

TINJAUAN GEOGRAFIS “LITORALISASI” DI KAWASAN PESISIR SELATAN YOGYAKARTA

Triyono

KAJIAN KETERSEDIAAN AIR PERMUKAAN PADA BEBERAPA DAERAH ALIRAN SUNGAI

Ugro Hari Murtiono

BELAJAR DARI PASANG SURUT PERADABAN BOROBUDUR DAN KONSEP PENGEMBANGAN PARIWISATA BOROBUDUR

M. Baiquni

TIPIKAL KUANTITAS INFILTRASI MENURUT KARAKTERISTIK LAHAN (KAJIAN EMPIRIK DI DAS CIMANUK BAGIAN HULU)

Dede Rohmat

NERACA AIR DI PULAU BALI

Setyawan Purnama

KEMISKINAN DAN PERKEMBANGAN WILAYAH DI KABUPATEN BOYOLALI

*Wahyuni Apri Astuti dan
Muhammad Musiyam*

TERRAIN CHARACTERIZATION AND SOIL EROSION RISK ASSESSMENT FOR WATERSHED PRIORITIZATION USING REMOTE SENSING AND GIS (A case study of Nawagaon Maskara Rao Watershed, Saharanpur, India)

Beny Harjadi



Ketua Penyunting:

Drs. Priyono, M.Si.

Wakil Ketua Penyunting:

M. Amin Sunarhadi, S.Si., M.P.

Dewan Penyunting:

Agus Anggoro Sigit, S.Si.

M. Amin Sunarhadi, S.Si., M.P.

Drs. H. Kuswaji Dwi Priyono, M.Si.

Dra. Hj. Umrotun, M.Si.

Drs. H. Yuli Priyana, M.Si.

Distribusi dan Pemasaran:

Drs. H. Yuli Priyana, M.Si.

Kesekretariatan:

Agus Anggoro Sigit, S.Si.

Periode Terbit: Juli dan Desember

Terbit Pertama: Juli 1987

Cetak Sekali Terbit: 400 exp

Alamat Redaksi:

Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos I Surakarta 57102, Telp (0271) 717417 Psw 151-153,
Fax: (0271) 715448, E-mail: forumgeografi_ums2008@yahoo.com atau
drspriyono@yahoo.com



DAFTAR ISI

TINJAUAN GEOGRAFIS “LITORALISASI” DI KAWASAN PESISIR SELATAN YOGYAKARTA <i>Triyono</i>	1 - 10
KAJIAN KETERSEDIAAN AIR PERMUKAAN PADA BEBERAPA DAERAH ALIRAN SUNGAI <i>Ugro Hari Murtiono</i>	11 - 24
BELAJAR DARI PASANG SURUT PERADABAN BOROBUDUR DAN KONSEP PENGEMBANGAN PARIWISATA BOROBUDUR <i>M. Baiquni</i>	25 - 40
TIPIKAL KUANTITAS INFILTRASI MENURUT KARAKTERISTIK LAHAN (KAJIAN EMPIRIK DI DAS CIMANUK BAGIAN HULU) <i>Dede Rohmat</i>	41 - 56
NERACA AIR DI PULAU BALI <i>Setyawan Purnama</i>	57 - 70
KEMISKINAN DAN PERKEMBANGAN WILAYAH DI KABUPATEN BOYOLALI <i>Wahyuni Apri Astuti dan Muhammad Musiyam</i>	71 - 85
TERRAIN CHARACTERIZATION AND SOIL EROSION RISK ASSESSMENT FOR WATERSHED PRIORITIZATION USING REMOTE SENSING AND GIS A case study of Nawagaon Maskara Rao Watershed, Saharanpur, India <i>Beny Harjadi</i>	86 - 98
Biodata Penulis <i>Mitra Bestari</i>	99 - 100

PENGANTAR DEWAN PENYUNTING

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah jurnal penelitian Forum Geografi Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta Volume 23 No. 1 Juli 2009 bisa terbit meskipun agak terlambat dua minggu, karena proses perbaikan naskah daripenulis yang mengalami keterlambatan pengiriman serta banyaknya peta/gambar dari *copy soft* naskah dari penulis yang kurang jelas. Ketika jurnal forum geografi mengajukan borang akreditasi pada bulan April tahun 2009, nampak ada keraguan pihak penyunting karena Dikti telah menggunakan format penilaian yang baru yang memerlukan persyaratan yang cukup ketat. Betul juga dugaan kami, selang beberapa minggu setelah pengajuan borang akreditasi, kami mendapatka surat undangan dari Dikti untuk mengikuti pelatihan manajemen jurnal ilmiah tingkat nasional di Surabaya pada tanggal 14-17 Mei 2009. Banyak wawasan tentang manajemen jurnal ilmiah yang kami dapatkan dan seharusnya memerlukan perhatian khusus, yang selama ini sering terabaikan dalam pengelolaan jurnal. Di penghujung pelatihan, kami harus membuat surat pernyataan untuk menarik kembali borang akreditasi yang telah kami ajukan dan diberi kesempatan selama 2 edisi atau 1 tahun untuk meningkatkan *performance* forum geografi, itu artinya jurnal Forum Geografi selama Juli dan Desember 2009 tidak terakreditasi dan baru bulan Desember 2009 kami diberi kesempatan untuk mengajukan akreditasi kembali (jadi tidak harus menunggu selama tiga tahun).

Ada tujuh naskah yang layak diterbitkan pada edisi ini, yang membahas tentang litoralisasi, ketersediaan air permukaan, peradaban Borobudur, kuantitas infiltrasi, neraca air, kemiskinan dan perkembangan wilayah, serta aplikasi *remote sensing* dan SIG untuk pencirian bentuk lahan dan penilaian resiko bahaya erosi. Topik yang diangkat cukup aktual dan asal penulisnya pun bervariasi baik dari kalangan akademisi maupun birokrasi. Kami mohon maaf kepada penulis yang sudah mengirimkan artikelnya tetapi belum layak diterbitkan karena aspek substansial yang belum memenuhi syarat sehingga masih perlu perbaikan.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Surakarta, Juli 2009

Dewan Penyunting

TINJAUAN GEOGRAFIS “LITORALISASI” DI KAWASAN PESISIR SELATAN YOGYAKARTA

Triyono

Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumber Daya Non Hayati
Badan Riset Kelautan dan Perikanan
Jl. Pasir Putih I Ancol Timur Jakarta
E-mail: triyono_dkp@yahoo.co.id

ABSTRACT

“Littoralization” can be geographically studied based on geomorphological approach and landuse system. The method of coastal geography provides useful data of geomorphology and landuse system. This research was conducted in the coastal area of south of Yogyakarta. To process spatial data was used Geographic Information System (GIS) methods (i.e. Aerial photography, satellite imagery, and field observation results). The results showed that the research area has a volcanic sandy coastal typology with flat to sloping topography. Further, this typology is divided into three units of typology, the active beach ridge and sand dunes, non active beach ridge, and the foot hills. Development of the settlements tends toward the sea due to economic dependence on beach tourism.

Keywords: *littoralization, coastal geography, coastal typology, settlement development*

PENDAHULUAN

Sejak dikenalnya transportasi maritim dan kolonialisasi, pesisir menjadi pendukung utama berbagai aktivitas manusia. Perkembangannya pemanfaatan lahan pesisir semakin intensif, baik untuk kegiatan ekonomi maupun sebagai tempat tinggal. Kebutuhan akan lahan mendorong manusia menempati lahan pesisir hingga ke perbatasan antara darat dan laut yang merupakan daerah rawan bencana. Perkembangan pemanfaatan lahan pesisir ini disebut litoralisasi laut (El Mrini *et al.*, 2008).

Penelitian litoralisasi banyak dilakukan di Perancis karena adanya fenomena semakin tertariknya penduduk untuk menempati dan beraktivitas di kawasan

pesisir. Salah satu kekhawatirannya adalah, seperti tempat-tempat yang lain, pesisir Perancis mengalami haliotropisme dan semakin padatnya pemukiman yang berevolusi spasial dan temporal heterogen. Di sisi lain, perkembangan pemukiman dan eksploitasi intensif ruang pesisir menciptakan situasi berisiko laut (Meur-Ferec C, 2006). Geografi pesisir (*Coastal Geography, géographie du littoral*) mempelajari ruang yang secara spesifik merupakan hasil kerja alam, yaitu keberadaan kawasan pertemuan laut-darat hingga kontak antara hidrosfer laut dan litosfer yang ada di permukaan². Menurut Corlay (1995), untuk melakukan penelitian litoralisasi dengan pendekatan geografi pesisir maka pesisir harus dipahami sebagai sebuah sistem dengan unsur-unsur ganda tetapi memiliki

dua unsur dasar, yaitu ekosistem dan sosiosistem, kombinasi faktor-faktor yang relevan dengan masyarakat, dinamika alam dan dinamika sosial. Peran pendekatan geografi pesisir dalam pengelolaan kawasan pesisir diterapkan melalui zonasi kawasan pesisir berdasarkan karakteristik geografinya.

Penelitian mengenai litoralisasi penting dilakukan di Indonesia mengingat pusat-pusat permukiman dan aktivitas ekonomi berada di kawasan pantai dan pesisir, sedangkan pantai dan pesisir Indonesia merupakan kawasan yang rawan bencana laut. Selama ini, belum banyak penelitian mengenai litoralisasi di Indonesia. Kota-kota besar di Indonesia sebagian besar berada di kawasan pesisir. Semakin berkembangnya kota, kawasan pantai menjadi pilihan sebagai tempat bermukim dan beraktivitas ekonomi, baik kegiatan perikanan, industri, maupun pariwisata.

Kawasan pesisir Parangtritis, Yogyakarta sebagian besar berupa pantai dari akumulasi pasir endapan gunung api. Topografi yang relatif datar menjadikan kawasan pesisir ini menarik untuk dibudidayakan dan ditinggali oleh penduduk. Beberapa segmen pesisir selatan tersebut dimanfaatkan untuk aktivitas pertanian, pariwisata dan lahan permukiman. Kunjungan wisatawan di pantai ini pada bulan Desember tahun 2004 melampaui 250.000 orang (Dinas Pariwisata, 2007). Perkembangan kawasan wisata yang ditandai oleh peningkatan jumlah wisatawan menyebabkan ketertarikan penduduk untuk membangun usaha dan bermukim di Parangtritis. Menurut Ritohardoyo (2007) perkembangan kualitas dan kuantitas permukiman bervariasi secara keruangan. Semakin banyaknya permukiman yang cenderung menuju ke laut, menyebabkan kawasan

permukiman Parangtritis rentan bencana alam asal laut.

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji litoralisasi dan tipologi pantai yang diharapkan bermanfaat bagi pengelolaan kawasan pesisir secara terpadu. Selain itu, hasil penelitian diharapkan mampu menambah khasanah teoritis ilmu geografi. Kajian litoralisasi ini mencakup perkembangan pesisir secara fisik geomorfologi dan perkembangan permukiman atau bangunan.

METODE PENELITIAN

Area penelitian dilakukan di kawasan Parangtritis dan termasuk pesisir selatan Yogyakarta dengan luas sekitar 27 km². Jarak dari pusat kota Yogyakarta adalah 30 km sedangkan dari pusat Kota Bantul sekitar 10 km. Daerah penelitian adalah pesisir dengan topografi datar hingga bergelombang dan merupakan tipologi pesisir akumulasi endapan vulkanik (Khakhim *et al.*, 2008).

Perkembangan permukiman dan penduduk yang cepat di Parangtritis menarik untuk diteliti, terutama mengenai kecenderungan perkembangannya. Karakteristik fisik kawasan berupa pesisir landai hingga bergelombang dengan material pasir memudahkan untuk perekayasaan permukiman. Posisi yang menghadap langsung Samudera Hindia sudah tentu menimbulkan resiko bencana tersendiri, terutama tsunami yang mungkin terjadi di kawasan tersebut.

Data yang dikumpulkan dalam peneliti ini berupa data primer yang meliputi pengukuran topografi detil interval kontur 1 meter dengan alat RTK, wawancara mengenai kondisi sosial-ekonomi, dan data

deskriptif pengamatan bentukan-bentukan alam. Analisa spasial permukiman dilakukan melalui interpretasi foto udara dan citra satelit multi temporal. Analisis data primer didukung oleh adanya data sekunder yang berupa data-data statistik demografi dan hasil-hasil penelitian terdahulu.

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan menurut tahap-tahap: (1) penelaahan kepustakaan tentang deliniasi kawasan pesisir dan identifikasi geomorfologi kawasan, (2) mempelajari karakteristik daerah yang meliputi geomorfologi, iklim, dan sumberdaya, (3) survei lapangan pengukuran topografi kawasan dan penggunaan lahan aktual, dan (4) menelaah karakter fisik dan sosial kawasan untuk analisis tipologi pesisir.

Pemetaan karakteristik kawasan pesisir berdasarkan pendekatan geomorfologi dengan satuan pemetaan adalah satuan medan (*terrain unit*) pada skala detil. Penelitian mengenai karakter fisik Parangtritis dilakukan melalui analisa penginderaan jauh (Gambar 1). Hasil interpretasi citra satelit ini kemudian ditumpangsusunkan dengan hasil pengukuran topografi detil di lapangan untuk mengklasifikasikan kelas kemiringan lerengnya.

Analisis tipologi pantai meliputi kriteria geomorfologi berupa kemiringan lereng, jenis material, dan proses yang dominan yang berada pada zona antara perairan surut dan pasang tinggi dan ruang yang masih dipengaruhi oleh laut. Proses geomorfologi yang menyebabkan perkembangan pesisir diidentifikasi melalui tumpangsusun (*overlay*) peta-peta topografi daerah penelitian yang memiliki tahun pembuatan berbeda dengan bantuan perangkat lunak *Geographical Information*

System (GIS) ArcGIS 9.2. Tipologi pantai dianalisis melalui interpretasi citra satelit ASTER (*Advanced Spaceborne thermal Emission and Reflection Radiometer*) *orthorectified* dianalisis dengan algoritma klasifikasi *unsupervised* mengkombinasikan saluran ASTER VNIR RGB: 3N-2-1. Perangkat lunak yang digunakan adalah ENVI 4.3.

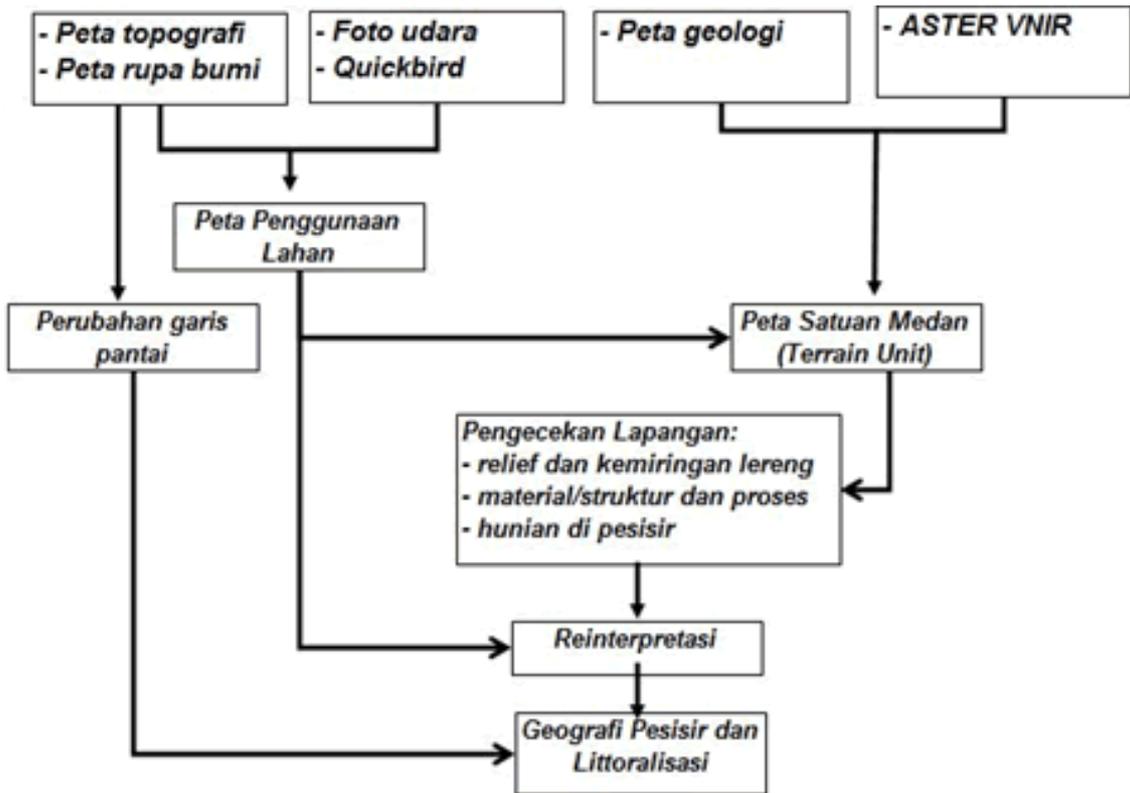
Kriteria sosial-ekonomi kawasan meliputi aktivitas penduduk di kawasan pesisir yang tergantung pada kegiatan darat dan laut. Perkembangan penduduk dikaji berdasarkan statistik dan laporan resmi Pemerintah. Wawancara dan pengamatan di lapangan dilakukan untuk memperoleh data kriteria sosial ekonomi. Perkembangan permukiman dianalisis melalui interpretasi foto udara multi temporal tahun 1960, 1992, 2000, 2002, 2003, dan citra satelit Quickbird tahun 2006. Bangunan didelineasi secara manual dengan ArcGIS 9.2. Dengan melakukan tumpang susun hasil interpretasi bangunan diperoleh perkembangan bangunan antar waktu.

Analisa karakteristik geografi kawasan sebagai refleksi daya dukung lingkungan diolah dan disajikan secara tabulasi dan spasial melalui peta. Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif didukung dengan metode kualitatif untuk data sosial demografi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tipologi pesisir

Berdasarkan pada interpretasi peta topografi multitemporal dan citra satelit, diperkirakan besarnya kemajuan lahan (progresi) ke arah laut sekitar 165 meter garis pantai Parangtritis, selama periode tahun 1919 hingga 2001.



Sumber: Corlay *et al.*, 1995 dengan modifikasi

Gambar 1. Alur Penelitian Littoralisasi di Parangtritis



Sumber: Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Skala 1: 25.000

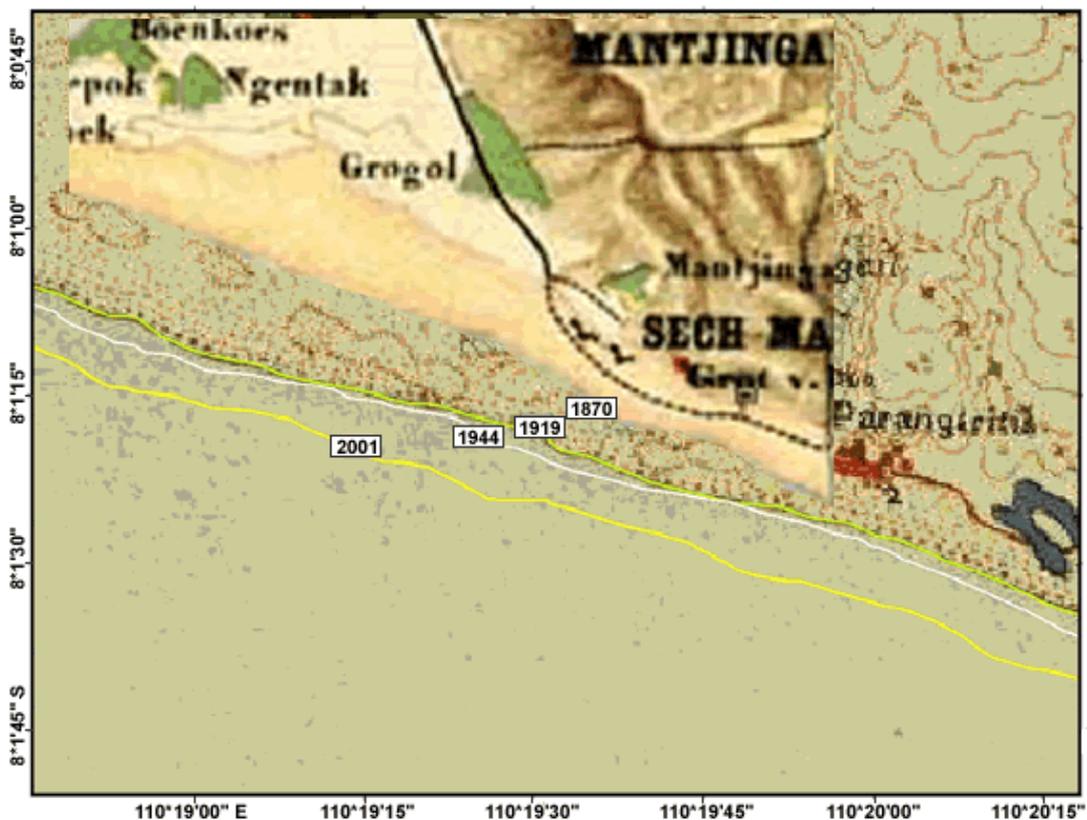
Gambar 2. Lokasi Penelitian Pantai Parangtritis

Progresi besar terjadi antara 1919 hingga 1944 (sekitar 1,6 meter per tahun) dan terbesar ketika terjadi pada tahun 1944 hingga 2001 atau sekitar 2,2 meter per tahun (Gambar 3). Situasi ini menggambarkan bahwa pesisir Parang-tritis mengalami kemajuan akibat sedimentasi membentuk tipologi pantai berpasir vulkanik datar hingga miring (Gambar 4).

Dengan melakukan analisis tiga dimensi melalui perangkat lunak GIS antara hasil delineasi interpretasi geomorfologi citra ASTER dengan hasil pengukuran lapangan, diperoleh tiga satuan tipologi pantai Parangtritis, yaitu: 1) gisik aktif datar hingga landai material pasir vulkanik (25%), 2) gisik non aktif

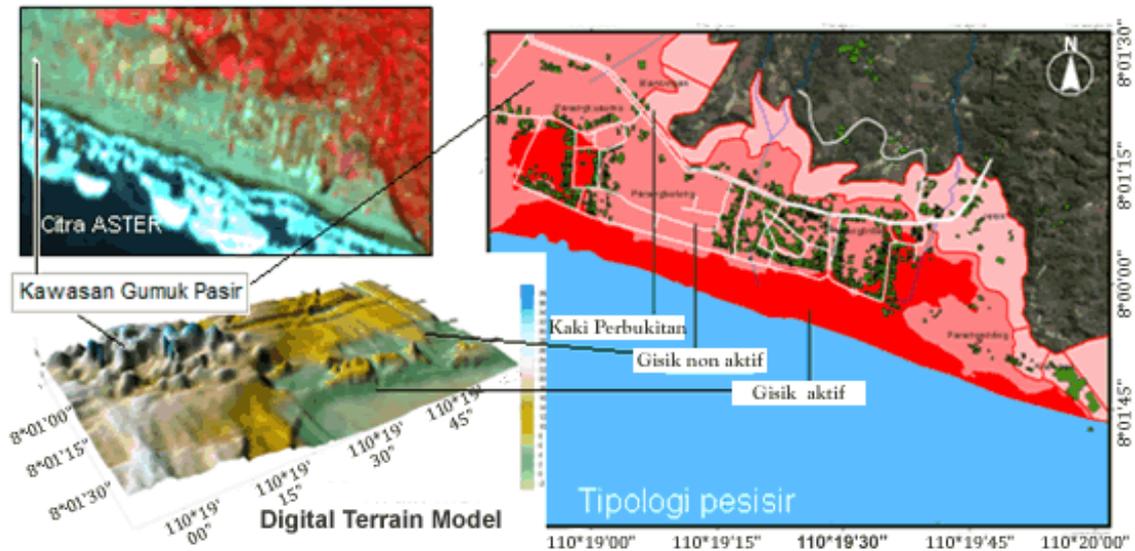
landai bergumuk material pasir vulkanik (59,5%), dan 3) kaki perbukitan landai hingga miring material campuran pasir dan koluvial (15%). Hasil interpretasi menunjukkan bahwa topografi pesisir Parangtritis tidak seragam dengan adanya tiga cekungan. Lokasi-lokasi cekungan juga merupakan daerah rentan terhadap genangan air laut.

Kawasan pesisir pantai selatan Yogyakarta merupakan kawasan pesisir yang terus mengalami kemajuan akibat adanya sedimentasi. Tenaga geomorfologi laut berupa arus pasang surut dan hempasan ombak membentuk tipologi pantai gisik aktif yang kemudian dengan adanya tenaga angin mengangkut pasir ke arah belakang



Sumber: Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Skala 1: 25.000

Gambar 3. Perkembangan Garis Pantai Parangtritis



Sumber: Hasil Analisis Citra Digital

Gambar 4. Tipologi Pantai Lokasi Penelitian

membentuk gisik non aktif dengan gumuk-gumuk pasir. Pantai gisik aktif berhadapan langsung dengan hempasan ombak/gelombang sehingga sangat labil dan dapat mengalami perubahan letak, baik kedepan (progresif) maupun mundur (regresif). Rata-rata lebar dari pantai gisik aktif antara 10 meter hingga 20 meter. Di belakang pantai gisik aktif terbentuk pantai gisik non aktif seiring semakin kecilnya peran energi hempasan ombak/gelombang. Gumuk pasir terbentuk jauh belakang pantai gisik non aktif.

Satuan gisik aktif merupakan kawasan yang sangat terbuka terhadap bencana karena berhadapan langsung dengan laut, sedangkan kawasan belakangnya relatif aman dari ancaman bencana tersebut. Beting gisik aktif merupakan kawasan yang pada saat pasang tinggi dapat tergenang oleh air laut. Material pantai pada saat kering terangkut oleh tenaga angin. Pada Gisik non aktif, proses geomorfologi ini tidak terjadi, kecuali untuk transport ma-

terial pasir oleh angin. Kaki perbukitan merupakan kawasan yang cukup jauh dari pengaruh laut dan merupakan kawasan yang cukup aman terhadap tsunami.

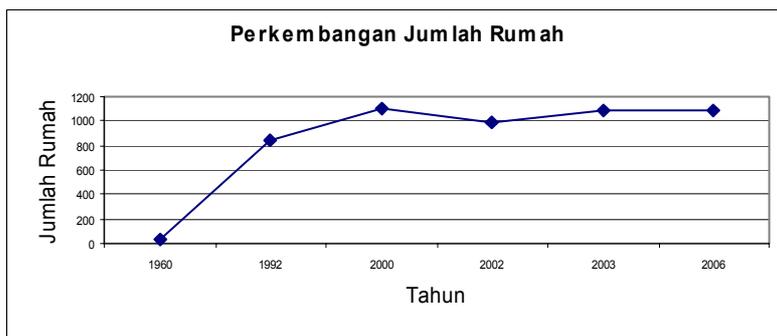
Perkembangan permukiman

Daya tarik wisata pantai menyebabkan semakin berkembangnya aktivitas ekonomi yang berdampak pada semakin berkembangnya permukiman di sekitar pantai. Pada tahun 1960-an hanya terdapat sekitar 20 Kepala Keluarga (KK) yang bermukim di kaki bukit dan Pegunungan Seribu. Namun, hingga tahun 2000 tercatat sebanyak 1.098 rumah di kawasan tersebut. Kawasan gumuk pasir banyak mendapatkan tekanan bangunan dilihat dari pertumbuhan bangunannya yang berkembang sejajar dengan pantai dan berhadapan dengan laut. Dari tahun 1960 hingga tahun 2006 terjadi peningkatan jumlah bangunan secara sangat signifikan, yaitu 3.600% dan diringi oleh pertumbuhan

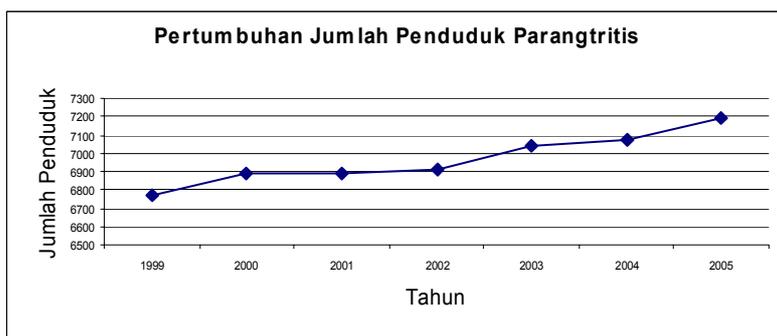
penduduk (Gambar 4). Perkembangan ini dimulai sejak selesainya pembangunan Jembatan Kretak yang menghubungkan Parangtritis dengan Kota Bantul dan Yogyakarta (Sudaryono *et al.*, 2002).

Secara spasial, perkembangan permukiman ini mengarah ke pantai mendekati

Sekitar 21,5% permukiman berada di gisik aktif dan 64% berada pada gisik non aktif. Perkembangan permukiman ini sangat terkait dengan aktivitas pariwisata yang berkembang di Parangtritis yang dapat dilihat dari struktur umur penduduk pesisir Parangtritis yang sebagian besar usia produktif.



Sumber: BAPPEDA Bantul, 2006



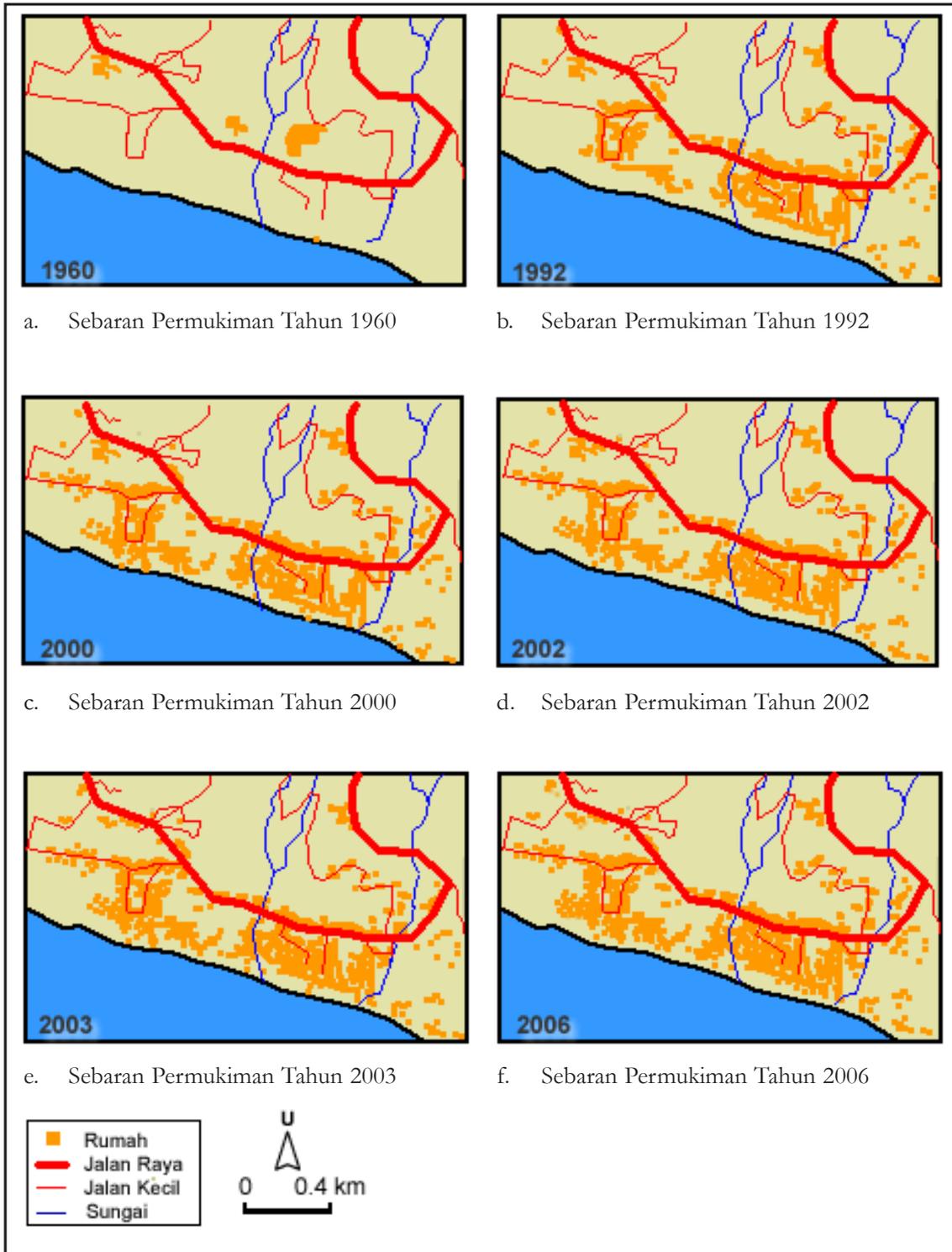
Sumber: BAPPEDA Bantul, 2006

Gambar 4. Dinamika Bangunan dan Pertumbuhan Penduduk Parangtritis

lokasi wisata pantai, berawal dari kaki perbukitan menuju beting gisik aktif. Perkembangan permukiman kearah laut ini menyebabkan semakin berkembangnya permukiman ke arah pantai dengan pusat-pusat perkembangan merupakan obyek-obyek wisata utama di kawasan Parangtritis yaitu: Parangkusumo, pemandaian air hangat, makam, dan plasa Parangtritis. Perkembangan permukiman kearah pantai dapat meningkatkan keterbukaan permukiman terhadap resiko bencana laut.

Sosial ekonomi

Jumlah penduduk Desa Parangtritis pada tahun 2005 adalah 3.489 jiwa, dengan kepadatan penduduk 606 jiwa/km². Tingkat kesejahteraan mereka pada umumnya adalah menengah, dan pendapatan mereka umumnya berasal dari aktivitas pariwisata. Pendapatan minimum rumah tangga Indonesia adalah Rp. 715.000/bulan (Triyono, 2008).



Sumber:

- Foto Udara Tahun 1960, 1992, 2000, 2002, 2003
- Citra Quick Bird 2006

Gambar 5. Arah Perkembangan Permukiman Tahun 1960 - 2006

Berdasarkan data statistik Desa Parangtritis tahun 2007, kawasan pesisir ini dihuni oleh sebagian besar penduduk usia produktif (15 – 56 tahun). Ini menunjukkan bahwa ketergantungan ekonomi masyarakat terhadap aktivitas ekonomi kepariwisataan sangat tinggi. Data statistik hasil survei menunjukkan bahwa 64% penduduk berprofesi sebagai pemilik rumah makan/warung (Bappeda Bantul, 2006).

KESIMPULAN

Kawasan Parang tritis terbagi menjadi tiga tipologi pesisir dengan dominasi material pasir vulkanis Gunung Merapi. Perkembangan pesisir kearah laut dan berkembangnya pariwisata menyebabkan penduduk semakin tertarik untuk tinggal di kawasan pesisir. Pantai gisik aktif berhadapan langsung dengan samudera Hindia, pantai gisik non aktif dengan gumuk pasir berada di belakangnya, dan kaki perbukitan di formasi paling belakang. Tipologi pesisir Parangtritis

memiliki pola paralel memanjang berarah timur- barat, paralel dengan garis pantai.

Fenomena litoralisasi banyak ditemukan di pesisir Indonesia sebagai kecenderungan pemanfaatan lahan pesisir. Kawasan pesisir Parangtritis sebagai contoh litoralisasi dikaji untuk dapat diterapkan di seluruh pesisir Indonesia dengan memperhatikan karakter fisik, sosial ekonomi, dan penggunaan lahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada, khususnya kepada Dr. Junun Sartohadi, M.Sc, dan kepada PUSPICS UGM atas data foto udara dan citra ASTER, penulis juga sangat berterima kasih kepada Prof. Catherine Meur-Ferec dan Dr. Alain Hennaf dari Institut Universitaire Européen de la Mer UBO-France atas bimbingan metodologi kajian *géographie du littoral*.

DAFTAR PUSTAKA

- Bappeda Bantul. 2006. *Data Pokok Kabupaten Bantul*, Pemerintah Kabupaten Bantul.
- Corlay, Jean-Pierre. 1995. *Géographie Sociale, Géographie du Littoral, Norois, Poitiers, e. 42, n° 165, p.247-265.*
- Dagnelie, Pierre. 1998a. *Statistique Théorique et Appliquée*, Tome 1: Statistique descriptive et bases de l'inférence Statistique, De Boeck Université.
- Dagnelie, Pierre. 1998b. *Statistique Théorique et Appliquée*, Tome 2: Inférence Statistique à une et à deux dimensions, De Boeck Université.
- Dahuri, H. Rochmin, Jacob Rais, Sapta Putra Ginting. 2001. *Pengelolaan Sumberdaya Wilayah Pesisir dan Lautan Secara Terpadu*, Jakarta: Pradnya Paramita.

- Dauphiné A.. 2003. *Risque et Catastrophe : observer, spatialiser, comprendre, gérer*, Armand Collin, p288
- Dinas Pariwisata. 2007. *Data Statistik Pariwisata Kabupaten Bantul*, Pemerintah daerah Kabupaten Bantul
- Dumolard P., Dubus N., Charleux L.. 2005. *Les Statistiques en Géographie*, Belin, Paris Cedex
- El Mrini A, Nachite D., Taaouati M.. 2008. *Interactions Physico-Naturelles Et Socio-Economique Sur Le Littoral Tetouanais (Maroc Nord Occidental)*, Actes du colloque international pluridisciplinaire “Le littoral : subir, dire, agir” - Lille, France, 16-18 janvier 2008
- Khakhim, Nurul, Dedi S., Ani M., Vincentius P. S., Mennofatria B. . 2008. Analisis Visual Lanskap Pesisir Daerah Istimewa Yogyakarta untuk Pengembangan Pariwisata Pesisir Menuju pada Pengelolaan Wilayah Pesisir Berkelanjutan, *Forum Geografi Volume 22 No. 1 Juli 2008*.
- Lavigne, F., C. Gomez, M. Gifo, P. Wassmer, C. Hoebreck, D. Mardiatno, J. Priyono, and R. Paris. 2007. Field Observations of the 17 July 2006 Tsunami in Java, *Natural Hazard and Earth System Science*, 7(1), 177 - 183
- Meur-Ferec C.. 2006. *De la Dynamique Naturelle à La Gestion Intégrée de L'espace Littoral: Un Itinéraire de Géographe ; Volume 1 – Essai Inédit*, Document présenté en vue de l'habitation à diriger des recherches, Université de Nantes
- Meur-Férec C. et Morel V.. 2004. L'érosion sur la frange côtière: un exemple de gestion des risques. *Nature Science et Société* 12, 263-273
- Puspito N.T.. 2004. *Tsunami Zoning for Southern Coast of Java*, Prosiding Himpunan ahli Geofisika Indonesia, 2004
- Ritohardoyo, Su. 2007. *Perubahan Permukiman Pedesaan Pesisir Kabupaten Gunung Kidul Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 1996-2003*, Jurnal Forum Geografi Volume 21 No. 1 Juli 2007.
- Rynn J. 2002. *A Preliminary Assessment Of Tsunami Hazard And Risk In The Indonesian Region*, Centre for Earthquake Research in Australia
- Sudaryono, Purbadi J, Hardiyanto, Srisulistyani, Triyono, Arif A.. 2002 – 2004. *Karakter Ruang Lokal Sebagai Mainstream Perencanaan Pembangunan Lokal:Upaya Menyumbang Pendekatan dan Substansi Teori Lokal untuk Pembangunan Lokal*, Riset Unggulan Bidang Kemasyarakatan dan Kemanusiaan RUKK III, Kantor Menteri Negara Riset dan Teknologi
- Triyono. 2008. Evaluation de la Vulnérabilité au Tsunami dans la Région de Bantul, secteur de Parangtritis en Indonésie :*Mémoire Master 2*, Institut Universitaire Européen de la Mer, Université de BRETAGNE OCCIDENTAL, Perancis
- Yalçiner A.C., Pelinovsky E.N., Okal E, Synolakis C.E., (ed). 2001. *Submarine Landslide and Tsunamis*, NATO Science Series, Earth and Environmental sciences, p.328

KAJIAN KETERSEDIAAN AIR PERMUKAAN PADA BEBERAPA DAERAH ALIRAN SUNGAI (Studi Kasus di Sub DAS Temon, Wuryantoro, Alang, dan Keduang)

Ugro Hari Murtiono

Kelompok Peneliti Konservasi Tanah dan Air (KTA)

Balai Penelitian Kehutanan (BPK) Solo

Jl. Ahmad Yani Pabelan, Po. Box. 295, Surakarta, Jawa Tengah, Telp/Fax: 0271-716709

E-mail: ugrohm@yahoo.com

ABSTRACT

The study was conducted at some watersheds (Temon, Wuryantoro, Alang, and Keduang sub Watersheds), in Wonogiri District. These four sub Watersheds are main river whose outlets go into Wonogiri Dam. The study will calculate of water availability and the need of water for various uses at four sub Watersheds. The Thornwaite and Mather method was used to calculate the of water availability. The results indicate that : (1) The water availability at Temon Sub Watershed) $35.435.875 \text{ m}^3$ and the need of water per year sebesar $51.053.247 \text{ m}^3$, the water minus 30,59% per year; (2) The water availability per year Wuryantoro sub Watershed $17.788.417 \text{ m}^3$ and the need of water per year $22.413.430 \text{ m}^3$, the water minus 20,64% per year; (3) The water availability per year at Alang sub Watershed $31.372.317 \text{ m}^3$ per year and the need of water per year $69.566.500 \text{ m}^3$, the water minus 54,90% per year; (4) The water availability per year geological at Keduang sub Watershed $438.527.889 \text{ m}^3$ and the need of water per year $452.611.219 \text{ m}^3$, the water minus 3,11% per year; (5). Watershed having condition needs improvement especially an effective water resources plan, allocating, and distributing of water according to priority establishment, e.g., water pond, revegetation with low evapotranspiration potential, developing infiltration well, protecting water spring from disconcerting, and construction of water reservoir.

Keywords: *potency of water, need of water, and minus water*

PENDAHULUAN

Sebagai salah satu sumber alam, air merupakan faktor amat penting dan mutlak untuk sumber kehidupan. Seperti telah diketahui dalam daur hidrologi, air mempunyai mobilitas yang tinggi. Melalui presipitasi, evaporasi, transpirasi, dan pengaliran, air berputar terus sepanjang masa. Jumlah penduduk yang semakin

bertambah, meningkatnya kebutuhan pangan, bertambahnya luas sawah dan industri yang juga diikuti teknologi semakin berkembang dapat menyebabkan keadaan air relatif dirasakan semakin berkurang baik kuantitas ataupun kualitasnya. Meskipun air di bumi ini tetap, yang berbeda adalah sifat penyebarannya yang tidak merata baik menurut lokasi geografi ataupun waktu (Soewarno dan Srimulat Yuningsih, 2000).

Pengelolaan DAS adalah serangkaian kegiatan dengan berbagai cara yang saling terkait dengan penuh pertimbangan untuk mencapai suatu tujuan (Pusposutarjo, 1989). Tujuan pengelolaan DAS untuk mencapai kelestarian DAS agar dapat memberikan manfaat yang maksimal dan berkesinambungan bagi kesejahteraan manusia. Tujuan pengelolaan DAS dapat dicapai maka sasaran pengelolaan DAS meliputi berbagai aspek yaitu pengelolaan ekosistem, pengelolaan lahan, pengelolaan air dan pengelolaan sumber daya manusia.

Proses hidrologi dalam suatu DAS secara sederhana dapat digambarkan dengan adanya hubungan antara unsur masukan yakni hujan, proses dan keluaran yaitu berupa aliran. Hujan akan menghasilkan aliran tertentu pula dan aliran ini selain dipengaruhi oleh karakteristik DAS dan juga sangat tergantung pada karakteristik hujan yang jatuh. Karakteristik hujan meliputi tebal hujan, intensitas hujan dan durasi hujan, sedang karakteristik DAS meliputi topografi, geologi, geomorfologi, tanah, penutup lahan/vegetasi, dan pengolahan lahan serta morfometri DAS (Hadi, 2006).

Pengelolaan air diperlukan untuk memberikan kemakmuran dan kesejahteraan kepada masyarakat, sehingga perlu diketahui persediaan dan kebutuhan air dalam suatu daerah. Walaupun air terdapat dimana-mana, namun kuantitasnya terbatas, begitu pula tersedianya menurut waktu dan letak geografisnya, kualitasnya pun sering tidak sesuai dengan keperluan, oleh karena itu tanpa adanya usaha-usaha manusia, sedikit atau banyak tidaklah mungkin untuk memanfaatkan air

guna kemakmuran serta kesejahteraannya menurut jumlah, selera, waktu dan lokasi yang dikehendaki.

Pada waktu dahulu sebelum air diperlukan untuk berbagai keperluan dan dalam jumlah yang besar, air itu relatif masih belum merupakan suatu masalah, karena masih dapat memenuhi keperluan masyarakat. Masa kini, sangat dirasakan bahwa jenis serta banyaknya kebutuhan akan air begitu meningkat, sehingga harus dapat kita atur sedemikian rupa, agar supaya semua keperluan dalam berbagai bidang dan dalam waktu, tempat serta jumlah tertentu, baik untuk keperluan ekonomi maupun usaha-usaha sosial dan budaya, dapat dipenuhi secara baik, teratur serta lestari.

Pengelolaan DAS harus terus dievaluasi, salah satu parameternya adalah persediaan air untuk mengetahui kondisi DAS apakah dalam kondisi buruk, sedang dan baik. Perhitungan nilai persediaan air tersebut perlu diketahui berapa potensi (ketersediaan air) yang kemudian dibandingkan dengan kebutuhan air yang diperlukan baik untuk air minum daerah pemukiman maupun untuk keperluan pola penggunaan lahan yang diterapkan pada DAS. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji ketersediaan dan pemanfaatan air permukaan sub DAS Temon, Wurantoro, Alang, dan Keduang di Daerah Aliran Sungai (DAS) Solo Hulu.

METODE PENELITIAN

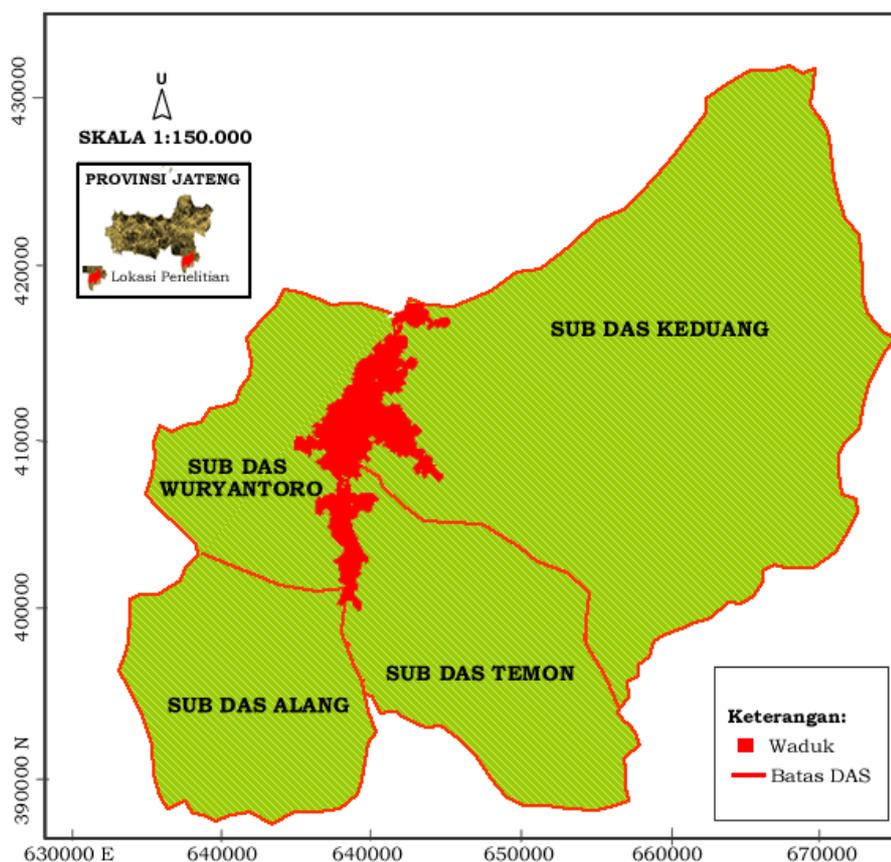
Lokasi

Kegiatan penelitian dilaksanakan pada empat sub DAS. Secara administrasi termasuk dalam wilayah Kabupaten Wonogiri. Masing-masing sub DAS terletak

Tabel 1. Lokasi , Letak lintang, Formasi Geologi dan Luas DAS

Sub DAS	Letak Lintang	Formasi Geologi	Luas (ha)
Temon	7° 49' 48,24" - 7° 52' 51,89" LS 110° 49' 56,70" – 110° 52' 38,50" BT	Campuran Volkan Tua-Kapur	4.250
Wuryantoro	7° 49' 48,24" - 7° 52' 38,5" LS 110° 49' 56,70" – 110° 52' 38,50" BT	Campuran Volkan Tua-Kapur	1.792
Alang	8° 01' 49" - 8° 06' 06" LS 110° 46' 49,7" - 110° 54' 10,7" BT	Kapur	5.439
Keduang	7° 42' 27,16" - 7° 55' 35,51" LS 110° 59' 29,29" - 111° 13' 30,00" BT	Volkan muda	35.993

Sumber: Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Skala 1: 25.000



Sumber: Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Skala 1: 25.000

Gambar 1. Lokasi Sub DAS Temon, Wuryantoro, Alang dan Keduang

di Kecamatan Baturetno (sub DAS Temon). Kecamatan Pracimantoro dan Giritontro (sub DAS Alang), Kecamatan Wuryantoro (sub DAS Wuryantoro), dan Kecamatan Ngadirojo, Nguntoronadi, dan Slogohimo (sub DAS Keduang). Lokasi ini dipilih karena: (1) Keempat sungai tersebut merupakan sungai utama yang masuk ke waduk wonogiri yang sekarang ini mempunyai masalah sedimentasi yang cukup tinggi; (2) Keempat lokasi tersebut masing-masing mempunyai masalah kekurangan air yang cukup ekstrim dan; (3) Keempat lokasi masing-masing mempunyai formasi geologi yang berbeda yaitu campuran volkan tua dan kapur di sub DAS Temon dan Wuryantoro, kapur di sub DAS Alang, dan volkan muda di sub DAS Keduang. Letak lintang-bujur dan luas masing-masing sub DAS disajikan pada Tabel 1.

Iklim

Menurut klasifikasi Koppen, daerah penelitian beriklim hujan tropik (A) dengan tipe Awa dan Ama. Tipe iklim Awa terdapat di sub DAS Temon dan Alang, tipe iklim Ama terdapat pada sub DAS Wuryantoro, tipe iklim di sub DAS Keduang adalah D, musim hujan terjadi antara bulan November – April, sedangkan musim kering pada bulan Mei – Oktober, jumlah bulan basah 6-7 bulan (Schmidt dan Ferguson, 1951).

Geologi dan Geomorfologi

Berdasarkan Peta Geologi Bersistem Indonesia Lembar Surakarta 1408-03, Lembar Giritontro 1407-6, Lembar Pacitan 1507-4 Tahun 1992 skala 1:100.000, lembar Ponorogo 1508-1 tahun 1997 skala 1 : 100.000 dan Peta Geologi Jawa dan

Madura Lembar III Jawa Timur tahun 1963 skala 1 : 500.000, berikut diskripsi singkat mengenai kondisi geologi dan geomorfologi daerah penelitian.

Sub DAS Temon

Terdiri dari 4 (empat) formasi geologi yaitu: Semilir, formasi Wonosari – Punung, formasi Mandalika, dan formasi Nglanggran. Formasi Semilir berumur miosen awal berupa tuf, breksi, batuapung dasitan, batu pasir tufan dan serpih. Formasi Wonosari-Punung berumur dari miosen tengah hingga pliosen, yang berupa batu gamping napalan-tufan, batu gamping konglomerat, batu gamping tufan dan batu lanau. Formasi Mandalika berumur miosen awal yang berupa lava dasit-andesit dan tufa dasit dengan retas diorit, serta formasi Nglanggran yang berumur miosen awal hingga miosen tengah yang berupa breksi gunung api aglomerat dan lava andesit basal dan tuff.

Sub DAS Wuryantoro

Sub DAS Wuryantoro merupakan formasi Oyo terdiri dari andesit hornblende, batu pasir tuf, tuf vitreous, napal tufan dan tanah liat (*clay*). Di formasi ini juga dijumpai breksi dari kapur (*limestone breccias*) dan konglomerat dari batu kapur (*conglomeratic limestone*). formasi andesit tua dijumpai pada sub DAS Wuryantoro bagian hulu, pada formasi ini terdapat 2 (dua) igir yaitu Igir Plopoh dan Igir Kembangan, kedua igir mempunyai batuan yang resisten yaitu tuff dan batuan andesit tua dari endapan gunung berapi tua pada jaman miosen tua. Berkaitan dengan kondisi iklim dan geologinya, proses-proses geomorfologi yang penting di daerah

Tabel 2. Luas Penggunaan Lahan pada Daerah Penelitian (ha)

Sub DAS	Tegal		Sawah		Kampung		Hutan	
	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%	(ha)	%
Temon	1.446	34,00	942	22,20	805	18,90	1.057	24,90
Wuryantoro	1.035	57,76	238	13,28	305	17,02	214	11,94
Alang	3.284	60,50	686	12,63	1.145	21,09	314	5,78
Keduang	17.210	47,81	11.798	32,78	4.424	12,29	2.561	7,12

Sumber: - Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Skala 1: 25.000
- Hasil Perhitungan

penelitian antara lain pelapukan, erosi, dan sedimentasi. Suhu udara yang selalu tinggi mempengaruhi laju pelapukan batuan, namun demikian pembentukan tanah terhambat oleh proses erosi terutama didaerah hulu. Pada sub DAS Wuryantoro tingkat erosinya sudah sangat lanjut sehingga sedimen yang terangkut sungai relatif kecil.

Sub DAS Alang

Sub DAS Alang merupakan formasi Kepek menempati daerah terluas, terdiri batu napal (*marls*) dan batu karang. Batu napal adalah sedimen yang terdiri dari bahan kalsium karbonat (CaCO_3) dengan lempung ataupun lanau. Di sebelah hulu formasi Kepek dijumpai formasi Wonosari yang berbatuan gamping.

Sub DAS Keduang

Sub DAS Keduang merupakan formasi Blitar sub Zone menempati daerah yang dominan luas, terdiri dari batuan breksi Notopuro dan vulkanik muda dan sebelah selatan berbatasan dengan igir Kambengan (*Kambengan Range*). Di sebelah

barat adalah dataran alluvial yang berbatasan dengan igir Plopoh (*Plopoh Range*).

Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan di daerah penelitian terdiri dari tegal, sawah, kampung, dan hutan. Lahan tegalan menempati wilayah terluas. Sawah yang dikerjakan masyarakat berupa sawah tadah hujan, perkampungan yang ada umumnya berupa desa, lahan hutan di empat sub DAS relatif sedikit, terluas di sub DAS Temon hanya 24,9%. Luas masing-masing penggunaan lahan disajikan pada Tabel 2.

Tanah

Daerah penelitian mempunyai tiga kelompok tanah utama (*main soil group*) yaitu laterit, margalit dan tanah kapur. Jenis laterit yang ada bersifat andesitik dengan warna merah. Jenis tanah ini mempunyai permeabilitas dan kapasitas menahan air cukup baik. Pada daerah yang tinggi atau lereng curam, erosi berlangsung cepat, sehingga lapisan tanah sangat tipis dan

banyak dijumpai singkapan. jenis tanah ini terdapat di sub DAS Temon dan Wuryantoro bagian hulu.

Jenis margalit yang dijumpai ada 2 (dua) macam yaitu margalit hitam dan margalit andesitik hitam. Jenis tanah margalit hitam mempunyai sifat lekat kalau basah, plastisitas sedang dan berupa blok-blok yang keras bila mengering. Penyebaran tanah ini berada didaerah berbukit dan umumnya mempunyai solum dangkal. jenis tanah margalit hitam mempunyai tekstur sangat halus, terbentuk dari material pasir, loam dan clay. Material clay mendominasi tanah ini dengan kandungan 70%, dan tanah margalit andesitik hitam juga kaya akan kapur (Dames, 1955).

Jenis tanah kapur yang dijumpai di sub DAS Alang bersifat laterik berwarna merah sampai coklat hitam. Jenis tanah ini mengandung lebih dari 97% mineral CaCO_3 , bersifat agak plastis dan lengket, permeabilitas lambat dan cukup menahan air. Pada saat kering tanah menjadi retak membentuk blok-blok yang keras. Sebagian besar solumnya dangkal. Kedalamannya bervariasi dari nol pada lereng curam hingga beberapa meter pada lembah.

Air permukaan yang tersedia

Perhitungan air permukaan yang tersedia digunakan metode *Thorntbwaite-Mather*. Berdasarkan pada ketersediaan data yang ada di lokasi penelitian yaitu data temperatur udara bulanan untuk menghitung evapotranspirasi potensial, curah hujan rata-rata, penggunaan lahan dan jenis tanah untuk perhitungan "*Water Holding Capacity*", dan metode ini merupakan metode yang cukup baik karena parameter-parameter yang

digunakan cukup mewakili untuk memperhitungkan air permukaan yang tersedia.

Hujan

Dalam perhitungan air permukaan yang tersedia dengan menggunakan metode *Thorntbwaite - Mather* memerlukan data curah hujan yang berkesinambungan. Daerah penelitian sudah tersedia data curah hujan yang diamati oleh Balai Penelitian Kehutanan (BPK) Solo mulai tahun 1991 sampai tahun 2007.

Temperatur udara

Temperatur udara didaerah penelitian dihitung dengan menggunakan data temperatur di Stasiun Meteorologi Pabelan (106 m dpl) Proyek PWS Bengawan Solo dengan menggunakan pendekatan rumus (Mock, 1973)

$$T = 0,006(H - H_1)^{\circ}\text{C} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- T = perbedaan temperatur
- H = ketinggian dari stasiun setempat (meter)
- H_1 = ketinggian rata-rata dari daerah penelitian

Perhitungan Evapotranspirasi Potensial Bulanan Sebelum Terkoreksi (EP*)

Evapotranspirasi Potensial Bulanan Sebelum Terkoreksi (EP*) dihitung berdasarkan suhu udara, dengan rumus :

$$EP^* = 1,6^a \frac{10T}{I} \dots\dots\dots (2)$$

$$I = \sum_{n=1}^{12} i \dots\dots\dots (3)$$

$$i = \frac{T^{1,514}}{5} \dots\dots\dots (4)$$

$$a = 0,000000675 I^3 - 0,000077 I^2 + 0,017921 + 0,49239 \dots\dots\dots (5)$$

dimana:

Ep* = evapotranspirasi potensial sebelum terkoreksi

T = suhu udara bulanan

I = indeks panas tahunan

i = indeks panas bulanan

a = konstanta

Disamping rumus tersebut dapat dilihat juga dalam Tabel *Thorntwaite - Mather* berdasarkan suhu udara.

Perhitungan Evapotranspirasi Potensial (EP) Bulanan Setelah Terkoreksi

Evapotranspirasi Potensial (EP) bulanan setelah terkoreksi dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Ep = f \cdot EP^* \dots\dots\dots (6)$$

dimana:

f = adalah faktor koreksi yang diperoleh berdasarkan letak lintang lokasi peneliti

Hujan Bulanan dikurangi Evapotranspirasi Potensial Bulanan Setelah Terkoreksi (P - EP)

P - EP adalah selisih antara curah hujan dengan evapotranspirasi potensial. Nilai ini diperlukan untuk menentukan kelebihan dan kekurangan periode lembab

atau basah, nilai negatif dari P - EP mengindikasikan bahwa jumlah curah hujan yang jatuh tidak mampu menambah kebutuhan potensi air dari areal yang tertutup vegetasi. Sedangkan nilai positif dari P - EP mengindikasikan bahwa jumlah kelebihan air yang tersedia selama periode tertentu dalam 1 tahun untuk mengembalikan kelembaban tanah dan aliran permukaan.

Akumulasi Potensi Kehilangan Air (APWL)

Akumulasi Potensi Kehilangan Air (APWL) diperlukan untuk mengetahui potensi kehilangan air pada bulan kering. Perhitungan nilai APWL didasarkan pada : nilai P - EP negatif, maka secara berurutan dijumlahkan dengan nilai P - EP sesudahnya sampai dengan P - EP negatif yang terakhir, sehingga penjumlahannya secara kumulatif.

Perubahan Lugas Tanah (D St)

Nilai perubahan lugas tanah dihitung berdasarkan selisih antara cadangan lugas tanah bulan sebelumnya dengan cadangan lugas tanah bulan ini.

Evapotranspirasi Aktual (AE)

Nilai Evapotranspirasi Aktual diperoleh dengan ketentuan :

1. Apabila P > EP maka AE = EP
2. Apabila P < EP maka AE = P + D ST

Defisit

Nilai defisit (D) diperoleh berdasarkan pada selisih antara EP - AE.

Surplus

Nilai surplus (S) diperoleh berdasarkan rumus $S = (P - EP) - D - ST$

Air permukaan yang tersedia

Air permukaan yang tersedia diperoleh dari surplus air yang besarnya diasumsikan 50% dan sisanya akan keluar menjadi aliran pada bulan berikutnya.

Kebutuhan Air

Kebutuhan air dihitung berdasarkan dominasi penggunaan lahan yang ada di lokasi penelitian yaitu:

1. Tegal yang terdiri dari kebutuhan air untuk tanaman tahunan dan musiman
2. Sawah yang terdiri dari 1 kali panen, 2 kali panen, 5 kali panen 2 tahun
3. Pemukiman
4. Hutan

Tegal

Komposisi tanaman di lahan tegal pada umumnya adalah kacang tanah, jagung, dan singkong. Kacang tanah dan jagung biasanya dapat dua kali panen (musim tanam I dan II). Pada musim tanam III biasanya hanya tanaman singkong yang ada. Kebutuhan air pada komposisi jenis tanam yang demikian diperkirakan sebesar 1200 mm/tahun (Dumairi, 1992).

Sawah

Kebutuhan air untuk sawah irigasi ditetapkan 1 liter/detik/ha. Angka ini bila dikonversi dalam mm menjadi 1200 mm/

tahun, jika sawah tersebut hanya sekali panen dalam satu tahun. Jika dua kali panen dalam satu tahun maka kebutuhan airnya menjadi 2400 mm/tahun. Jika pada lahan tersebut diselingi palawija (1 kali padi dan 1 kali palawija) maka kebutuhan airnya menjadi 2000 mm/th (Dumairi, 1992).

Pemukiman/penduduk

Dalam memenuhi kebutuhan air minum kita dapat memanfaatkan berbagai jenis sumber yang dapat diklasifikasikan berasal dari sumber air tanah, air permukaan, air hujan maupun air laut. Variasi asal sumber yang digunakan dalam penggunaan air untuk kebutuhan rumah tangga akan juga menentukan perbedaan pola penggunaan air di daerah yang bersangkutan (Anna *et al.*, 2000).

Kebutuhan air untuk penduduk di daerah penelitian diperkirakan 1200 mm/tahun. Angka ini diperoleh dengan asumsi kepadatan penduduk 700 jiwa/km². Keperluan tiap orang sebesar 80 liter/hari. Kepadatan ternak besar 40 ternak/km² membutuhkan air sebanyak 25 liter/hari/ternak. Kepadatan ternak kecil 150 ternak/km² membutuhkan air sebanyak 5 liter/hari/ternak (Dumairi, 1992).

Hutan

Hutan yang berdaun lebar menurut Coster (1937) dalam Asdak (1995), mempunyai laju evapotranspirasi berkisar antara 800 - 1400 mm/tahun tergantung pada kondisi daerahnya. Untuk kondisi kesuburan tanah yang sedang maka laju evapotranspirasinya sekitar 1000 mm/tahun. Laju evapotranspirasi pada hutan alam di pegunungan berkisar antara 500 - 1200 mm/tahun, tergantung elevasi

daerah-nya. Makin tinggi elevasinya, laju evapotranspirasi makin berkurang. Untuk daerah dengan elevasi + 1000 m dpl, laju evapotranspirasinya sebesar 1200 mm/tahun. Sedangkan pada daerah dengan elevasi +2500 m dpl, laju evapotranspirasinya berkisar antara 500 - 600 mm/th. Berdasarkan hal tersebut maka kebutuhan air untuk vegetasi hutan daun lebar adalah 1000 mm/tahun.

Kebutuhan air pada berbagai penutupan lahan

Kebutuhan air pada suatu daerah dapat diperkirakan berdasarkan perhitungan. Kebutuhan air ini sangat tergantung pada pola penggunaan lahannya. Penggunaan lahan untuk sawah membutuhkan air yang paling banyak, untuk awal penanaman diperlukan air yang

relatif tinggi yaitu pada bulan Januari - April tergantung pada penggunaan lahannya, sedangkan pada bulan selanjutnya Mei-Desember agak sedikit berkurang (perincian kebutuhan air bulanan pada masing-masing penggunaan lahan dapat dilihat pada Tabel 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

PERSEDIAAN AIR PERMUKAAN

Perhitungan persediaan air permukaan menggunakan metode Thornthwaite - Mather dengan menggunakan data temperatur udara bulanan untuk menghitung evapotranspirasi potensial, curah hujan rata-rata, penggunaan lahan dan jenis tanah untuk perhitungan "*Water Holding Capacity*" (*WHC*) hasil perhitungan disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Kebutuhan Air Bulanan (mm) Berdasarkan Pola Penggunaan Lahan

Jenis Tanaman	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	Jml
Hutan lainnya	88	81	90	88	88	79	74	73	75	87	85	92	1.000
Sawah 1 X panen	264	115	39	38	38	34	32	32	33	38	255	276	1.200
Sawah 2 X panen	264	243	270	264	264	115	108	106	110	125	255	276	2.400
Sawah 5 X pn 2th	264	243	270	264	264	237	222	219	225	261	255	276	3.000
Tegal	119	109	121	119	119	107	100	99	101	117	115	124	1.350
Pemukiman	106	97	108	106	106	95	89	88	90	103	102	110	1.200

Sumber : Dumairi,1992

Tabel 4. Potensi dan Kebutuhan Air (m³) di Sub DAS Temon, Wuryantoro, Alang, dan Keduang

No	Bulan	Potensi	Kebutuhan	% Potensi	Kelebihan / Kekurangan	% Kelebihan /Kekurangan
(01)	(02)	(03)	(04)	(05) = (03)/(04)	(06) = (03) - (04)	
sub DAS Temon						
1	Januari	5.900.901	5.991.320	98,49	-90.419	-1,51
2	Februari	8.080.412	4.296.365	188,08	3.784.047	88,08
3	Maret	8.010.987	3.937.412	203,46	4.073.575	103,46
4	April	5.697.644	3.861.835	147,54	1.835.809	47,54
5	Mei	2.848.822	3.861.835	73,77	-1.013.013	-26,23
6	Juni	1.418.431	3.466.987	40,91	-2.048.556	-59,09
7	Juli	709.215	3.245.797	21,85	-2.536.582	-78,15
8	Agustus	354.608	3.212.720	11,04	-2.858.112	-88,96
9	September	177.304	3.288.297	5,39	-3.110.993	-94,61
10	Oktober	88.652	3.798.207	2,33	-3.709.555	-97,67
11	November	44.326	5.841.317	0,76	-5.796.991	-99,24
12	Desember	2.104.573	6.251.155	33,67	-4.146.582	-66,33
	Jumlah	35.435.875	51.053.247	69,41	-15.617.372	-30,59
sub DAS Wuryantoro						
1	Januari	2.983.304	2.378.550	125,43	604.754	25,43
2	Februari	3.922.771	1.876.150	209,09	2.046.621	109,09
3	Maret	3.689.667	1.871.960	197,10	1.817.707	97,10
4	April	2.405.448	1.838.410	130,84	567.038	30,84
5	Mei	1.202.724	1.651.400	72,83	-448.676	-27,17
6	Juni	601.362	1.544.920	38,93	-943.558	-61,07
7	Juli	300.681	1.529.340	19,66	-1.228.659	-80,34
8	Agustus	150.340	1.562.340	9,62	-1.412.000	-90,38
9	September	75.170	1.562.890	4,81	-1.487.720	-95,19
10	Oktober	37.585	1.806.340	2,08	-1.768.755	-97,92
11	November	908.760	2.311.210	39,32	-1.402.450	-60,68
12	Desember	1.510.605	2.479.920	60,91	-969.315	-39,09
	Jumlah	17.788.417	22.413.430	79,36	-4.625.013	-20,64
sub DAS Alang						
1	Januari	3.552.381	7.222.810	49,18	-3.670.429	-50,82
2	Februari	4.246.432	5.743.550	73,93	-1.497.118	-26,07
3	Maret	11.792.534	5.769.830	204,38	6.022.704	104,38
4	April	5.902.012	5.667.930	104,13	234.082	4,13

5 Mei	2.951.006	5.667.930	52,06	-2.716.924	-47,94
6 Juni	1.475.503	5.091.250	28,98	-3.615.747	-71,02
7 Juli	737.752	4.762.720	15,49	-4.024.968	-84,51
8 Agustus	368.876	4.715.210	7,82	-4.346.334	-92,18
9 September	184.438	4.817.110	3,83	-4.632.672	-96,17
10 Oktober	92.219	5.564.590	1,66	-5.472.371	-98,34
11 November	46.109	7.015.290	0,66	-6.969.181	-99,34
12 Desember	23.055	7.528.280	0,31	-7.505.225	-99,69
Jumlah	31.372.317	69.566.500	45,10	-38.194.183	-54,90
sub DAS Keduang					
1 Januari	85.981.258	58.568.244	146,81	27.413.014	46,81
2 Februari	82.837.547	38.692.275	214,09	44.145.272	114,09
3 Maret	62.272.688	32.509.073	191,55	29.763.615	91,55
4 April	43.128.092	31.907.182	135,17	11.220.910	35,17
5 Mei	21.564.046	31.907.182	67,58	-10.343.136	-32,42
6 Juni	10.782.023	28.652.840	37,63	-17.870.817	-62,37
7 Juli	5.391.012	26.818.634	20,10	-21.427.622	-79,90
8 Agustus	2.695.506	26.576.673	10,14	-23.881.167	-89,86
9 September	1.347.753	27.178.564	4,96	-25.830.811	-95,04
10 Oktober	11.353.831	31.404.623	36,15	-20.050.792	-63,85
11 November	36.450.254	57.272.100	63,64	-20.821.846	-36,36
12 Desember	74.723.879	61.123.829	122,25	13.600,050	22,25
Jumlah	438.527.889	452.611.219	96,89	-14.083.330	-3,11

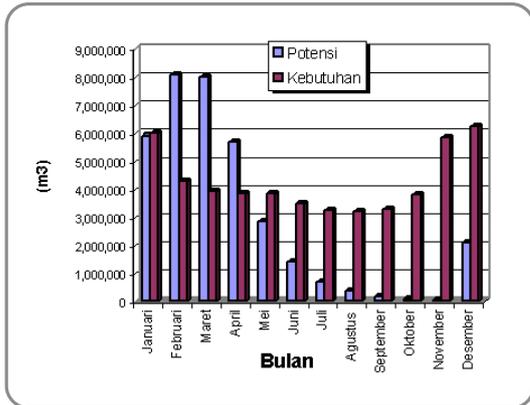
Sumber: Hasil Perhitungan

Kebutuhan Air

Perhitungan kebutuhan air ini didasarkan pada kebutuhan pada pola penggunaan lahan yang terdiri dari: lahan tegal, sawah, pemukiman, dan hutan. Dalam perhitungan satuan mm dikonversikan dalam m^3 , dengan mengubah satuan mm menjadi m (dibagi 1.000) dan mengubah satuan luas dari ha menjadi m^2 (dikalikan 10.000), sehingga untuk mengubah satuan mm menjadi m^3 cukup mengalikan 10 X luas penggunaan lahan (ha). Hasil perhitungan ketersediaan dan kebutuhan air permukaan disajikan pada Tabel 4 dan Gambar 1, 2, 3, dan 4.

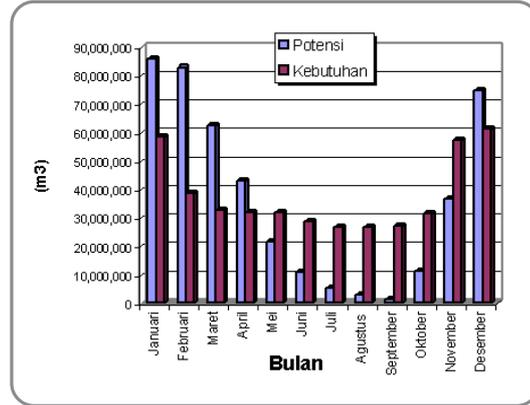
Persediaan Air

Persediaan air di sub DAS Temon pertahun adalah $35.435.875 m^3$, sedangkan kebutuhannya adalah $51.053.247 m^3$, sehingga persediaan air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan hanya 69,41%, kekurangannya sebesar $15.617.372 m^3$ (30,59%). Kekurangan air tersebut terjadi pada bulan Januari, Mei – Desember, berkisar 1,51 – 99,24% dan tertinggi terjadi pada bulan November sebesar 99,24% dengan persediaan air yang hanya $44.326 m^3$ dan kebutuhan yang digunakan $5.841.317 m^3$, sehingga pada bulan tersebut perlu diupayakan kekurangannya.



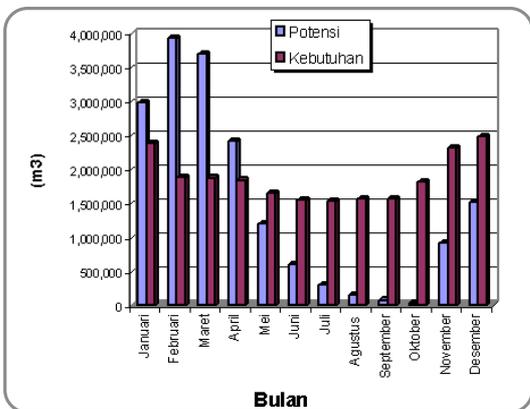
Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 1. Grafik Potensi dan Kebutuhan Air DAS Temon



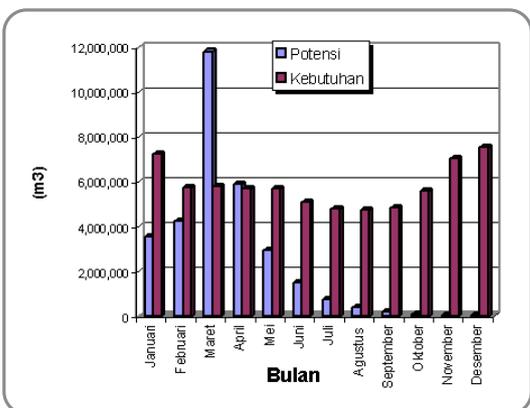
Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 4. Grafik Potensi dan Kebutuhan Air DAS Keduang



Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 2. Grafik Potensi dan Kebutuhan Air DAS Wuryantoro



Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 3. Grafik Potensi dan Kebutuhan Air DAS Alang

Persediaan air di sub DAS Wuryantoro pertahun adalah 17.778.417 m³, sedangkan kebutuhannya adalah 22.413.430 m³, sehingga persediaan air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan sebesar 79,36% kekurangannya sebesar 4.625.013 m³ (20,64%). Kekurangan air tersebut terjadi pada bulan Mei – November berkisar 27,17% – 97,92%, tertinggi terjadi pada bulan Oktober sebesar 97,92% dengan persediaan air yang hanya 37.585 m³ dan kebutuhan yang digunakan 1.806.340 m³, sehingga pada bulan tersebut perlu diupayakan kekurangannya.

Persediaan air di sub DAS Alang pertahun adalah 31.372.317 m³, sedangkan kebutuhannya adalah 69.566.500 m³, sehingga persediaan air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan hanya 45,10%, kekurangannya sebesar 38.194.183 m³ (54,90%). Kekurangan air tersebut hampir merata setiap bulan yaitu pada bulan: Januari, Februari, Mei, Juni, Juli, Agustus, September, Oktober, Nopember, dan Desember berkisar dari 26,07% – 99,69% hanya bulan Maret dan

April saja yang terjadi kelebihan (surplus air), tertinggi terjadi pada bulan Desember sebesar 99,69% dengan persediaan air yang hanya 23.055 m³ dan kebutuhan yang digunakan 7.508.280 m³, sehingga pada bulan tersebut perlu diupayakan kekurangannya.

Persediaan air di sub DAS Keduang pertahun adalah 438.527.889 m³, sedangkan kebutuhannya adalah 452.611.219 m³, sehingga persediaan air yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan sebesar 96,89%, kekurangannya sebesar 14.083.330 m³ (3,11%). Kekurangan air tersebut terjadi pada bulan Mei – November berkisar 32,42% – 95,04%, tertinggi terjadi pada bulan September sebesar 95,04% dengan persediaan air yang hanya 1.347.753 m³ dan kebutuhan yang digunakan 27.178.504 m³, sehingga pada bulan tersebut perlu diupayakan kekurangannya.

KESIMPULAN

1. Persediaan air pertahun di sub DAS Temon sebesar 1.684.246 m³ dan kebutuhan sebesar 2.334.744 m³, sehingga kekurangan air sebesar 27,86% pertahun terjadi pada bulan April sampai dengan Desember berkisar 26,07% - 99,69% .
2. Persediaan air di sub DAS Wuryantoro sebesar 17.788.417 m³ dan kebutuhan sebesar 22.413.430 m³, sehingga kekurangan air 20,64% pertahun terjadi pada bulan Mei sampai dengan November berkisar 27,17% – 97,92%. Untuk mengatasi kekurangan air pada sub DAS Temon dan Wuryantoro yang merupakan formasi geologi campuran campuran volkan tua-kapur yaitu: (1) Perlu dikembangkan teknik-teknik penyimpanan air dengan membuat

sumur-sumur resapan baik pada lahan pemukiman maupun pada lahan tegalan; dan (2) Menjaga kelestarian tanah dan sumber-sumber air di daerah hulu.

3. Persediaan air pertahun pada sub DAS Alang sebesar 31.372.317 m³ dan kebutuhan sebesar 69.566.500 m³, sehingga kekurangan air sebesar 54,90% pertahun terjadi pada bulan Januari, Februari dan Mei - Desember berkisar 26,07% - 99,69%. Untuk mengatasi kekurangan air pada sub DAS yang merupakan formasi geologi kapur yaitu: (1) Perlu dikembangkan sumber-sumber air dengan sistem perencanaan yang baik mencakup penyusunan rencana pembangunan, rencana pemanfaatannya dan rencana penggunaan air dengan memperhatikan berbagai keperluan menurut prioritas yang ditentukan; (2) Pengembangan pemanfaatan air tanah pada daerah yang dimungkinkan; (3) Pembangunan konservasi air (embung); dan (4) Menjaga kelestarian tanah dan sumber-sumber air di daerah hulu.
4. Persediaan air pertahun sub DAS Keduang sebesar 438.527.889 m³ dan kebutuhan sebesar 452.611.219 m³, sehingga kekurangan air sebesar 3,11 % pertahun terjadi pada bulan Mei sampai dengan November berkisar 32,42% - 95,04%. Untuk mengatasi kekurangan air yang relatif kecil pada sub DAS ini yang merupakan formasi geologi volkan muda yaitu: (1) Perlu dijaga bangunan prasarana pengairan dan konservasi air yang telah dibangun agar dapat berfungsi terus-menerus; dan (2) Menjaga kelestarian tanah dan sumber-sumber air di daerah hulu.

DAFTAR PUSTAKA

- Anna, Alif Noor, Retno Woro Kaeksi, dan Yuli Priyana. 2000. Pola Konsumsi Air Untuk Kebutuhan Rumah Dan Faktor-faktor Yang Mempengaruhinya Di Banyudono Kabupaten Boyolali, *Forum Geografi No : 26/XIV/Juli/2000*.
- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Balai Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Surakarta (BTPDAS) , 2001. *Analisis Neraca Air Untuk Penetapan Kesesuaian Tanaman Pinus Merkusii Di PT Perhutani (Persero) Unit I Jawa Tengah*. Kerjasama antara PT Perhutani (Persero) Unit I Jawa Tengah dengan BTP DAS Surakarta.
- Budi Pramono, I. 2001. *Pedoman Teknis Perhitungan Neraca Air Dengan Metode Thornthwaite Mather*. Info DAS Nomor 11 Tahun 2001. Balai Teknologi Pengelolaan DAS Surakarta
- Dumairi. 1992. *Ekonomika Sumber daya Air*. Pengantar ke Hidronamika, BPFE. Yogyakarta.
- Hadi, Pramono. 2006. Pemahaman Karakteristik Hujan Sebagai Dasar Pemilihan Model Hidrologi (Studi Kasus di DAS Bengawan Solo Hulu), *Forum Geografi Vol.20, No.1, Juli 2006*.
- Pereira, H.C. 1967. *Effects of Landuse On Water And Energy Budget Of Tropical Watersheds*. International Symposium on Forest Hydrology, Pergamon Press, NewYork.
- Soewarno dan Srimulat Yuningsih. 2000. Karakteristik Hidrologi Daerah Pengaliran Sungai Garang, *Forum Geografi No : 26/XIV/Juli/2000*.
- Thornthwaite, C.W. and J.R. Mather. 1957. *Instruction and Tabela For Computing Potensial Evapotranspiration And Water Balance* . Publication in Climatology Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology

BELAJAR DARI PASANG SURUT PERADABAN BOROBUDUR DAN KONSEP PENGEMBANGAN PARIWISATA BOROBUDUR

M. Baiquni

Fakultas Geografi dan Pusat Studi Pariwisata
Universitas Gadjah Mada
baiquni@lead.or.id

ABSTRACT

Borobudur is a famous tourism destination which is listed as a World Heritage Site listed in 1991. Recently the condition of the temple is threatened with many problems related to tourist behaviors, overcrowded vendors and traders, as well as managerial issues. This research was carried out with literature study, field observation, peer discussion and seminar. Reflecting the history, this research tried to explain the rise and fall of civilization. This research tried to explain Borobudur as magnet for tourism destination and tourism as locomotive for community and regional development. There are five reasons why glory of civilization can fall even dramatically: (1) horizontal conflicts among social groups; (2) intrigue and struggle for power among elite leaders; (3) expansion and occupation from foreign power; (4) environmental degradation; and (5) disasters like volcanic eruption, earthquake and tsunami. Borobudur has many enigmas, when and why the fall of its civilization. It is not easy to explain these enigmas. The results of this research are: (1) It is possible combination of causes the fall of Borobudur civilization, but the most possible was volcanic eruptions of Merapi. (2) Borobudur has problems related to the tourist number who disturb the stone relief and statues when they climb up the temple (3) Tourists disappointed to lack of hospitality and low quality of services provided by the management as well as the vendors and traders. (4) The problems of conservation related to environmental changes. Among others, prime recommendation is "Rethinking Borobudur" to get new alternative and strategy to manage this world heritage.

Keywords: *Enigma Borobudur, rise and fall of civilization, tourism and regional development*

PENDAHULUAN

Borobudur merupakan salah satu warisan dunia yang terkenal dan masuk dalam *World Heritage List* dengan nomor C592 pada tahun 1991, namun belakangan mengalami kemerosotan pamor di dunia internasional. Sejak saat itu Candi Borobudur dipacu sebagai daya tarik wisata yang dikelola oleh BUMN. Dalam pengelolaan dan pemanfaatan Candi

Borobudur sebagai daya tarik wisata ternyata membawa dampak pada nilai-nilai penting warisan budaya ini maupun dampak sosial, ekonomi, dan budaya masyarakat yang ada di sekitarnya. Tidak jarang dampak ini justru menimbulkan masalah-masalah baru yang rupanya tidak terduga dan kurang diperhatikan sebelumnya. Berbagai perbedaan kepentingan telah berkembang menjadi persaingan dan bahkan konflik antara berbagai pihak yang

terlibat dalam pengelolaan dan pemanfaatan candi ini.

Masalah penurunan pamor ini diduga akibat tekanan pemanfaatan yang lebih dominan dibanding konservasi situs purbakala ini. Ditambah pula dengan kesiapan aparat daerah dalam pengelolaan kawasan pariwisata terkait dengan otonomi daerah, konflik kepentingan berbagai pihak terhadap keberadaan candi, serta kurang tanggapnya pengelola untuk mengantisipasi dan mengatur perkembangan tersebut. Sejumlah keluhan wisatawan berkaitan dengan pelayanan dan sikap perilaku para pedagang dalam menyodorkan dagangannya mulai muncul. Demikian pula keluhan para pedagang dan warga terhadap pengelola berkaitan dengan berbagai peraturan yang menurut mereka perlu ditinjau kembali. Pengelolaan warisan dunia ini perlu segera dibenahi agar dapat lestari dan bermanfaat bagi masyarakat.

Memikirkan kembali keberadaan Candi Borobudur sebagai pusat peradaban maupun magnet pariwisata diperlukan kajian dari berbagai cara pandang dan analisis kritis. Upaya berbagai pihak untuk memikirkan kembali Borobudur diperlukan sebagai masukan bagi konsep baru yang dapat mengangkat potensi tidak hanya candi sebagai bangunan, tetapi juga lansekap bahkan juga saujana budaya di desa-desa sekitarnya. menampung berbagai kepentingan dan dinamika yang berkembang.

Berdasarkan prasasti Karangtengah dan Kahulunan, pendiri Borobudur adalah Dinasti Syailendra. Bangunan raksasa itu mulai dibangun tahun 770 M dan baru dapat diselesaikan pada 842 M. Beberapa studi berusaha membangun teori untuk menjelaskan Borobudur. Salah satunya menyatakan bahwa nama ini kemungkinan

berasal dari kata *Sambharabudhara*, yaitu artinya “gunung” (*bbudara*) di mana di lereng-lerengnya terletak teras-teras. Selain itu terdapat beberapa etimologi rakyat lainnya. Misalkan kata *borobudur* berasal dari ucapan “para Buddha” yang karena pergeseran bunyi menjadi *borobudur*. Penjelasan lain ialah bahwa nama ini berasal dari dua kata “bara” dan “beduhur”. Kata *bara* konon berasal dari kata *vihara*, sementara ada pula penjelasan lain di mana *bara* berasal dari bahasa Sansekerta yang artinya kompleks candi atau biara dan *beduhur* artinya ialah “tinggi”, atau mengingatkan dalam bahasa Bali yang berarti “di atas”. Oleh karena itu dapat dimaknai sebagai sebuah candi yang berada di tanah tinggi (Soekmono, 1976 dan Soeroso, 2007).

Peninggalan budaya yang kini masih memiliki bentuk yang menarik dan unik ini, maka Borobudur layak sebagai warisan dunia UNESCO dan menjadi obyek wisata pendidikan peradaban bagi generasi kini dan mendatang. Perhatian dunia terhadap Borobudur sebagai warisan dunia ini telah menjadi magnet, menarik wisatawan untuk berdatangan melihat dan menikmati Borobudur. Peninggalan sejarah Borobudur memiliki arti penting bagi peradaban kini dan masa depan. Oleh karena itu memang harus dikonservasi dan juga dapat dimanfaatkan secara lestari.

Orientasi pelestarian *world heritage's* UNESCO telah bergeser perhatiannya. Pada masa lalu pelestarian ditujukan untuk melindungi komponen bangunan fisik, situs material atau artefak peninggalan masa lalu dengan menekankan pada kepentingan politik penguasa; maka pada masa kini orientasinya telah berubah dengan lebih memperhatikan pada manusia sebagai pengemban budaya dan pelestari

Tabel 1. Pergeseran Paradigma Pengelolaan Pusaka Dunia UNESCO

Paradigma Lama	Paradigma Baru
Monumen raja, pendeta, politik	Tempat dan ruang manusia biasa
Kosong, situs material	Masyarakat berkelanjutan
Komponen fisik	Tradisi dan praktik kehidupan
Manajemen administrasi oleh pusat	Pembangunan masyarakat, desentralisasi
Penggunaan elit (untuk rekreasi)	Penggunaan populer (untuk pembangunan)

Sumber: Soeroso, 2007

nilai yang diyakininya. Fokus kepentingannya adalah pada pembangunan masyarakat yang berkelanjutan sehingga menekankan perlunya memperhatikan tempat dan ruang manusia yang ada di sekitarnya lengkap dengan tradisi dan praktik kehidupan kesehariannya.

Perubahan paradigma ini terjadi belum lama, sehingga terasa upaya pemugaran dan pembagian zonasi yang dilakukan pada tahun 1970-an terhadap Borobudur jelas hanya berorientasi pada kepentingan perlindungan Candi Borobudur semata. Keterlibatan masyarakat dan pembangunan wilayah disekitarnya masih kurang mendapat perhatian dalam pemugaran Borobudur. Komplek Candi Budha ini dibentuk atau diperlakukan sedemikian rupa sehingga memiliki posisi eksklusif yang berjarak dengan kehidupan masyarakat di sekelilingnya. Padahal lingkungan hidup kawasan di sekitarnya, baik alam, maupun budaya komunitasnya, tidak kalah penting karena sebenarnya kelestarian candi akan tergantung pada peran para pemegang budayanya. Bila hal ini berlangsung terus dikhawatirkan akan mengganggu eksistensi situs dengan menurunkan kualitas baik candi maupun lingkungan di sekeliling kawasan Borobudur, seperti terlihat pada Tabel 1 (Soeroso, 2007).

Pengembangan pariwisata memerlukan tiga hal berkaitan dengan akses, atraksi dan amenitas dikenal dengan Triple A (*Access, Attraction and Amenity*). Borobudur kaitannya dengan pariwisata menjadi magnet atau daya tarik yang kuat, tidak saja karena letaknya yang berada di tengah Pulau Jawa sehingga mudah diakses dari kota-kota besar, tetapi juga merupakan monument peninggalan nenek moyang yang sarat dengan sejarah dan pelajaran hidup. Akses menuju Borobudur dapat dijangkau dari berbagai penjuru melalui kota Yogyakarta yang memiliki jaringan transportasi kereta api dan airport, juga dari arah utara dapat dijangkau dari Semarang yang memiliki akses darat, udara dan laut.

Atraksi yang ada di Borobudur memang memiliki keunikan yang didukung oleh alam sekitar dan budaya yang diemban masyarakat. Borobudur sudah menjadi obyek sekaligus atraksi yang beragam yang dapat dinikmati dengan waktu berbeda. Kini juga telah dibuka kunjungan pada subuh dinihari untuk menikmati suasana matahari terbit. Belum lagi beragam atraksi yang dapat digali dari masyarakat kampung-kampung sekitar Borobudur, berupa kesenian dan fenomena budaya maupun kehidupan sehari-hari.

Amenitas atau yang berkaitan dengan fasilitas kenyamanan seperti hotel dan restoran maupun sarana penunjang. Borobudur memiliki beragam kelas hotel, mulai dari kelas super eksklusif seperti Aman Jiwo hingga kelas *homestay* sederhana yang akrab dengan kehidupan sehari-hari masyarakat setempat. Ketersediaan berbagai fasilitas juga dapat diperoleh di luar kawasan Borobudur, tidak jauh dari sini dalam jangkauan jarak 40 kilometer terdapat banyak amenitas yang tersedia di kota Magelang dan Yogyakarta.

Keberadaan Borobudur ditinjau dari pariwisata memang memiliki keunikan, kekhasan dan otentisitas yang tiada duanya atau sulit ditandingi. Meskipun Borobudur masih banyak diselimuti permasalahan, tetapi masih menyimpan potensi dan teka-teki yang menarik untuk disingkap dan diungkap untuk pembelajaran peradaban bagi generasi kini dan mendatang.

Penelitian mengenai Borobudur ini bertujuan untuk:

1. Memahami latar belakang sejarah pasang surut peradaban dari tinjauan historis.
2. Menganalisis potensi daya tarik (*magnet*) pariwisata warisan dunia Candi Borobudur.
3. Mengembangkan konsepsi dan strategi pengembangan pariwisata Borobudur dikaitkan dengan pengembangan masyarakat dan pembangunan wilayah sekitarnya.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian dilakukan dengan studi literatur, observasi dan penjaringan data maupun informasi melalui diskusi ahli (*peer discussion*).

- a. Studi literatur: merupakan upaya untuk menjelajahi berbagai data dan informasi, termasuk beragam pandangan dan analisis dari para ahli yang tertuang dalam buku, jurnal, laporan penelitian maupun informasi dari internet.
- b. Observasi: merupakan upaya untuk penggalan data dan informasi di situs Candi Borobudur dan kampung di sekitarnya. Fenomena yang diamati berupa fisik bangunan candi dan lansekap wilayah, dinamika penduduk maupun saujana budaya. Observasi dilakukan dengan cara mengamati, mencatat dan menghubungkan beberapa data maupun informasi lapangan.
- c. Diskusi ahli (*peer discussion*): merupakan upaya membahas berbagai data dan informasi dengan cara pandang yang beragam yang dikemukakan oleh para ahli dengan latar belakang pengetahuan dan pengalaman yang beragam (antara lain Arkeologi, Antropologi, Arsitektur dan Geografi). Diskusi dan perdebatan menjadi cara untuk menguji argumen, mengkarifikasi data dan informasi, serta menemukan pandangan baru dari proses berfikir kritis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Peradaban *Intermountains Basin*

Manusia dalam berhubungan dengan sumber daya alam dipengaruhi oleh kebutuhan intrinsik dan faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap kelangsungan hidupnya (Subaktini, 2006). *Intermountains basin* atau lembah antar pegunungan merupakan salah satu lingkungan hidup yang menarik bagi peradaban manusia.

Sudah sejak lama tempat semacam ini merupakan pilihan unggul tidak saja dikelilingi pemandangan yang indah, tetapi juga dari segi sumber daya alam memiliki tanah yang subur, air yang melimpah dan sungai-sungai yang bisa menjadi sumber untuk tanaman pangan, air minum untuk ternak dan perikanan.

Lembah antar pegunungan dengan sungai besar menjadi pilihan untuk pusat peradaban mengingat daya dukung kehidupan yang penting seperti ketersediaan air dan tanah yang subur. Sebagaimana dapat kita saksikan sejarah peradaban di tepi Sungai Nil, Sungai Yangtse, lembah subur Sungai Eufkrat dan Tigris, lembah di bawah pegunungan 'atap dunia' Himalaya yang dialiri Sungai Gangga. Berbagai peradaban besar yang pernah muncul itu juga mengalami pasang dan surut, bahkan tenggelam ditelan masa. Maka terjadilah pergeseran pusat peradaban dari satu tempat ke tempat lainnya secara silih berganti. Pasang surut dianalisis berbagai ahli dengan beragam sudut pandang mulai dari pandangan yang sifatnya *Entropi* hingga pandangan adanya *Catastrophe* (Fagan, 2008).

Borobudur terletak di lembah antar pegunungan, merupakan candi yang dibangun dengan batu beku vulkanik yang hingga kini masih bisa dilihat dan dinikmati. Bangunan Candi Borobudur terletak di tanah tinggi yang dikelilingi danau yang dalam perspektif *landscape* yang luas tempat ini termasuk *intermountains basin*. Panorama dari kejauhan puncak pegunungan, tampaklah Borobudur bak bunga teratai yang mekar diatas kolam.

Borobudur tidak berdiri sendiri, pada masa jayanya bermunculan pusat-pusat permukiman dengan candi yang hingga kini masih dapat dilihat dan menjadi bahan

pengetahuan masa silam yang tersembunyi. Candi Kalasan, Mendut, Prambanan, Sewu, Plaosan, Suku, merupakan bukti peradaban masa itu Budha dan Hindu serta berbagai aliran kepercayaan Jawa hidup saling berdampingan.

Masih banyak teka teki dan misteri yang belum terungkap bagaimana kehidupan dimasa silam, spiritualitas yang tinggi mampu menghadirkan seni yang indah, teknologi tinggi tentu didasarkan pada ilmu pengetahuan yang luas. Suatu karya besar seperti Borobudur ini tentu dibangun dengan pengorganisasian yang kuat dan dedikasi yang tinggi. Puncak peradaban Borobudur hingga kini masih dapat ditelusuri dari peninggalan candi-candi yang masih tegak hingga kini.

Pasang Surut Peradaban

Berbagai teka-teki masih menyelimuti Borobudur, bagaimana prosentase pencapaian kejayaan peradaban tersebut dan seberapa luas wilayah pengaruh peradaban itu. Keruntuhan dinasti yang berkuasa juga masih menjadi misteri. Apakah ada konflik suksesi kepemimpinan yang gagal sehingga terjadi perebutan kekuasaan dan berkembang menjadi perang saudara? Ataukah karena bencana alam letusan Gunung Merapi atau gempa bumi dahsyat, sehingga menimbulkan bencana yang berkepanjangan hingga Borobudur ditinggalkan.

Berabad-abad selanjutnya pusat-pusat peradaban bergeser ke wilayah pesisir yang dianggap memiliki akses luas untuk menjelajahi dan menjajahi wilayah kekuasaan lain. Sriwijaya merupakan salah satu kerajaan yang penting dan kuat di pesisir Sumatra Timur menghadap Selat Malaka. Pengaruhnya hingga sekitar

kawasan Asia Tenggara pada masanya merupakan peradaban yang kuat.

Kemudian tumbuh lagi kerajaan di *intermountains basin* seperti Singasari dan Majapahit. Kerajaan-kerajaan 'pedalaman' ini memiliki pasukan laut yang mampu melakukan ekspedisi ke berbagai kawasan untuk berdagang dan memperluas pengaruh, tidak jarang timbul konflik dan peperangan.

Selepas era Majapahit, muncul kerajaan Demak di pesisir Jawa utara. Hubungan kota-kota pesisir dengan bangsa luar seperti Cina dan Arab dilakukan melalui perdagangan. Kemudian muncul kekuatan di 'pedalaman' seperti kerajaan Pajang yang kemudian berkembang seperti pinang dibelah dua, dengan berdirinya Kasultanan Yogyakarta dan Kasunanan Surakarta.

Pasang surut peradaban tidak saja karena konflik dan runtuhnya moral dan sendi-sendi kehidupan masyarakat, tetapi juga berkaitan erat dengan pengaruh luar baik melalui peperangan ataupun perdagangan. Setelah pasang surut sistem kerajaan silih tumbuh hilang berganti, maka pada abad XVII tibalah suatu zaman dimana penguasaan dilakukan oleh bangsa asing dari benua Eropa. Bangsa Eropa yang semula melakukan perdagangan, berlanjut menancapkan kuku pengaruhnya di berbagai belahan dunia.

Bila kita refleksikan sejarah pengaruh kolonial terhadap peradaban masyarakat kepulauan Nusantara ini dapat dicermati beberapa pergeseran kekuasaan dari para penguasa kerajaan lokal ke pemerintahan kolonial. Kepentingan penguasa yang dominan lebih menentukan arah dan kebijakan penguasa lokal. Misalnya merosotnya industri perkapalan di Jawa,

terkait dengan kebijakan kehutanan yang dikeluarkan oleh Gubernur Daendels yang melarang penebangan kayu jati di Pulau Jawa, sehingga harga kayu jati menjadi mahal (Soetrisno, 1994).

Penggunaan kayu jati untuk konstruksi rel kereta api yang dibangun akhir abad XIX, juga merupakan perubahan orientasi baru yang menghubungkan pesisir (Batavia) dan pusat-pusat permukiman dan produksi di pedalaman. Keadaan ini mengakibatkan kesulitan suplai kayu untuk industri kapal. Sementara itu terjadi pula perubahan teknologi perkapalan yang menggunakan bahan metal dengan teknologi baru.

At the end of the century, however, the traditional industry was moribund, and only Madura could still be regarded as a centre of indigenous ship-building. This had been caused by a combination of much stricter forest regulations, improved overland connections (railways!), competition by other sea-faring Indonesians (Bugis from Sulawesi), and the triumph of the iron steamship (Boomgard, 1991:30).

Maju mundurnya peradaban masyarakat dapat dipengaruhi dari kondisi internal dan perubahan lingkungan eksternal. Dari pendapat Boomgard di atas dapat ditarik pelajaran bahwa kebijakan penguasa terhadap sektor kehutanan dapat berpengaruh pada sektor lain. Misalnya, industri perkapalan, demikian pula dengan perkembangan teknologi transportasi kereta api dapat menjadi pesaing bagi industri perkapalan. Disini nampak bahwa perubahan teknologi termasuk transportasi telah mendorong kemajuan wilayah pedalaman.

Perkembangan ekonomi era kolonial pada masa lampau, dikenal adanya

perkembangan sektor perkebunan yang menonjol dengan pengerahan tenaga kerja dan pengelolaan penguasaan lahan yang luas. Setelah Raffles, nama Van den Bosch yang memimpin pada dekade ketiga abad XIX menerapkan sistem perkebunan (*a system of forced cultivation*). Ia menerapkan tanaman *indigo* di Priangan, Cirebon dan Tegal hingga siap dipasarkan ke Eropa pada akhir 1831. Kemudian berturut-turut dikembangkan komoditas perkebunan lainnya seperti tebu, kopi, kayu manis (*cinnamon*).

Perkembangan komoditas perkebunan, baik peningkatan produksi maupun permintaan dan harga pasar di Eropa yang tinggi, menjadikan sektor perkebunan menjadi ‘generator ekonomi’ yang menguntungkan bagi Belanda. Keuntungan ini sebagian diinvestasikan untuk membangun infrastruktur seperti jaringan rel kereta api dan jalan, jembatan, pelabuhan untuk mendukung pengembangan perkebunan. Dalam waktu singkat, Van den Bosch telah mengubah arah pengembangan pertanian dan pengerahan tenaga kerja menuju ke orientasi produk tanaman ekspor.

By the early 1840s, the cultivation system stood as a triumph of Dutch imperialism in the Indies. Within the little more than a decade, a few hundred Dutchman had changed the face of agricultural and labor practices in Java, dramatically raised the levels of export crop production, build roads, bridges, harbors and offices to accommodate the new system and most important of all as far as the Dutch were concerned, created a substantial and indispensable source of income for Holland's treasury (Elson, 1994:99).

Ironisnya, keuntungan dari sektor perkebunan yang dinikmati oleh Belanda tidak tercermin pada perbaikan taraf hidup

buruh perkebunan yang bekerja keras di lapangan. Bahkan ketika Belanda menikmati kemakmuran, pada tahun 1840 di Jawa terjadi gelombang kelaparan yang disebutkan sebagai “*the first wave of famines*” (Elson, 1994). Pada tahun 1844 dilaporkan terjadi kegagalan panen padi di wilayah ‘lumbung padi’ Indramayu dan wilayah pesisir lainnya sebagai dataran penghasil padi di Cirebon, Karawang, Rembang, Surabaya, dan Jepara.

Kegagalan panen terjadi disebabkan musim kering yang panjang di satu sisi dan terbengkalainya pengelolaan irigasi dan pengolahan sawah disisi lainnya. Dilaporkan pula bahwa gelombang kelaparan kemudian diikuti dengan wabah epidemi *typhoid fever* antara tahun 1846-1850. Perombakan bidang pertanian kearah perkebunan dengan orientasi ekspor, ternyata telah melemahkan ketahanan pangan rakyat (padi sawah) termasuk juga kemerosotan sektor perikanan di Jawa. Keadaan ini memaksa Belanda untuk merevisi kebijakan kearah multi sektor dan alokasi tenaga kerja.

Berbagai upaya mobilisasi tenaga kerja dilakukan untuk bekerja di perkebunan di Jawa dan Sumatra, bahkan ada yang dibawa oleh Belanda untuk dipekerjakan di Suriname satu wilayah di benua Latin Amerika. Perubahan penyerapan tenaga kerja semacam ini dapat mempengaruhi pula sektor lainnya seperti menurunnya suplai tenaga kerja sektor perikanan. Akibatnya kegiatan industri perkapalan dan perikanan dapat merosot karena berbagai sebab terkait dengan kebijakan dan perubahan eksternal diatas maupun adanya ‘entropi’ dari dalam.

Ekspansi pengembangan lahan perkebunan ini yang kemudian menemukan Borobudur yang tertutup semak belukar

dan hutan. Pada masa penjajahan Belanda, Sir Thomas Stamford Raffles, Gubernur Jenderal Britania Raya di Jawa, mendengar adanya penemuan benda purbakala di desa Borobudur. Raffles memerintahkan penyelidikan lokasi penemuan, berupa bukit yang dipenuhi semak belukar itu. Setelah lama dilakukan penelitian, baru pada tahun 1907, Theodoor van Erp mulai memimpin pemugaran hingga tahun 1911. Kemudian setelah lama terhenti, pada tahun 1926, Borobudur dipugar kembali hingga terjadi Perang Dunia. Pada masa setelah kemerdekaan Republik Indonesia, beberapa kali upaya kajian dan pemugaran dilakukan.

Berdasarkan pada fakta perjalanan sejarah di atas, dapat diambil pelajaran bahwa dalam mengkaji perkembangan dan kemerosotan suatu peradaban, tidak cukup hanya dengan mempelajari karakter wilayah, tata ruang, sumber daya alam dan lingkungan, tetapi terkait dengan bagaimana manusia mengolah daya dan mewujudkan karya melalui dinamika sosial budaya masyarakat, kebijakan pemerintah, maupun kekuatan ekonomi yang tidak lepas dari perubahan lingkungan global.

Mengacu uraian historis tersebut memperlihatkan bahwa surutnya suatu peradaban bisa terkait dengan salah satu faktor atau kombinasi dari beberapa faktor penyebab utama yaitu: kerusakan lingkungan hidup, perubahan iklim dan bencana, diserang bangsa lain, konflik internal, tertutupnya akses hubungan (perdagangan) dengan bangsa lain (Diamond, 2005). Teka teki keruntuhan Borobudur bisa jadi terkait dengan faktor lingkungan dan bencana, tetapi bisa jadi terkait adanya konflik perebutan kekuasaan.

Pada tahun 2006 lalu diselenggarakan peringatan 1.000 tahun letusan besar Gunung Merapi diadakan sarasehan dan

fieldtrip di sekitar Borobudur dan Prambanan. Kegiatan ini menjelajahi berbagai kemungkinan mengenai letusan Merapi, tetapi masih teka-teki (Zen, 2006). Diperkirakan letusan terjadi pada tahun 1006 dan akibatnya terhadap keruntuhan kerajaan Mataram Hindu. Setelah saresahan banyak teka-teki belum bisa dijawab dan ini merupakan tantangan untuk melakukan studi lebih mendalam dan sekaligus lebih meluas (terpadu).

Kemampuan suatu bangsa menghadapi krisis memang sangat tergantung bagaimana respon bangsa tersebut terhadap apa yang dihadapinya. Krisis dapat mengakibatkan melemahnya struktur kekuasaan dan bisa menimbulkan suksesi kepemimpinan yang dipenuhi dengan konflik, namun demikian krisis bisa merupakan ujian bagi menguatnya solidaritas dan meningkatkan kelas serta kualitas kehidupan sehingga menjadi bangsa yang unggul. Sekelumit refleksi perjalanan sejarah di atas, dapat menjadi bahan untuk melihat masa depan.

Penemuan Kembali dan Pemugaran Borobudur

Berbagai sumber penelitian antara lain Winarni, 2006 dan Soeroso, 2007 dapat ditelusuri mengenai penemuan kembali dan pemugaran Borobudur. Candi Borobudur ditemukan kembali pada tahun 1814 oleh para pemerhati kepurbakalaan bangsa Belanda. Sebenarnya bangsa asing ini menemukan dalam arti mengupas kawasan ini dari selimut hutan dan semak belukar yang menutupi bangunan candi. Berbagai upaya untuk mengungkapkan lebih jauh tentang candi ini banyak dilakukan, antara lain melalui pembersihan, penelitian, pendokumentasian, serta perbaikan yang terutama dilakukan.

Selain menjadi bahan kajian ilmiah, candi ini sejak awal juga telah menjadi tempat wisata bagi sementara pejabat pemerintah kolonial. Keinginan untuk menyelamatkan dan melihat Candi Borobudur megah kembali diwujudkan dengan pemugaran teras-teras atas candi ini oleh pemerintah Belanda di bawah pimpinan Theodoor van Erp pada tahun 1907 - 1911. Pemugaran pertama ini masih bersifat parsial dan belum mampu menahan berbagai kerusakan fisik yang terjadi di bagian-bagian lain.

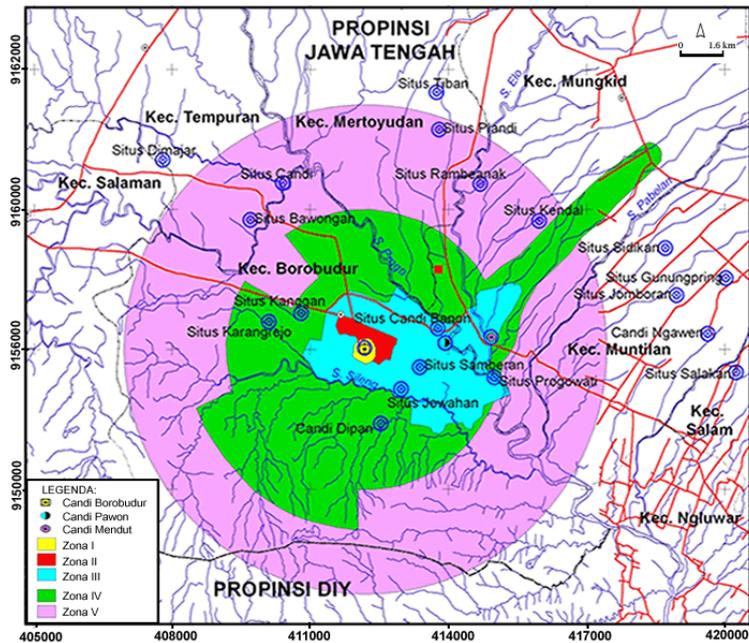
Sesudah kemerdekaan Negara Republik Indonesia, upaya untuk menyelamatkan candi Borobudur dari kehancuran terus dilakukan oleh pemerintah. Sejak tahun 1955, Pemerintah Indonesia mulai mencoba menggalang bantuan internasional melalui UNESCO untuk membantu penyelamatan dan pemugaran Candi Borobudur. Akhirnya, mulai tahun 1973 candi Budha terbesar di dunia ini mulai dipugar yang secara lebih cermat dan sistematis dengan teknologi maju yang melibatkan berbagai keahlian dan ahli-ahli dari beberapa negara.

Bersamaan dengan proses pemugaran yang sedang berlangsung, pada tahun 1973 -1979, pemerintah Indonesia melakukan kajian teknis dan studi kelayakan untuk membuat Taman Purbakala Nasional Borobudur. Sebagai hasil kajian-kajian tersebut, tim peneliti mengajukan konsep 3 pilar pengembangan Borobudur ke depan. Konsep inilah yang dikembangkan sebagai tujuan utama dan ciri pengarah pemugaran Candi Borobudur, yaitu: (1) Taman untuk perlindungan abadi bangunan candi; (2) Borobudur sebagai pusat penelitian arkeologi Indonesia; (3) Pelestarian untuk anak-anak masa depan (generasi mendatang).

Selama restorasi telah dilakukan pemintakatan (zonasi) dan deliniasi masing-masing zona dalam rangka pengelolaan dalam 5 zona, yaitu

- Zona I adalah zona inti berupa bangunan candi atau *sanctuary area* (radius 200 m dari pusat candi, meliputi area seluas 44,8 ha)
- Zona II adalah zona penyangga (*buffer zone*) taman arkeologi dengan fasilitas untuk pengunjung, perkantoran, parkir, ruang pameran (radius 500 m, luas 42,3 ha)
- Zona III adalah untuk mendukung pengendalian perlindungan tata letak candi (radius 2 km, luas 932 ha)
- Zona IV adalah zona pelestarian kawasan sejarah (radius 5 km) yang di dalamnya terdapat 13 situs arkeologi.
- Zona V adalah perlindungan kawasan sejarah, dengan 21 situs arkeologi.

Tahun 1980, dalam rangka persiapan pengelolaan Taman Purbakala, didirikan PT. Taman Wisata Candi Borobudur (TWCB) dan Prambanan sebagai lembaga yang dipersiapkan untuk mengelola taman tersebut. Dengan pendirian PT TWCB tersebut ternyata juga telah merubah tujuan pendirian taman, dimana tujuan awal adalah Taman Purbakala Nasional kemudian menjadi Taman Wisata. Tahun 1983, proses pemugaran Candi Borobudur dinyatakan selesai dan dibuka untuk umum dengan upacara peresmian oleh Presiden RI Soeharto. Baru pada bulan tahun 1991, untuk melakukan pelestarian terhadap Candi Borobudur secara terus menerus didirikan Balai Studi dan Konservasi Borobudur dengan Surat Keputusan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 0605/O/1991 tanggal 30 November 1991.



Sumber: - Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Skala 1: 25.000 Tahun 2001
 - Peta Zonasi Pengelolaan Borobudur dari JICA

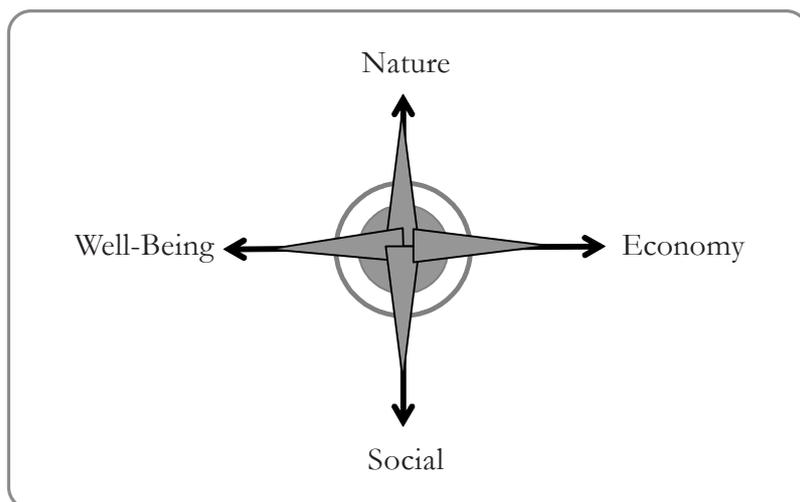
Gambar 1. Peta Zonasi Pengelolaan Borobudur

Borobudur sebagai Magnet Pariwisata

Borobudur dapat dilihat dalam berbagai sudut pandang dengan segala dimensinya. Bagaimana Borobudur dilihat dari perspektif pariwisata, sangat tergantung siapa dan atas kepentingan apa Borobudur diletakkan. Memandang Borobudur sebagai daya tarik atau magnet pariwisata merupakan salah satu aspek untuk memanfaatkan sekaligus mengkonservasi situs warisan budaya.

Borobudur kini ibaratnya sebuah buku kehidupan yang mengandung banyak pelajaran. Pengembangan pariwisata Borobudur dalam pandangan penulis, perlu alternatif yaitu berbasis pengetahuan dan pengalaman guna menemukan nilai-nilai penghidupan (*livelihood/economy*), kehidupan (*social*), kemanusiaan (*human/Well-being*), kesemestaan alam (*nature*) dan ketuhanan.

Konsep *Compass of Sustainability* dikenal adanya Empat Penjurur Mata Angin dalam merumuskan konsep dan arah pembangunan berkelanjutan (AtKisson Groupe International, 2006). Arah utara (*North*) dikaitkan dengan dimensi alam (*Nature*). Arah timur (*East*) dikaitkan dengan pentingnya ekonomi dikembangkan. Arah selatan (*South*) berkaitan dengan pengembangan sosial demikian pula arah barat (*West*) dikaitkan dengan pentingnya membangun kehidupan manusia dalam kesejahteraan dan keseimbangan spiritualitas (*Well-being*). Dalam kehidupan masyarakat Jawa dikenal *Kiblat Papat Limo Pancer*, sebagai pengarah kehidupan manusi. Pariwisata sebagai lokomotif pembangunan, memerlukan kompas untuk menuju arah yang berkelanjutan. Konsep ini sesungguhnya sederhana saja, setiap orang perlu memahami kemana arah yang dituju, mana jalan yang dipilih, kendaraan (organisasi) apa yang ingin digunakan.



Sumber: AtKisson Groupe International, 2006

Gambar 2. *Compass of Sustainability*

Pariwisata tidak hanya perjalanan fisik dari satu tempat ke tempat lain yang berbeda budayanya, tetapi juga bisa dikemas menjadi perjalanan imajinasi melintas batas waktu masa lalu dan masa depan. Dengan melihat dan menikmati warisan sejarah seperti halnya Borobudur, wisatawan dapat berkelana dalam perjalanan imajinasi peradaban masa silam dan merangkai dengan masa kini serta membayangkan masa depan peradaban manusia. Pariwisata seperti ini yang meramu kemampuan berbagai pengetahuan dan bukti penemuan yang diinterpretasi dan dijadikan rangkaian cerita yang menarik. Pariwisata holistik berbasis pengetahuan dan dikemas dengan pendidikan ini nampaknya memiliki prospek yang bagus, dibanding pariwisata yang mengandalkan jumlah kunjungan dan pendapatan semata.

Borobudur sebagai magnet, memiliki gaya atau kekuatan sentripetal dan sentrifugal yang harus digerakkan secara sinergis, dinamis dan harmonis. Bila dua kekuatan pengembangan Borobudur ini digerakkan, maka kekuatan magnet yang

muncul semakin kuat hingga mampu memancarkan energi gerak elektromagnetik yang bisa ditransformasi menjadi cahaya. Penjelasan kedua gaya kekuatan ini lebih dimaknai dari sudut pandang pengembangan masyarakat dan pembangunan wilayah Borobudur dikaitkan dengan pariwisata.

a. **Kekuatan Sentripetal**

Sentripetal merupakan gaya yang bergerak dari luar menuju ke dalam. Borobudur menjadi magnet yang sangat kuat, tidak saja karena pengakuan sebagai salah satu *World Heritage* oleh UNESCO, tetapi memang memiliki keunikan daya tarik dan daya pikat tersendiri. Wisatawan yang berkunjung ke Yogyakarta dan Jawa Tengah, merasa belum lengkap bila belum berkunjung ke Borobudur.

Letaknya yang berada di pusatnya Pulau Jawa mudah terjangkau menggunakan jalan darat bagi wisatawan domestik, terutama pelajar dan kaum muda di berbagai kota di Jawa. Bagi wisatawan yang menggunakan pesawat udara lebih mudah melalui Yogyakarta, Semarang dan

Solo dan melanjutkan dengan kendaraan menuju Borobudur.

Kekuatan sentripetal sebagai kekuatan yang menarik dari luar ke dalam, menyebabkan Borobudur menjadi magnet yang menarik bagi investasi pariwisata dan mobilitas tenaga kerja menuju kawasan ini. Sehingga saat ini beban yang diemban tata ruang kawasan Borobudur semakin berat dan cenderung menjadi ruwet di masa depan. Kehadiran berbagai investasi skala besar dalam penggunaan ruang dan sumber daya di kawasan ini telah menunjukkan gejala yang mengkhawatirkan.

Pembangunan yang terus meningkat membawa konsekuensi bagi kehidupan, tata ruang dan lingkungan hidup. Beban yang terlalu besar sebagai magnet pariwisata, telah membawa perubahan citra Borobudur warisan dunia ini semakin merosot. Belum lagi meningkatnya pengalihan kepemilikan lahan dari petani dan penduduk setempat pada para spekulan tanah. Bila kecenderungan ini terus berlangsung dikhawatirkan terjadi marjinalisasi, penduduk setempat terpelanting dari tanah leluhurnya.

b. Kekuatan Sentrifugal

Sentrifugal merupakan gaya melanting dari dalam ke luar. Kekuatan ini bisa jadi merupakan reaksi setelah terjadi kejenuhan dari dalam, tapi juga bisa dikendalikan sebagai upaya mengurangi kejenuhan dan beban yang ditimpakan pada Borobudur. Kecenderungan yang pertama merupakan reaksi atas beban yang terus menerus menekan Borobudur, sehingga terjadi reaksi balik daya dorong sentrifugal. Kecenderungan kedua merupakan upaya sebelum terjadi kerusakan yang hebat akibat beban yang menumpuk di sekitar Borobudur, dilakukan pemekaran atau

perluasan atau bahkan orientasi yang menarik di luar Borobudur.

Pengembangan wisata diarahkan pada *landscape* yang lebih luas, diluar kawasan inti Borobudur. Dengan melihat dan menggarap kawasan wisata baru di desa-desa sekitarnya, di lereng pegunungan dan di puncak-puncak perbukitan akan memberikan alternatif yang baru. Borobudur akan menjadi menarik bila dipandang dari berbagai sisi di kejauhan. Justru dari pandangan yang jauh sesungguhnya dapat muncul keindahan dan imajinasi yang luar biasa.

Pengembangan kawasan wisata secara sentrifugal diperlukan untuk mengurangi beban yang diemban kawasan inti Borobudur, sekaligus untuk menebarkan pemerataan pembangunan desa-desa di sekitarnya. Peran pemerintah daerah sangat penting di era otonomi, demikian pula dalam pembangunan pariwisata mau tidak mau harus dengan daerah.

Pariwisata Sebagai Lokomotif Pengembangan Wilayah

Sifat pariwisata yang dinamis terus mengalir dan mudah terjadi fluktuasi, memerlukan pemahaman yang terbuka dan pengelolaan yang fleksibel. Pengembangan pariwisata memerlukan sinergi antar pelaku dan pemangku warisan Borobudur. Pada era otonomi ini, perlu diperhitungkan peran pemerintah daerah dan partisipasi masyarakat dalam menentukan arah pembangunan. Kerjasama antar daerah di lembah antar pegunungan di sekitar Borobudur perlu dikembangkan seperti Magelang, Sleman, Yogyakarta, Kulonprogo, Purworejo, Klaten, Solo, Boyolali, Salatiga, Semarang, Temanggung, Wonosobo.

Wilayah Joglosemar (Jogja, Solo dan Semarang) dan sekitarnya ini memiliki serangkaian warisan peradaban yang dapat dirangkai menjadi kekuatan bagi pengembangan tema dan trip wisata yang menarik. Tidak jauh dari kota Yogyakarta banyak candi yang unik, sebelah utara Solo terdapat situs purbakala Sangiran dan kearah Wonosobo di dataran tinggi Dieng terdapat candi-candi diketinggian yang memiliki posisi sejarah unik pada masanya. Jalur wisata Borobudur dapat ditarik secara sentrifugal ke berbagai arah menuju berbagai alternatif tema dan trip seperti terlihat pada peta berikut ini.

Sinergi program pembangunan baik yang berbasis sektor maupun tata ruang dan kependudukan perlu dilakukan dalam keterkaitan dengan Borobudur. Sinergi merupakan upaya yang dimulai dari komitmen, koordinasi, keterkaitan, kerjasama dan kemitraan hingga menghasilkan manfaat yang dapat dirasakan bersama. Kebersamaan ini tentu tidak mudah ditengah arus kompetisi atau persaingan antar daerah dalam menggaet investor dan wisatawan. Beberapa bibit sinergi ini tengah bersemi, misalnya Java Promo merupakan wadah kerjasama lima belas kabupaten dan kota lintas propinsi di Yogyakarta, Jawa Tengah. Inovasi institusi ini pantas mendapat dukungan untuk terus bisa membuahkan hasil yang nyata dan bermanfaat bagi segenap pelaku dan masyarakat pada umumnya.

Keterkaitan pengembangan pariwisata dan konservasi Borobudur, seyogyanya dilakukan tidak hanya di kawasan zona inti, tetapi perlu dikembangkan pembangunan terpadu secara lebih luas dilakukan di *hinterland*. Harmoni pengembangan wilayah ini merupakan upaya untuk mengurangi beban di zona inti Borobudur, sekaligus melakukan

pemerataan pembangunan di pedesaan. Jadi Borobudur tidak hanya sebagai magnet pariwisata dengan gaya sentripetal, tetapi dengan mengembangkan gaya sentrifugal Borobudur dapat menjadi generator pembangunan harmoni dan terpadu (holistik).

Pariwisata berbasis masyarakat merupakan pendekatan dan praksis pariwisata yang menempatkan masyarakat sebagai pelaku utama. Masyarakat tidak hanya sebagai pelayan bagi wisatawan, tetapi sebagai pemangku budaya dan tradisi serta sebagai tuan rumah yang memiliki kedaulatan. Pariwisata ini dapat tumbuh pada masyarakat yang masih memiliki semangat gotong-royong, namun tidak dapat dilakukan pada masyarakat yang individualistik.

Masyarakat setempat yang pada umumnya memiliki nilai-nilai budaya tradisional pedesaan menganggap candi Borobudur tetap menjadi bagian dari budaya mereka. Hal ini dinyatakan oleh kerinduan mereka untuk selalu dapat melaksanakan tradisi atau kegiatan seperti yang dulu pernah mereka lakukan di saat-saat tertentu. "Ikatan batin" ini merupakan rasa *bandarbeni* ada rasa memiliki dan melestarikan. Namun kebijakan yang menempatkan Borobudur (secara dominan) sebagai arena wisata telah menimbulkan rasa kekecewaan yang besar ketika candi Borobudur dipisahkan dari kehidupan budaya mereka. Kekecewaan ini seringkali mendorong mereka untuk cenderung menuntut "kompensasi" tertentu kepada pihak-pihak yang kini mengelola candi ini

Pengelolaan Borobudur saat ini lebih berorientasi ekonomi melalui kegiatan pariwisata yang bersifat masal. Berbagai kegiatan masyarakat lokal tidak mudah dilaksanakan di lingkungan candi, kecuali dengan ijin atau membayar tiket. Berbagai

upaya dialog, sarasehan dan diskusi telah dilakukan, tidak lain untuk untuk 'membuka pintu' bagi kegiatan sosial budaya Borobudur.

Kegiatan seni budaya masyarakat kini tumbuh di berbagai desa di lereng pegunungan. Para pegiat seni dan budaya beberapa tahun terakhir menunjukkan geliat kebangkitan masyarakat. Peran warung informasi Jagat Cleguk dan komunitas sanggar lainnya bahu membahu menyelenggarakan festival seni budaya desa. Secara gotong royong berbagai pagelaran diselenggarakan dengan semangat gegap gempita. Semangat dan dinamika masyarakat ini layak mendapat perhatian dan dukungan dari pemerintah, mengingat ini merupakan suatu kebangkitan gaya sentrifugal yang dapat memperbesar daya tampung wisatawan tidak hanya di sekitar zona inti Borobudur, tapi bersemi di desa-desa sekitarnya yang menawarkan wisata alternatif.

Wisata tematik dan alternatif yang berorientasi kedaulatan sosial budaya masyarakat tentu lebih menarik daripada wisata konvensional yang berorientasi ekonomi. Kesenderungan ini harus digali dan dikembangkan serta dipromosikan, sehingga masyarakat mendapat manfaat dan mampu menyuguhkan yang terbaik bagi tamunya, wisatawan.

Borobudur dipandang secara holistik, dari segi pariwisata dirumuskan konsep *sustainable tourism* (termasuk didalamnya berbagai istilah percabangan dan keragaman nama/lebel pariwisata seperti *community based tourism, ecotourism, cultural tourism, geoscientific based tourism*) sebagai upaya pemanfaatan dan pelestarian. Sebelum pemerintah ingin mengundang investor besar dan dari luar,

masyarakat harus dilibatkan tidak sekedar sosialisasi atau jaring aspirasi, juga terlibat dalam proses implementasi dan pengendalian. Berkaitan dengan pendanaan, pemerintah harus menggali sumber-sumber dana dari dalam maupun luar negeri yang tidak berupa hutang.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan penelitian ini terkait dengan fenomena keberadaan Borobudur beserta teka-teki sejarah masa lalu maupun sebagai magnet pariwisata saat ini, sebagai berikut:

1. Peradaban Borobudur pernah mengalami masa kejayaan, namun masih menjadi teka-teki untuk menjelaskan mengapa terjadi kemunduran dan bahkan keruntuhan serta ditinggalkan. Berbagai hal yang dapat menjadi penyebabnya, kemungkinan besar adalah adanya bencana alam erupsi vulkanik Gunung Merapi.
2. Kaitannya dengan pemanfaatan Borobudur sebagai magnet atau daya tarik pariwisata menunjukkan pamor atau citranya semakin memudar. Hal ini tidak lepas dari pemanfaatan yang semakin meningkat tetapi tidak diikuti dengan upaya perbaikan pengelolaan dan pengembangan inovasi produk.
3. Permasalahan yang menyelimuti Borobudur terkait dengan jumlah wisatawan dan perilaku yang merusak ketika ribuan orang naik ke atas candi dan memegang berbagai relief serta patung yang dapat menimbulkan kerusakan batu serta wujud dan sudut ukiran relief.
4. Permasalahan kenyamanan wisatawan terganggu akibat perilaku para

pengasong dan pedagang souvenir yang jumlahnya banyak, mengerubungi dan menyodorkan barang dagangan untuk dibeli.

5. Ancaman kerusakan akibat menurunnya kualitas lingkungan, kemungkinan hujan yang mengandung zat yang merusak relief dan patung batu serta bentuk candi. Meningkatnya polusi udara maupun perubahan cuaca global dikhawatirkan akan merusak Borobudur di masa depan.

Hasil penelitian ini mengajukan beberapa saran yang ditujukan bagi segenap pihak dengan arahan sebagai berikut:

1. Perlunya adanya kajian lebih lanjut dari berbagai disiplin ilmu mengenai pentingnya konsep dan strategi pelestarian, pemanfaatan maupun pengelolaan Borobudur dan mempublikasikan pandangannya maupun penemuannya mengenai fenomena kehidupan masa lalu yang dapat menjadi pelajaran berharga bagi generasi mendatang.
2. Borobudur tidak hanya sebagai magnet atau daya tarik wisata yang mengandalkan jumlah wisatawan, tetapi lebih baik mengelola dan mengembangkan kegiatan wisata yang berkualitas sebagai proses pembelajaran dan pengkayaan pengetahuan bagi para wisatawan. Para pelaku bisnis pariwisata perlu melakukan inovasi paket-paket wisata dengan mengintegrasikan pengetahuan dan pembelajaran dalam penjelajahan peradaban.
3. Pengembangan pariwisata berbasis masyarakat penting untuk menjalin keterkaitan antara Borobudur dengan

budaya sekitarnya. Masyarakat sesungguhnya sebagai pengemban budaya dan oleh karena itu pengembangan pariwisata harus melibatkan masyarakat setempat.

4. Pengelolaan tidak hanya ditekankan pada zona inti Candi Borobudur dan penyangga dalam, tetapi perlu dikembangkan konsep Gaya Sentrifugal dengan mengembangkan *hinterland* disekitarnya menjadi bagian dari pengembangan keragaman atraksi dan amenitas pariwisata.
5. Pemerintah pusat hendaknya dapat meninjau kembali kebijakan pengelolaan yang telah lama berjalan, untuk dapat dikembangkan suatu pendekatan dan konsep maupun strategi pengelolaan yang melibatkan berbagai pihak dengan sifat yang transparan, tegas dan konsisten.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih pada tim peneliti yaitu Winarni dari Departemen Kebudayaan dan Pariwisata, Daud Tanudjoyo (Arkeolog), Heidi Shri Ahimsa (Antropolog), Laretna T. Adishakti (Arsitek), Amiluhur Soeroso (Ekonom) dan Helmi Marwoto (Geolog) atas kerjasama penelitian dan pengkayaan bahan mengenai Borobudur. Tulisan ini pernah diseminarkan dalam “*Re-Thinking Borobudur: Penataan Ruang Kawasan the World Cultural Heritage Candi Borobudur*” yang diselenggarakan Departemen Pekerjaan Umum dan Departemen Kebudayaan dan Pariwisata di Jakarta pada 2008. Berbagai masukan diskusi kemudian dikembangkan untuk memperbaiki tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2007. *The Thousand Mysteries of Borobudur*. Visual Art Exhibition, 20 April – 9 May in Jogja Gallery.
- AtKisson Group Internasional. 2006. *The Business of Sustainability: Participant Workbook*. LEAD and AGI. Jakarta
- Boomgaard, P. 1991. “The Non-Agricultural Side of An Agricultural Economy Java 1500-1900” (Chapter I) dalam Paul Alexander, Peter Boomgaard, Ben White (editors). 1991. *In The Shadow of Agriculture: Non-Farm Activities in the Javanese Economy, Past and Present*. Royal Tropical Institute, Amsterdam.
- Diamond, J. 2005. *Collapse: How Societies Choose to fail or Survive*. Penguin Group.
- Elson, R.E. 1994. *Village Java Under the Cultivation System 1830-1870*. Allen and Unwin. Sidney.
- Fagan, Brian. 2008. *The Great Warming: Climate change and the rise and fall of civilization*. Bloomsbury Press. New York.
- Matroji. 2004. *Sejarah untuk SMP Kelas VII*. Penerbit Erlangga. Jakarta.
- Siagian, R. 2002. *Indonesia Art & Cultural Heritage*. Yayasan Cempaka Kencana. Bandung dan Yogyakarta.
- Soekmono. 1976. *Candi Borobudur: A monument of mankind*. The UNESCO Press. Paris.
- Soeroso, Amiluhur. 2007. Desertasi UGM : *Penilaian Kawasan Pusaka Borobudur Dalam Kerangka Perspektif Multi Atribut Ekonomi Lingkungan dan Implikasinya Terhadap Kebijakan Manajemen Ekowisata*.
- Soetrisno, L. 1994. *Masalah Sosial Budaya di Indonesia Menjelang Indonesia Memasuki Masyarakat Baru*. Makalah Seminar HIPIS Yogyakarta (tidak dipublikasikan).
- Subaktini, Dewi. 2006. Analisis Sosial Ekonomi Masyarakat di Zona Rehabilitasi Taman Nasional Meru Betiri, Jember, Jawa Timur (Kasus di desa Andangrejo, Wonoasri, Curahnongko, dan Senenrejo), *Forum Geografi Vol. 20 No. 1 Juli 2006*.
- Winarni. 2006. *Kajian Perubahan Ruang Kawasan World Heritage Candi Borobudur*, Program Studi Magister Perencanaan Kota dan Daerah, Jurusan Ilmu-ilmu Teknik, Universitas Gajah Mada.
- Zen, MT. 2006. “Enigma Merapi dan Sejarah Mataram”. Makalah Saresehan Budaya *Vulcano International Gathering 2006*. UPN Veteran Yogyakarta 23 Februari 2006.

TIPIKAL KUANTITAS INFILTRASI MENURUT KARAKTERISTIK LAHAN (KAJIAN EMPIRIK DI DAS CIMANUK BAGIAN HULU)

Dede Rohmat

Jurusan Pendidikan Geografi FPIPS UPI

Jl. Dr. Setyabudhi No. 229 Bandung 40154, Telp. 0811210716/08156415481

E-mail: rohmat_dede@yahoo.com

ABSTRACT

Rate of infiltrate can be conduct as function of permeability, suction head and moisture of soil parameter. The parameters have close relationship with soil physical characteristics. That relation can be formulated by empirical research. This study have aim to get typical infiltrate quantity based on land characteristics. Method of Green-Ampt infiltrate developed and used to study typically of infiltrate capacity on Upstream of Watershed (Case on Upstream Cimanuk Watershed). Research conducted use empirical and analytical approach. Study conducted at Oxisol Soil occupied by five kinds of land use. There are 96 soil samples was gathered, taken away from 16 observation points. About 12 parameters of soil physical properties were analyzed to each soil sample. The study covering, development of typical capacities infiltrate pursuant on empiric data at multijarious land characteristics (forest; agro forestry; second crops (palawija); settlement; and non arable land). The precipitation intensity has been formulated as function of rainy duration and its probabilities. K formulated as function of volumetric water content; rapid drainage pores, and slow drainage pores ($K = f(\theta, \eta, \eta)$). Parameter of y , formulated as function of soil moisture ($\psi = f(\theta)$). Parameter of $F(T)_{dummy}$, formulated as function of p and t ; ($F(T)_{dummy} = F(t, p)$). So that pursuant to empirical data, rate of infiltrate $f(t)$ of Green Ampt developed as $f(t) = f(\theta, \eta, \eta, \tau, \pi)$; and infiltrate cumulative can be calculated by $F(F = f(t), t)$. Infiltrate of every kinds of land characteristics have pattern which much the same to, but differ in its quantity.

Keywords: *infiltrate typical, infiltrate, hydraulic conductivity, soil physis, suction head, watershed*

PENDAHULUAN

Pembentukan dan perluasan lahan kritis sangat berkaitan dengan proses erosi. Daerah Aliran Sungai (DAS) bagian hulu, faktor aliran permukaan (surface run off) merupakan faktor utama penyebab erosi. Tingkat kerusakan lahan akibat erosi sangat ditentukan oleh besar kecilnya aliran permukaan, sedangkan aliran permukaan sangat dipengaruhi oleh curah

hujan, infiltrasi, intersepsi, evapotranspirasi, dan storage.

Jika evapotranspirasi selama kejadian hujan diasumsikan sama dengan nol; intersepsi dan storage diasumsikan mempunyai batas optimum yang akan dicapai oleh besar hujan tertentu, maka aliran permukaan merupakan fungsi dari infiltrasi. Infiltrasi sangat bergantung atas sifat fisik dan hidraulik kolom tanah,

penggunaan lahan, kondisi permukaan tanah, dan faktor eksternal hujan.

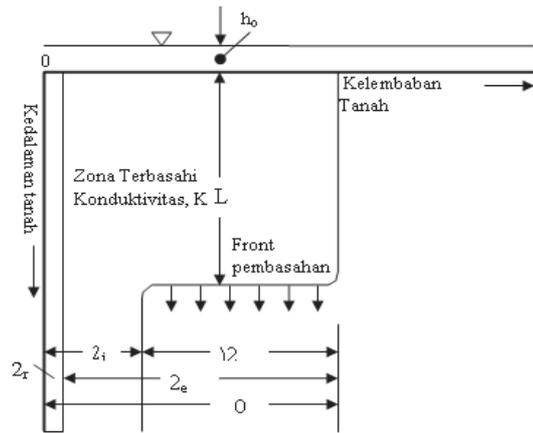
Metode infiltrasi Green-Ampt merupakan metode pendugaan kapasitas dan laju infiltrasi. Metode ini metode lama, namun hingga sekarang masih tetap digunakan karena hasil pendugaannya tidak lebih buruk dari hasil pendugaan metode pendugaan infiltrasi yang lebih baru. Selain itu, metode Green-Ampt menarik banyak perhatian, karena metodenya sederhana, didasarkan atas karakteristik fisik, dan parameternya dapat diukur.

Laju infiltrasi menurut Green-Ampt (1911), merupakan fungsi dari parameter hidraulik tanah. Yaitu permeabilitas, *suction head*, dan kelembaban tanah. Parameter-parameter tersebut mempunyai hubungan erat dengan karakteristik fisik tanah. Hubungan antara dua karakteristik tanah tersebut dapat diformulasikan melalui penelitian empirik.

Metode Green-Ampt

Green dan Ampt mengembangkan pendekatan Teori Fisik yang dapat diselesaikan dengan Penyelesaian Analitik Exact (*Exact Analytical Solution*) untuk menentukan infiltrasi (1). Infiltrasi adalah penetrasi air dari permukaan ke dalam tanah secara vertikal.

Dalam Pendekatan ini, Green Ampt mengemukakan istilah Front Pembasahan, yaitu suatu batas yang jelas antara tanah yang mempunyai kelembaban tertentu (q) di bawah dengan tanah jenuh (h) di atasnya. Front pembasahan ini terdapat pada kedalaman L yang dicapai pada waktu t dari permukaan (Gambar 1).



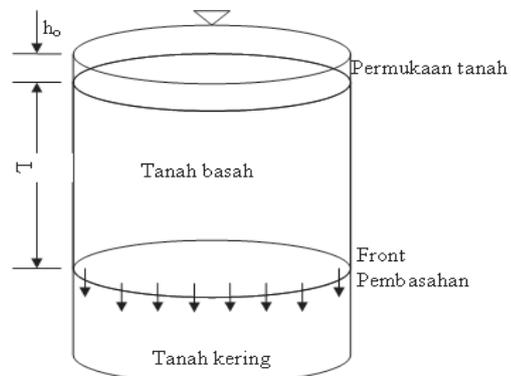
Sumber: Chow, 1989; 108

Gambar 1. Zonasi Kelembaban Tanah Akibat Infiltrasi

Dalam pendekatan ini, kontrol volume kolom tanah digunakan sebagai satuan analisis. Kontrol volume merupakan satuan analisis yang dibatasi oleh luas permukaan dan kedalaman L . Air yang masuk ke dalam akan menyebabkan pertambahan kelembaban tanah dari kelembaban awal (q) pada kedalaman (L), maksimum menjadi porositas (h).

Pertambahan air sebagai hasil infiltrasi untuk suatu unit volume adalah $L(\eta - \theta)$ atau sama dengan infiltrasi kumulatif (F) (Gambar 2):

$$F = L(h - q) \\ = L Dq \dots\dots\dots (1)$$



Sumber: Chow, 1989; 112

Gambar 2. Infiltrasi Kolom Tanah

Hukum Darcy's menyajikan persamaan momentum untuk suatu flux, yaitu :

$$q = -K \frac{\partial h}{\partial z} \dots\dots\dots (2)$$

Nilai q (Darcy flux) untuk seluruh kedalaman adalah konstan; didekati oleh - f:

$$q = K \frac{(h_1 - h_2)}{(z_1 - z_2)} \dots\dots\dots (3)$$

Jika Ψ adalah suction head tanah untuk wetting front; h_1 adalah head permukaan sama dengan kedalaman genangan (h_o), dan h_2 adalah head tanah yang kering di bawah wetting front. Head (h) adalah penjumlahan suction head (Y) dan gravity head (z), maka:

$$h_2 = -\Psi - L.$$

Hukum Darcy untuk sistem ini adalah

$$f = K \left[\frac{h_o - (-\Psi - L)}{L} \right]$$

$$f \approx K \left[\frac{\Psi + L}{L} \right] \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan di atas untuk asumsi bahwa genangan permukaan h_o dapat diabaikan dibandingkan dengan Ψ dan L. Jika h_o tidak diabaikan, dapat diasumsikan bahwa $h_o = 0$. Persamaan 5, disubstitusikan ke dalam persamaan 4:

$$L = \frac{F}{\Delta\theta} \dots\dots\dots (5)$$

diperoleh:

$$f = K \left[\frac{\Psi\Delta\theta + F}{F} \right] \dots\dots\dots (6)$$

Pada saat $f = dF/dt$, persamaan 6, merupakan persamaan untuk menyatakan tingkat infiltrasi potensial (1). Persamaan 6 dapat diekspresikan sebagai persamaan diferensial dalam (F) yang tidak diketahui.

$$\frac{dF}{dt} = K \left[\frac{\Psi\Delta\theta + F}{F} \right] \dots\dots\dots (7)$$

sehingga diperoleh integrasinya:

$$F(t) = \Psi\Delta\theta \ln \left(1 + \frac{F(t)}{\Psi\Delta\theta} \right) + Kt \dots\dots\dots (8)$$

dimana,

F(t) = infiltrasi kumulatif

Ψ = suction head

$\Delta\theta$ = selisih antara porositas (h) dengan kandungan air awal (q)

K = permeabilitas tanah

Persamaan 8, merupakan persamaan-an Green-Ampt, untuk menghitung infiltrasi kumulatif F potensial, sedangkan tingkat infiltrasi diperoleh dari:

$$f(t) = K \left[\frac{\Psi\Delta\theta}{F(t)} + 1 \right] \dots\dots\dots (9)$$

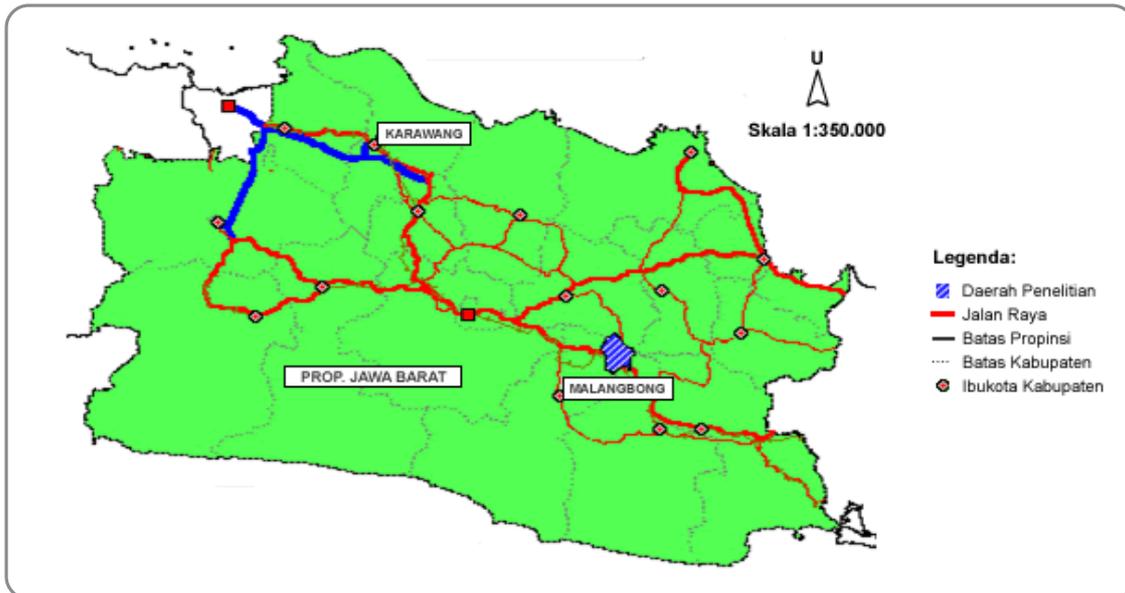
Karakteristik Fisik Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Kecamatan Malangbong Kabupaten Garut Propinsi Jawa Barat, Indonesia (108° 14' 08" BT-108°16" BT dan 06° 54' 44" LS - 07° 01' 36" LS). Sekitar 7 jam perjalanan darat dari ibu kota Indonesia, Jakarta atau 2 jam dari ibu kota propinsi Jawa Barat, Bandung (Gambar 3).

Lokasi penelitian terletak pada ketinggian 560 – 800 meter di atas permukaan laut (m dpl). Kemiringan lereng berkisar antara 15% - >40%. Rata-rata hujan tahunan wilayah *Cekungan Kecil* Cikumutuk sekitar 2.676 mm per tahun.

Secara geologi, batuan daerah penelitian merupakan hasil erupsi gunung api tua yang diperkirakan terjadi pada zaman plio-plestosen, umumnya terdiri dari perselingan breksi, lava, tufa dan lahar bersusunan andesit sampai basal (26).

Menurut Sistem Taksonomi, tanah di lokasi termasuk *Great Group Oxorthox*, *Haplorthox*, *Rodorthox*, dan *Chromorthox* (11) atau Latosol oksic, Latosol haplik, Latosol rodik, dan Latosol kromik (2). Tanah-



Sumber: Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Skala 1: 25.000

Gambar 3. Letak Lokasi Penelitian

tanah ini mempunyai tekstur *clay loam* di permukaan dan *clay* di bawah permukaan.

Lima macam penggunaan lahan dari tanah tersebut yaitu palawija (*second crops*), agroforestri (*agroforestry*), lahan tidak digarap (*non arable land*), hutan atau kayu campuran (*forest or mix timbres*) dan permukiman (*settlement*).

Palawija merupakan budidaya lahan kering dengan dominasi tanaman semusim. Adapun tanaman tahunan difungsikan sebagai tanaman pelindung atau tanaman batas lahan. Jenis tanaman yang ditanam pada lahan ini antara lain jagung, kacang tanah, ubi jalar, padi gogo, singkong, jahe, dan cabe keriting. Palawija tersebar pada tanah *Chromorthox*, *Haplorthox*, dan *Oxtorthox*.

Pengolahan tanah dan pemakaian van organik intensif. Seluruh lahan telah berteras, kemiringan lahan dianggap sama dengan nol. Secara kualitatif, penutupan lahan oleh tajuk tanaman bervariasi dari 50% sampai dengan 90%.

Agroforestry terdiri atas hutan rakyat dan sistem tumpang sari. Sistem hutan rakyat adalah sistem pemanfaatan lahan dengan tanaman tahunan (100%). Dominasi tanaman berupa Albazia dari jenis Sengon dan Sengon Buto. Jarak tanam masing-masing sekitar 2 x 3 meter dan 5 x 5 meter. Penutupan lahan mencapai 80 - 100%. Pada sistem tumpang sari, tanaman tahunan yang ditemukan adalah cengkih dan sengon, dengan jarak tanam sekitar 10 x 10 meter. Tanaman semusim yang tumbuh di antara tanaman cengkih adalah cabe, sedangkan di antara tanaman sengon adalah jagung dan singkong. Penutupan lahan pada ini sekitar 70%.

Penggunaan lahan agroforestri tersebar pada tanah *Chromorthox*, *Haplorthox*, *Oxtorthox*, dan *Rhodorthox*. Lahan umumnya berteras, sehingga kemiringan lereng dianggap sama dengan nol.

Lahan yang tidak digarap, tersebar pada tanah *Haplorthox* dan *Rhodorthox*. Tumbuhan dominan adalah semak dari alang-alang dengan penutupan lahan 100%.

Hutan (kayu campuran) merupakan lahan yang didominasi tanaman tahunan dari jenis kayu-kayuan dan difungsikan sebagai hutan lindung. Di bawah tegakan tumbuh tanaman perdu, semak, dan rumput liar. Dengan demikian, lahan tertutup rapat oleh tajuk tanaman (100%). Areal ini menempati tanah *Haplorthox* dan *Chromorthox* dengan kemiringan dianggap sama dengan nol.

Permukiman di lokasi penelitian merupakan permukiman khas upland, berteras, terdapat (tampungan) storage di permukaan lahan, tidak mempunyai saluran drainase khusus, dan mempunyai halaman bermain dan budidaya tanaman pekarangan. Penutupan lahan di areal permukiman sekitar 30% – 40%. Tanah yang ditempati untuk permukiman adalah tanah *Haplorthox*, *Oxthorthox*, dan *Rhodorthox*.

Prosedur Pengumpulan Data dan Analisis Data

Penelitian menggunakan metode observasi lapangan, dengan pendekatan empirik-analitik. Pengamatan lapangan dilakukan dalam kurun waktu 4 bulan, mulai bulan Januari 2001 sampai April 2001.

Rekaman hujan otomatis selama 3 tahun diidentifikasi untuk memperoleh data ketebalan hujan, $R(t)$, durasi hujan (t) dan intensitas hujan setiap kejadian hujan. Data ini digunakan untuk formulasi pola hujan daerah penelitian.

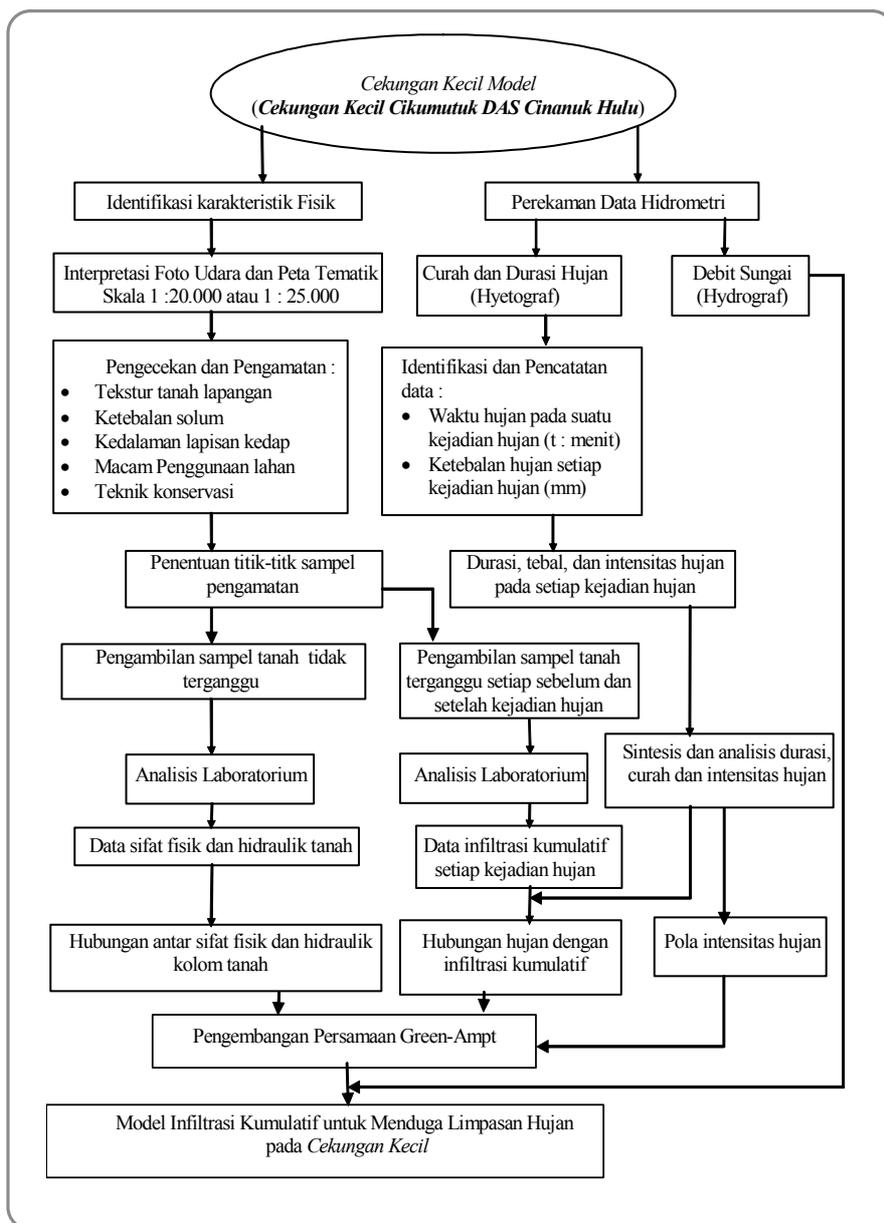
Sampel tanah diambil dari 16 titik pengamatan, representatif pada setiap penggunaan lahan (palawija 5 titik pengamatan; Agroforestry 4 titik pengamatan; *non arable land* 2 titik sampel; hutan 2 titik sampel; dan permukiman 3 titik sampel).

Sampel tanah yang diambil adalah *disturbed soil samples* dan *undisturbed soil samples*. Dua belas buah sampel tanah (6 sampel terganggu dan 6 sampel tidak terganggu), diambil dari setiap titik pengamatan. Masing-masing mewakili kedalaman 0-20 cm; 20 – 40 cm; 40 – 60 cm; 60 – 80 cm; 80 – 100 cm; dan 100 – 120 cm. Pengamatan dilakukan satu kali pada awal penelitian.

Analisa laboratorium dilakukan terhadap sampel tanah terganggu untuk mendapatkan nilai variabel *coarse sand* (s_c ; %); *fine sand* (s_f ; %), *silt* (s_s ; %); *clay* (c_p ; %); dan *organic matter* (o_m ; %). Sampel tanah tidak terganggu dianalisis untuk mendapatkan nilai variabel *total porosity* (h ; %); *rapid drainage pores* (h_c ; %); *slow drainage pores* (h_p ; %); *bulk density* (r_b ; gr/cm^3); *particle density* (r_p ; gr/cm^3); *suction head* (y ; cm); *potential free energy* (pF); *volumetric water content* (q ; %) (5); dan *permeability* (K ; cm/jam).

Pengamatan hujan selama kurun waktu penelitian (4 bulan), dilakukan secara otomatis dengan alat yang mampu mengukur waktu hujan, lama hujan, dan ketebalan hujan. Pada kurun ini, infiltrasi kumulatif akibat hujan diukur dari perbedaan kelembaban sampel tanah yang diambil sebelum hujan dan sesudah hujan. Pengambilan sampel tanah dilakukan pada interval kedalaman 20 cm, mulai permukaan tanah hingga kedalaman 120 cm. Kelembaban diukur melalui pengovenan pada suhu 105 °C selama 10 jam.

Keseluruhan proses penelitian hingga diperoleh hasil akhir model infiltrasi kolom tanah digambarkan dalam bentuk alur proses penelitian (Gambar 4).



Sumber: Chow, 1998 dengan Modifikasi

Gambar 4. Prosedur Penelitian secara Keseluruhan

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Sistesis dan Pola Intensitas Hujan

Pola intensitas hujan diformulasi guna memperoleh pola intensitas hujan yang sesuai dengan wilayah penelitian dan sebagai masukan untuk pengembangan metode pendugaan infiltrasi empirik. Pola intensitas hujan disajikan dalam bentuk

persamaan yang menyatakan intensitas hujan (I ; mm/jam) sebagai fungsi dari durasi hujan (t ; jam) dan probabilitas (%), atau $I = f(t,p)$. Formulasi dilakukan berdasarkan 162 data kejadian hujan yang direkam selama kurun 3 tahun.

Formulasi pola intensitas hujan dilakukan melalui proses:

- (i) Pengelompokan data hujan menurut durasi hujan ($t = 0,25; 0,5; 1; 2; 3; \text{ dan } 6 \text{ jam}$)
- (ii) Transformasi logaritmik data, agar diperoleh data intensitas hujan yang mempunyai sebaran normal.
- (iii) Perhitungan probabilitas hujan ($p; \%$).
- (iv) Menghitung pola hubungan antara I dengan p pada setiap kelompok durasi hujan. Hubungan tersebut berbentuk :

$$I_{0,25} = 10^{(-0,0163.p + 1,6345)} \quad (10)$$

$$I_{0,5} = 10^{(-0,0163.p + 1,4060)} \quad (11)$$

$$I_1 = 10^{(-0,0163.p + 1,1770)} \quad (12)$$

$$I_2 = 10^{(-0,0163.p + 1,0760)} \quad (13)$$

$$I_3 = 10^{(-0,0163.p + 0,9823)} \quad (14)$$

$$I_6 = 10^{(-0,0163.p + 0,8950)} \quad (15)$$

- (v) Menentukan intensitas hujan berdasarkan sembarang nilai probabilitas untuk setiap kelompok durasi hujan.
- (vi) Menentukan pola hubungan antara intensitas hujan dengan durasi dan probabilitas hujan, atau $I=f(t,p)$. Pola hubungan tersebut berbentuk :

$$I = 6,61e^{-0,0375.p} + 9,16e^{-0,0375.p} \frac{1}{t} \dots\dots (16)$$

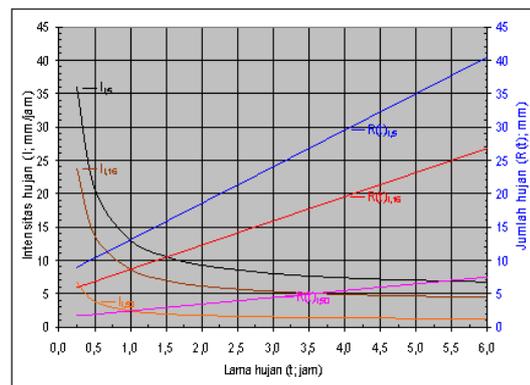
Persamaan akhir pola intensitas hujan yang sesuai untuk areal penelitian adalah :

$$I_{t,p} = \left(\frac{9,16 + 6,61.t}{t} \right) e^{-k} \dots\dots\dots (17)$$

dengan, I adalah intensitas hujan (mm/jam); t adalah durasi hujan (jam); $e = 2,718$; $k=0,0375$. p ; dan p adalah probabilitas (%). Ketebalan hujan selama kejadian hujan ($R(t)_{t,p}$) dihitung menggunakan rumus:

$$R(t)_{t,p} = I_{t,p}.t \dots\dots\dots (18)$$

Dengan persamaan 17 dan 18 dihitung intensitas dan ketebalan hujan untuk $t = 0,25; 0,5; 1; 2; 3; 4; 5; \text{ dan } 6 \text{ jam}$. Dalam kelompok probabilitas (p) kejadian hujan 50 %; 16 %; dan 5 %. Nilai probabilitas 50 % adalah nilai rata-rata; probabilitas 16 %, adalah nilai rata-rata ditambah standar deviasi; dan probabilitas 5 % adalah nilai ekstrim (Gambar 5).



Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 5. Intensitan dan Ketebalan Hujan pada t dan p

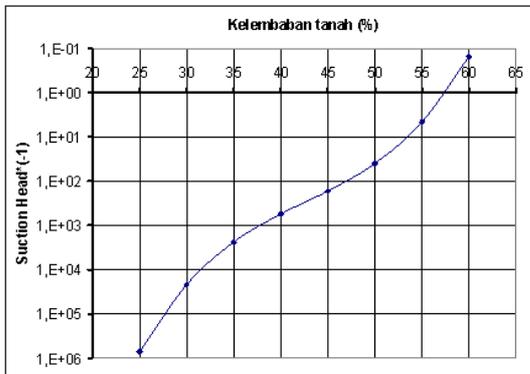
b. Pendugaan *Suction Head* Berdasarkan Kelembaban Tanah

Suction head (y) adalah nilai yang menyatakan energi hisapan tanah terhadap air di dalam pori atau sekitar butir tanah (*soil water*) (6).

$$\Psi = -(10^{pF}) \quad (19)$$

dengan pF adalah nilai potensial *free energy* tanah yang besarnya bergantung pada kandungan air tanah. Dari 96 buah sampel tanah, diperoleh hubungan antara kandungan air tanah (q) dengan nilai pF , yaitu (Gambar 6):

$$pF = 29,30 - 1,684q + 0,0371q^2 - 0,00029q^3$$



Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 6. *Suction Head Versus Kelembaban Tanah*

c. Pendugaan Nilai Permeabilitas Berdasarkan Sifat Fisik Tanah

Permeabilitas menyatakan kemampuan media porus (tanah) untuk meloloskan zat cair (air hujan) baik secara lateral maupun vertical (cm/jam). Hubungan antara permeabilitas dengan sifat fisik tanah (12 variabel, masing-masing merupakan rata-rata dari 96 buah data) dilakukan dengan analisis regresi linier berganda - metode *Backward*.

Agar data K tersebar secara normal, data K ditransformasi menjadi $\ln K$. Hasil akhir analisis menunjukkan bahwa terdapat tiga variabel sifat fisik tanah yang mempunyai efek signifikan terhadap permeabilitas tanah ($\ln K$), yaitu kelembaban tanah (q); kandungan pori drainase cepat (h_c); dan kandungan pori drainase lambat (h_l). Sehingga pendugaan permeabilitas (K) dilakukan oleh :

$$\dots (20)$$

d. Pengembangan Persamaan Tipikal Kuantitas Infiltrasi

Berdasarkan persamaan 19 dan persamaan 20, persamaan infiltrasi (9) dikembangkan menjadi :

$$f(t) = 10.e^a \left[\frac{\mu}{\chi_{Cr}} + 1 \right] \dots (21)$$

dengan : $f(t)$ adalah laju infiltrasi (mm/jam); e^a adalah Permeabilitas tanah (cm/jam); $e = 2,718$; $a = -2,391 - 0,090.\theta + 0,161.\eta_c + 0,845.\eta_l$; $\mu = [-(10^{pF} \cdot \Delta\theta)]$; $\Delta\theta = \eta - \theta$; dan χ_{Cr} adalah infiltrasi kumulatif dummy yang harus dicari formulanya (cm); sedangkan Cr adalah W (palawija); A (agroforrestri); N (tidak digarap); H (kayu campuran/hutan); P permukiman.

Parameter χ_{Cr} dicari dengan pengubahan bentuk persamaan 21 menjadi:

$$\chi_{Cr} = \frac{e^a(\mu)}{f(t) - e^a} = \frac{e^a(-10^{pF})(\Delta\theta)}{f(t) - e^a} \dots (22)$$

Parameter $f(t)$ pada persamaan 22, diperoleh dari pembagian infiltrasi kumulatif empirik pada lima macam penggunaan lahan oleh lama hujannya, atau:

$$f(t) = \frac{F(t)_{Cr}}{t} \dots (23)$$

Berdasarkan hasil pengamatan, nilai parameter $F(t)_{Cr}$ mengikuti persamaan :

$$F(t)_{Cr} = 10^{K_{Cr}} - 1 \dots (24)$$

dengan $F(t)_{Cr}$ adalah infiltrasi kumulatif empirik (mm) untuk masing-masing macam penggunaan lahan (cr). K_{Cr} adalah pola hubungan antara $F(t)_{empirik}$ dengan ketebalan hujannya ($R(t)$) untuk masing-masing macam penggunaan lahan, yaitu :

$$K_W = -0,0005.(R(t))^2 + 0,045.R(t) + 0,37$$

$$K_A = -0,0005.(R(t))^2 + 0,045.R(t) + 0,40$$

$$K_N = -0,0004.(R(t))^2 + 0,039.R(t) + 0,38$$

$$K_H = -0,0006.(R(t))^2 + 0,050.R(t) + 0,33$$

$$K_P = -0,0004.(R(t))^2 + 0,040.R(t) + 0,42$$

Dengan pola hujan persamaan 18, dan sifat fisik tanah masing masing penggunaan lahan (Tabel 1), serta infiltrasi kumulatif persamaan 24, parameter c_{Cr}

penggunaan lahan dapat diprediksi dengan data masukan durasi dan probabilitas hujan, dan sifat fisik tanah (Tabel 1). Infiltrasi kumulatif ($F(t)_m$) dihitung oleh persamaan 25. Hasil prediksi laju infiltrasi dan infiltrasi kumulatif untuk lima macam penggunaan lahan disajikan pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 11.

$$F(t)_m = f(t)_{Cr} \cdot t \dots\dots\dots (25)$$

Berdasarkan gambar-gambar tersebut,

Tabel 1. Sifat-Sifat Fisik Tanah di Areal Penelitian

Symbol	Land coverage	θ (%)	η_c (%)	η_λ (%)	z (%)	$\Delta\theta$
W	Second crop (palawija)	60.69	13.40	5.01	42.88	0.1781
A	Agroforestry	60.94	14.52	5.03	41.63	0.1931
N	Non-arable	58.73	11.71	4.89	43.73	0.1500
H	Forest	58.39	11.51	4.96	45.13	0.1326
P	Settlement	58.79	11.07	4.96	45.17	0.1362

Sumber: Hasil Analisis Data Primer

untuk masing-masing penggunaan lahan diformulasikan sebagai :

$$\chi_W = \frac{69.36}{p^{0.091}} e^{\frac{1.99}{t} p^{-0.59}} ; \chi_A = \frac{95.93}{p^{0.077}} e^{\frac{0.77}{t} p^{-0.40}} ;$$

$$\chi_N = \frac{59.48}{p^{0.148}} e^{\frac{2.03}{t} p^{-0.46}} ; \chi_H = \frac{61.58}{p^{0.268}} e^{\frac{4.95}{t} p^{-0.75}} ;$$

dan $\chi_P = \frac{57.46}{p^{0.251}} e^{\frac{5.72}{t} p^{-0.66}}$

Pada setiap probabilitas, semua χ_{Cr} sebagai fungsi dari durasi hujan membentuk garis linier pada grafik semilogaritmik.

e. Tipikal Kuantitas Infiltrasi

Berdasarkan persamaan 21 dan 25 laju infiltrasi untuk lima macam

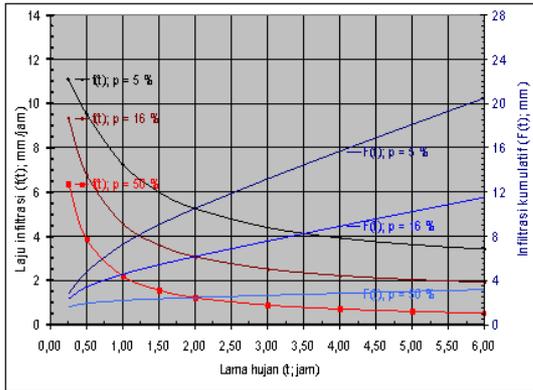
perubahan laju infiltrasi dibagi dalam tiga tahap: (i) tahap awal, dicirikan oleh penurunan laju infiltrasi yang tajam; (ii) tahap transisi, dicirikan oleh perubahan laju infiltrasi agak landai; dan (iii) tahap akhir, dicirikan oleh penurunan laju infiltrasi yang landai.

Laju infiltrasi pada setiap tahapan mempunyai kuantitas yang berbeda, bergantung pada probabilitas hujan.

Pada p yang sama laju infiltrasi berbanding terbalik dengan lama hujan.

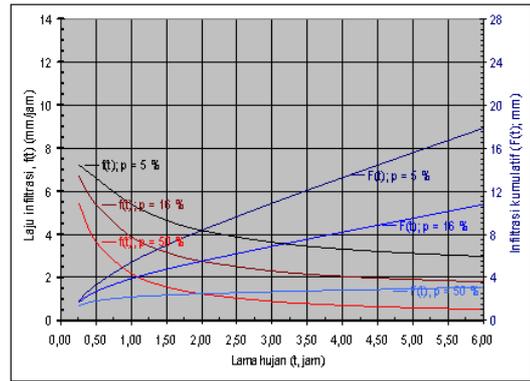
Laju infiltrasi lebih kecil pada waktu hujan (t) yang lebih lama. Beberapa alasannya adalah sebagai berikut.

1. Pada awal hujan kelembaban tanah di sekitar zone perakaran masih di bawah jenuh.



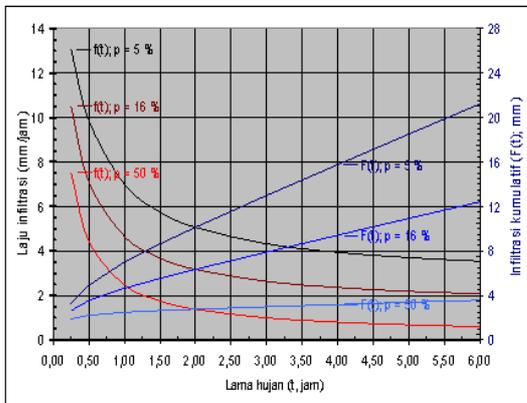
Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 7. Laju dan Kumulatif Infiltrasi pada Penggunaan Lahan Palawija



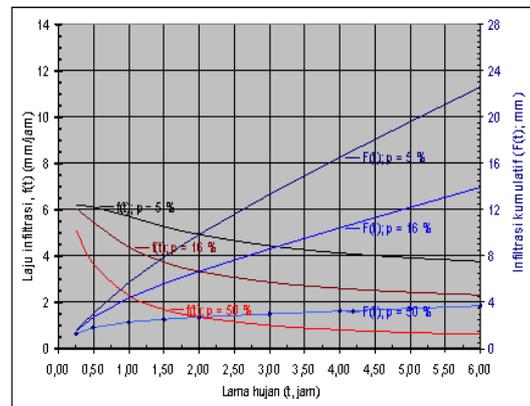
Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 10. Laju dan Kumulatif Infiltrasi pada Penggunaan Lahan Hutan



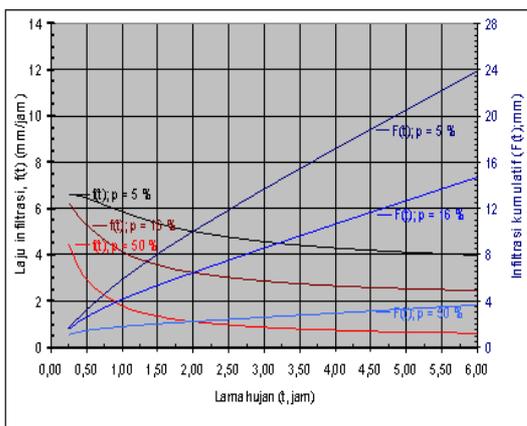
Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 8. Laju dan Kumulatif Infiltrasi pada Penggunaan Lahan Agroforestri



Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 11. Laju dan Kumulatif Infiltrasi pada Penggunaan Lahan Permukiman



Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 9. Laju dan Kumulatif Infiltrasi pada Penggunaan Lahan Tidak Digarap

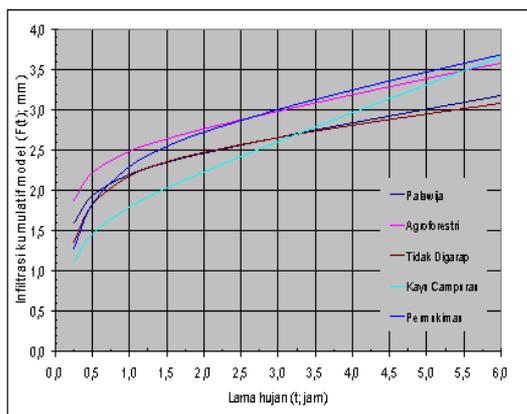
2. Pertambahan kelembaban tanah pada zone perakaran menyebabkan berkurangnya nilai *suction head* dan menurunnya daya tampung tanah terhadap air infiltrasi.
3. Penyumbatan pori-pori di permukaan tanah oleh partikel-partikel tanah halus hasil pemecahan agregat tanah oleh percikan air hujan (*erosi percik* atau *splash erosion*), juga berperan dalam mengurangi laju infiltrasi.

4. Jika zone perakaran jenuh, laju infiltrasi ditentukan oleh laju perkolasi pada zone transmisi. Laju perkolasi sangat ditentukan oleh kondisi kandungan air dan porositas front pembasahan.

Sejalan dengan lajunya, infiltrasi kumulatif ($F(t)$) pada t yang sama semakin besar dengan semakin kecilnya probabilitas hujan. Sebaliknya pada p yang sama, infiltrasi kumulatif semakin besar pada durasi hujan yang lama.

f. Perbandingan Infiltrasi Kumulatif pada Setiap Macam Penggunaan Lahan

Perbandingan dilakukan untuk setiap macam penggunaan lahan menurut probabilitas hujan 50, 16, dan 5 % (Gambar 12, 13, dan 14). Pada $p = 50\%$ (Gambar 12), efek genangan permukaan pada lahan permukiman cukup efektif menambah infiltrasi kumulatif setelah hujan 3 jam. Infiltrasi pada lahan ini lebih besar daripada empat penggunaan lahan lainnya.



Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 12. Infiltrasi Kumulatif pada $p=50\%$

Pada lahan hutan, sejak awal hujan $F(t)$ lebih kecil dari empat macam penggunaan lahan lainnya. Namun ketika $t > 3$ jam, $F(t)$ menjadi lebih besar daripada lahan tidak digarap dan palawija, dan pada $t = 6$ jam, $F(t)$ hutan relatif sama dengan lahan agroforestri dan permukiman.

Hujan pada lahan permukiman, hampir seluruhnya jatuh dan diterima oleh permukaan tanah, sedangkan hujan $t < 3$ jam pada lahan agroforestri sebagian tertahan oleh tajuk tanaman.

Pada lahan hutan, sampai dengan $R(t)$ tertentu, air hujan tertahan oleh tajuk tanaman. Seluruh air hujan diterima oleh tanah, ketika kapasitas tampung tajuk telah terpenuhi. Kondisi ini dicapai setelah beberapa jam hujan, tergantung ketebalan hujan. Terdapat dua fungsi utama tajuk tanaman dalam memperbesar $F(t)$ yaitu:

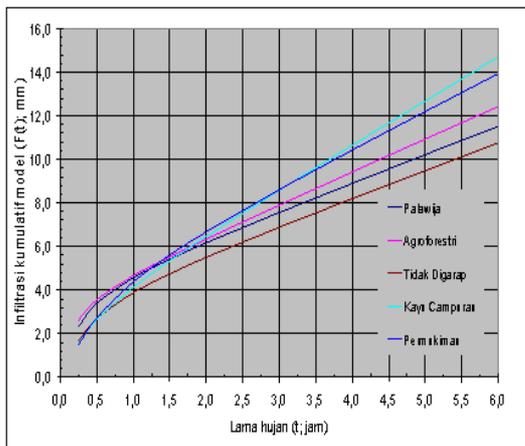
1. Menerima dan menampung sebagian air hujan, sehingga butir hujan tidak langsung jatuh di permukaan tanah.
2. Mengendalikan dan mengubah mekanisme penyaluran air hujan sebelum diterima oleh permukaan tanah.

Atas dasar fungsi tersebut, permukaan tanah menerima air hujan dalam bentuk air hujan yang jatuh dari tajuk tumbuhan dan melalui aliran batang, sehingga suplai air hujan lebih kontinyu dan lebih terkendali.

Pada lahan tidak digarap, $F(t)$ pada $t = 0,25 - 0,5$ jam lebih kecil daripada lahan palawija, namun kemudian meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa intersepsi hujan oleh semak dan alang-alang, efektif pada $t 0,5$ jam. Semak, alang-alang dan serasah di permukaan lahan

tidak digarap cukup efektif membantu proses infiltrasi, walaupun efektivitasnya masih lebih rendah dibandingkan dengan efek genangan di permukaan pada lahan permukiman, dan efek intersepsi pada hutan dan agroforestri.

Pada $p = 16\%$ (Gambar 13), $F(t)_m$ terbesar terdapat pada lahan permukiman dan kayu campuran, yang dicapai pada $t > 1,5$ jam, sedangkan pada $t < 1,5$ jam, $F(t)_m$ terbesar terdapat pada lahan agroforestri. Namun pada $t > 3$ jam, $F(t)_m$ hutan menjadi terbesar.



Sumber: Hasil Perhitungan

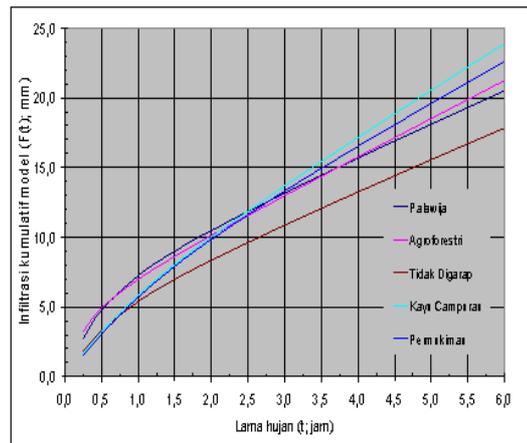
Gambar 13. Infiltrasi Kumulatif pada $p=16\%$

Pada $R(t)$ yang kecil (saat awal hujan), intersepsi masih cukup efektif untuk menahan air hujan. Namun dengan bertambahnya t dan $R(t)$, kapasitas intersepsi akan terpenuhi secara optimal. Pada kondisi ini, suplai air hujan ke permukaan tanah sama dengan ketebalan hujan, dengan efektivitas yang lebih baik.

Pada $t < 3$ jam, $F(t)_m$ pada hutan dan lahan permukiman relatif sama, namun

pada $t > 3$ jam $F(t)_m$ pada lahan permukiman menjadi lebih kecil. Di lain pihak, sejak awal hujan, $F(t)_m$ lahan palawija lebih besar dibandingkan dengan lahan tidak digarap. Tanaman semusim dan pengolahan lahan palawija memberikan efek positif pada pertambahan $F(t)_m$.

Pada $p = 5\%$ (Gambar 14), $F(t)_m$ terbesar ($t > 2$ jam) terdapat pada hutan dan permukiman. Padahal pada $t < 2$ jam, $F(t)_m$ pada kedua lahan ini lebih kecil daripada lahan palawija dan agroforestri. Efek pengendalian air hujan oleh tajuk tanaman pada lahan hutan dan efek genangan permukaan pada lahan permukiman, efektif meningkatkan $F(t)_m$ pada $t > 2$ jam.



Sumber: Hasil Perhitungan

Gambar 14. Infiltrasi Kumulatif pada $p=5\%$

Fenomena ekstrim terdapat lahan tidak digarap. Pada $t < 0,5$ jam, $F(t)_m$ lahan ini sama atau relatif lebih besar daripada lahan hutan dan permukiman. Namun pada $t > 0,5$ jam menjadi yang terkecil. Pertambahan infiltrasi kumulatif akibat pertambahan ketebalan hujan pada lahan

ini, tidak setajam empat penggunaan lahan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa semak dan belukar yang menutupi lahan tidak digarap, hanya efektif mengendalikan hujan sampai dengan $t = 0,5$ jam. Selebihnya, infiltrasi kumulatif relatif kecil dan air hujan dialirkan dalam bentuk aliran permukaan.

Validitas Kuantitas Infiltrasi

Validitas kuantitas infiltrasi hasil pendugaan ($F(t)_m$) untuk setiap macam penggunaan lahan, diketahui manakala dibandingkan dengan nilai infiltrasi empiriknya ($F(t)_{Cr}$) yang diekspresikan oleh persamaan (24). Kedekatan antara kedua nilai $F(t)$ tersebut, ditentukan oleh nilai korelasi.

Pada lahan palamija, nilai $F(t)_m$ sangat dekat dengan $F(t)_w$. Angka korelasi $p = 50\%$ sebesar 0,95; $p = 16\%$ 0,98; dan pada $p = 5\%$ 0,99. Simpangan rata-rata sekitar 10,89%; simpangan terbesar terdapat pada $p = 16\%$ yaitu 12,49%; dan pada $p = 5\%$ 11,89%; sedangkan terkecil pada $p = 50\%$ sekitar 8,29%.

Pada lahan agroforestri, nilai korelasi antara $F(t)_m$ dengan $F(t)_A$ pada $p = 50\%$, 16% , dan 5% , masing-masing 0,96, 0,99; dan 0,99. Rata-rata perbedaan antara $F(t)_m$ dengan $F(t)_A$ sebesar 8,63%. Persentase perbedaan tertinggi, terdapat pada $p = 16\%$ yaitu 9,885%; terendah 7,97% pada $p = 5\%$, dan 8,05% untuk $p = 50\%$.

Pada lahan tidak digarap, nilai korelasi untuk $p = 50\%$; 16% ; dan 5% , masing-masing 0,90; 0,98; dan 0,99. Perbedaan rata-rata sekitar 10,99%. Perbedaan

tertinggi terdapat pada $p = 5\%$, yaitu 12,54%, sedangkan untuk $p = 16\%$ 11,45; dan 8,95% untuk $p = 50\%$.

Pada lahan butan, Pada setiap probabilitas, nilai korelasi $F(t)_m$ dengan $F(t)_{HP}$ hampir mendekati sempurna. Nilai korelasi untuk $p = 50\%$; 16% ; dan 5% berturut-turut sebesar 0,98; 0,99; dan 0,99. Simpangan rata-rata sekitar 11,16%. Pada $p = 50\%$, simpangan sekitar 6,94%; $p = 16\%$ dan $p = 5\%$ masing-masing 11,60 dan 14,93%.

Pada lahan permukiman, nilai korelasi untuk $p = 50\%$ sebesar 0,93; $p = 16\%$ 0,98; dan $p = 5\%$ 0,99. Simpangan rata-rata sekitar 12,30%. Simpangan tertinggi pada $p = 5\%$ yaitu 14,74%, sedangkan terendah pada $p = 50\%$ yaitu 8,82%; dan pada $p = 16\%$ sebesar 13,34%.

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan

1. Pola intensitas hujan ($I_{t,p}$) di wilayah penelitian diformulasikan sebagai fungsi dari lama hujan (t ; jam) dan probabilitas kejadian hujan (p ; %).

$$I_{t,p} = \left(\frac{9,16 + 6,61 \cdot t}{t} \right) \cdot e^{-k}$$

dengan $e = 2,718$; dan $k = 0,0375 \cdot p$

2. Tipikal laju infiltrasi untuk masing-masing macam penggunaan lahan ($f(t)_{Cr}$; mm/jam), diprediksi oleh:

$$f(t)_{Cr} = 10 \cdot e^a \left[\frac{\mu}{\chi_{Cr}} + 1 \right]$$

dimana:

$$a = -2.391 - 0.090q + 0,161h_c + 0,845h;$$

$$\eta = (-10^{pF} \cdot Dq);$$

$$p^F = 29,30 - 1,684\theta + 0371\theta^2 - 0,00029\theta^3;$$

$$\Delta\theta = (\eta - \theta); \text{ dan}$$

χ_{Cr} adalah :

$$\chi_W = \frac{69.36}{p^{0.091}} e^{\frac{1.99}{t} p^{-0.59}} ;$$

$$\chi_A = \frac{95.93}{p^{0.077}} e^{\frac{0.77}{t} p^{-0.40}} ;$$

$$\chi_N = \frac{59.48}{p^{0.148}} e^{\frac{2.03}{t} p^{-0.46}} ;$$

$$\chi_H = \frac{61.58}{p^{0.268}} e^{\frac{4.95}{t} p^{-0.75}} ; \text{ dan}$$

$$\chi_P = \frac{57.46}{p^{0.251}} e^{\frac{5.72}{t} p^{-0.66}}$$

$f(t)_{Cr}$ merupakan rata-rata selama kurun waktu satu kejadian hujan. Infiltrasi kumulatif diformulasikan sebagai: $F(t)_{Cr} = f(t)_{Cr} \cdot t$.

3. Laju infiltrasi semakin rendah dengan bertambahnya waktu dan probabilitas hujan, sedangkan infiltrasi kumulatif semakin besar dengan bertambahnya waktu hujan dan semakin kecilnya probabilitas hujan.
4. Pada kejadian hujan yang singkat dan kecil di atas lahan bertajuk lebat (hutan), sebagian besar hujan tertahan oleh intersepsi, sehingga infiltrasi kumulatif untuk sangat kecil.

Infiltrasi kumulatif pada lahan hutan bertambah secara nyata dengan bertambahnya lama dan ketebalan hujan.

5. Hasil pendugaan infiltrasi, menunjukkan nilai yang cukup akurat dan mendekati nilai infiltrasi kumulatif empirik. Nilai korelasi dan simpangan rata-rata infiltrasi kumulatif pada lahan palawija masing-masing adalah 0,97 dan 10,89 %, lahan agroforestri 0,98 dan 8,63 %; lahan tidak digarap 0,95 dan 10,99 %; lahan kayu campuran 0,99 dan 11,16 %; dan permukiman 0,97 dan 12,30 %.

Rekomendasi

1. Tipikal kuantitas infiltrasi hasil kajian ini, dapat dikembangkan untuk wilayah lain, dengan memperhatikan karakteristik sebagai berikut :
 - Kawasan DAS bagian tengah dan hulu yang mempunyai curah hujan tinggi.
 - Morfologi DAS berombak atau lebih terjal
 - Tanah mempunyai tekstur *clay* (lempung) hingga *clay loam*; kandungan pasir sekitar 10 %, serta kandungan *silt* dan *clay* sekitar 90 % dengan komposisi relatif berimbang.
2. Diperlukan penelitian lanjutan untuk lebih mempertajam akurasi dan mengembangkan hasil penelitian ini ke kawasan satuan hidrologi yang lebih luas dan lebih variatif sifat fisik tanah dan morfologi lahannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays L.W. 1988. *Applied Hydrology*, McGraw-Hill Book Company, New York, St. Louis, etc.; 110-113.
- Darmawan, I. 1998. *Kajian Laju Infiltrasi Berdasarkan Jenis Batuan dan Data Sifat Fisik Tanah (Studi Kasus: Kawasan Bandung Utara dan Wilayah Jakarta)*; Tesis Magister. Bidang Khusus Hidrogeologi, Program Studi Rekayasa Pertambangan, Program Pasca Sarjana - ITB.
- Darmawidjaja, Isa. 1990. *Klasifikasi Tanah, Dasar Teori Bagi Peneliti Tanah dan Pelaksana Pertanian di Indonesia*, Gajah Mada University Press. Yogyakarta; 295-319.
- Jia, Y. and Tamai, N. 1998. Modeling Infiltration Into Multi-Layered Soil During an Unsteady Rain. *Journal Of Hydroscience And Hydraulic Engineering*, Vol.16, No. 2, November- 1998;1-10.
- Koorevaar, P., G. Menelik and C. Dirksen.1983. *Elements of Soil Physics*. Depart. of Soil Science and Plant Nutrition, Agricultural University of Wageningen, The Netherlands, Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York, Tokyo: 9 – 10.
- Laat, P.J.M. de. 1987. *Agricultural Hydrology*, International Institute for Hydraulic and Environmental Engineering, Delft Netherlands; 39 – 40.
- Pramono Hadi, M. 2006. Pemahaman Karakteristik Hujan sebagai Dasar Pemilihan Model Hidrologi (Studi Kasus di DAS Bengawan Solo Hulu), *Jurnal Forum Geografi Vol. 20, No. 1, Juli 2006*.
- Purwanto, E. 1999. *Erosion, Sediment Delivery and Soil Conservation in an Upland Agricultural Catchment in West Java, Indonesia; A Hydrological Approach in A Socio-Economic Context*. Academisch Proefschrift, Vrije Universiteit te Amsterdam.
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 1997. *Statistik Sumber Daya Lahan/Tanah Indonesia*, Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian: 29.
- Rohmat Dede dan Indratmo Soekarno. 2004. *Pendugaan Limpasan Hujan pada Cekungan Kecil melalui Pengembangan Persamaan Infiltrasi Kolom Tanah (Kasus di Cekungan Kecil Cikumutuk Das Cimanuk Hulu)*; Makalah PIT HATHI XXI, September-Oktober 2004, Denpasar-Bali.
- Soil Survey Staff USDA. 1975. *Soil Taxonomy, A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Survey*. Soil Conserv. Service USDA, Agric. Handbook No. 436.

Lampiran 1. Notasi

$\Delta\theta$	Pertambahan kelembaban tanah dari kondisi awal hingga sama dengan nilai porositas.
$f(t)$	Laju infiltrasi akhir
$F(t)_{Cr}$	Infiltrasi kumulatif empirik tipikal pada lima macam penggunaan lahan
$F(t)_w$	Infiltrasi kumulatif empirik lahan palawija
$F(t)_A$	Infiltrasi kumulatif empirik lahan agroforestri
$F(t)_N$	Infiltrasi kumulatif empirik lahan tidak diagarap
$F(t)_H$	Infiltrasi kumulatif empirik lahan hutan
$F(t)_p$	Infiltrasi kumulatif empirik lahan permukiman
$F(t)_m$	Infiltrasi kumulatif hasil pendugaan untuk lima penggunaan lahan
h	Penjumlahan suction head (Y) dan gravity head (z)
h_1	Head permukaan sama dengan kedalaman genangan (h_0)
h_2	Head tanah yang kering di bawah wetting front
$I_{t,p}$	Pola intensitas hujan sebagai fungsi t dan p (mm/jam)
K	Pemeabilitas
L	Kedalaman kolom tanah dari permukaan
η	Porositas total
η_c	Pori drainase cepat
η_l	Pori drainase lambat
o_m	Bahan organik
p	Probabilitas hujan (%)
pF	<i>Potential free energy</i>
ψ	<i>Suction head</i>
q	Darcy flux
ρ_b	Berat jenis tanah (<i>bulk density</i>)
ρ_p	Kerapatan jenis butir tanah (<i>partikel density</i>)
$R(t)_{t,p}$	Ketebalan hujan sebagai fungsi dari t dan p
s_c	Coarse sand (pasir kasar)
s_f	Fine sand (pasir halus)
s_i	Lanau (silt)
t	Durasi hujan
θ	Kandungan air (<i>Volumetric Water Content</i>)
z	Gravity head

NERACA AIR DI PULAU BALI

Setyawan Purnama

Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

Bulaksumur-Yogyakarta. Telp. 0272-902340/Fax. 0274-589595

E-mail : setyapurna@geo.ugm.ac.id

ABSTRACT

As a main destination of tourism in Indonesia, Bali develops rapidly. The impact of this phenomena is the increasing of water need in some sectors, whereas the available of water is constant. There are two objectives of this research. First, to calculate water available and water need in the research area, and second to analysis the water balance. Water available cover groundwater, rivers water and springs water, whereas water need cover domestic usage, industrial and hotel usage, cattle, fishery and irrigation. Groundwater is estimated by water balance concept, river water and spring data is collected from BPSDA Bali Province, whereas the water need is counted base on secondary data that collected from some departments in Bali Province. As a result, show that the water available in Bali Island is 2.604.483.300 m³/year, which consist of groundwater 693.296.200 m³/year, rivers water 1.903.678.000 m³/year and springs 7.509.600 m³/year. The water needs reach 1.213.625.300 m³/year, which consist of domestic usage 121.276.260 m³/year, industrial and hotel usage 20.038.068 m³/year, cattle 31.272.435 m³/year, fishery 125.305.574 m³/year and irrigation 915.733.000 m³/year. Base on the water balance ratio, it is known that the number of ratio is 47%, that it means almost in critical point.

Keywords: *water available, water need, water balance*

PENDAHULUAN

Perencanaan dan pengelolaan sumber daya air, neraca air pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) sangatlah diperlukan. Neraca air ini memuat situasi ketersediaan dan kebutuhan air untuk berbagai penggunaan air. Neraca air antara lain dapat diperoleh dengan membuat superposisi antara ketersediaan air dengan kebutuhan air (Amirwandi dan Hatmoko, 1993; Barmawi *et al.*, 2007).

Proses hidrologi dalam suatu DAS secara sederhana dapat digambarkan dengan adanya hubungan antara unsur

masukannya yakni hujan, proses dan keluarannya yaitu berupa aliran (Hadi, 2006). Meskipun ketersediaan air relatif tetap sesuai dengan konsep siklus hidrologi, namun penyebaran air tidak merata menurut ruang dan waktu. Ketersediaan air di suatu tempat sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor eksternal baik yang bersifat alami seperti keadaan geologi, kelembaban, evaporasi dan transpirasi maupun kegiatan manusia yang mengakibatkan kerusakan lingkungan (Isnugroho, 2002).

Pulau Bali sebagai daerah tujuan wisata utama di Indonesia mengalami perkembangan yang sangat pesat. Per-

kembangan itu antara lain ditunjukkan oleh banyaknya pendirian perumahan, hotel dan industri baru. Salah satu dampak dari perkembangan ini adalah meningkatnya kebutuhan air untuk berbagai sektor tersebut.

Menurut Hadiwidjojo (1971), ketersediaan air tanah di Pulau Bali cukup bervariasi, meskipun demikian sebagian besar wilayah mempunyai kandungan agak kecil (1-5 l/detik) dan kecil (0,5-1 l/detik). Daerah dengan potensi air tanah besar hanya dijumpai di daerah selatan Pulau Bali, khususnya di daerah sekitar Denpasar. Di beberapa tempat bahkan telah diidentifikasi terjadi intrusi air laut akibat penurapan air tanah yang berlebihan seperti Denpasar bagian selatan, sekitar Gilimanuk, negara bagian selatan dan Singaraja bagian utara.

Sumber daya air hujan, air sungai, air danau, dan mata air juga telah dieksploitasi secara optimal. Sebagaimana diketahui, masyarakat Bali pada umumnya adalah agraris yang mempunyai mata pencaharian sebagai petani. Untuk meningkatkan hasil pertanian dilakukan sistem pertanian yang semakin berkembang intensif. Oleh karena itu pemanfaatan air untuk irigasi juga telah mencapai titik jenuh. Berdasarkan permasalahan ini, pengelolaan sumber daya air menjadi penting artinya. Salah satu aspek yang perlu diketahui untuk perencanaan pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan adalah diketahuinya keseimbangan antara ketersediaan dan kebutuhan airnya.

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menghitung ketersediaan dan kebutuhan air di daerah penelitian.
2. Menganalisis neraca air di daerah penelitian dalam kaitannya sebagai data dasar dalam pengelolaan sumber daya air.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini sebagian besar berupa kajian pustaka, dan data yang digunakan adalah data sekunder yang diperoleh dari Balai Pengelolaan Sumber daya Air (BPSDA) Departemen Pekerjaan Umum, Badan Pusat Statistik dan BAPPEDA Provinsi Bali. Berikut ini dikemukakan metode perhitungan masing-masing aspek neraca air.

Perhitungan ketersediaan Air

Dalam penelitian ini perhitungan ketersediaan air meliputi ketersediaan air dari air tanah, air sungai, dan danau serta mata air. Ketersediaan air sungai dan danau dihitung berdasarkan data debit sungai dan danau pada setiap sub SWS di Pulau Bali. Demikian pula halnya dengan ketersediaan air mata air yang dihitung berdasarkan data debit seluruh mata air yang terdapat pada masing-masing sub SWS di pulau tersebut. Ketiga data tersebut diperoleh dari Balai Pengelolaan Sumber daya Air (BPSDA) Departemen Pekerjaan Umum, Provinsi Bali.

Ketersediaan air tanah dihitung secara meteorologis. Metode perhitungan mendasarkan pada konsep neraca air DAS, yaitu (Seyhan, 1977) :

$$\Delta S = P - E_p - Q_s - Q_m \dots \dots \dots (1)$$

dengan DS adalah timbunan air tanah, P adalah besarnya curah hujan, E_p adalah evapotranspirasi, Q_s adalah debit aliran sungai dan Q_m adalah jumlah air tanah yang keluar sebagai mata air.

Perhitungan kebutuhan air

Kebutuhan air meliputi kebutuhan air untuk keperluan domestik, industri, ternak,

perikanan, dan irigasi. Kebutuhan air domestik dihitung berdasarkan jumlah penduduk dan konsumsi air per kapita per hari. Menurut Mangku Sitepoe (1997 dalam Priyana dan Safriningsih, 2005), kebutuhan air di kota besar pada umumnya adalah >150 liter/kapita/hari, di kota sedang 80-150 liter/kapita/hari, kota kecamatan 60-80 liter/kapita/hari dan desa berkisar antara 30-60 liter/kapita/hari. Berdasarkan kisaran ini, dalam penelitian ini kebutuhan air domestik di Pulau Bali ditentukan sebesar 100 liter/kapita/hari.

Kebutuhan air untuk industri dihitung berdasarkan jumlah karyawan industri dan konsumsi pemakaian air per karyawan per hari serta kebutuhan air untuk proses industri itu sendiri. Untuk industri tekstil ditentukan sebesar 20 m³/hari, sedangkan industri lainnya ditentukan dari hasil survei lapangan.

Kebutuhan air untuk peternakan dihitung berdasarkan jumlah ternak dan konsumsi air per kepala per hari, dimana jenis ternak yang diperhitungkan kebutuhan airnya adalah sapi-kerbau-kuda (40 liter/kepala/hari), kambing-domba (5 liter/kepala/hari), babi (6 liter/kepala/hari) dan unggas (0,6 liter/kepala/hari). Kebutuhan air untuk perikanan dihitung berdasarkan luas kolam/tambak dan volume penggantian air per hari, yaitu sebesar 7 mm/hari/ha.

Kebutuhan air untuk irigasi dihitung dari perkalian antara luas lahan yang diairi dengan kebutuhan air irigasi. Menurut Susilowati (2004), kebutuhan air untuk petak sawah dapat dihitung berdasarkan hasil pengukuran perkolasi, pengukuran kebutuhan air untuk penggenangan dan data penunjang klimatologi seperti evapotranspirasi dan curah hujan. Menurut konsep ini, kebutuhan air irigasi dihitung menurut persamaan :

$$\text{Kebutuhan air irigasi} = \frac{(\text{Etc} + \text{IR} + \text{RW} + \text{P} - \text{ER})}{\text{IE}} \times A \quad (2)$$

dengan Etc adalah kebutuhan air konsumtif untuk tanaman, IR adalah kebutuhan air untuk penyiapan lahan, RW adalah kebutuhan air untuk penggantian lapisan air, P adalah perkolasi, ER adalah hujan efektif, IE adalah efisiensi irigasi dan A adalah luas areal irigasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Iklm

Wilayah Pulau Bali beriklim tropis, yang dipengaruhi oleh angin musim. Musim penghujan berlangsung dari bulan Desember sampai bulan Februari. Pada musim ini angin bertiup dari arah barat dan barat laut yang banyak membawa uap air. Sebaliknya musim kemarau berlangsung dari bulan Juni sampai Agustus. Pada waktu itu berhembus angin timur dan tenggara yang sifatnya kering. Di antara musim-musim tersebut, terdapat musim pancaroba atau musim peralihan.

Berdasarkan data dari BPSDA Provinsi Bali, curah hujan di Pulau Bali tidak merata. Daerah-daerah tertentu memiliki curah hujan yang tinggi, namun di lain pihak terdapat daerah-daerah yang memiliki curah hujan yang rendah. Secara keseluruhan, Pulau Bali mempunyai curah hujan rata-rata sebesar 2.120 mm/tahun, dengan curah hujan rata-rata tahunan maksimum sebesar 3.500 mm/tahun dan curah hujan tahunan minimum sebesar 1.500 mm/tahun.

Pola curah hujan di Pulau Bali juga sangat ditentukan atau mengikuti topografi. Makin tinggi elevasi daerah dari muka air laut, makin tinggi curah hujan di daerah tersebut. Namun demikian, mulai

dari elevasi 2.500 m dari permukaan laut curah hujan cenderung menurun. Jumlah hujan tertinggi terletak di bagian tengah Pulau Bali, yaitu di sekitar daerah danau yang ada di puncak-puncak gunung. Curah hujan tertinggi tercatat di bagian selatan lereng Gunung Agung. Daerah yang kering tercatat di daerah sekitar Kintamani dan bagian utara Pulau Bali lainnya karena merupakan daerah bayangan hujan dari gunung-gunung yang tinggi. Curah hujan bulanan dalam setahun bervariasi pula. Curah hujan tinggi terjadi dari bulan Oktober sampai April, sedangkan sisanya yaitu April sampai Oktober biasanya bercurah hujan rendah.

Berdasarkan pembagian tipe iklim dari Koppen, tipe-tipe iklim di Pulau Bali adalah Af, Am, Aw dan Cw. Tipe iklim Af adalah iklim hutan hujan tropis (*tropical rain forest climate*) yang tidak memiliki bulan kering. Semua bulan mempunyai jumlah curah hujan lebih dari 60 mm. Tipe iklim Am adalah iklim hujan tropis musim (*monsoon tropical rainy climate*), dengan satu atau lebih bulan kering. Pada tipe Am, jumlah curah hujan yang jatuh di bulan basah dapat mengimbangi musim kering yang pendek. Jadi meskipun di daerah beriklim Am ini memiliki satu atau dua bulan kering, tetapi curah hujan di bulan lainnya cukup tinggi, sehingga vegetasi yang ada tidak begitu terpengaruh oleh periode kering pendek tersebut. Tipe iklim Aw adalah iklim hujan tropis savana (*savanna tropical rainy climate*), yang ditandai oleh musim kering selama 4-8 bulan dalam satu tahun, sedangkan Cw adalah salah satu tipe iklim C dengan musim kering yang terjadi pada musim dingin.

Ditinjau dari persebarannya, tipe iklim Aw kebanyakan meliputi daerah pantai, sementara tipe Am meliputi daerah vulkanik. Untuk tipe iklim Af umumnya

meliputi bagian tengah Pulau Bali, sedangkan tipe iklim Cw hanya terdapat di daerah pegunungan yang tinggi.

Kondisi Geologi dan Geomorfologi

Ditinjau dari variasi geologi dan geomorfologinya, dapat diketahui adanya lima daerah yang berbeda yaitu (Verstappen, 2000) :

1. Daerah batu gamping barat
2. Daerah endapan aluvial selatan
3. Daerah batu gamping selatan
4. Daerah vulkanik muda, yang terdiri atas daerah vulkanik bagian barat, daerah vulkanik sebelah timur, daerah Gunung Seraya, Lembah Karangasem dan daerah berbukit dengan batuan sedimen.
5. Daerah aluvial pantai utara

Secara keseluruhan Pulau Bali terletak pada dua jalur geoantiklinal yang merupakan perluasan ke arah barat dari Busur Banda. Jalur pertama adalah geoantiklinal yang membujur dari timur ke barat sampai ke Pulau Bali, sedangkan jalur kedua adalah dataran di bagian selatan Pulau Bali yang menunjukkan kesamaan dengan keadaan fisiografi yang terdapat di Pulau Jawa. Dataran rendah yang subur di Denpasar dapat dipersamakan dengan Blitar Subzone di Jawa Timur. Dataran ini ke arah selatan berhubungan dengan bukit kapur tertier yang dapat dipersamakan dengan semenanjung Blambangan di ujung Jawa Timur bagian selatan.

Hidrologi

Sungai-sungai di Pulau Bali mempunyai pola aliran yang paralel antara satu dengan yang lain. Sungai yang mengalir ke arah utara (Laut Jawa) lebih kecil dan lebih

pendek daripada sungai-sungai yang mengalir ke arah selatan (Martopo, 1993). Disamping itu gradien sungai yang mengalir ke arah utara lebih curam pula. Perbedaan ini disebabkan oleh perbedaan litologi dan iklim. Berdasarkan kondisi alirannya, sungai-sungai di Bali dibedakan menjadi 3 tipe yaitu:

- a. sungai yang aliran mantapnya besar dan dapat bertahan sepanjang tahun;
- b. sungai yang mempunyai aliran yang besar pada musim hujan, tetapi terancam kering pada musim kemarau (bahkan kering sama sekali), paling tidak pada daerah hilirnya;
- c. sungai yang hanya mengalir pada waktu-waktu sehabis hujan lebat yang jarang terjadi, merupakan contoh klasik dari sungai Ephemeral.

Ditinjau dari perbandingan aliran mantap dan curah hujan tahunannya yang cukup besar, secara umum sungai-sungai di Bali masih cukup baik untuk persediaan air terutama untuk irigasi.

Selain sungai, danau juga merupakan sumber persediaan air yang cukup potensial di Pulau ini. Di Bali terdapat 4 buah danau besar yang merupakan danau kawah (*crater lake*), yaitu Danau Batur (15,9 km²), Danau Buyan (3,9 km²), Danau Bratan (3,8 km²) dan Danau Tamblingan (1,3 km²). Air danau tidak biasa digunakan sebagai air untuk irigasi dalam jumlah besar. Di daerah sebelah utara Danau Batur, air digunakan untuk irigasi tanaman sayuran, sedangkan di sisi barat Danau Bratan air diambil untuk mengairi kebun (Martopo, 1993).

Ketersediaan Air

Ketersediaan air adalah sejumlah air yang tersedia yang dapat digunakan

untuk berbagai keperluan. Pada Tabel 1 ditunjukkan ketersediaan air dari mata air pada tiap Sub SWS di Pulau Bali, sedangkan distribusinya pada tiap sub SWS ditunjukkan pada Gambar 1. Tabel 2 menunjukkan ketersediaan air sungai per bulan untuk tiap sub SWS pulau tersebut.

Perkiraan kuantitatif timbunan air tanah juga sangat penting untuk memperkirakan potensi sumber daya air yang dapat dimanfaatkan (Soenarto, 2003). Dari aspek lingkungan, jika kuantitas pemanfaatan air tanah belum melampaui hasil aman atau masih jauh dari kuantitas imbunan, maka kemungkinan besar tidak terlalu menimbulkan banyak masalah lingkungan. Dari data curah hujan diketahui curah hujan rata-rata di Pulau Bali adalah sebesar 2.120 mm/tahun. Berdasarkan beberapa penelitian diketahui bahwa laju evapotranspirasi di daerah tropis adalah sekitar 4,5 mm/hari. Nilai debit aliran diketahui dari data debit sungai pada setiap sub SWS di daerah penelitian. Luas Pulau Bali sebesar 5.440 km², berdasarkan konsep neraca air DAS dapat dihitung timbunan air tanahnya sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \Delta S &= P - E_p - Q_s - Q_m \\
 &= 11.532.800.000 - 8.935.200.000 \\
 &\quad - 1.903.678.000 - 625.800 \text{ m}^3/\text{tahun} \\
 &= 693.296.200 \text{ m}^3/\text{tahun}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan Air

Kebutuhan air domestik

Jumlah penduduk akan menentukan besar kebutuhan air baku (domestik, non

Tabel 1. Ketersediaan Air dari Mata Air di Pulau Bali

Satuan Wilayah Sungai (SWS) Bali	Sub Satuan Wilayah Sungai (sub SWS)	Debit total mata air (ribu m ³ /bulan)
03.01	03.01.01	35,9
	03.01.02	87,7
	03.01.03	78,9
	03.01.04	8,4
	03.01.05	5,9
	03.01.06	8,9
	03.01.07	2,1
	03.01.08	11,8
	03.01.09	15,1
	03.01.10	7,1
	03.01.11	20,4
	03.01.12	15,0
	03.01.13	11,4
	03.01.14	29,3
	03.01.15	37,9
	03.01.16	228,8
	03.01.17	11,9
	03.01.18	5,8
	03.01.19	0
	03.01.20	3,5
Jumlah		625,8

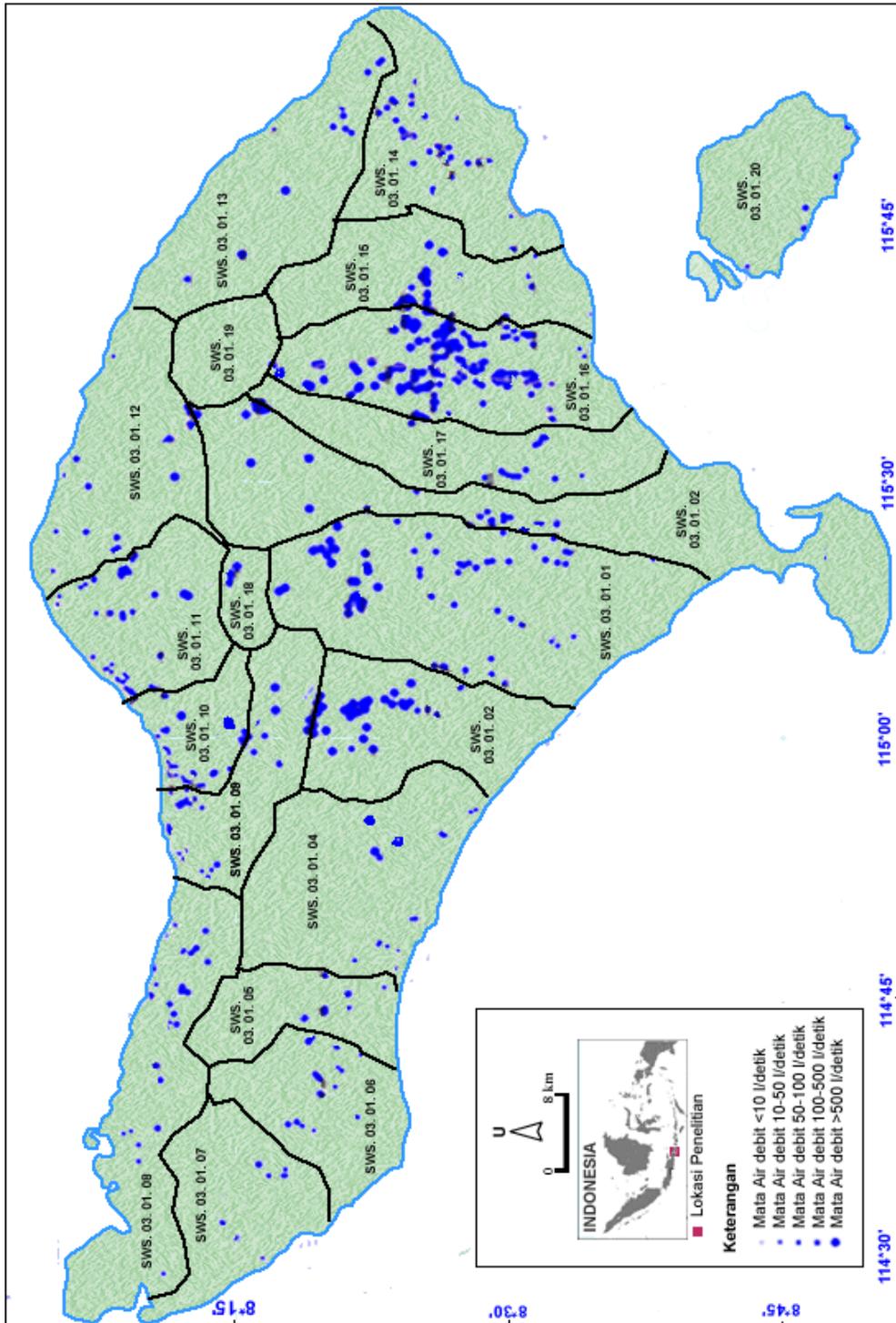
Sumber : BPSDA Provinsi Bali

domestik dan industri). Kebutuhan air semakin lama semakin meningkat, sejalan dengan meningkatnya kebutuhan hidup manusia, baik di daerah perkotaan maupun perdesaan (Sudarmadji, 2006). Proyeksi jumlah penduduk dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti tingkat pendidikan, mata pencaharian, agama, keberhasilan program pemerintah untuk mengendalikan pertumbuhan penduduk (KB), dan tingkat kematian. Disamping jumlah penduduk,

distribusi penyebaran penduduk juga akan mempengaruhi besar kecilnya konsumsi air. Data penduduk yang digunakan adalah data tahun 2004. Hasil perhitungan disajikan pada Tabel 3.

Kebutuhan air untuk industri dan hotel

Kebutuhan air untuk industri diestimasi berdasarkan jumlah karyawan



Sumber: BPSDA Provinsi Bali

Gambar 1. Sebaran Mata Air per Sub SWS di Pulau Bali

Tabel 2. Ketersediaan Air Sungai dan Danau di Pulau Bali

Sub SWS	Debit (ribu m ³ /bulan)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Jumlah
03.01.01	17.076	21.114	9.613	14.238	9.072	9.259	13.572	9.318	8.681	8.953	11.016	9.699	141.611
03.01.02	11.431	10.757	10.835	9.176	7.983	6.610	6.298	5.625	6.195	7.465	8.579	10.472	101.426
03.01.03	23.069	23.535	20.943	20.269	13.478	9.046	7.750	4.666	6.143	11.483	17.081	17.937	175.400
03.01.04	25.855	23.341	30.015	16.044	10.744	10.692	9.616	7.698	9.370	11.042	20.762	24.287	199.466
03.01.05	15.863	23.483	16.226	15.474	8.968	6.169	4.821	4.173	9.642	6.376	7.983	14.204	133.382
03.01.06	10.498	10.523	11.768	8.891	6.234	3.992	3.707	2.786	3.383	7.685	9.202	13.115	91.784
03.01.07	2.307	2.255	1.814	1.581	1.063	933	985	1.037	829	959	829	1.140	15.732
03.01.08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03.01.09	2.592	7.490	5.910	6.221	4.458	3.214	3.421	3.007	2.851	3.395	37.325	4.458	84.342
03.01.10	1.659	1.685	1.555	1.737	881	803	726	544	544	596	778	1.348	12.856
03.01.11	9.046	10.420	8.968	7.335	7.387	5.651	4.043	3.447	3.007	3.966	4.380	6.817	74.467
03.01.12	5.495	7.646	5.676	4.899	2.981	2.696	2.488	2.436	2.307	2.411	2.851	3.810	45.696
03.01.13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
03.01.14	8.605	9.072	8.528	8.813	7.543	7.465	7.232	6.713	6.584	7.672	7.672	7.776	93.675
03.01.15	9.539	9.875	10.393	9.694	9.901	9.746	10.316	9.642	9.590	9.953	10.083	9.875	118.607
03.01.16	4.510	4.691	4.018	3.940	3.162	2.799	2.436	2.592	2.385	2.981	3.655	3.033	40.202
03.01.17	12.105	13.867	11.819	12.286	10.472	9.383	9.046	8.217	9.305	11.016	16.019	15.448	138.983
03.01.18*	28.305	30.378	32.426	33.566	33.981	32.996	31.415	29.393	27.320	26.127	25.635	26.257	357.799
03.01.19**	7.258	620	8.035	8.087	7.880	7.491	7.154	6.998	6.428	6.169	6.013	6.117	78.250
03.01.20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
													1.903.678

* debit dari Danau Bratan, Buyan dan Tamblingan

** debit dari Danau Batur

Sumber : BPSDA Provinsi Bali

Tabel 3. Kebutuhan Air Domestik Tiap Sub SWS di Pulau Bali

SWS 03.01 (Bali)	Jumlah Penduduk (jiwa)	Kebutuhan Air (m³/bulan)
Sub SWS 03.01.01	834.638	2.503.914
Sub SWS 03.01.02	304.952	914.856
Sub SWS 03.01.03	141.435	424.305
Sub SWS 03.01.04	143.766	431.298
Sub SWS 03.01.05	61.252	183.756
Sub SWS 03.01.06	76.917	230.751
Sub SWS 03.01.07	80.398	241.194
Sub SWS 03.01.08	167.394	502.182
Sub SWS 03.01.09	112.562	337.686
Sub SWS 03.01.10	69.822	209.466
Sub SWS 03.01.11	120.461	361.383
Sub SWS 03.01.12	142.442	427.326
Sub SWS 03.01.13	165.918	497.754
Sub SWS 03.01.14	142.821	428.463
Sub SWS 03.01.15	136.798	410.394
Sub SWS 03.01.16	199.547	598.641
Sub SWS 03.01.17	240.335	721.005
Sub SWS 03.01.18	44.391	133.173
Sub SWS 03.01.19	59.593	178.779
Sub SWS 03.01.20	123.343	370.029
Jumlah	3.368.785	10.106.355

Sumber: Badan Statistik Provinsi Bali dan Perhitungan

industri dikalikan dengan kebutuhan air per karyawan serta kebutuhan air untuk proses industri. Perhitungan kebutuhan air untuk hotel, didasarkan pada asumsi bahwa 80% kamar hotel terisi, dan masing-masing kamar terdiri atas dua tempat tidur. Kebutuhan air untuk penghuni hotel diestimasi sama dengan kebutuhan air penduduk yaitu 100 l/hari. Pada Tabel 4

ditunjukkan kebutuhan air industri dan hotel pada tahun 2004.

Memperhatikan Tabel 4, diketahui bahwa kebutuhan air terbesar untuk sektor industri adalah pada industri tekstil, pakaian dan kulit yang mencapai 360.000 m³/bulan, sementara kebutuhan air untuk perhotelan mencapai 936.090 m³/bulan.

Tabel 4. Kebutuhan Air untuk Industri dan Hotel di Pulau Bali

No.	Klasifikasi Industri	Kebutuhan Air (m ³ /bulan)
1.	Industri makanan, minuman dan tembakau	132.188
2.	Industri tekstil, pakaian dan kulit	360.000
3.	Industri kayu dan barang-barang dari kayu termasuk perabot rumah tangga	15.312
4.	Industri kertas dan barang-barang dari kertas, percetakan, dan penerbitan	30.937
5.	Industri kimia dan barang-barang dari bahan kimia, minyak bumi, batu bara, karet dan plastik	16.875
6.	Industri barang galian bukan logam, kecuali minyak bumi dan batu bara	35.000
7.	Industri barang dari logam, mesin dan peralatannya	36.562
8.	Industri lain-lain	106.875
9.	Hotel	936.090
Jumlah		1.669.839

Sumber : Badan Statistik, BAPPEDA Provinsi Bali, dan Perhitungan

Kebutuhan air untuk Peternakan dan Perikanan

Meskipun dalam skala kecil, penduduk di Pulau Bali banyak memelihara beberapa jenis ternak seperti babi, sapi, kerbau, kuda, kambing, itik dan ayam. Kebutuhan air untuk ternak, sebagian besar digunakan untuk air minum. Sebagian kecil lainnya digunakan untuk membersihkan kandang. Kebutuhan air untuk perikanan terutama digunakan untuk penggantian air yang hilang akibat evaporasi, yang biasanya sekitar 7 mm/hari/ha. Pada Tabel 5 disajikan hasil perhitungan kebutuhan air untuk ternak dan perikanan di Pulau Bali pada Tahun 2004. Dari Tabel 5 tersebut diketahui bahwa kebutuhan air untuk sektor peternakan lebih kecil daripada untuk sektor perikanan. Kebutuhan air

untuk ternak adalah sebesar 2.606.036,3 m³/bulan, sementara kebutuhan air untuk perikanan mencapai 10.442.145 m³/bulan.

Kebutuhan air untuk irigasi

Sektor irigasi umumnya membutuhkan air dalam jumlah besar, jauh melebihi dari kebutuhan air di sektor lainnya. Berdasarkan hasil survei lapangan diketahui, pada umumnya pola tanam di Pulau Bali adalah dua kali padi dan satu kali palawija. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, kebutuhan air untuk irigasi di Pulau Bali pada tahun 2004 disajikan pada Tabel 6. Selanjutnya pada Tabel 7 ditunjukkan ketersediaan dan kebutuhan air secara keseluruhan di Pulau Bali serta perhitungan rasio neraca airnya.

Tabel 5. Kebutuhan Air untuk Peternakan dan Perikanan di Tiap Sub SWS di Pulau Bali

SWS 03.01 (Bali)	Ternak (m³/bulan)	Perikanan (m³/bulan)
Sub SWS 03.01.01	238.972,29	235.200
Sub SWS 03.01.02	160.383,18	145.530
Sub SWS 03.01.03	44.458,41	97.020
Sub SWS 03.01.04	88.161,72	204.330
Sub SWS 03.01.05	76.905,54	480.690
Sub SWS 03.01.06	46.901,94	240.345
Sub SWS 03.01.07	22.399,14	721.035
Sub SWS 03.01.08	71.708,58	961.380
Sub SWS 03.01.09	129.975,78	1.442.070
Sub SWS 03.01.10	33.247,53	1.021.650
Sub SWS 03.01.11	70.853,58	612.990
Sub SWS 03.01.12	174.354,48	408.660
Sub SWS 03.01.13	377.311,89	817.320
Sub SWS 03.01.14	105.149,13	128.625
Sub SWS 03.01.15	107.083,62	35.280
Sub SWS 03.01.16	380.535,33	97.020
Sub SWS 03.01.17	154.059,99	1.081.920
Sub SWS 03.01.18	154.060,47	1.622.880
Sub SWS 03.01.19	75.324,18	64.680
Sub SWS 03.01.20	94.190,01	23.520
Jumlah	2.606.036,30	10.442.145

Sumber : Badan Statistik Provinsi Bali dan Perhitungan

Tabel 6. Kebutuhan Air untuk Irigasi Menurut Sub SWS di Pulau Bali

Sub SWS	Kebutuhan Air Irigasi (ribu m ³ /bulan)												
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Oktr	Nov	Des	Jumlah
03.01.01	3.726,4	2.999,6	5.283,2	3.726,4	9.322,4	10.429,8	14.966,4	17.116,8	11.020,0	5.264,4	4.035,6	4.223,8	92.114,8
03.01.02	7.967,2	5.109,6	9.653,2	13.156,0	24.804,4	15.010,0	14.387,8	15.039,4	15.580,4	9.668,8	8.136,4	9.886,0	148.399,2
03.01.03	5.450,0	4.412,6	7.194,6	10.362,6	11.603,2	11.665,6	11.856,8	12.120,2	12.024,6	7.210,2	5.802,0	6.583,8	106.286,2
03.01.04	1.689,6	1.338,6	2.131,4	3.250,6	3.634,8	3.779,4	4.285,2	5.373,6	3.717,6	2.198,0	1.772,2	2.061,8	35.232,8
03.01.05	332,0	284,2	442,0	692,4	793,8	796,6	781,4	752,2	701,8	420,8	341,6	401,4	6.740,2
03.01.06	1.871,6	570,6	896,8	1.247,0	1.346,2	1.332,8	1.367,8	1.408,8	1.491,0	916,8	764,8	916,4	14.130,6
03.01.07	1.197,4	958,0	1.418,0	2.207,6	2.039,6	1.197,4	1.197,4	1.197,4	1.197,4	1.197,4	1.197,4	1.197,4	16.202,4
03.01.09	979,0	867,4	1.348,0	2.108,6	2.440,8	979,0	979,0	979,0	979,0	979,0	979,0	979,0	14.596,8
03.01.10	2.625,6	2.237,2	2.791,2	3.954,8	4.331,2	4.803,4	7.982,8	8.222,6	5.303,8	2.970,6	2.443,0	2.878,0	50.544,2
03.01.11	1.804,2	1.376,4	1.969,4	2.892,4	3.200,2	3.247,6	3.773,8	5.657,4	7.304,4	2.174,0	1.782,4	2.151,2	37.333,2
03.01.12	805,0	592,4	931,0	1.354,8	1.515,8	2.418,8	2.381,4	2.994,2	2.501,2	1.038,2	823,6	956,6	18.313,0
03.01.13	1.514,8	1.159,0	2.380,0	4.393,2	4.110,4	4.753,2	4.497,0	5.496,2	5.751,4	3.494,6	1.975,0	2.166,6	41.691,4
03.01.14	2.810,6	2.241,0	5.407,2	5.760,4	5.176,4	6.974,6	7.686,6	8.718,6	6.590,4	3.656,4	3.134,2	3.569,8	61.726,2
03.01.15	2.057,0	1.589,0	2.471,8	3.192,2	3.956,2	5.879,4	5.117,6	6.347,7	5.431,0	2.811,8	2.148,2	2.531,6	43.533,6
03.01.16	951,0	753,2	1.103,0	1.595,8	1.690,0	1.931,2	3.041,4	2.919,2	1.951,0	2.538,4	993,8	1.216,6	20.684,6
03.01.17	9.457,6	7.460,2	11.424,8	16.274,8	17.851,8	17.951,8	18.608,2	19.599,0	34.201,6	12.247,8	10.076,0	11.464,6	186.618,2
03.01.19	832,4	832,4	832,4	832,4	832,4	832,4	832,4	832,4	832,4	832,4	832,4	832,4	9.988,8
03.01.20	630,4	514,2	637,6	1.056,4	1.145,6	1.123,4	1.292,8	1.727,6	1.198,6	789,4	670,0	810,8	11.596,8
	Jumlah												915.733,0

Sumber : BPSDA Provinsi Bali dan Perhitungan

Tabel 7. Neraca Air di Pulau Bali

Ketersediaan Air(m ³ /tahun)	Air tanah	693.296.200
	Air Sungai dan Danau	1.903.678.000
	Mata air	7.509.600
	Jumlah	2.604.483.300
Kebutuhan Air(m ³ /tahun)	Domestik	121.276.260
	Industri dan Hotel	20.038.068
	Ternak	31.272.435
	Perikanan	125.305.574
	Irigasi	915.733.000
	Jumlah	1.213.625.300
Imbangan Air		47%

Sumber : Hasil Perhitungan

Memperhatikan Tabel 7, terlihat bahwa ketersediaan air terbesar adalah dari air sungai yaitu sebesar 1.903.678.000 m³/tahun, diikuti air tanah sebesar 693.296.200 m³/tahun dan mata air sebesar 7.509.600 m³/tahun. Di sisi lain, kebutuhan air terbesar adalah dari sektor pertanian/irigasi sebesar 915.733.000 m³/tahun, diikuti sektor domestik sebesar 121.276.260 m³/tahun, perikanan sebesar 125.305.574 m³/tahun, ternak sebesar 31.272.435 m³/tahun serta industri dan hotel sebesar 20.038 m³/tahun.

Berdasarkan neraca airnya, yaitu rasio antara kebutuhan dan ketersediaan air, maka neraca air di Pulau Bali adalah sebesar 47%. Kriteria neraca air menurut Direktorat Pengairan adalah 50%-70% berarti mendekati titik kritis, 75%-100% tingkat kritis dan lebih dari 100% berarti sangat kritis. Berdasarkan kriteria ini, neraca air di Pulau Bali dapat dikatakan hampir mendekati titik kritis.

KESIMPULAN

1. Ketersediaan air di Pulau Bali mencapai 2.604.483.300 m³/tahun, yang terdiri atas air tanah sebesar 693.296.200 m³/tahun, air sungai 1.903.678.000 m³/tahun dan mata air 7.509.600 m³/tahun.
2. Kebutuhan air di Pulau Bali mencapai 1.213.625.300 m³/tahun, yang terdiri atas kebutuhan domestik sebesar 121.276.260 m³/tahun, industri dan hotel 20.038.068 m³/tahun, ternak 31.272.435 m³/tahun, perikanan 125.305.574 m³/tahun dan irigasi 915.733.000 m³/tahun.
3. Berdasarkan kebutuhan dan ketersediaan airnya, rasio neraca air di Pulau Bali adalah 47%, atau hampir mendekati titik kritis.

DAFTAR PUSTAKA

- Amirwandi S dan W. Hatmoko, 1993. *Water District as A Basis For Regional Water Balance. Paper in Simposium 25 Years Hydrological Developments in Indonesia*. National Commite for IHP-UNESCO.
- Barmawi M, E. Mawardi dan W. Hatmoko. 2007. Penelitian Ketersediaan Air Irigasi di Kota Payakumbuh Dalam Rangka Peningkatan Produksi Padi. *Jurnal Sumber daya Air* 3 (4) : 41-48.
- Hadi M.P. 2006. Pemahaman Karakteristik Hujan Sebagai Dasar Pemilihan Model Hidrologi (Studi Kasus di DAS Bengawan Solo Hulu). *Forum Geografi* 20 (1) : 13-26.
- Isnugroho, 2002. Tinjauan Penyebab Banjir dan Upaya Penanggulangannya. *Edisi Spesial Jurnal Alami* 7 (2) : 1-7.
- Martopo S. 1993. *The Potential and Usage of Water in The Island of Bali. Paper in Simposium 25 Years Hydrological Developments in Indonesia*. National Commite for IHP-UNESCO.
- Priyana, Y dan D. Safriningsih, 2005. Sistem Penyediaan Air Bersih Penduduk di Kecamatan Musuk dalam Menghadapi Musim Kemarau. *Forum Geografi Vol. 19 No. 1 Juli 2005*: 81-87.
- Hadiwidjojo, Purbo, M.M. 1971. *Peta Hidrogeologi Tinjau Bali Skala 1 : 250.000*. Direktorat Geologi, Bandung.
- Seyhan E. 1977. *Fundamentals of Hydrology*. Geografisch Instituut der Rijksuniversiteit te Utrecht.
- Soenarto B. 2003. Imbuan Air tanah Alami Sub DPS Permukaan dan Sub DPS Bawah Permukaan, Bribin-Baron, Kabupaten Gunung Kidul. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan* 17 (51) : 45-55.
- Sudarmadji. 2006. Perubahan Kualitas Air tanah di Sekitar Sumber Pencemar Akibat Bencana Gempa Bumi. *Forum Geografi* 20 (2) : 91-119.
- Susilowati D. 2004. Pengkajian Kebutuhan Air Irigasi untuk Sawah Baru di Lampung Utara. *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pengairan* 18 (54) : 25-36.
- Verstappen H.T. 2000. *Outline of The Geomorphology of Indonesia*. International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, The Netherlands

KEMISKINAN DAN PERKEMBANGAN WILAYAH DI KABUPATEN BOYOLALI

Wahyuni Apri Astuti dan Muhammad Musiyam

Staf Pengajar Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos I Surakarta 57102

Telp. (0271) 717417 Psw. 151-153, Fax. (0271) 715448

E-mail: wapriatutiapri@yahoo.com

E-mail: muhammadmusiyam@yahoo.com

ABSTRACT

This research is based on the facts: first that, Boyolali is one of the regions which implement intensively many kinds of program in solving the poverty which gets the finance from APBD, central government and international institutions, eventhough the proportion of the poor society increases significantly. The proportion of poor society increases 20,8% in 2002 becomes 38,26% in 2006. Second, seen from the regional development indicator, it is shown that between one region and the others has various levels of the varieties of development. The objectives of this research are: first, the understanding of the distribution and of the poverty level in this region. Second, the understanding of the relationship between distribution of poverty level and the regional development level. Third, the understanding of the factors which influence the regional development. The method used in this research is secondary data analysis. The analysis unit of this research is village. The data resources are taken from the report of the identification result of poor families and the primary data is taken from BAPPEDA Boyolali. The primary data is a number of poor families, the regional scope and the use of farmland, the long street to account the regional accessibilities and the number and the distribution of social and economical facility in each village. The result is presented on the map with the analysis unit of the village. The represented map are the distribution level of poverty per village. To determine the relationship between the level of poverty and regional development uses the technique of qualitative and quantitative analysis. The qualitative analysis technique used is the analysis of the map of poverty distribution, analysis map of regional development and harmonious relationship between the level of regional development and poverty. The quantitative analysis technique used is the analysis of correlation statistic product moment. The results of this research are: first, there is distribution variation of poverty level, there is relationship between distribution of poverty level and natural resources endowment. The region with lower resources endowment (up land region) have higher poverty level than the region with higher natural resources endowment (low land region) and conversel. Second, there is negative relationship between regional development level and poverty level. Third, the factors which influence the level of regional development are the economical and social facility of the region and accessibilities.

Keywords: *poverty level, regional development*

PENDAHULUAN

Strategi penanggulangan kemiskinan di Indonesia telah mengalami beberapa kali

pergeseran. Tahap awal pembangunan jangka panjang (PJP) I. Penanggulangan kemiskinan ditempuh dengan strategi tidak langsung (*indirect attack*) melalui kebijakan

ekonomi makro untuk mencapai pertumbuhan ekonomi yang setinggi-tingginya. Fokus kebijakan ini diarahkan untuk meningkatkan sektor-sektor dan kelompok pelaku ekonomi yang mempunyai profitabilitas yang tinggi. Industri besar diletakkan sebagai sektor unggulan (*leading sector*), dan kelompok swasta besar dijadikan sebagai agen utama penggerak perekonomian Nasional.

Strategi penanggulangan kemiskinan tersebut didasarkan pada argumentasi bahwa dengan pertumbuhan ekonomi yang tinggi, kemiskinan akan dapat berkurang melalui mekanisme efek tetesan ke bawah (*trickle-down effects*), namun program ini belum mencapai hasil yang diharapkan. Jumlah penduduk miskin secara absolut belum berkurang secara berarti. Peningkatan kesejahteraan ternyata lebih banyak dinikmati oleh segelintir orang. Tanpa disadari, kesenjangan ekonomi, sosial, dan spasial menjadi semakin lebar. Dengan kata lain, melalui penerapan strategi ini, di satu sisi telah membangun terbentuknya konsentrasi kapital, namun di sisi lain, secara bersamaan telah melahirkan marginalisasi kota atas desa dan penduduk kaya atas penduduk miskin.

Menyadari kegagalan strategi tersebut, dalam menanggulangi kemiskinan, strategi pembangunan berikutnya mulai bergeser ke pertumbuhan dengan pemerataan (*growth with distribution*) dan pemenuhan kebutuhan pokok (*basic needs*). Berbagai program penanggulangan kemiskinan diterapkan, antara lain: (1) pentransferan sumber-sumber pembangunan dari pusat, seperti program Inpres yang bertujuan untuk mengembangkan ekonomi daerah; (2) peningkatan akses masyarakat miskin kepada pelayanan sosial, seperti: pendidikan, kesehatan, keluarga berencana, air bersih, dan sebagainya; (3) perluasan jangkauan lembaga perkreditan

untuk rakyat kecil (Kupedes, BKK, Kredit Bimas, dan sebagainya; (4) pembangunan infrastruktur ekonomi pedesaan, khususnya infrastruktur pertanian; dan (5) pengembangan kelembagaan yang terkait dengan penanggulangan kemiskinan, seperti Program Pengembangan Wilayah (PPW), Program Kawasan Terpadu (PKT), Program Peningkatan Pendapatan Petani Kecil (P4KT), dan sebagainya (Moeljarto, 1993). Harus diakui, kinerja dari kombinasi program-program tersebut secara inkremental dan gradual telah menunjukkan hasil yang menggembirakan. Antara tahun 1976-1996 jumlah penduduk miskin mengalami penurunan dari 45 juta jiwa menjadi sekitar 15,6 juta jiwa (Musiyam, 1998).

Beberapa program penanggulangan kemiskinan tersebut terkait erat dengan konsep pengembangan wilayah yang berorientasi pada perbaikan hidup kelompok miskin, terutama yang ada di wilayah pedesaan. Argumentasi yang mendasari program-program tersebut adalah sebagai berikut. Pertama, peningkatan kesejahteraan hidup kelompok miskin tidak bisa dipisahkan dengan sumberdaya yang mereka miliki. Oleh karena itu, program penanggulangan kemiskinan perlu berbasis pada optimalisasi sumberdaya lokal. Atau dengan kata lain, program penanggulangan kemiskinan perlu mempertimbangkan kondisi dan potensi lokal dimana kelompok miskin berada. Kedua, permasalahan dasar kemiskinan adalah ketidakmampuan mereka menjangkau pelayanan-pelayanan dasar, baik pelayanan sosial maupun pelayanan ekonomi. Oleh karena itu, fasilitas-fasilitas pelayanan tersebut secara spasial harus didekatkan pada mereka.

Kabupaten Boyolali merupakan salah satu wilayah yang secara intensif mendapatkan program penanggulangan kemiskinan, baik dari Pemerintah Daerah,

Pemerintah Pusat, maupun lembaga-lembaga internasional. Namun demikian, proporsi penduduk miskin di kabupaten ini mengalami peningkatan yang signifikan. Berdasarkan data yang dihimpun oleh Kelompok Kerja Penanggulangan Kemiskinan Kabupaten Boyolali, proporsi penduduk miskin di daerah ini mengalami peningkatan dari 20,8% tahun 2002 menjadi 38,26% pada tahun 2006 (Laporan Pembangunan Manusia Indonesia 2004, BPS, BAPENAS, UNDP dalam Pemantauan dan Evaluasi Pelaksanaan Program Kompensasi Pengurangan Subsidi Bahan Bakar Minyak tahun 2005 dan Kelompok Kerja Penanggulangan Kemiskinan Kabupaten Boyolali, BPS, 2006)

Berdasarkan data penduduk miskin tersebut, maka diperlukan pembangunan infrastruktur pelayanan fasilitas pelayanan sosial, ekonomi, masyarakat untuk penanggulangan kemiskinan dan peningkatan perkembangan wilayah. Aspek-aspek perkembangan wilayah dalam penelitian ini meliputi perbedaan tingkat keterjangkauan wilayah (*accessibility*) yang ditunjukkan dengan kepadatan jalan, yaitu: rasio panjang jalan dengan luas wilayah, dan persebaran infrastruktur pelayanan sosial dan ekonomi, seperti fasilitas pendidikan, kesehatan, pasar, jasa keuangan dan perdagangan.

Tingkat perkembangan wilayah di Kabupaten Boyolali bervariasi antara bagian wilayah satu dengan bagian wilayah lainnya. Secara umum, tingkat perkembangan wilayah dataran rendah dengan sistem pertanian sawah dan mempunyai tingkat keterjangkauan tinggi, relatif lebih cepat dibanding dengan wilayah dataran tinggi dengan sistem pertanian lahan tegalan. Basis perekonomian di wilayah dataran tinggi adalah pertanian lahan kering dan peternakan, sedangkan basis perekonomian di wilayah dataran rendah adalah pertanian padi sawah. Penelitian ini

bertujuan untuk: pertama, mengetahui distribusi dan tingkat kemiskinan, kedua, kaitan antara distribusi tingkat kemiskinan dengan perkembangan wilayah, dan ketiga, mencari faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan wilayah.

Penelitian ini penting dilakukan karena studi tentang kemiskinan umumnya lebih banyak menguak dimensi-dimensi non keruangan, sehingga program penanggulangan kemiskinan yang direkomendasikan kurang terkait dengan program pengembangan wilayah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Boyolali, propinsi Jawa Tengah. Kabupaten ini mempunyai luas wilayah 101.510,20 ha, terdiri atas 19 kecamatan yang terbagi atas 267 kelurahan/desa (BPS, Kabupaten Boyolali, 2005). Penelitian ini menggunakan metode analisa data sekunder dan unit analisis dalam penelitian ini adalah desa.

Pemilihan Daerah Penelitian

Pemilihan Kabupaten Boyolali sebagai daerah penelitian dengan alasan: Kabupaten Boyolali merupakan salah satu daerah yang intensif menerima program bantuan penanggulangan kemiskinan, namun proporsi penduduk miskin di Kabupaten ini mengalami peningkatan dari 20,8 persen tahun 2002 menjadi 38,26 persen pada tahun 2006. Disamping itu dilihat dari indikator perkembangan wilayah, terdapat variasi tingkat perkembangannya.

Pengumpulan dan Pengukuran Data

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap. Tahap pertama, pengumpul-

an data, adapun data yang dikumpulkan meliputi: jumlah rumah tangga miskin per desa, tingkat aksesibilitas wilayah, jumlah dan persebaran fasilitas pendidikan, fasilitas kesehatan, fasilitas ekonomi: pasar, pelayanan jasa keuangan dan perdagangan. Sumber data diambil dari laporan hasil identifikasi penduduk miskin dan data pokok yang dikeluarkan oleh BAPPEDA Kabupaten Boyolali.

Tahap kedua, data yang terkumpul kemudian diolah yaitu menghitung proporsi rumah tangga miskin, mengukur tingkat fasilitas sosial dan ekonomi serta aksesibilitas wilayah (Tabel 1). Adapun pengolahan data dilakukan dengan teknik skoring. Teknik skoring digunakan untuk menentukan klasifikasi tingkat kemiskinan berdasarkan rasio antara jumlah rumah tangga miskin dengan total jumlah rumah tangga penduduk per desa. Berdasarkan persentase rumah tangga miskin tertinggi dan terendah maka tingkat kemiskinan dikelompokkan menjadi tiga, yaitu: kemiskinan rendah yaitu persentase rumah tangga miskin <25%, tingkat kemiskinan sedang yaitu 25-50% dan tingkat kemiskinan tinggi jika diatas 50%. Langkah selanjutnya disajikan dalam peta tingkat kemiskinan.

Selanjutnya menentukan tingkat perkembangan wilayah yaitu merupakan akumulasi dari nilai skor fasilitas sosial, ekonomi dan aksesibilitas. Berdasarkan jumlah skor tertinggi dan terendah maka tingkat perkembangan wilayah dibuat menjadi 3 hirarki.

Analisis Data

Tahap ketiga yaitu analisis data dengan menggunakan teknik kualitatif dan kuantitatif. Analisis kualitatif dilakukan

dengan cara interpretasi peta distribusi tingkat kemiskinan dengan perkembangan wilayah. Analisis ini dengan menggunakan teknik Sistem Informasi Geografi (SIG). Dalam penelitian ini dilakukan analisis keselarasan, untuk mengetahui hubungan asosiatif antara perkembangan wilayah dengan kemiskinan.

Analisis keselarasan dilakukan untuk mengetahui hubungan lebih lanjut, apakah kemiskinan mempunyai hubungan dengan perkembangan wilayah. Diasumsikan bahwa untuk desa-desa yang mempunyai *hubungan selaras*, jika perkembangan wilayah rendah dengan tingkat kemiskinan tinggi; perkembangan wilayah tergolong sedang dengan tingkat kemiskinan sedang dan perkembangan wilayah yang tinggi dengan tingkat kemiskinan rendah. Hubungan yang *tidak selaras* terjadi, jika tingkat perkembangan wilayah tinggi tetapi tingkat kemiskinannya tinggi dan perkembangan wilayah rendah dengan tingkat kemiskinan yang rendah. Hubungan *cukup selaras* terjadi, jika tingkat perkembangan wilayah sedang mempunyai kemiskinan rendah; perkembangan wilayah rendah mempunyai kemiskinan sedang; perkembangan wilayah yang tinggi mempunyai kemiskinan sedang serta perkembangan wilayah yang sedang dengan kemiskinan yang tinggi.

Analisa statistik yang digunakan adalah analisa korelasi *product moment* untuk mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi perkembangan wilayah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Distribusi Rumah Tangga Miskin.

Kabupaten Boyolali merupakan salah satu kabupaten yang memiliki masalah kemiskinan. Menurut data dari Komite

Tabel 1. Variabel dan Klasifikasi Skor Masing-masing Variabel

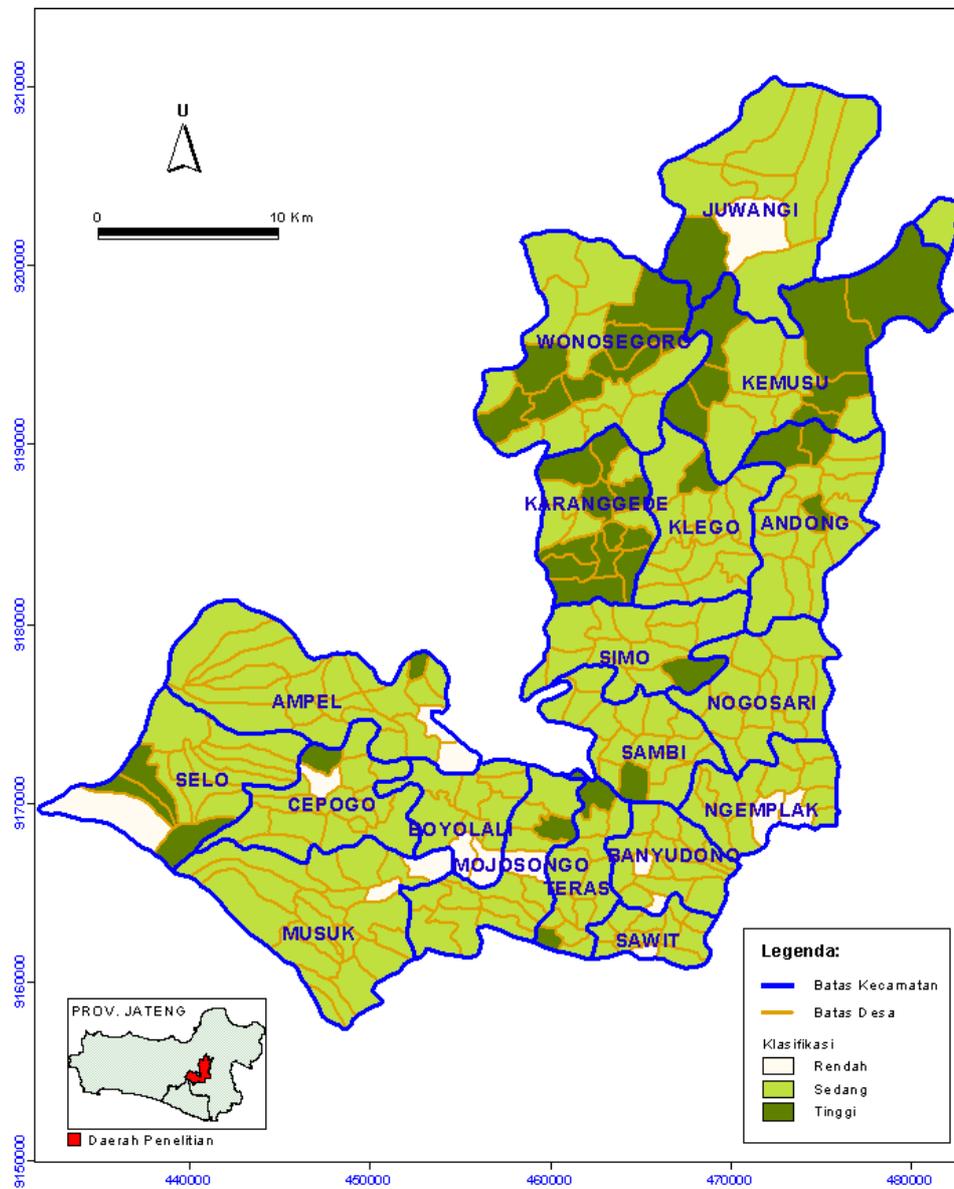
No.	Variabel	Klasifikasi	Skor
1	Fasilitas Pendidikan	TK	1
		SD	2
		SLTP	3
		SLTA	4
		PT	5
2	Fasilitas Kesehatan	Tempat Praktek Dokter	1
		Puskesmas Pembantu	2
		Puskesmas Perawatan	3
		Poliklinik Swasta	4
		BKIA	5
3	Fasilitas Keuangan	Koperasi	1
		BKK	2
		BPR	3
		BRI	4
4	Fasilitas Perdagangan	Restoran/Rumah Makan/ Kedai	1
		Toko/Warung/Kios	2
		Pertokoan	3
		Pasar	4
5	Aksesibilitas/Keterjangkauan	Jalan Desa	1
		Jalan Kabupaten	2
		Jalan Propinsi	3

Sumber: Hasil Analisis Data Primer

Tabel 2. Tingkat Kemiskinan di Kabupaten Boyolali

Tingkat Kemiskinan	Jumlah Desa	Persen
Rendah	20	7,5
Sedang	201	75,7
Tinggi	45	16,9
Jumlah	267	100,0

Sumber: Hasil Analisis Data Sekunder Kecamatan Dalam Angka 2005



Sumber: - Peta Administrasi Boyolali
 - Kabupaten Boyolali dalam Angka 2005

Gambar 1. Peta Sebaran Penduduk Miskin di Kabupaten Boyolali

Penanggulangan Kemiskinan, jumlah rumah tangga di Kabupaten Boyolali ini sebanyak 248.549 rumah tangga, 38,26% (95.083 rumah tangga) diantaranya tergolong miskin (menerima bantuan langsung tunai dari pemerintah).

Berdasarkan proporsi rumah tangga miskin terhadap jumlah rumah tangga keseluruhan, maka distribusi tingkat kemiskinan di Kabupaten Boyolali dapat disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 menunjukkan bahwa sebagian besar tingkat kemiskinan desa-desa di Kabupaten Boyolali tergolong tingkat kemiskinan sedang dan tinggi, hanya sebagian kecil desa dengan tingkat kemiskinan rendah.

Secara geografis desa-desa yang mempunyai tingkat kemiskinan tinggi sebagian besar terdapat di Kabupaten Boyolali bagian utara, yaitu Kecamatan Juwangi, Wonosegoro, Kemusu, Sambu, Nogosari, Karanggede, Andong dan Kecamatan Klego. Sedangkan desa yang mempunyai tingkat kemiskinan rendah sebagian besar terdapat di wilayah bagian tengah yaitu Kecamatan Boyolali, sebagian desa di Kecamatan Mojosongo, Teras dan Banyudono (Gambar 1).

Temuan ini mengindikasikan adanya hubungan asosiatif antara tingkat kemiskinan dengan kondisi geografi. Desa-desa yang mempunyai tingkat kemiskinan tinggi umumnya berada di wilayah-wilayah dataran tinggi dengan sistem pertanian lahan kering dan mempunyai tingkat keterjangkauan yang relatif rendah. Sebaliknya desa-desa yang mempunyai tingkat kemiskinan rendah umumnya terletak di wilayah-wilayah dataran rendah dengan sistem pertanian sawah dan umumnya mempunyai tingkat keterjangkauan yang relatif tinggi. Temuan ini memperkuat

teori yang mengatakan wilayah yang mempunyai *resources endowment* yang relatif rendah (wilayah pertanian lahan kering) bahwa kemiskinan dipengaruhi oleh *natural resources endowment*, ternyata tingkat kemiskinannya lebih tinggi dibanding wilayah yang mempunyai *resources endowment* lebih tinggi (wilayah pertanian sawah).

b. Distribusi Fasilitas Sosial dan Ekonomi

Tingkat fasilitas sosial ekonomi menunjukkan bahwa sebagian besar desa-desa di Kabupaten Boyolali mempunyai tingkat fasilitas sosial ekonomi cukup baik, tetapi terdapat 24,3% desa dengan tingkat fasilitas sosial ekonomi yang jelek.

Analisa sebaran fasilitas sosial ekonomi di Kabupaten Boyolali menunjukkan bahwa, Kecamatan Boyolali, Teras, Banyudono, sebagian Kecamatan Mojosongo dan Ngemplak mempunyai fasilitas sosial ekonomi lebih baik dibanding kecamatan lainnya.

Secara keruangan sebaran ketersediaan fasilitas sosial ekonomi di Kabupaten Boyolali mempunyai 3 pola (Gambar 2). Ketersediaan fasilitas sosial ekonomi tertinggi berada di wilayah tengah, daerah perbatasan di bagian utara dan barat serta pola terpencar pada pusat kota-kota kecil (kecamatan).

Pola ketersediaan fasilitas sosial ekonomi di wilayah bagian tengah berasosiasi dengan jarak dari pusat kota dan aksesibilitas daerah. Wilayah bagian tengah merupakan daerah pusat kota dengan ketersediaan fasilitas sosial ekonomi dan aksesibilitas yang paling tinggi. Semakin jauh dari pusat kota ketersediaan fasilitas sosial ekonomi semakin berkurang.

Wilayah perbatasan di bagian utara dan bagian barat, pada umumnya mempunyai

Tabel 3. Fasilitas Sosial Ekonomi di Kabupaten Boyolali

Tingkat Fasilitas Sosek	Jumlah Desa	Persen
Rendah	65	24,3
Sedang	135	50,6
Tinggi	67	25,1
Jumlah	267	100,0

Sumber: Hasil Analisis Data Sekunder Kecamatan Dalam Angka 2005

ketersediaan fasilitas sosial ekonomi, aksesibilitas, kemampuan lahan pertanian yang rendah. Sedangkan daerah perbatasan di bagian utara yang meliputi Kecamatan Klego, Wonosegoro, Kemusu, Juwangi dan Simo. Wilayah perbatasan bagian barat yang meliputi Kecamatan Cepogo, Selo, Musuk dan sebagian Ampel umumnya mempunyai ketersediaan fasilitas sosial ekonomi rendah.

Pusat-pusat kota kecil (kota kecamatan) mempunyai ketersediaan fasilitas sosial ekonomi yang baik dengan pola terpencar. Wilayah ini meliputi kota-kota kecil di ibu kota Kecamatan Simo, Nogosari, Andong, Juwangi, Cepogo, Ampel.

c. Aksesibilitas Wilayah

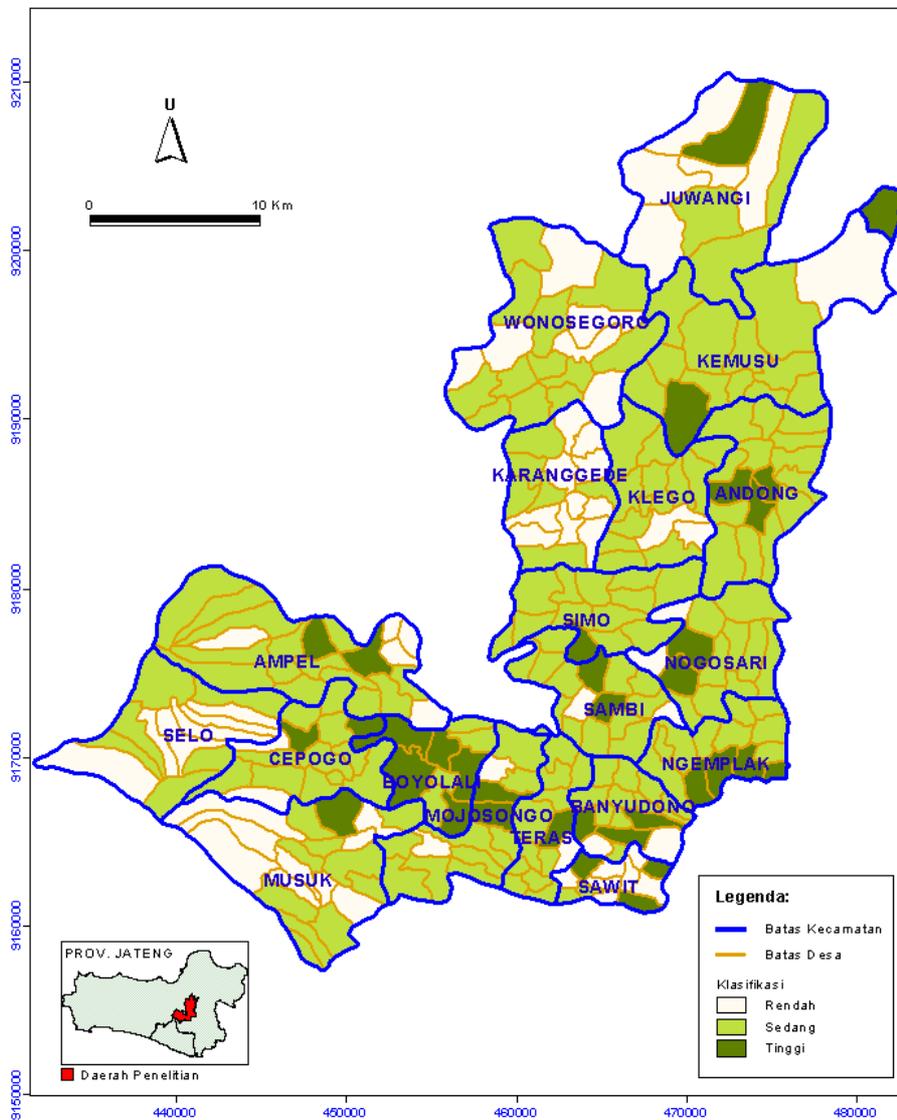
Tingkat aksesibilitas wilayah diukur berdasarkan kerapatan jalan yaitu rasio antara panjang jalan dengan luas wilayah. Semakin tinggi kerapatan jalan di suatu wilayah, maka aksesibilitasnya semakin tinggi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar desa-desa di Kabupaten Boyolali mempunyai tingkat aksesibilitas rendah.

Tingkat aksesibilitas wilayah desa/kalurahan yang berada di bagian tengah, yang merupakan lokasi kota Boyolali, umumnya lebih tinggi dibanding dengan wilayah lainnya (Gambar 3). Secara umum,

semakin jauh jaraknya dari pusat kota maka tingkat aksesibilitas wilayahnya semakin rendah. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pola tingkat aksesibilitas wilayah di Kabupaten Boyolali mengikuti pola umum wilayah-wilayah yang perkembangannya belum berada pada tingkat lanjut, yaitu pola *distance decay principle*.

Selain itu, desa-desa yang dibelah oleh jalan yang menghubungkan antar kecamatan dan jalan kabupaten juga memiliki tingkat aksesibilitas wilayah yang cukup tinggi. Dengan demikian tingkat aksesibilitas wilayah di Kabupaten Boyolali juga mengikuti pola memanjang (*ribbon development*). Pola ini tersebar di kota-kota kecil di kecamatan Nogosari, Andong, Kemusu, juga terdapat beberapa desa di kecamatan Wonosegoro dan Juwangi.

Wilayah yang berada di perbatasan di bagian barat dan utara umumnya mempunyai tingkat aksesibilitas yang rendah. Wilayah bagian barat merupakan wilayah kaki gunung Merapi dan Merbabu, sedangkan bagian utara merupakan wilayah pegunungan lipatan dengan topografi berbukit dan bergelombang. Wilayah ini umumnya mempunyai kemampuan sumber daya pertanian yang relatif rendah. Dengan demikian temuan penelitian menunjukkan bahwa terdapat asosiasi antara aksesibilitas dengan topografi.



Sumber: - Peta Administrasi Boyolali
 - Kabupaten Boyolali dalam Angka 2005

Gambar 2. Peta Sebaran Klasifikasi Fasilitas Sosial Ekonomi Masing-masing Desa di Kabupaten Boyolali

Tabel 4. Tingkat Aksesibilitas di Kabupaten Boyolali

Tingkat Fasilitas Sosek	Jumlah Desa	Persen
Rendah	140	52,4
Sedang	96	36,0
Tinggi	31	11,6
Jumlah	267	100,0

Sumber: Hasil Analisis Data Sekunder Kecamatan Dalam Angka 2005

d. Kemiskinan dan Perkembangan Wilayah

Fasilitas sosial ekonomi dan aksesibilitas wilayah mempengaruhi perkembangan wilayah. Dengan tingginya ketersediaan fasilitas sosial ekonomi dan tingginya aksesibilitas wilayah, maka wilayah menjadi berkembang.

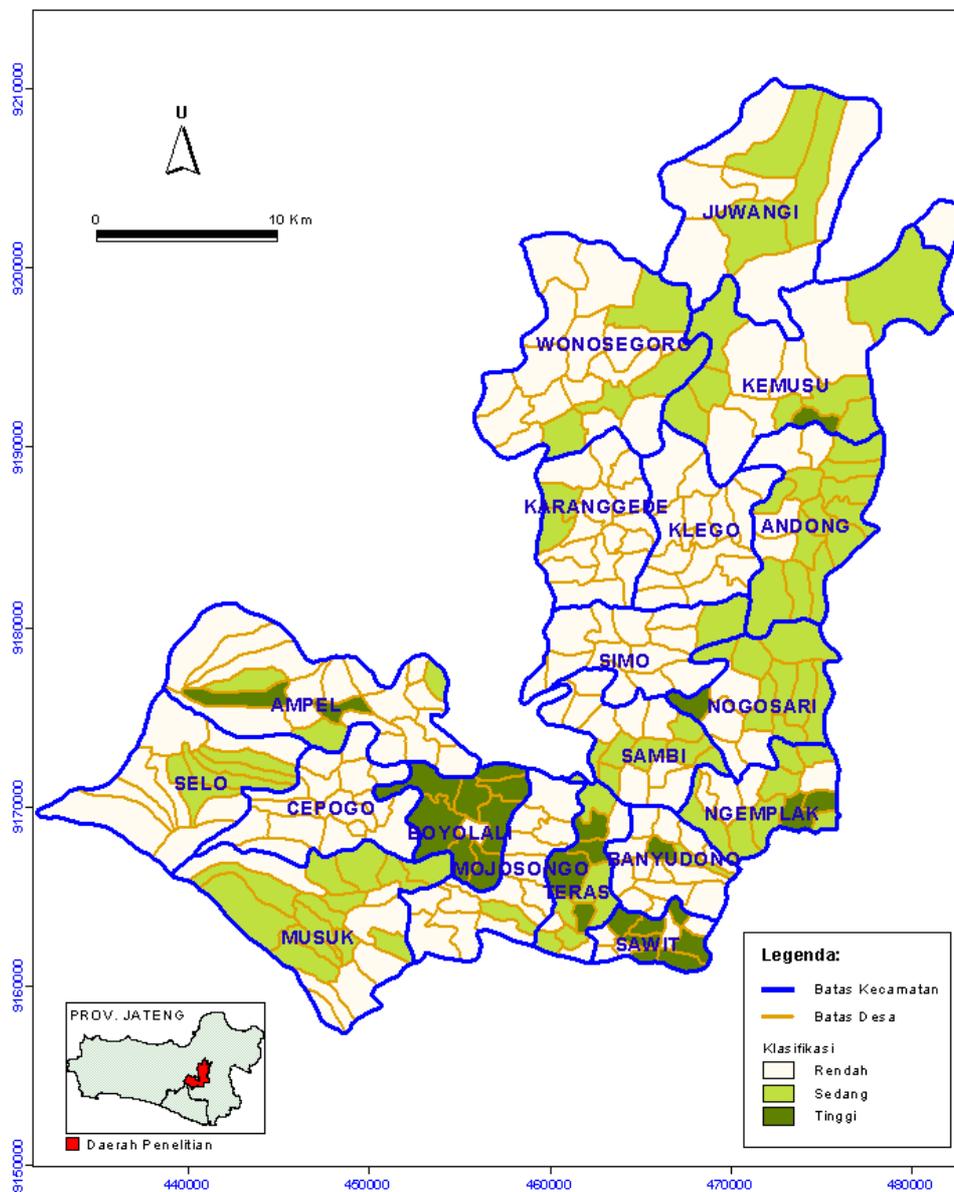
Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar desa yang mempunyai tingkat perkembangan tinggi dan tingkat kemiskinan rendah berada di wilayah Boyolali bagian tengah (Gambar 4). Wilayah tersebut tersebar di Kecamatan Boyolali, Ngemplak, Teras, Mojosongo, serta sebagian Kecamatan Nogosari dan Sambi. Sementara itu, desa-desa yang mempunyai tingkat perkembangan rendah dan tingkat kemiskinan tinggi tersebar di Kecamatan Kemusu, Juwangi, Wonosegoro, serta sebagian Kecamatan Karanggede dan Andong (wilayah Kabupaten Boyolali bagian utara).

Secara umum, hasil penelitian menunjukkan bahwa desa-desa yang mempunyai tingkat perkembangan wilayah yang tinggi mempunyai tingkat kemiskinan yang rendah. Berdasarkan temuan ini maka dapat dikatakan bahwa perkembangan wilayah mempunyai hubungan yang negatif dengan tingkat kemiskinan. Korelasi antara tingkat perkembangan

wilayah dengan kemiskinan ditunjukkan dengan nilai korelasi negatif sebesar -0,330 pada taraf signifikansi 99%. yang berarti bahwa hubungan kedua variabel tersebut mempunyai hubungan bersifat erat negatif, perkembangan wilayah naik diikuti turunnya tingkat kemiskinan.

Hasil analisa korelasi *product moment* menunjukkan bahwa faktor yang mempengaruhi perkembangan wilayah adalah ketersediaan fasilitas sosial, fasilitas ekonomi dan aksesibilitas. Terdapat hubungan yang erat antara perkembangan wilayah dengan ketersediaan fasilitas sosial, fasilitas ekonomi dan aksesibilitas. Hubungan yang erat pada taraf signifikansi 99% secara berturut-turut menunjukkan angka 0,700, 0,815, dan 0,428; yang berarti bahwa hubungan antara variabel – variabel tersebut bersifat erat positif. Naiknya jumlah fasilitas sosial, ekonomi, dan aksesibilitas akan diikuti naiknya perkembangan wilayah. Desa-desa yang mempunyai ketersediaan fasilitas sosial, ekonomi dan aksesibilitas yang tinggi, mempunyai perkembangan wilayah yang tinggi, dan sebaliknya.

Hubungan keselarasan antara perkembangan wilayah dan kemiskinan desa-desa di Kabupaten Boyolali dapat dilihat pada Tabel 5.



Sumber: - Peta Administrasi Boyolali
 - Kabupaten Boyolali dalam Angka 2005

Gambar 3. Peta Sebaran Klasifikasi Tingkat Aksesibilitas Masing-masing Desa di Kabupaten Boyolali

Tabel 5. Keselarasan Perkembangan Wilayah dan Kemiskinan

Keselarasan	Jumlah Desa	Persen
Tidak selaras	29	10,9
Cukup selaras	102	38,2
Selaras	136	50,9
Total	267	100,0

Sumber: Hasil Analisis Data Sekunder Kecamatan Dalam Angka 2005

Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat hubungan keselarasan antara tingkat perkembangan wilayah dan kemiskinan (Gambar 5). Frekuensi hubungan keselarasan tersebut terlihat bahwa, terdapat 136 desa (50,9%) mempunyai hubungan yang selaras. Asumsi logis bahwa desa-desa yang mempunyai tingkat perkembangan wilayah tinggi maka tingkat kemiskinannya rendah dan sebaliknya desa-desa dengan perkembangan wilayah rendah maka tingkat kemiskinannya tinggi. Di samping itu, desa yang perkembangan wilayahnya sedang mempunyai tingkat kemiskinan sedang.

Sebanyak 102 desa (38,3%) mempunyai hubungan cukup selaras, yaitu desa-desa dengan perkembangan wilayah sedang mempunyai tingkat kemiskinan rendah atau tinggi, desa-desa yang mempunyai perkembangan wilayah rendah mempunyai tingkat kemiskinan sedang dan desa yang mempunyai perkembangan wilayah tinggi mempunyai tingkat kemiskinan sedang.

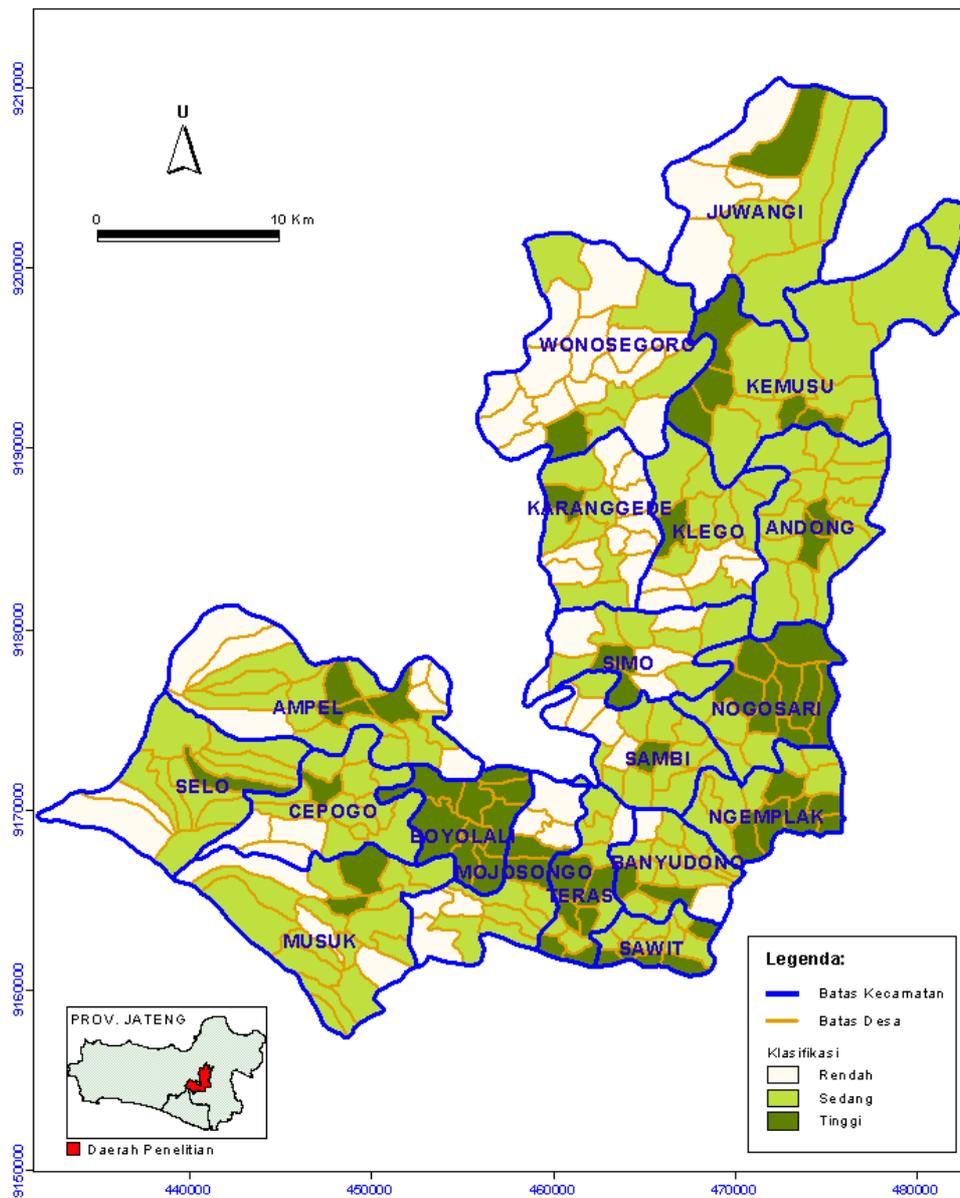
Hubungan yang tidak selaras antara perkembangan wilayah dengan kemiskinan terdapat pada 29 desa (10,9%). Hubungan tidak selaras terjadi karena desa-desa dengan tingkat perkembangan wilayah rendah, tetapi mempunyai tingkat

kemiskinan yang rendah serta desa-desa dengan perkembangan wilayah tinggi tetapi mempunyai tingkat kemiskinan yang tinggi pula.

KESIMPULAN DAN SARAN

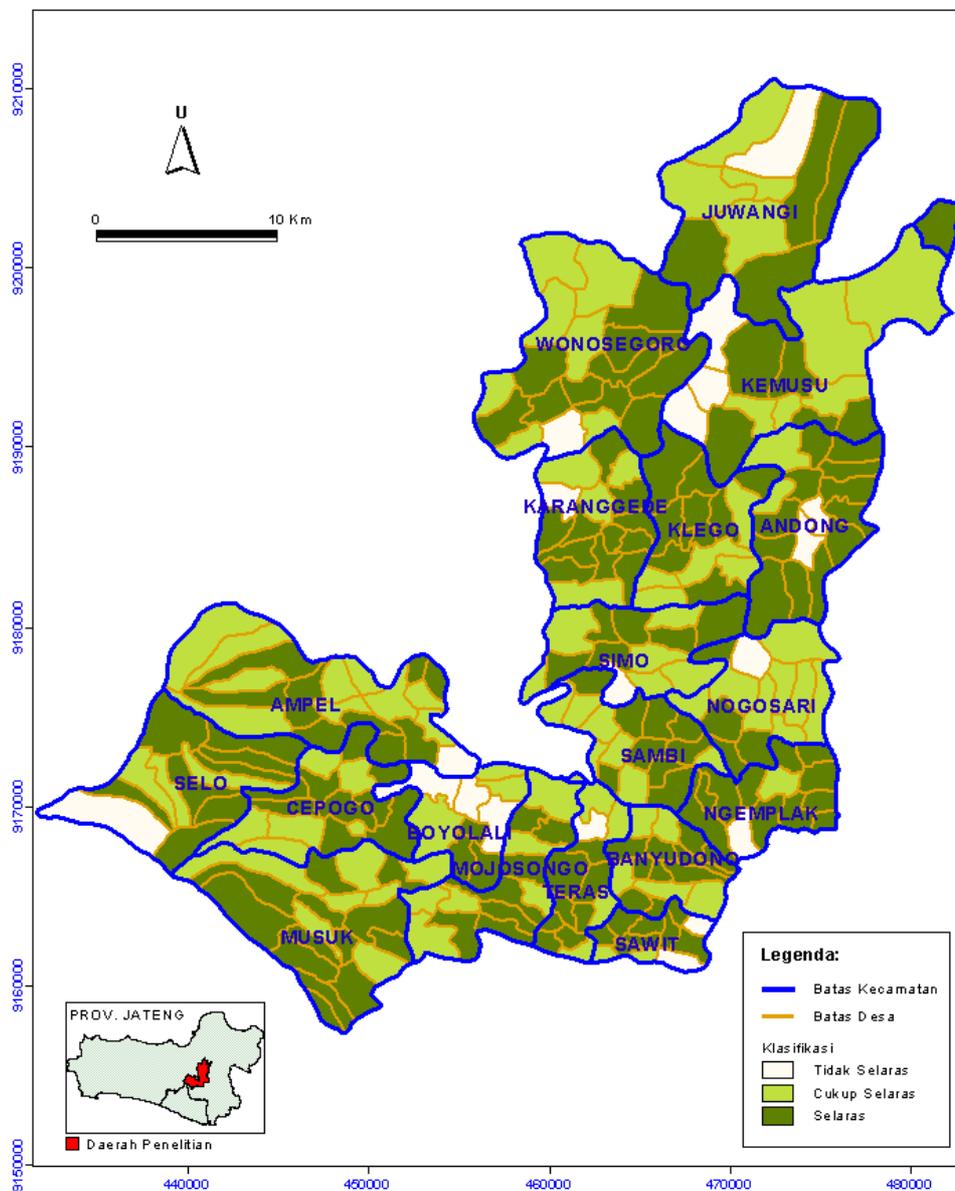
Kesimpulan

1. Terdapat variasi distribusi tingkat kemiskinan, tingkat kemiskinan di Kabupaten Boyolali tergolong cukup tinggi mencapai 75,70% dan sebanyak 16,9% desa mempunyai tingkat kemiskinan tinggi, serta sebesar 7,5% desa mempunyai tingkat kemiskinan rendah. Wilayah yang mempunyai *resources endowment* yang relatif rendah (wilayah pertanian lahan kering) ternyata tingkat kemiskinannya lebih tinggi dibanding wilayah yang mempunyai *resources endowment* lebih tinggi (wilayah pertanian sawah).
2. Terdapat hubungan negatif antara tingkat perkembangan wilayah dengan tingkat kemiskinan. Desa-desa yang mempunyai tingkat perkembangan wilayah tinggi, tingkat kemiskinannya rendah, dan sebaliknya.
3. Faktor yang mempengaruhi perkembangan wilayah adalah ketersediaan fasilitas ekonomi, sosial dan



Sumber: - Peta Administrasi Boyolali
 - Hasil Analisis

Gambar 4. Peta Sebaran Klasifikasi Perkembangan Wilayah Masing-masing Desa di Kabupaten Boyolali



Sumber: - Peta Administrasi Boyolali
 - Hasil Analisis

Gambar 5. Peta Keselarasan antara Perkembangan Wilayah dan Kemiskinan Masing-masing Desa di Kabupaten Boyolali

aksesibilitas. Desa yang mempunyai perkembangan wilayah yang tinggi, mempunyai tingkat kemiskinan yang rendah, dan sebaliknya.

Saran

Program penanggulangan kemiskinan perlu dipadukan dengan program pengembangan wilayah, khususnya berkaitan dengan program pembangunan fasilitas pendidikan, kesehatan, perdagangan dan prasarana transportasi. Pembangunan fasilitas-fasilitas tersebut hendaknya diprioritaskan pada wilayah-wilayah relatif

jauh dari kota. yang umumnya mempunyai tingkat kemiskinan tinggi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, yang telah memberikan dana penelitian fundamental ini. Ucapkan terima kasih yang tulus juga penulis sampaikan pada saudara Tri Murtopo dan Mutaqin yang telah membantu dalam pengumpulan data serta analisa data, semoga amal kebajikannya mendapat balasan dari Allah, amin.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Boyolali. *Kabupaten Boyolali dalam Angka 2005*.
- BAPPEDA dan BPS Kabupaten Boyolali. 2004. *Kecamatan dalam Angka (19 Kecamatan)*. Boyolali.
- _____. 2005. *Kecamatan dalam Angka (19 Kecamatan)*. Boyolali.
- Prahasta, Edy. 2002. *Sistem Informasi Geografis Tutorial ArcView*. Bandung.
- Pemantauan dan Evaluasi Pelaksanaan Program Kompensasi Pengurangan Subsidi Bahan Bakar Minyak (PKPS BBM) tahun 2005 Oleh Perguruan Tinggi*. Kementerian Koordinator Bidang Kesejahteraan Rakyat Bekerjasama dengan Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Pemerintah Kabupaten Boyolali. 2004. *Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Boyolali Tahun 2004-2014*. Boyolali.
- Musiyam, Muhammad, 1998. Pembangunan dan Kemiskinan: Tinjauan Kritis Pergeseran Strategi Penanggulangan Kemiskinan dari Pertumbuhan Sampai Pemberdayaan. *Forum Geografi No: 23 (XII)*.
- Tjokrowinoto, Moeljarto. 1996. *Pembangunan: Dilema dan Tantangan*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Astuti, Wahyuni Apri. 1998. *Ciri-Ciri Kemiskinan di Perkotaan (Studi Komunitas Rumah tangga Miskin di Kalurahan Sangkrab Kotamadia Surakarta)*.

TERRAIN CHARACTERIZATION AND SOIL EROSION RISK ASSESSMENT FOR WATERSHED PRIORITIZATION USING REMOTE SENSING AND GIS

A case study of Nawagaon Maskara Rao Watershed,
Saharanpur, India

Beny Harjadi

Forestry Research Center Solo
Pabelan Surakarta
E-mail:adbsolo@yahoo.com

ABSTRACT

Soil erosion is crucial problem in India where more than 70% of land in degraded. This study is to establish conservation priorities of the sub watersheds across the entire terrain, and suggest suitable conservation measures. Soil conservation practices are not only from erosion data both qualitative SES (Soil Erosion Status) model and quantitative MMF (Morgan, Morgan and Finney) model erosion, but we have to consider LCC (Land Capability Classification) and LULC (Land Use Land Cover). Study demonstrated the use of RS (Remote Sensing) and GIS (Geographic Information System) in soil erosion risk assessment by deriving soil and vegetation parameters in the erosion models. Sub-watersheds were prioritized based on average soil loss and the area falls under various erosion risk classes for conservation planning. The annual rate of soil loss based on MMF model was classified into five soil erosion risk classes for soil conservation measures. From 11 sub watersheds, for the first priority of the watershed is catchment with the small area and the steep slope. Recommendation for steep areas (classes VI, VII, and VIII) land use allocation should be made to maintain forest functions.

Keywords: *degradation, erosion model, analysis digital, priority of sub watershed*

INTRODUCTION

Terrain characterization signifies the sum of all physical features and conditions at or near the earth surface (Pandey and Shedha, 1981). Understanding the terrain characteristics and processes and their usefulness to various users is the terrain purpose of terrain analysis (Kirkby, 1976). Important terrain characteristics for studying soil erosion are slope gradient, length, aspect and shape (Taiwan, 2001).

Soil erosion risk by accelerated water and wind constituted a serious primary problem to terrains, especially in developing countries of tropics and subtropics (Biswas, Sudhakar and Desai, 1999). Soil erosion is a crucial problem in India where more than 70% of land in degraded condition. However although deforestation, overgrazing and intensive agriculture due to population pressure, have caused accelerated erosion, natural phenomena inducing erosion such as extreme rains, earth-

quake, and glacial-lake-outburst flooding should be recognized as well (Narayana, Sastry and Patnaik, 1997). For landslide can be predicted by statistical relationship between past landslides and the spatial data set of the factors : slope angle, slope aspect, transversal slope profile, lithology, superficial deposits, geomorphology, and land use (Zezere *et al.*, 2004).

Accelerated soil erosion has adverse economic and environmental impact (LAI, 1998; and Bathale and Sharma, 2001). Economic effects are through loss of farm income due to on-site and off-site reduction in income, and other losses with adverse impact on crop/animal production (Bali, 1983). The on site of soil erosion reduced land and soil quality and productivity viz.: temporary decline in land/soil quality, transient pollution of surface water by sediment-borne chemicals (Wishmeier and Smith, 1978; and Spanner, Strahler, and Estes, 1982). The off soil erosion exerted impacts such as : permanent decline in land/soil quality due gully-ing, alteration in soil-water regime and water table, and additional water management (Singh, 2003). Degraded lands or soil erosion such as: Gullied/ravenous (eroded) land, Undulating uplands with or without scrub, Water logged and marshy land, Land affected by salinity/alkalinity (coastal), Shifting cultivation area, Degraded notified forest land, Degraded pastures/grazing land, Sandy areas (desert/coastal), Mining/industrial wetland, Barren rocky/stony waste/sheet-rock area, Steep sloping areas, and Snow covered/glacial areas (Shanware, Karale, and Singh, 1985). The magnitude of disaster associated with soil loss (landslide) has increased and the major concern of engineering geologist and geotechnical engineers (Ahmad *et al.*, 2006)

India is reverie country is drained by major rivers and their tributaries (Shrimali, Aggrawal, and Samra, 2001). Watershed is natural hydrologic entity governed by the terrain topography from where run off is drained to a point. Watershed Prioritization is a pre-requisite to operational any major scheme, as it allows the planners and policy makers to adopt a selective approach considering the vastness of the catchments area, severity of the problem, constraint of funds and man power, demands of the local and political system (Chakraborti, 1993). Watershed management, in its broadest sense, implies prudent use of soil and water, hence, programmed are required to protect the environment to sustain the productivity levels of soils by reducing land degradation (Chaudary, Manchanda and Singh, 1992).

The optimum use of available soil and water resources based on their inherent limitations is one of the most important pre-requisites for systematic planned development of any watershed (Das, Narula, Laurin, 1992). Survey of watershed provides relevant information on land use, hydro-geomorphology, soil types, rock types etc (Ravishankar *et al.*, 1994). Their extent, potential and limitations, which help planners to take decisions regarding sustained land use Shanware, Karale, and Singh, 1985). Recently, the planning and development of land and water resources on a watershed basis in different terrain an agro climatic regions has been assumed and also to preserve the environment and to maintain ecological balance (Shrestha, Honda and Murai, 1997).

Role of satellite RS and GIS in watershed prioritization and management offers scientific input for the formulation of proper watershed management programmed and also addresses some of the parameters related to watershed develop-

ment (Kumar *et al.*, 1998; and Singh *et al.*, 2002). A number of parametric models have been developed to predict soil erosion and with a few exceptions, these model are based on soil, land use land cover, landform, climatic and topographic information (Singh, 1994). Integrating satellite imagery with GIS is useful for study in land use change and another parameters (Halim *et al.*, 2006). The higher resolution of the images is large of the data size (Al-Bastaki, 2006). For increasing accuracy data Bonyad (2005) use classified of land cover with PCA (Principal Component Analysis) until 80.63%.

Objectives of the study were: (i) to characterize terrain: morphometric terrain parameters, soil hydrological characteristics, to prepare land use/land cover map using LISS IV digital satellite data, (ii) to analyze the sub watersheds as baseline information for conservation planning based on: Morphometric Indices (MI), Qualitative method of Soil Erosion Status (SES), Quantitative method of Morgan, Morgan and Finney (MMF) model. Aim of this study is to establish conservation priorities of the sub watersheds across the entire terrain, and suggest suitable conservation measures.

MATERIALS AND METHODOLOGY

Location

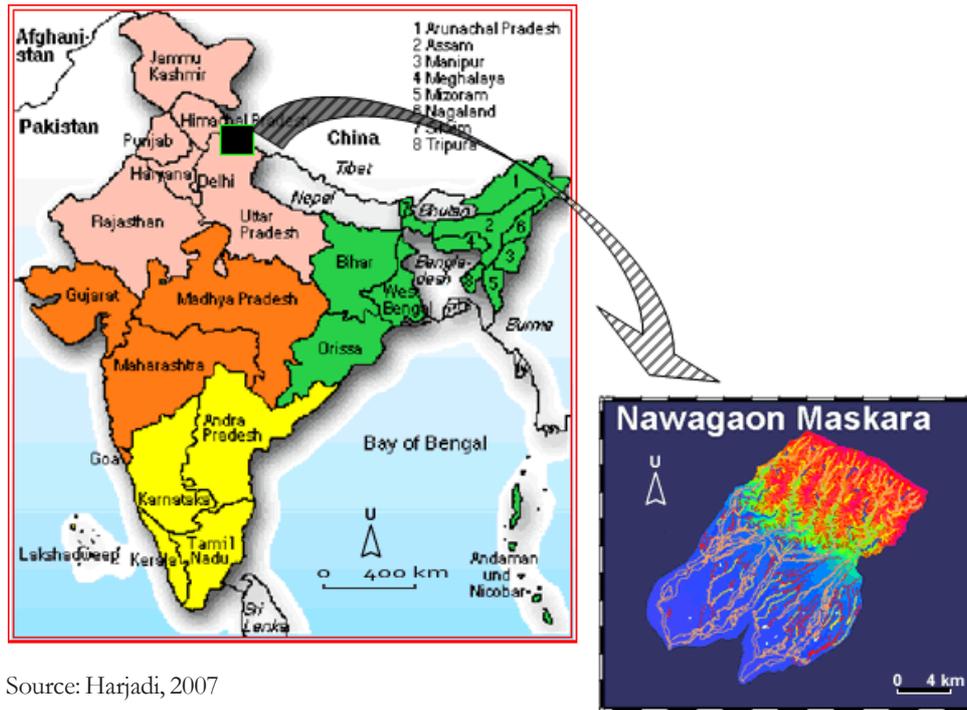
Saharanpur district attained the status as Saharanpur division in 1997 of Uttar Pradesh. As regards its physical features, the north and the north east of the district is surrounded by Shivalik hills and separates it from the Dehradun district in the recently created state of Uttranchal. The river Yamuna forms its boundary in the west, which separates it from Karnal and

Yamunanagar districts of Haryana. In the East lies the district of Haridwar that was the part of district Saharanpur before 1989 and in the south lies the district Muzafarnagar.

The study area is called Nawagaon and Maskara Rao watershed boundary, and is located in the district of Saharanpur, Uttar Pradesh and District in Northern India. The geographical coordinate of the study area from latitude 30° 09' 00" N to 30° 21' 00" N and longitude between 77° 34' 00" N to 77° 51' 00" N covering an area of 205.94 sq km (20594.49 ha). The study area is delineated by the SOI toposheet Nos. 53 F/11, 53 F/12, 53 F/15 and 53 F/16 at scales 1: 50,000. The location of study area is presented in Figure 1.

Saharanpur forms the most northerly position of the Doab land, which stretches between the holy rivers of the Ganges and the Yamuna, the Shivalik hills rise above it on the northern frontier. The portion of Doab in which Saharanpur is situated was probably one of the first region of upper India occupied by the Aryans colonizers as they spread eastward from the Punjab.

The district presents many varieties of features and differs in general appearance than any other portion of the Doab and Gangetic plain as a whole. It is true that most of the area belongs to the upland Bangar which stretches in a continuous line upto Allahabad i.e. junction of the two great rivers and on the either side is the broad and low lying valley full of swamps and back waters with wide open grassy plains and Tamarisk jungle but in the north, there are the steep hills of Shivalik chain which appear in a far more marked form in Saharanpur than any other district of Uttar Pradesh while below the



Source: Harjadi, 2007

Figure 1. The Location Nawagaon Maskara Watershed Map of Study Area

hills are to be seen in a modified form the prevailing characteristics of the Bhabar and Tarai region.

The main characteristics of the district can be divided into four geomorphology parts.

- (1) Shivalik hill tract
- (2) The Bhabar land
- (3) Bangar land
- (4) Khadar land (Yamuna, Hindon)

Climate

The study area belong to sub tropical semiarid of India's central and northern belt. It is also influenced by humid tropical monsoon, which has hot summer and mild winter. The average annual rainfall

from 1988 until 2004 is about 1170 mm and average rainydays is about 72 days, most of which is received during the months of July to September due to South-west monsoon with maximum temperature of 29.4 °C and minimum 15.1 °C.

Material

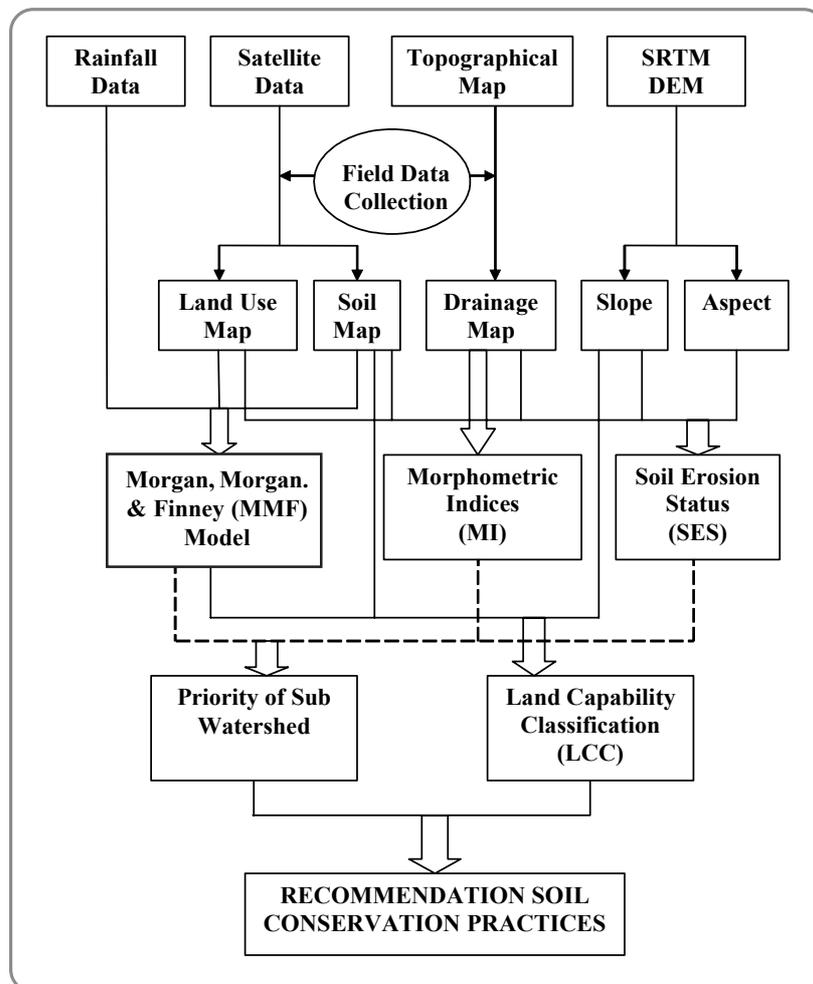
Data used in the study are : SRTM, digital satellite data LISS IV with resolution 5.8 m and path/row 202/203 acquired on January 28, 2005, hard copy of satellite imageries (FCCs) of the area, and SRTM (Shuttle Radar Thematic Mapper) Digital Elevation Model (DEM). Ancillary data : survey of India topographic map (SOI) No. topo-sheets 53F/11, 53F/12, 53F/15 and 53 F/16 scale 1:50.000 in conjunction with above mentioned units in the study area and

soil characteristics data and soil survey report from Agriculture and Soils Division, IIRS Dehra Dun. Meteorological data is collected from Muzzafarabad meteorological station, that is monthly average rainfall data and number of rainy days of last 16 years (1988 – 2004).

The outline of the watershed, contour map, river drainage map and base map were prepared from the above mentioned toposheet (Bhadra, Bhavanaraya and Panda, 1998). For Land use and soil map were prepared from digital satellite data LISS IV. Field instruments : Disc infiltrometer, Soil cone sampler for bulk density.

Methodology

Methodology of study comprise: (a) prefield interpretation : interpretation of satellite data for physiographic soil units and to prepare drainage network map of the study area, (b). field work: training sets selection for land use/land cover, to observe of infiltration rate, soil sample collection for bulk density and soil texture from the physiographic units, to observe and characterize erosion features, (c) post field work: to analyse soil samples for sand, silt, and clay and for bulk density of each physiographic unit, and spatial data analysis for soil assessment (Figure 2).



Source: Result of Analysis

Figure 2. Methodology of Analyze Prioritization of Sub Watershed

The annual rate of soil loss based on MMF model was classified into five soil erosion risk classes for soil conservation measures. It was found that very low risk of erosion (0 - 5 t/h/yr), low risk of erosion (5 - 10 t/h/yr), moderate risk of erosion (10 - 25 t/h/yr), high risk of erosion (25 - 50 t/h/yr), very high risk of erosion (>50 t/h/yr). The estimate of the calculation with SES useful for long-term planning and the wide area, because of not needing the field data that many only with the analysis from RS and GIS with used five parameters that is aspect, slope gradient, drainage density, soil, and land use land cover. The flat area or nearly steep most erosions that happened in the low erosion area (LEA), in the hills area most erosions in a high erosion area (HEA).

Sub-watersheds were prioritized based on average soil loss and the area falls under various erosion risk classes for conservation planning. The watershed divided into 11 sub watershed for soil conservation planning, that is : Barkala Rao (BR:397.7 ha), Chamarla Rao (CH:481.9 ha), Galr Rao (GR:998.9 ha), Kharonwala Rao (KH:843.9), Kahan Rao (KR:1159.0 ha), Maskara Rao (MR:5317.5 ha), Nawagaon Rao (NW:7651.9 ha), Sarbar Rao (SB:1059.8 ha), Shakumbari Rao (SH:1296.3 ha), Sahansra Thakur (ST=1035.9 ha), and Track Fallows (TF:351.7 ha).

The lower or flatter area LCC fell for the class II and III, on the steep area LCC fell for the class VI, VII, and VIII. Where the class less than IV was allocated for agriculture, for example wheat, sugar cane, orchard, whereas the class more than VI was allocated the permanent crop like in the forest. For recommendation of soil conservation, here are 9 types that is: CT: Contour Trenching, CB: Contour Bunding,

P: Plantation, GB: Grass Bunding, GCD: Gabbion Check Dam, GD: Grade Stabilizer, SCT: Staggered Contour Trenches, PTG: Plantation of Trenches & Grasses.

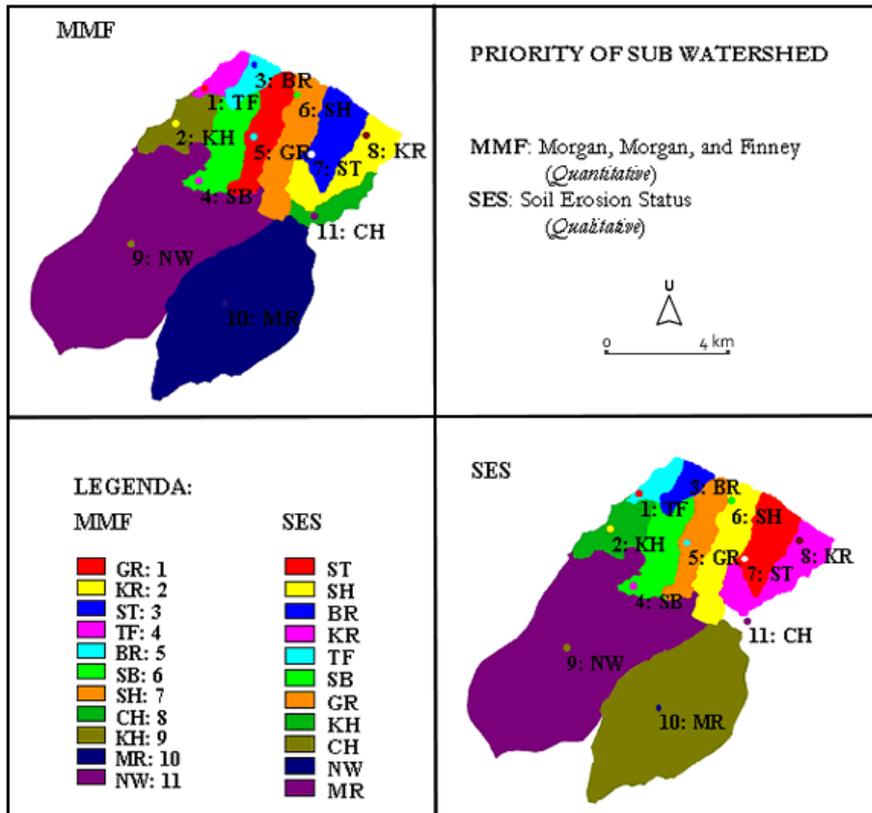
RESULTS AND DISCUSSION

The two calculations of the erosion by means of qualitative SES and quantitative MMF produced similar priorities, that is with the first priority fell to the sub watershed with the small area and steep slope. The larger subwatershed such as NW and MR were accorded least priority (Figure 3).

Comparative calculation of these two methods also could be seen in the graph below (Figure 4). The two graphs had the same trend that is to the large sub watershed like NW and Mr in the last priority, to the small sub watershed in the upper area of Shiwalik Hills fell for the first priority, especially for the steep and narrow areas.

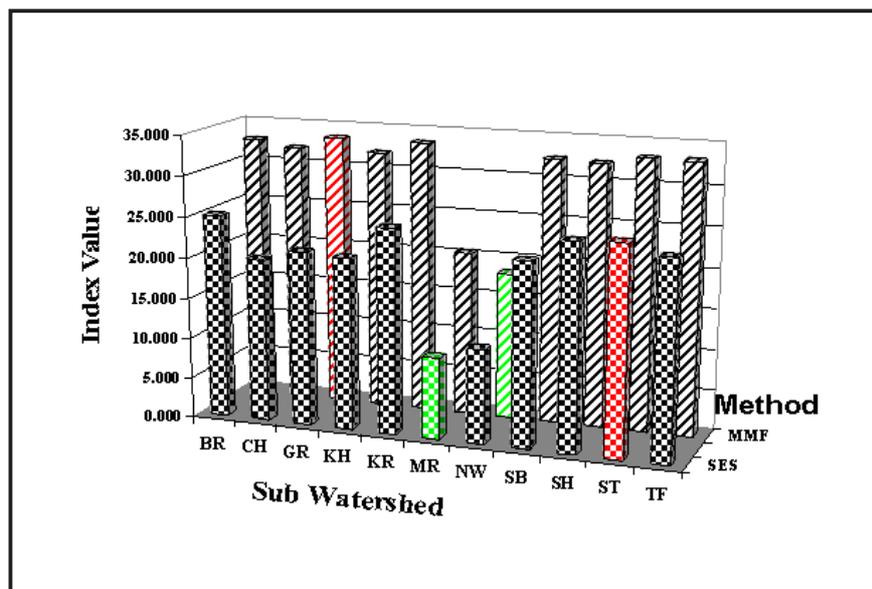
It was found that 1.07 percent area lies in very low risk of erosion (0 - 5 t/h/yr), 5.75 per cent under low risk of erosion (5 - 10 t/h/yr), 33.41 percent under moderate risk of erosion (10 - 25 t/h/yr), 26.0 percent under high risk of erosion (25 - 50 t/h/yr), 2.92 percent under very high risk of erosion (>50 t/h/yr). Nawagaon (NW) and Maskara Rao (MR) nearly steep most erosions that happened in the low erosion area (LEA), BR, SH, ST, and KR high erosion area (HEA). The estimate of the calculation with SES useful for long-term planning and the area. Field data of SES that many only with the analysis from RS and GIS with used five parameters that is aspect, slope gradient, drainage density, soil, and land use land cover.

Deforestation, overgrazing and intensive agriculture due to population pressure,



Source: Result of Analysis

Figure 3. Important Value, Establish by MMF Method and SES



Source: Result of Analysis

Figure 4. Compared Two Method Between MMF (Quantitative) and SES (Qualitative)

have caused accelerated erosion, natural phenomena inducing erosion such as exceptional rains, earthquake, and glacial-lake-outburst flooding (Narayana, Sastry and Patnaik, 1997). For calculation of the erosion qualitative erosion (SES) and quantitative erosion (MMF) the last prioritization of sub watershed is similar. For suggestion soil conservation practices is not only from erosion data both qualitative and quantitative erosion, but we have to considering LCC (Land Capability Classification) and depend to land use and land cover.

Degraded lands/soil erosion : Gullied/ravenous (eroded) land, Undulating uplands with or without scrub, Water logged and marshy land, Land affected by salinity/alkalinity (coastal), Shifting cultivation area, Degraded notified forest land, Degraded pastures/grazing land, Sandy areas (desert/coastal), Mining/industrial wetland, Barren rocky/stony waste/sheet-rock area, Steep sloping areas, and Snow covered/ glacial areas (Shanware, Karale, and Singh, 1985). Integrating satellite imagery with GIS is useful for study in land use change and another parameters (Halim, H.A. et al, 2006). For this study used IRS (India Remote Sensing) high resolution with soft ware ILWIS and GIS with soft ware ARC-GIS and ARC-INFO, for decided prioritization of sub watershed and suggested for soil conservation practices.

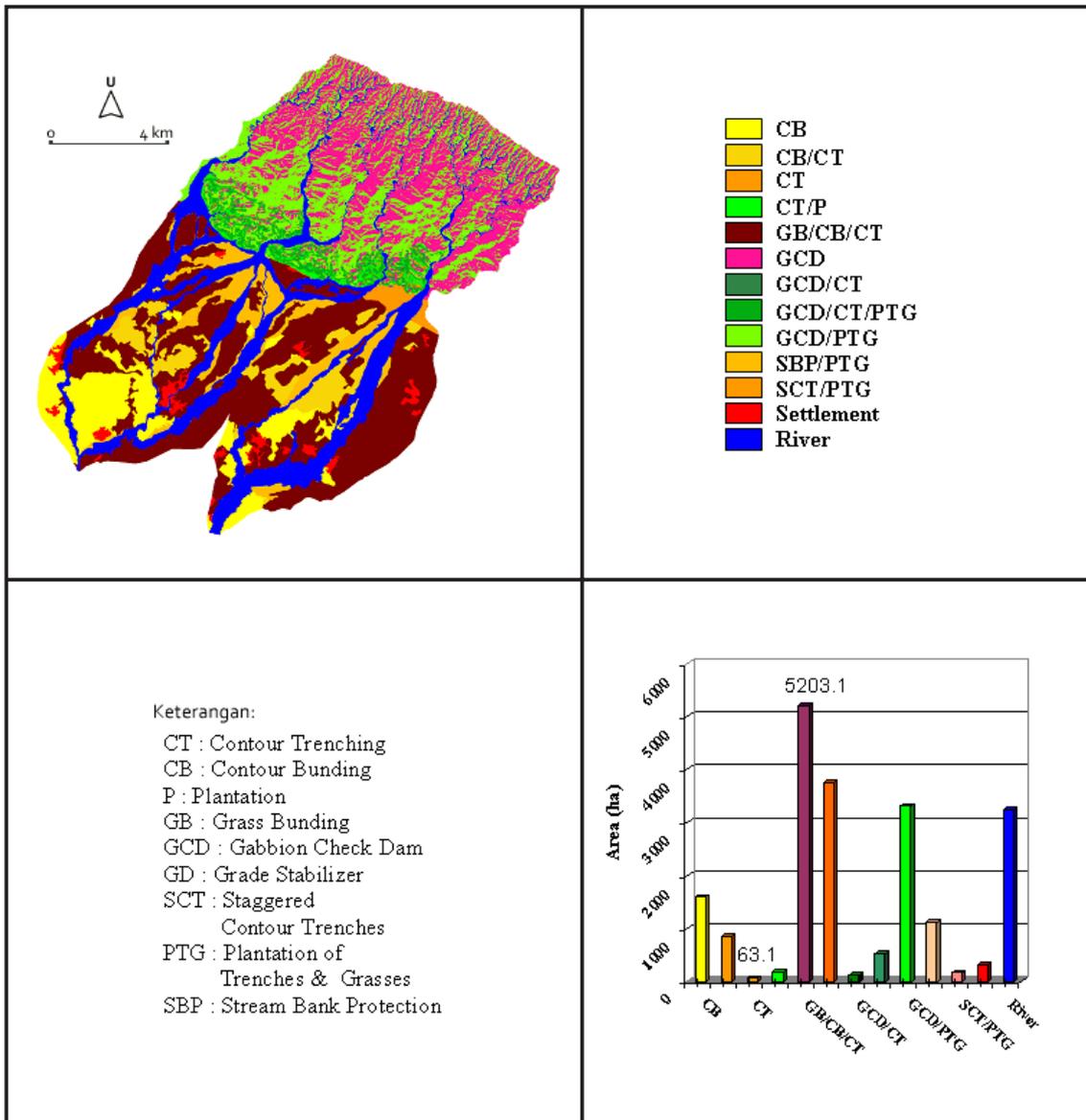
By considering LCC and the kind of land use / land cover the following types of soil conservation practices can be applied, namely (Table 1): CT: Contour Trenching, CB: Contour Bunding, P: Plantation, GB: Grass Bunding, GCD: Gabbion Check Dam, GD: Grade Stabilizer, SCT: Staggered Contour Trenches, PTG: Plantation of Trenches & Grasses. For LCC (Land Capability Class) more than VI, in

terms of suggested conservation practices, for steeper soils (LCC types VI, VII, VIII, ST, RV) it is advisable to use combination of GCD and PTG. Whereas for less steep soils GB and additionally CB and CT, whereas for the LCC class was less than VI most used GB with the combination CB and CT (Figure 5).

CONCLUSIONS

The first priority of the watershed is a catchment with the narrow area and the steep slope. The last priority has decided in the watershed with larger area and flat. The estimate of the calculation with SES useful for long-term planning and the wide area, because of not needing the field data that many only with the analysis from RS and GIS with used five parameter that is aspect, slope gradient, drainage density, soil, and land use land cover. For short-term planning was needed by the calculation in more detail with the accurate data and complete from the field, as well as made use of the calculation quantitatively could be done with the method of MMF model

Morgan, Morgan and Finney (1984) have resulted that the factors land use and soil type are major influenced. study demonstrated the use of remote sensing and GIS in soil erosion risk assessment by deriving soil and vegetation parameters required in the erosion models.. In less steep areas (classes II and III), agricultural allocation is recommended, including wheat, sugarcane, orchard. In steeper areas (classes VI, VII, VIII), land use allocation should be made to maintain forest functions. As conservation measures 9 management intervention are needed, namely CT: Contour Trenching, CB: Contour Bunding, P: Plantation, GB: Grass Bunding, GCD: Gabbion Check Dam,



Source: Result of Analysis

Figure 5. Soil Conservation Based on LCC Map and Land Use Map

GD: Grade Stabilizer, SCT: Staggered Contour Trenches, PTG: Plantation of Trenches & Grasses. Priority land use interventions were elaborated namely GB/CB/CT, GCD/PTG.. In the future, for watershed management, we have to consider social economics conditions such as : population density, well-fare community, and education.

ACKNOWLEDGEMENTS

I acknowledge my gratitude to Director CSSTE-AP (Prof.Dr. Karl Harmsen) and Dean, IIRS Dr. V. K. Dadhwal for granting me permission and providing all the facilities to undertake the project study. With deep sense of gratitude I wish to express my indebtedness to my project guide

Table 1. Area in Hectare and Soil Conservation in Various LCC and Land Use

LAND USE/ LAND COVER	WHV	II	III	IV	VI	VII	VIII	ST	RV
Wheat (High Vig.)	CB	474.4	GB/CB/CT 493.4	GB/CB/CT 0.1				GB/CB/CT	CB/CT
Wheat (Low vigour)	WL.V	CB/CT	GB/CB/CT	GB/CB/CT				GB/CB/CT	CB/CT
Orchard	OC	0.6	2,647.0	80.4				10.2	28.5
Dense Forest	DF	1,118.2	831.9	151.6	GCD	GCD	GCD	0.8	2.8
Open Forest	OF		60.3	137.4	2,578.1	842.7	311.0		15.7
Dense Scrub	DS		191.4	505.9	1,733.6	696.4	225.0	0.1	11.1
Barren/Scrub	BS		166.8	0.2	1.2	0.6	0.1		3.0
Current Fallow	CF	CB/CT	GB/CB/CT	GB/CB/CT	354.6	189.3	109.4	GB/CB/CT	GB/CB/CT
Settlement	ST	ST	ST	436.7				ST	ST
River bed	RB	0.2	0.9	SBP/PTG				325.7	0.4
				551.6				0.04	558.3

Source: Result of Analysis

Dr. Suresh Kumar, Scientist SE, Agriculture and Soils Division, Indian Institute of Remote sensing, Dehra Dun.

I express my heartfelt my special thanks to all the scientists and staff IIRS from their invaluable teaching of my

P.G.Diploma, exceptionally to head and all teacher from Agriculture and Soils Division, Dr.S.K.Saha, Dr.N.R.P.Patel, and Dr.A.Velmurugan. I would like to express my sincere appreciation to my colleagues Thein Swe (Myanmar), Tuul Batbaldan (Mongolia), Madame Kalpana, and Rahul.

REFERENCES

- Ahmad, F., Yahaya, A.S., Farooqi, A., 2006. *Characterization and Geotechnical Properties of Penang Residual Soils with Emphasis on Landslides*. American Journal of Environmental Sciences 2 (4) : 121-128.
- Al-Bastaki, Y.A.L., 2006. *GIS Image Compression and Restoration : A Neural Network Approach*. Info Tech Journal 5 (1) : 88-93.
- Bali, Y.P., 1983. *Problems in Watershed Management in Various River Valley Projects (RVP's)*. Proc. Nat. Symp. On Remote Sensing in Development of Water Resources, SAC, Ahmedabad, 10-14 pp.
- Bhadra S.K., M. Bhavanarayana, and B.C. Panda, 1998. *A Numerical Techniques for Delineating Soil Mapping Units Using Multi Spectral Remote Sensing Data*. India Remote Sensing. J., 26(4). 149-160 P.
- Biswas, S., S. Sudhakar, V.R. Desai. 1999. *Prioritization of Sub-watersheds Based on Morphometric Analysis of Drainage Basin*. A Remote sensing and GIS approach. J. of Ind. Soc. of Rem. Sens., 27 (3) : 155-166.
- Bothale R.V and J.R. Sharma, 2001. *Erosion Response Model For Watershed Prioritization in Bajaj Sagar Sub Catchments*. Regional Remote Sensing Service Centre, Jodhpur. New Delhi, India.
- Bonyad, A., 2005. *Multitemporal Satellite Image Database Classification for Land Cover Inventory Mapping*. Journal of Applied Sciences 5 (5) 834-837, 2005
- Chakraborti, 1993. *Watershed Prioritization*. The State-of-the art. NNRMS Bulletin, ISRO, Bangalore, India.
- Chaudary, B.S., M.L. Manchanda and B.M. Singh, 1992. *Watershed Prioritization and Site Selection for Control Measures*. A Case Study of Mahendergarh district, Haryana. Proc. Nat. Symp. On Remote Sensing for Sustainable Development, 175-180 pp.

- Das, S.N., K.K. Narula, and R. Laurin, 1992. *Run Off Potential Indices of Watershed in Tilaiya Catchment, Bihar (India) Through Use of Remote Sensing and Implementation of GIS*. J. Indian Soc. Rem. Sens. 20 :207-221.
- Halim, A., Jumaat, H.A., Juhari, M.A., Sahibin, A.R., Hamid, H.A. Omar, R.B. et al. 2006. *Detection of Usefulness of Integrating Remotely Sensed Data (Landsat TM) with GIS*. Info Tech Journal 5 (4) 668-672, 2006.
- Harjadi, Beny. 2007. Aplikasi Penginderaan Jauh dan SIG untuk Penetapan Tingkat Kemampuan Penggunaan Lahan (KPL) (Studi Kasus di DAS Nawagoan Maskara, Saharanpur-India). *Forum Geografi Vol. 21, No. 1, Juli 2007*.
- Kirkby, M.J., 1976. *Hydrological Slope Models, The Influence of Climate*. In Derbyshire, E. (ED.), *Geomorphology and climate*. Wiley, p.247-267.
- Kumar S., V.S.Arya, C.Subrahmanyam, J.Prasad, L.M.Pande, 1998. *A Remote Sensing Approach in Appraisal of Soils for Sustainable Land Use Plan, A case study in semi arid region*. Agropedology J, 1998 8(2); 101-106.
- LAI, R. 1998. *Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality*. Critical Review, Plant Science, 17 : 319-464.
- Morgan, R.P.C., D.D.V. Morgan and H.J. Finney, 1984. *A Predictive Model for The Assessment of Soil Erosion Risk*. J. Agric. Engng. Res., 30, 245-253.
- Narayana, V.V.D., G.Sastry, U.S. Patnaik, 1997. *Watershed Management*. Central Soil and Water Conservation Research and Training Institute, Dehra Dun. Div. Indian Council of Agriculture Research Krishi Anusandhan Bhavan, Delhi.
- Palnayandi, M. and V. Nagaratinam. 1997. *Land Use and Land Cover Mapping and Change Detection Using Space Borne Data*. Indian society of Remote Sensing Journal vol. 25(1). 27-33 p.
- Pandey, L.M. and M.D. Shedha, 1981. *Land Suitability and Site Selection for Afforestation of Suitable Species Using Aerial Photographs*. A Case study of Ranikhet area of Kumaun region, Lower Himalayas. Proc. Workshop on "Modern Techniques of Site Identification for Afforestation and Pasture Development", Dehra Dun.
- Ravishankar, H.M., Srivastava, S.K. Saha, P. Kumar, and J. Prasad, 1994. *Watershed Prioritisation Through The Universal Soil Loss Equation Using Digital Satellite Data and an Integrated Approach*. Asian-Pasific, Rem. Sens. J. 6 :101-108.
- Shanware, P.G., R.L. Karale and C.J. Singh, 1985. *Studies on Landuse Pattern and Land Degradation Using Landsat Imagery*. Proc. 6th asian Conference on Rem. Sens. Hyderabad, 92-99 pp.
- Shrestha S.S., Honda K. and Murai S., 1997. *Watershed Prioritization For Soil Conservation Planning With Mos-1 Messr Data, GIS Applications and Socio- Economic Information*

a Case Study of Tinau Watershed, Nepal. Space Technology Application and Research Program Asian Institute of Technology.

- Shrimali, S.S., S.P. Aggarawal, and J.S. Samra. 2001. *Prioritization Erosion Prone areas in Hills Using Remote Sensing and GIS*. A Case Study of the Sukhna lake catchment, Northern India. International J. of Applied Earth Observation and Geoinformation, 3(1) :54-60.
- Singh, R.K., S.P. Aggarwal, U. Turdukulov and V.H. Prasad, 2002. *Prioritization of Bata river basin using remote sensing and GIS techniques*, Ind. J. Soil Cons., 30 (3) ; 200-205.
- Singh, R. K.. 2003. *Soil Conservation Prioritization Based on Erosion Soil Loss and Morphometric Analysis Using Remote Sensing and GIS*. Agriculture and Soil Devison, IIRS, Dept.of space, Govt. of India. Dehradun. Uttranchal.
- Singh, S. 1994. *Remote Sensing in The Evaluation of Morpho-hydrological Characteristics of The Drainage Basin of Jojri Catchment*. J. of Arid Zone, 33(4) : 273-278.
- Spanner, M.A. A.H. Strahler, J.E. Estes, 1982. *Soil Loss Prediction in a GIS Format*. Proc 16th Intern. Symp. Rem. Sens. Environment, Argentina, 89-103 pp.
- Taiwan Roc, 2001. *Soil Conservation Practices for Slopelands*. Cooperative agency for this topic; Dept. Soil and Water Conservation, National Pingtung University of Science and Technology, Pingtung, Taiwan.
- Wishmeier, W.D. and D.D. Smith, 1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses*. A guide to conservation planning. USDA, Agriculture Handbook, No. 537.
- Zezeze, J.L., Reis, E., Garcia, R., Oliveira, S., Rodrigues, M.L., Vieira, G., and Ferreira, A.B., 2004. *Integration of Spatial and Temporal Data for The Definition of Different Landslide Hazard Scenarios in The Area North of Lisbon (Portugal)*. Natural Hazard and Earth System. Sciences 4:133-146.

BIODATA PENULIS

BENY HARJADI, lahir di Surakarta, 7 Maret 1961. Adalah seorang peneliti di Divisi Konservasi Tanah dan Air dengan posisi Peneliti Madya Bidang Pedologi dan Pengindraan Jauh di Balai Penelitian Kebutuhan (BPK) Solo.

DEDE ROHMAT, lahir di Bandung, 3 Juni 1964 adalah Lektor Kepala Jurusan Pendidikan Geografi, Fakultas Pendidikan Ilmu Pengetahuan Sosial (FPIPS), Universitas Pendidikan Indonesia (UPI).

M. BAIQUNI adalah dosen Fakultas Geografi dan Peneliti Pusat Studi Pariwisata, UGM. Memperoleh MA in Development Studies dari Institute of Social Studies, Den Haag dan Doktor dari UGM melalui sandwich program di Utrecht University, Belanda. Ia aktif menulis buku dan jurnal nasional maupun internasional, antara lain menjadi mitra bestari Forum Geografi UMS. Lifetime member SID (Society for International Development) Rome, Fellow LEAD (Leadership for Environment and Development) London. **E-mail: baiquni@lead.or.id.**

SETYAWAN PURNAMA, lahir di Bantul (1966) adalah Lektor Kepala dalam bidang Hidrologi pada Jurusan Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta. Memperoleh gelar Sarjana Geografi dari Fakultas Geografi UGM pada tahun 1990, serta gelar Magister Sains (1996) dan Doktor (2004) dalam bidang Ilmu Pengelolaan Sumber daya Alam dan Lingkungan dari Program Pascasarjana IPB, Bogor. Saat ini menjabat sebagai Kepala Laboratorium Geohidrologi Fakultas Geografi UGM dan Kepala Sub Unit Penelitian dan Pengembangan Teknologi Survei dan Pemetaan Pesisir di Laboratorium Geospasial Pesisir Parangtritis. Nomor HP. 08122964300, Email : setyapurna@geo.ugm.ac.id

TRİYONO, lahir di Sleman, 18 November 1973. Peneliti di Badan Riset Kelautan dan Perikanan Departemen Kelautan. Pendidikan S1 Fakultas Geografi Jurusan Geografi Fisik UGM tahun 1999, S2 Jurusan Magister Perencanaan Wilayah dan Kota Undip tahun 2008. S3 Universite De Dretogne Occidental, Perancis Jurusan Pengelolaan Pesisir.

UGRO HARI MURTIONO, lahir di Klaten, 18 Agustus 1956. Pendidikan S1 Fakultas Geografi Jurusan Hidrologi UGM tahun 1982, S2 Program Studi Geografi Fisik UGM tahun 1997. Counterpart Hidrologi pada Watershed Management Consultant Simalungun Irrigation Project, Pematang Siantar, Sumatera Utara 1989-1991. Consultant Watershed Management Consultant pada proyek yang sama 1991-1993. Assisten Peneliti Madya pada Kelompok Peneliti (Kelti) Hidrologi, Litbang Kebutuhan 1994-2006. Peneliti Muda, Kelti Konservasi Tanah dan Air (KTA) Balai Penelitian Kebutuhan (BPK) Solo, Litbang Kebutuhan tahun 2006-2008. Alamat Kantor : A.Yani Pabelan, Kartasura, PO.Box 295 Solo 57102. E-mail: bpksolo@indo.net.id, Telp/Fax : 0271 716709. Alamat Rumah : Perum.Kebutuhan, Ngabeyan Rt 04/ IV, Kartasura, Sukoharjo 57165, Telp.:0271-2012426 HP: 081548664963, Email : ugrohm@yahoo.com

WAHYUNI APRI ASTUTI, lahir di Blora 5 Oktober 1958. Menyelesaikan studi S1 Pendidikan Geografi di Universitas Sebelas Maret Surakarta (UNS) tahun 1984, S2 pada Program Studi Geografi Manusia UGM Yogyakarta. Saat ini sebagai dosen Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta. Pernah mendapatkan dana penelitian dosen mula dari Dikti pada tahun 1999 dan 2000. Pada tahun 2006 memberikan Hibah Pengajaran Program PHK-A2 Fakultas Geografi UMS. Tahun 2007 mendapatkan dana penelitian Fundamental dari Dikti.

MITRA BESTARI
FORUM GEOGRAFI, Vol. 23, No. 1, Juli 2009

1. Prof. DR. H. Sudarmadji, M.Eng.Sc. (Fakultas Geografi UGM)
2. Prof. DR. H. Suratman Worosuprojo, M.Sc. (Fakultas Geografi UGM)
3. DR. Pramono Hadi, M.Sc. (Fakultas Geografi UGM)

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terbitnya jurnal penelitian Forum Geografi, Universitas Muhammadiyah Surakarta Vol. 23 No. 1 Juli tahun 2009. Dewan penyunting mengucapkan banyak terima kasih kepada Mitra Bestari yang terlibat secara intensif dengan memberikan komentar secara tertulis langsung pada naskah serta memberikan penilaian dengan angka nominal. Mereka yang terlibat dalam peningkatan kualitas Forum Geografi Vol. 23 No. 1 Juli tahun 2009 adalah:

1. Prof. DR. H. Sudarmadji, M.Eng.Sc. (Fakultas Geografi UGM)
2. Prof. DR. H. Suratman Worosuprojo, M.Sc. (Fakultas Geografi UGM)
3. DR. Pramono Hadi, M.Sc. (Fakultas Geografi UGM)

FORMULIR BERLANGGANAN

Forum Geografi diterbitkan sebagai media informasi dan forum pembahasan hasil penelitian bidang Geografi.

Periode terbit : Juli dan Desember
Harga langganan : 1 x terbit Rp 25.000
2 x terbit Rp 40.000

FORM PESANAN : Mohon dikirim FORUM GEOGRAFI
Periode : Juli tahun
Desember tahun

Telah ditransfer ke BPD Jateng Cabang Pembantu
UMS No. Rek. 2-059-00354-9 a.n. Priyono

Pemesan :
Alamat :
.....
Telepon/Fax :

Alamat Redaksi:

Fakultas Geografi Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Tromol Pos I Surakarta 57102, Telp (0271) 717417 Psw 151-153,
Fax: (0271) 715448, E-mail: forumgeografi_ums2008@yahoo.com atau
drspriyono@yahoo.com