

**KARAKTERISTIK HIDROLOGI BERDASARKAN PARAMETER
MORFOMETRI DAS DI KAWASAN TAMAN NASIONAL MERU BETIRI
(Hydrological Characteristics Based on Morphometric Parameters of Meru Betiri
National Park)***

Agung B. Supangat

Balai Penelitian Teknologi Pengelolaan DAS Solo
Jl. Jend. A. Yani Pabelan, Kartasura, Kotak Pos 295 Surakarta-57102
Telp: (0271) 716709, Fax: (0271) 716959, email: maz_goenk@yahoo.com

*Diterima: 05 Juli 2011; Disetujui: 13 Januari 2012

ABSTRACT

Hydrological characteristics of a stream are influenced by both the land uses and the natural character of watershed called morphometry. The morphometric characteristics and the manageable factors will influence the hydrological parameters such as evapotranspiration, soil infiltration and stream flow. The study aims to evaluate the hydrological characteristics based on morphometric parameters in an area of Meru Betiri National Park (TNMB). The results showed that according to the delineation on topographical map (scale 200,000), the TNMB area consists of 16 catchments and micro-catchments with the area of approx. five to 130 km². About eight of them are flowing to the south sea of Java. According to the morphometric characteristics, most of catchments have radial pattern, oval shape, and perennial flow especially for the bigger streams (CA= five km² up). The moderate drainage density and the bifurcation ratio (Rb) with range of 3-5 caused un-fluctuated flood flow especially at the bigger streams. Management efforts should be done in order to maintain and increase both continuity and quality of stream water from TNMB area.

Keywords: Meru Betiri National Park, morphometry parameters, hydrological characteristic

ABSTRAK

Karakteristik hidrologi sungai dalam daerah aliran sungai (DAS) selain dipengaruhi penggunaan lahan yang ada, juga dipengaruhi sifat dasar alami DAS yang disebut morfometri. Karakter alami morfometri DAS bersama-sama dengan faktor yang dapat diintervensi manusia akan mempengaruhi perilaku hidrologi seperti evapotranspirasi, infiltrasi dan aliran sungai. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik hidrologi berdasarkan parameter morfometri DAS di kawasan Taman Nasional Meru Betiri (TNMB). Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan deliniasi peta topografi skala 1:200.000, kawasan TNMB terbagi menjadi 16 sub-sub DAS dengan ukuran luas mulai 5 - 130 km², delapan sub DAS diantaranya mengalir ke laut selatan Jawa. Karakteristik morfometri DAS di kawasan TNMB memperlihatkan bahwa sebagian besar daerah tangkapan airnya berpola radial, dengan bentuk DAS memanjang dan sifat alirannya sepanjang tahun untuk sungai-sungai besar (luas DAS di atas lima km²). Sifat kerapatan drainase yang sedang dan indeks percabangan sungai 3-5 menyebabkan air banjir pada sungai-sungai besar tidak terlalu fluktuatif. Upaya pengelolaan kawasan perlu ditingkatkan untuk menjaga dan meningkatkan kontinuitas dan kualitas sumber daya air sungai dari kawasan TNMB.

Kata kunci: Taman Nasional Meru Betiri (TNMB), parameter morfometri, karakteristik hidrologi

I. PENDAHULUAN

Berbagai bencana hidrologis seperti banjir dan kekeringan yang terjadi di Indonesia tidak lepas dari kerusakan sumberdaya hutan terutama di wilayah hulu daerah aliran sungai yang berfungsi sebagai resapan air. Kejadian banjir tidak hanya terjadi di wilayah hilir saja (daerah

genangan banjir), tetapi akhir-akhir ini banyak terjadi di wilayah hulu DAS (banjir bandang). Tindakan pengelolaan baik pencegahan maupun penanggulangan yang dilakukan seringkali tidak memperhatikan karakteristik alami DAS, sehingga kejadian banjir tetap terjadi.

Perilaku air (hidrologi) sungai dalam suatu DAS selain dipengaruhi penggu-

naan lahan sebagai akibat adanya aktivitas manusia, juga sangat tergantung dari sifat alami DAS. Karakteristik dasar alami suatu DAS disebut morfometri DAS. Morfometri merupakan sifat atau karakteristik yang dipengaruhi faktor-faktor alamiah dari suatu DAS yang tidak dapat diubah manusia (Murtiono, 2001). Kombinasi antara faktor morfometri DAS dengan faktor-faktor yang dapat diubah manusia (*manageable*) seperti tata guna lahan, kemiringan dan panjang lereng akan memberikan respon spesifik dari DAS terhadap curah hujan yang jatuh. Respon tersebut akan mempengaruhi besar-kecilnya nilai parameter karakteristik hidrologi seperti evapotranspirasi, infiltrasi, aliran permukaan, kandungan air tanah dan perilaku aliran sungai (Glennon, 2001; Luo and Howard, 2006; Nöges, 2009; Rahayu, Widodo, Noordwijk, Suryadi dan Verbist, 2009). Karakteristik morfometri DAS selain dapat mempengaruhi karakteristik kualitas air yang keluar dari daerah tangkapannya (Nöges, 2009), juga dapat digunakan untuk menduga hidrograf satuan (alih ragam hujan menjadi limpasan) (Slamet, 2008). Karakteristik morfometri DAS bersama-sama penggunaan lahan dapat digunakan untuk mengevaluasi terjadinya banjir bandang dalam suatu kawasan (Nugroho, 2009).

Dalam rangka masukan bagi penyusunan rencana pengelolaan sumberdaya alam dalam DAS, setiap wilayah DAS/sub DAS maupun mikro DAS perlu diketahui karakteristik morfometrinya, termasuk wilayah pengelolaan taman nasional. Hal tersebut penting, karena kejadian bencana banjir bandang sering terjadi di wilayah hulu DAS yang banyak berupa kawasan hutan lindung, cagar alam maupun taman nasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik hidrologi berdasarkan parameter morfometri DAS di kawasan Taman Nasional Meru Betiri (TNMB). Informasi yang dihasilkan bermanfaat sebagai bahan masukan dari aspek fisik alami DAS bagi penyusunan rencana pengelolaan DAS di wila-

yah kerja TNMB pada khususnya dan kawasan DAS lain pada umumnya.

II. BAHAN DAN METODE

A. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada tahun 2003, di kawasan Taman Nasional Meru Betiri (TNMB), Provinsi Jawa Timur. Secara administratif pemerintahan, TNMB terletak di wilayah Kabupaten Banyuwangi (20.415 ha) dan Kabupaten Jember (37.585 ha), dan secara geografis terletak pada posisi 8°20'48" sampai 8°33'48" LS dan 113°38'48" sampai 113°58'30" BT.

Secara umum, kondisi topografi kawasan TNMB bergelombang, berbukit dan bergunung-gunung dengan variasi mulai dari dataran rendah (pantai) sampai dengan ketinggian 1.223 meter di atas permukaan laut (dpl). Di dalam kawasan TNMB terdapat tiga jenis tanah yaitu Aluvial, Regosol, dan Latosol. Tanah di bagian selatan merupakan campuran tanah Mediteran Kuning yang kurang subur, sedangkan di bagian utara tanahnya subur karena mengandung batuan vulkanik. Tanah Aluvial umumnya dijumpai di daerah lembah dari dataran rendah sampai daerah pantai, sedangkan tanah Regosol dan Latosol umumnya terdapat di lereng dan puncak gunung.

Berdasarkan klasifikasi iklim Schmidt dan Ferguson, TNMB bagian barat mempunyai tipe iklim D, dengan nilai $Q = 0,875$, sedangkan TNMB bagian timur juga mempunyai tipe iklim D, dengan nilai $Q = 0,776$. Rata-rata curah hujan tahunan di bagian barat TNMB sebesar 1.880,5 mm, sedangkan di bagian timur sebesar 2.094,6 mm (Painin, Riyanto, Supangat, dan Purwanto, 2003).

Kondisi hidrologi sungai yang diwakili data pada Pos Duga Kali Sanen, menunjukkan bahwa selama periode 1991-2001 terjadi aliran sungai yang fluktuatif secara kuantitas (Lampiran 1). Selama periode di atas, curah hujan tahunan rata-

rata sebesar 2.019,7 mm, dengan limpasan sebesar 1.223,0 mm, serta koefisien limpasan tahunan rata-rata sebesar 0,606. Nilai koefisien regim sungai (KRS) juga fluktuatif dengan nilai rata-rata yang cukup besar (1.064,4) yang termasuk dalam kategori buruk (nilai KRS di atas 50 termasuk kategori buruk).

B. Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari peta-peta dasar pendukung (peta wilayah kerja dan zonasi TNMB, peta topografi, peta administratif, peta penggunaan lahan, peta jaringan sungai, peta tanah dan peta geologi) serta bahan survei lapangan. Peralatan yang digunakan meliputi planimeter, penggaris, kalkulator, serta peralatan survei lapangan (*global positioning system*/GPS, kompas, altimeter dan blanko pengamatan).

C. Metode Penelitian

Deliniasi sub DAS-sub DAS yang ada di wilayah TNMB mengacu pada peta wilayah kerja, peta topografi (kontour) serta peta zonasi TNMB. Kemudian dilakukan pengukuran morfometri DAS terhadap masing-masing sub DAS dan sub-sub DAS di kawasan TNMB. Parameter morfometri DAS yang diukur meliputi : luas DAS, panjang sungai utama, lebar DAS, panjang DAS, kerapatan aliran, panjang aliran, lereng rata-rata DAS, lereng rata-rata alur sungai, *circulation ratio* (kedekatan DAS dengan bentuk bulat), *limniscate constant* (konstanta yang menunjukkan bentuk DAS), *bifurcation ratio* (indeks percabangan sungai), rata-rata tertimbang ordo sungai, keliling DAS, panjang sungai total, dan koefisien bentuk DAS.

Survei lapangan dilakukan untuk mengumpulkan data sekunder dari instansi terkait serta gambaran kualitatif kondisi lapangan. Parameter survei lapangan meliputi kondisi aliran, debit, wama air sungai, kandungan sedimen ser-

ta kekeruhan dilakukan pada sungai-sungai utama di sub DAS-sub DAS terutama yang berada pada zona pemanfaatan dan zona rehabilitasi.

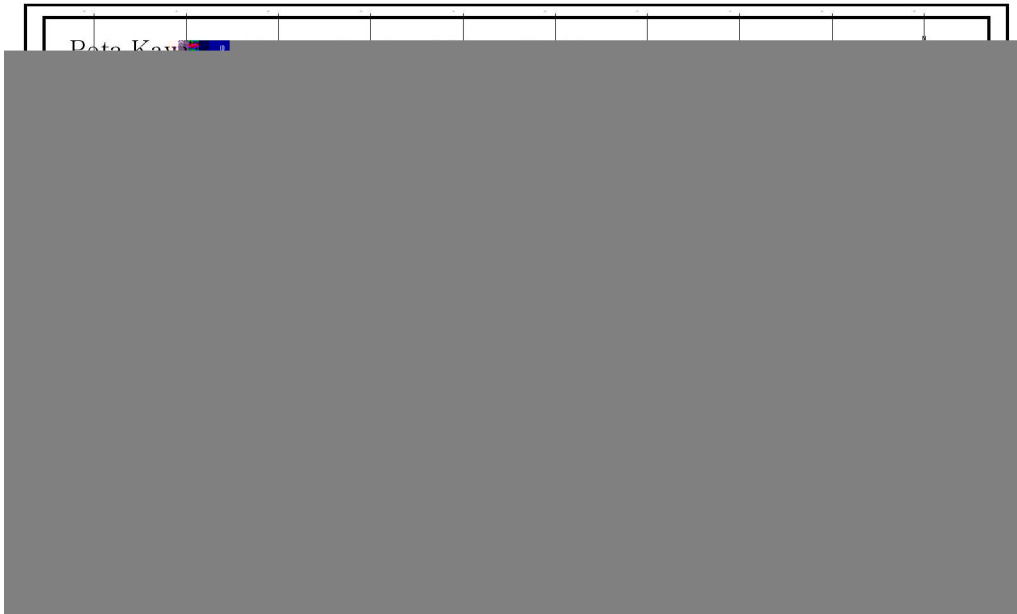
Data sekunder yang dikumpulkan antara lain data curah hujan, data debit sungai terdekat yang mempunyai pos duga air yaitu di Kali Sanen, data pengelolaan sumber daya air serta permasalahannya di kawasan TNMB. Instansi tujuan kegiatan survei data sekunder meliputi kantor TNMB di Jember, Dinas Pengairan Kabupaten Jember, PT. Perkebunan Nusantara (PTPN XII) di kawasan Jember, Dinas Pengairan Provinsi Jawa Timur di Surabaya.

Analisis data terhadap parameter hidrologi dilakukan secara deskriptif kualitatif. Data hasil perhitungan morfometri serta data hasil pengamatan di lapangan, dan didukung data sekunder dari berbagai instansi diinterpretasikan untuk mendapatkan gambaran karakteristik hidrologi di kawasan TNMB.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Jaringan Hidrologi

Hasil deliniasi sub DAS dan sub-sub DAS di kawasan TNMB disajikan pada Gambar 1, sedangkan hasil pengukuran morfometri DAS masing-masing sub DAS dan sub-sub DAS disajikan pada Lampiran 2. Berdasarkan Gambar 1, TNMB mempunyai banyak jaringan sungai baik besar maupun kecil, yang tersusun menjadi sistem sub DAS dan sub-sub DAS, sebanyak 16 buah dengan luas minimal 5,82 km² dan maksimal 133,54 km². Jumlah tersebut tidak termasuk mikro DAS yang lebih kecil (di bawah 5,82 km²) yang jumlahnya banyak. Sub DAS-sub DAS terukur tersebar menjadi dua kelompok yang memisahkan TNMB, sebagian mengalir ke Selatan (delapan sub DAS) dan berhilir di Laut Selatan Jawa, sebagian lagi mengalir ke Utara (delapan sub DAS) yang di antaranya berhilir di Kali Sanen (enam sub DAS).



Gambar (Figure) 1. Peta subDAS dan sub-subDAS dengan jaringan sungainya di kawasan TNMB (*Map of catchment and micro catchment with river network in TNMB*)

Beberapa sungai di kawasan TNMB termasuk sungai besar, yaitu Sungai Bandalit (Cawang), Sungai Sukamade dan Sungai Meru. Ketiga sungai tersebut bermuara di laut selatan. Sungai Bandalit dan Sukamade sebagian (bagian hilir) mengalir di daerah perkebunan (PTPN IX) dan perkampungan. Lebar rata-rata di bagian hilir sungai tersebut adalah 10-15 meter. Di bagian utara kawasan TNMB terdapat sungai besar (Kali Sanen) yang merupakan batas kawasan TNMB sebelah utara dan berhulu di kawasan TNMB bagian timur-utara. Di sebelah utara Kali Sanen merupakan kawasan Perum Perhutani yang terdiri dari hutan jati (bekas penjarahan tahun 1998/1999) dan hutan lindung (hutan cadangan Perhutani). Lebar Kali Sanen di Desa Sanenrejo adalah 20 meter, dan terdapat pos duga air milik Dinas PU/Pengairan Provinsi Jawa Timur.

B. Karakteristik Aliran Berdasarkan Sifat Morfometri

Sebagian besar aliran sungai yang ada mengalir sepanjang tahun, kecuali sungai-sungai dengan daerah tangkapan air kurang dari \pm lima km². Namun demikian

terdapat beberapa sungai dengan daerah tangkapan kecil yang mempunyai aliran kontiniu karena terdapat sumber air, seperti sungai di sebelah Barat perkampungan Bandalit yang terdapat sumber air yang dimanfaatkan oleh masyarakat Bandalit untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Kondisi dasar sungai di bagian tengah dan hulu berbatu, sedangkan pada bagian hilir sungai yang mengalir ke selatan adalah pasir karena pengaruh dari pantai selatan.

Pola aliran sungai-sungai di kawasan TNMB sebagian besar berpola radial. Berdasarkan kondisi topografi yang ada daerah tangkapan terbentuk oleh anak-anak sungai yang berasal dari pegunungan-pegunungan yang menuju sungai utamanya searah dengan arah lereng. Bentuk daerah pengaliran sungai kebanyakan berbentuk memanjang, dan sebagian kecil berbentuk bulat terutama yang mengalir ke Utara (bermuara di Kali Sanen). Nilai $F < 0,5$ dan nilai R_c yang relatif kecil menunjukkan bahwa DAS menjauhi bentuk lingkaran (lebih ke bentuk memanjang). Demikian pula nilai K rata-rata menunjukkan angka yang cukup besar (> 1), sehingga bentuk DAS lebih menyerupai bentuk daun (memanjang).

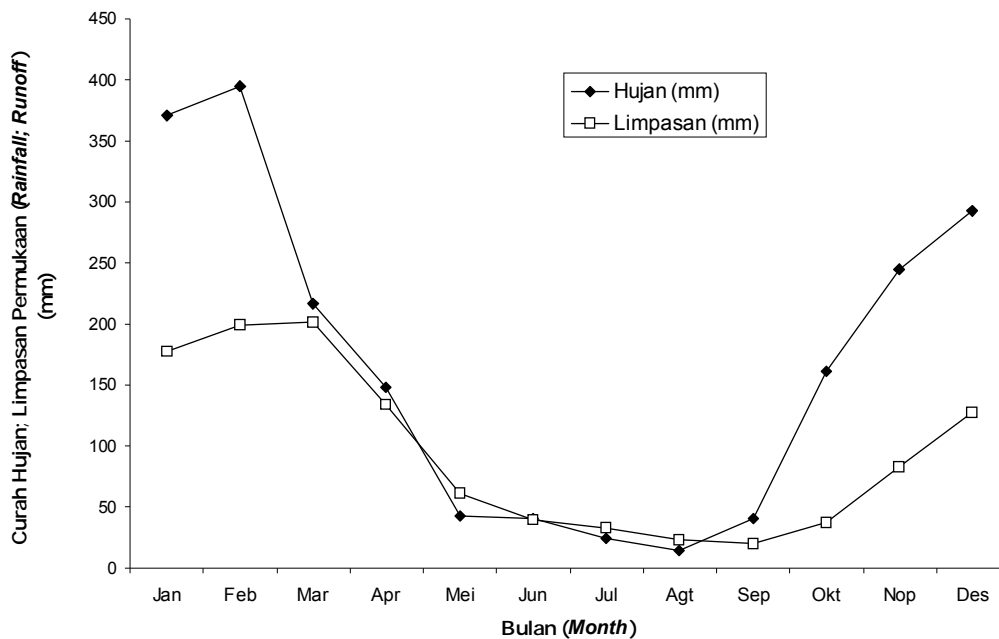
Bentuk daerah pengaliran yang memanjang menunjukkan bahwa debit banjirnya akan relatif kecil karena perjalanan banjir dari anak sungai berbeda-beda waktunya. Bentuk yang radial (menyerupai bentuk kipas atau lingkaran) mempunyai sifat kenaikan debit banjir yang cepat karena datangnya aliran hampir bersamaan, dan dapat menyebabkan banjir besar (Murtiono, 2001).

Hasil pemantauan langsung di lapangan terhadap kondisi aliran di bulan kering (Agustus 2003), menunjukkan bahwa hanya pada sungai-sungai dengan daerah tangkapan air yang besar ($> \pm 5 \text{ km}^2$) yang terdapat aliran. Pada beberapa sungai besar yang berada di zona pemanfaatan (Kali Sanen, Bandalit dan Sukamade) pada bulan Agustus menunjukkan kondisi aliran masih kontinyu dan keadaan air yang jernih, walaupun sebagian daerah tangkapan merupakan wilayah perkebunan dan perkampungan. Kondisi tersebut diperlihatkan oleh data sebaran perbandingan hujan rata-rata bulanan serta debit limpasan yang dihasilkan pada Kali Sanen periode 1991-2001 (Gambar 2).

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa kondisi Kali Sanen terdapat aliran sepanjang tahun. Pada bulan-bulan kering (April-September) terjadi aliran dasar (*base flow*) yang cukup, sedangkan pada bulan basah juga tidak memperlihatkan rata-rata debit air yang berlebih (ekstrim). Hal tersebut menunjukkan bahwa sampai dengan tahun 2001, kontinuitas sumberdaya air Kali Sanen secara rata-rata selama periode pengamatan dalam kondisi baik, meskipun berdasarkan nilai parameter KRS menunjukkan nilai rata-rata yang buruk (>50) (Lampiran 1).

Kontinuitas air pada sungai-sungai besar juga dipengaruhi sifat morfometri bentuk DAS yang memanjang sehingga waktu konsentrasi (waktu yang dibutuhkan perjalanan air dari sumbernya ke *outlet* DAS) menjadi lama. Kondisi tersebut menyebabkan fluktuasi air banjir tidak terlalu besar. Selain itu, didukung juga kondisi hulu yang masih bagus (berhutan) sehingga simpanan air (aliran dasar) cukup untuk dialirkan di musim kemarau.

Sifat fluktuatif aliran air sungai juga ditunjukkan oleh nilai parameter indeks



Gambar (Figure) 2. Sebaran data hujan dan limpasan bulanan rata-rata di DPS Kali Sanen (*Distribution of the average monthly rainfall-runoff in Kali Sanen catchment*)

Sumber (Source): Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Jawa Timur

percabangan sungai (Rb) yang berada pada kisaran 3-5. Nilai tersebut menurut Rahayu *et al.* (2006) menunjukkan kenaikan dan penurunan muka air sungai tidak terlalu cepat dan tidak terlalu lambat. Karakteristik aliran lainnya ditunjukkan oleh nilai kerapatan aliran (Dd) yang termasuk kategori sedang (0,5-10 km/km²). Kerapatan sungai di kawasan TNMB rata-rata < 3 km/km² yang secara alami jarang mengalami kekeringan (Rahayu *et al.*, 2006).

Di bagian utara-barat TNMB (di zona rehabilitasi) terdapat sungai yang mengalir ke perkampungan (Desa Curahnongko dan Andongrejo), yaitu Sungai Curahnongko dengan luas daerah tangkapan air 11,95 km². Kondisi aliran di bulan Agustus 2003 sangat kecil dan alirannya tidak sampai ke Desa Curahnongko. Di kawasan Utara TNMB, kondisi Kali Sanen memiliki aliran sepanjang tahun. Pada bulan Agustus 2003 terjadi tinggi muka air (TMA) \pm 45 cm dengan lebar gerangan \pm 20 m.

Kualitas air pada pengamatan musim kemarau (Agustus 2003) di berbagai aliran sungai menunjukkan kondisi air yang baik, dimana air jernih (tidak berwarna) dan tidak berbau, kecuali pada Kali Sanen yang sebagian aliran (sebelah kiri sub DAS) berasal dari lahan jati Perum Perhutani yang habis dijarah, sehingga air agak keruh. Namun demikian air masih dapat dimanfaatkan oleh masyarakat sekitar untuk berbagai keperluan.

C. Karakteristik Hidrogeologi

Permasalahan mendasar di kawasan TNMB adalah kondisi geologi spesifik yang menyebabkan simpanan air tanah di musim kemarau secara umum sedikit. Menurut Poespowardoyo (1981), di kawasan TNMB terdapat air tanah dengan dua tipe produktivitas akifer: (1) Akifer bercelah atau sarang, dengan produktivitas kecil dan daerah air tanah langka. Daerah air langka ini terdapat di sebagian besar kawasan TNMB. Akifer produktif kecil berarti umumnya keterusan air sa-

ngat rendah, air tanah setempat dangkal, dalam jumlah terbatas dapat diperoleh pada zona pelapukan dari batuan padu. (2) Akifer dengan aliran melalui ruang antar butir. Terdapat di daerah dataran pantai, cekungan antar gunung dan kaki gunung api. Air setempat produktif sedang berarti akifer tidak menerus, tipis dan rendah keterusannya, debit sumur umumnya kurang dari lima liter/detik.

Berdasarkan komposisi litologi batuan dan kelulusannya, kawasan TNMB terdiri atas: (1) Batu gamping terumbu berlapis, dengan tingkat pembentukan karst yang beragam. Kelulusan sedang sampai tinggi. (2) Batuan vulkan mengandung leusit. Kelulusan rendah sampai sedang. (3) Aluvium endapan sungai, umumnya tersusun oleh bahan-bahan berbutir halus (lempung lanau, dengan selingan pasir). Umumnya kelulusannya sedang hingga rendah. Kondisi geologi spesifik tersebut menyebabkan simpanan air tanah menjadi kurang, walaupun kawasan merupakan daerah berhutan, sehingga pada sungai-sungai kecil *base-flow* di musim kemarau terasa kecil.

D. Implikasi Pengelolaan

Berdasarkan hasil penelitian di atas, karakteristik morfometri DAS memberikan karakter hidrologis spesifik di kawasan TNMB. Karakteristik alami ini tidak dapat diubah (diintervensi) oleh manusia/pengelola kawasan. Namun, tindakan pengelolaan perlu dilakukan dalam rangka menjaga dan meningkatkan kontinuitas dan kualitas sumber daya air sungai yang keluar dari kawasan TNMB.

Upaya untuk menjaga dan meningkatkan kontinuitas sumber daya air sungai dapat dilakukan dengan menjaga wilayah hulu DAS di zona inti dan zona rimba agar tetap berhutan. Wilayah hulu berhutan ini berfungsi sebagai resapan dari input air hujan, melalui mekanisme infiltrasi dan perkolasi yang potensial untuk mengisi akifer. Dengan demikian, pada musim kering dimana curah hujan rendah atau nol, kebutuhan sumber daya air

dapat dipenuhi dari sumber-sumber mata air yang akan mengisi badan sungai menjadi aliran dasar (*baseflow*). Pada wilayah tengah DAS/sub DAS dapat dibangun dam pengendali (cekdam) atau bendungan air yang dilengkapi pintu air yang dapat mengatur kontinuitas aliran sungai.

Upaya untuk menjaga dan meningkatkan kualitas air sungai dapat ditempuh melalui kegiatan rehabilitasi dan restorasi di zona rehabilitasi TNMB. Di zona pemanfaatan perlu upaya pemanfaatan kawasan secara arif agar tetap menjaga kelestarian dan produktivitas lingkungan, dengan cara memperhatikan kaidah konservasi tanah dan air (KTA). Aplikasi teknik KTA dapat berupa pembuatan teras dan saluran pembuangan air (SPA) pada lahan olah serta *grass barrier* batas bidang olah. Pembangunan dam penahan/pengendali sedimen pada tempat-tempat tertentu yang membutuhkan dapat bertindak sebagai purifikator alami kualitas air sungai. Hasil penelitian Supangat dan Paimin (2007) menyimpulkan bahwa keberadaan tiga waduk yang dibangun di sepanjang aliran sungai Citarum mampu mengendalikan kualitas air sungai Citarum sehingga kandungan bahan polutan yang keluar dari waduk mengalami penurunan.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa:

1. Kawasan TNMB terbagi menjadi 16 sub-sub DAS dengan ukuran luas 5,82 sampai 133,54 km², delapan di antaranya mengalir ke Laut Selatan Jawa.
2. Sebagian besar daerah tangkapan air di TNMB berpola radial, dengan bentuk DAS memanjang dan sifat aliran sepanjang tahun untuk sungai-sungai besar (luas DAS di atas lima km²). Sifat kerapatan drainase yang sedang dan indeks percabangan sungai tiga sampai lima menyebabkan air banjir

pada sungai-sungai besar tidak terlalu fluktuatif.

B. Saran

Upaya peningkatan pengelolaan kawasan TNMB agar terus dilakukam dalam rangka menjaga dan meningkatkan kontinuitas dan kualitas sumber daya air sungai yang mengalir dari dalam kawasan. Upaya teknis dapat berupa rehabilitasi, reboisasi, aplikasi teknik KTA serta pembuatan bangunan-bangunan air pada tempat-tempat tertentu, terutama pada sub DAS-sub DAS yang memiliki bentuk membulat, sehingga kontinuitas hasil air dapat ditingkatkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Glennon, A.J. (2001). *Application of morphometric relationship to active flow network within the Mammoth Cave Watershed*. Bowling Green, Kentucky: Faculty of Departement Geography and Geology, Western Kentucky University.
- Luo, W., & Howard, A. (2006). Quantitative morphometric analysis of simulated martian landforms at watershed basin scale. *Lunar and Planetary Science*, XXXVII.
- Murtiono, U. (2001). Pedoman teknis pengukuran dan perhitungan parameter morfometri DAS. *Info DAS*, (10).
- Noges, T. (2009). Relationship between morphometry, geographic location and water quality parameters of European Lakes. *Hydrobiologia*, (633) : 33-43.
- Nugroho, S. (2009, April 26). *Respon morfometri dan penggunaan lahan DAS terhadap banjir bandang (Studi kasus bencana banjir bandang di Sungai Bohorok)*. Diambil kembali dari <http://simma.bppt.go.id>
- Paimin, Riyanto, H., Supangat, A., & Purwanto. (2003). *Kajian kriteria dan indikator pengelolaan taman*

- nasional*. Surakarta: Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan DAS, Badan Litbang Kehutanan
- Poespowardoyo, R. (1981). *Peta hidrogeologi Indonesia, lembar XI Jember Jawa Timur, skala 1:250.000*. Bandung: Direktorat Geologi Tata Lingkungan
- Rahayu, S., Widodo, R., Noordwijk, M., Suryadi, I., & Verbist, B. (2009). *Monitoring air di daerah aliran sungai*. Bogor: World Agroforestry Center, ICRAF Asia Tenggara
- Slamet, B. (2008, April 26). *Model hidrologi satuan sintetik menggunakan parameter morfometri (Studi kasus di DAS Ciliwung)*. Diambil kembali dari <http://repository.usu.ac.id>
- Supangat, A., & Paimin (2007). *Kajian peran waduk sebagai pengendali kualitas air secara alami*. *Jurnal Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta*, 21(2):123-130

Lampiran (Appendix) 1. Karakteristik hidrologi sungai di Kali Sanen periode 1991-2001 (*Hydrological characteristics of Kali Sanen at periods of 1991-2001*)

Parameter hidrologi (<i>Hydrologic parameters</i>)	Tahun (Year)											
	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	
Hujan (<i>Rainfall; mm/tahun</i>)	1.945	2.261	1.688	1.572	2.621	1.854	1.490	3.005	1.745	2.193	1.843	
Limpasan (<i>Runoff; mm</i>)	1.247,2	1.018,6	595,2	889,4	2.662,8	677,1	474,2	1.140,8	1.397,6	1.815,1	1.535,1	
Koefisien Limpasan (<i>RO coeff.</i>)	0,641	0,451	0,353	0,566	1,016	0,365	0,318	0,379	0,801	0,828	0,833	
Debit maksimum (<i>m³/dt</i>)	211	500	170	154	259,2	215	157	194,4	274,9	107,9	341,1	
Debit minimum (<i>m³/dt</i>)	1,15	1,00	0,24	0,12	0,69	0,53	0,03	0,94	0,61	1,24	0,15	
KRS	183,5	500,0	708,3	1.283,0	375,7	405,7	5.234,0	206,8	450,7	87,02	2.274,0	

Keterangan (*Remark*) : KRS = Koefisien Regim Sungai (*Ratio of Q-max and Q-min*)

Sumber (*Source*): Dinas PU Provinsi Jawa Timur

Lampiran (Appendix) 2 Morfometri DAS pada masing-masing sub DAS dan sub-sub DAS di kawasan TNMB (Morphometry characteristics of each catchment and micro catchment)

Parameter Morfometri (Morphometry parameters)	Nomor Sub DAS /Sub-Sub DAS (No of catchment/micro catchment)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Luas (Area) (A; km ²)	42,83	69,64	133,54	29,7	54,63	8,07	15,93	11,96	11,75	25,76	31,96	7,19	14,54	10,21	7,92	5,82
Panjang sungai utama (Main river length) (Lb; km)	11,8	17,3	21,3	10,2	12,6	6,0	5,2	5,4	5,6	7,8	11,0	4,0	6,9	5,9	4,8	3,3
Lebar DAS (Catchment width) (W; km)	3,63	4,03	6,27	2,91	4,34	1,35	3,06	2,21	2,10	3,30	2,91	1,80	2,11	1,73	1,65	1,77
Panjang DAS (Catchment length) (Lr; km)	10,3	12,9	15,9	6,9	11,2	5,5	4,1	6,0	5,7	5,5	8,5	4,0	6,7	5,3	3,9	2,9
Kerapatan aliran (Flow density) (Dd; km/km ²)	1,92	1,26	1,43	1,85	1,55	1,46	1,99	1,54	1,44	1,84	1,88	1,53	0,89	1,61	1,76	2,11
Panjang aliran (Flow length) (Lg; km)	1,81	2,01	3,13	1,46	2,17	0,67	1,53	1,11	1,05	1,65	1,45	0,90	1,05	0,87	0,82	0,88
Lebar Rata-rata DAS (Average catchment slope) (Sb; %)	33,52	32,11	28,68	24,86	24,02	28,15	22,18	33,24	40,99	34,63	24,82	32,69	31,18	32,13	29,45	23,72
Lebar rata-rata sungai (Average stream slope) (So) (%)	5,72	3,60	3,24	5,10	4,57	7,44	5,44	13,57	40,99	34,63	24,82	13,67	11,40	15,25	12,78	8,48
Circulation Ratio (Rc)	0,69	0,55	0,22	0,48	0,61	0,52	0,13	0,55	0,56	0,73	0,75	0,82	0,64	0,66	0,84	0,87
Limniscate Constant (K)	2,45	2,39	1,91	1,60	2,28	3,75	1,06	3,01	2,77	1,17	2,26	2,22	3,09	2,75	1,97	1,49
Bifurcation Ratio (Rb)	45,3 3,21	43 6,541	4343 37,31	39 5,521	38 3,251	11,1	39,4 2,1	5,31	43,3 1	39,5 2,1	43,6 2,1	4,21	8,1	5,31	2,8 4,1	3,3 2,1
Rata-rata tertimbang orde sungai (Ave. catchment ordo) (Wtb)	5,07	5,63	5,33	5,06	4,71	11,00	4,69	5,37	4,78	4,94	5,48	4,18	8,00	5,37	3,83	3,66
Keliling DAS (Perimeter catchment) (P; km)	28,0	40,0	87,2	28,0	33,5	14,0	39,3	16,6	16,2	21,1	23,2	10,5	16,9	13,9	10,9	9,2
Panjang sungai total (Total stream length) (L; km)	83,0	83,2	199,6	55,8	85,4	12,4	29,7	16,6	17,4	45,5	59,5	11,0	12,9	16,4	13,9	12,3
Koefisien bentuk DAS (Catchment shape coefficient) (F)	0,31	0,23	0,29	0,29	0,34	0,22	0,59	0,41	0,37	0,42	0,26	0,45	0,31	0,29	0,34	0,54