Statistik dengan Microsoft Excel dan SPSS*. Penerbit Andi. Yogyakarta

Schipkan, F.; Heimann, J; Leuschner, C. 2005. Regional Variation in Canopy Transpiration of Central European Beech Forest. *Oecologia (2005) 143: 260–270 DOI 10.1007/s00442-004-1798-6.*

Schulz, E.F. 1974. *Problems in Applied Hydrology*. Water Resources Publication. Foat Collins. Colorado. USA.

Seiler, K.P and Gat, J.R. 2007. *Goundwater Recharge from Run-off, Infiltration and Percolation*. Springer, AA Dordrecht, The Netherlands.

Seyhan, E. 1975. *Fundamentals of Hydrology*. Geografisch Institute der Rijkuniversiteit. Utrecht.

Seyhan, E. 1977. *Mathematical Simulation of Watershed Hydrologic Processes*. Geografisch Institute der Rijkuniversiteit. Utrecht.

Seyhan, E dan Keet , 1981. *Multivariate Statistical Analysis, Application to Hydromorphometrical Data*. Communications of The Institute of Earth Sciences, Free Reformed University – Amsterdam.

Shelton, M.L. 2009. *Hydroclimatology, Perspectives and Applications*. Cambridge University Press. New York.

Skinner, B.J. and Porter, S.C. 1987. *Physical Geology*. John Wiley and Sons. New York. United States.

Sutanto. 1995. Penelitian Geografi. *Majalah Geografi Indonesia 14-15*. Fakultas Geografi UGM. Yogyakarta.

Thornbury, W.D., 1965. *Principles of Geomorphology*. John Willey and Sons, New York.

Ward, R.C. 1975. *Principles of Hydrology*. McGraw-Hill Book Company. UK.

Weert, V.D. 1994. *Hydrological Conditions in Indonesia*. Delft Hydraulics. The Netherlands.

Zavoianu, I. 1985. *Morphometry of Drainage Basin*. Editura Academiei, Romania.