KAJIAN PENATAAN RUANG KOTA KUPANG BERBASIS KONSERVASI TANAH DAN AIR DI DAS DENDENG PROPINSI NUSA TENGGARA TIMUR

Djunaedi

Abstrak :

Bentuk penelitian dan kajian ini merupakan studi kasus dengan mengambil lokasi pada DAS Dendeng Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur. Daerah ini memiliki angin beriklim tropis dan kering yang dipengaruhi oleh angin muson dengan suhu udara rata-rata $22,90^{\circ}\text{C} - 32,17^{\circ}\text{C}$, dengan musim hujan yang pendek, bulan Nopember - Januari atau bulan Desember - Februari, suhu udara $22,90^{\circ}\text{C} - 32,17^{\circ}\text{C}$. Musim kering bulan April - Oktober, suhu $29,1^{\circ}\text{C} - 33,4^{\circ}\text{C}$, curah hujan yang terjadi hanya 3 (tiga) bulan, yaitu berkisar bulan Nopember - Januari atau bulan Desember - Februari, dengan jumlah hari hujan berkisar 40 - 110 hari pertahun dan musim kemarau cukup panjang, yaitu 8 - 9 bulan mewarnai ciri kawasan ini. Topografi wilayah studi mempunyai tingkat kemiringan lahan 0 - 30 % dan sebagian kecil kemiringan lahan antara 3 - 8%. Das Oesapa Besarendeng termasuk dalam DAS Benain Noelmina yang menjadi wilayah BPDAS Kupang memiliki luas 4535 ha termasuk prioritas pertama, karena wilayah tersebut mengalami erosi ringan yang sangat luas. Seiring dengan terjadinya perubahan tataguna lahan dari tahun ke tahun, mengakibatkan potensi kerusakan lahan semakin meningkat, untuk itu perlunya dikendalikan dan di rehabilitasi. Adanya permasalahan tersebut di atas diperlukan kajian penataan ruang berbasis konservasi tanah dan air, sehingga diperoleh petunjuk arahan penggunaan lahan, rehabilitasi dan konservasi tanah dengan kemampuan lahan dan fungsi kawasan di DAS Dendeng Kota Kupang. Mengingat sangat kompleksnya erosi dan limpasan permukaan pada DAS Dendeng kota Kupang, perlu adanya alat bantu untuk menganalisa dengan bantuan Sistem Informasi Geografis (SIG) AVSWAT 2000

Sesuai hasil arahan dan analisis laju erosi dan sedimentasi pada Das Oesapa Besar terdapat 5 penempatan bangunan pengendali sedimen (Check dam) yang harus di bangun pada koordinat : $x = 571183,79$, $y = 8867289,22$, $x = 571389,17$, $y = 8874937,98$, $x = 569016,64$, $y = 8873316,16$, $x = 5713779,97$, $y = 8873107,74$ dan $x = 571313,85$, $y = 88669422,77$. Dengan di bangunnya bangunan pengendali tersebut bisa mengurangi laju erosi dan sedimentasi pada Das Oesapa Besar.

Kata Kunci : Petunjuk arahan penggunaan lahan, Check Dam, Mengurangi laju erosi.

1. PENDAHULUAN

Kupang adalah Ibu Kota Propinsi Nusa Tenggara Timur (NTT) yang terletak di Pulau Timor. NTT dikenal dengan sebutan “FLOBA-

MORA” karena terdiri dari: Pulau Flores, Pulau Sumba, Pulau Timor dan Pulau Alor.

Kegiatan industri dan pemukiman di Kota Kupang membawa dampak yang berupa

permasalahan lingkungan, ketersediaan lahan, perubahan fungsi lahan dan tingginya angka migrasi serta menjadikan Kota Kupang menghadapi permasalahan yang kompleks dan menjadi salah satu wilayah yang menjadi prioritas reboisasi dan rehabilitasi DAS.

Sumbangan Depkimpraswil dalam rangka reservasi hutan yang rusak mencapai sekitar 43 juta hektar dan. prioritas reboisasi akan dilakukan di DAS yang kritis, seperti di Jawa, Sumatera, Sulawesi, Kalimantan, NTB dan NTT.

Pembangunan perumahan serta sarana maupun prasarana umum yang terus meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk akan merubah tataguna lahan dengan peralihan fungsi dari lahan yang ada, sehingga pada saat musim hujan akan terjadi banjir/genangan.

DAS Dendeng yang termasuk dalam Wilayah DAS Benanain Noelmina Kupang yang mendapat prioritas pertama mengalami tingkat erosi berat.

Melihat berbagai permasalahan yang terjadi di Indonesia, khususnya di Kota Kupang, maka diperlukan kajian upaya evaluasi dan penataan ruang yang berbasis sumber daya air (konservasi tanah dan air) secara terpadu (*Integrated Water Resources Management*).

Adapun batasan dari penulisan ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Obyek penelitian adalah DAS Dendeng di Kota Kupang.
2. Respon hidrologi yang dikaji adalah limpasan, erosi lahan, tingkat bahaya erosi, dan infiltrasi pada DAS Dendeng Kota Kupang
3. Karakteristik DAS yang dikaji meliputi klimatologi, tata guna lahan, jenis tanah, karakteristik tanah dan topografi.
4. Mengevaluasi Rencana Tata Ruang di Wilayah Kota Kupang yang telah ada.
5. Menyusun rekomendasi tata ruang berbasis konservasi tanah dan air yang terpadu di Kota Kupang.

Berdasarkan uraian diatas diperoleh rumusan masalah sebagai berikut :

1. Berapakah besar debit limpasan permukaan pada DAS Dendeng dengan berbagai kala ulang?
2. Bagaimanakah karakteristik tanah yang berada pada DAS Dendeng?
3. Berapa besarnya laju erosi pada DAS Dendeng?
4. Bagaimanakah Tingkat Bahaya Erosi (TBE) yang terjadi pada DAS Dendeng?
5. Bagaimana kelas kemampuan lahan pada DAS Dendeng?
6. Bagaimanakah Arahan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (ARLKT) pada DAS Dendeng?
7. Berapakah besar laju infiltrasi pada DAS Dendeng?
8. Bagaimanakah perbedaan antara tata ruang yang ada (kondisi existing) dengan tata ruang yang berlandaskan konservasi tanah dan air di Wilayah Kota Kupang?
9. Bagaimanakah hasil penataan ruang yang berlandaskan konservasi tanah dan air di DAS Dendeng, Kota Kupang?

Adapun tujuan yang hendak dicapai dalam studi ini yaitu :

1. Mengetahui perbedaan antara tata ruang yang ada (kondisi eksisting) dengan tata ruang yang berlandaskan konservasi tanah dan air.
2. Memperoleh rekomendasi hasil penataan ruang yang berlandaskan konservasi tanah dan air di DAS Dendeng, Kota Kupang.

Manfaat dari studi ini diharapkan dapat memberikan wawasan dan pengetahuan tentang perencanaan ruang yang berlandaskan konservasi tanah dan air bagi pemerintah daerah Kota Kupang dalam menyusun RTRW Kota Kupang. Selain itu sebagai suatu sistem pendukung dalam pengambilan keputusan (*decision support systems*) dalam penyusunan peraturan daerah, baik bagi eksekutif maupun legislatif.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Daur Hidrologi

Rangkaian peristiwa yang terjadi pada air dari saat jatuh ke bumi hingga menguap untuk kemudian jatuh kembali ke bumi disebut daur atau siklus hidrologi. (Asdak, 2002:7).

Gambar 1. Daur Hidrologi

Pengelolaan DAS

Secara umum Daerah Aliran Sungai (DAS) didefinisikan sebagai suatu wilayah yang dibatasi oleh alam, seperti punggung bukit-bukit atau gunung, maupun batas buatan, seperti jalan atau tanggul, dimana air hujan yang turun di wilayah tersebut memberikan kontribusi aliran ke satu titik kontrol (*outlet*) (Suripin, 2004 : 183).

Pengelolaan DAS adalah suatu proses formulasi dan implementasi kegiatan atau program yang bersifat manipulasi sumber daya alam dan manusia yang terdapat di daerah aliran sungai untuk memperoleh manfaat produksi dan jasa tanpa menyebabkan terjadinya kerusakan sumber daya air dan tanah. Termasuk dalam pengelolaan DAS adalah identifikasi keterkaitan antara tata guna lahan, tanah dan air, dan keterkaitan antara daerah hulu dan hilir suatu DAS (Asdak, 2004 : 5).

Sistem Tata Ruang Berbasis Konservasi Tanah dan Air

Sistem tata ruang merupakan suatu cara untuk mengatur, menata, merencanakan, menjalankan, dan mengontrol wilayah. Di dalam sistem penataan ruang yang berkelanjutan,

variabel ekonomi, sosial dan konservasi sumber daya air dan tanah menjadi satu kesatuan

Syarat batas untuk perencanaan ruang yang berbasis konservasi tanah dan air adalah menggunakan batas Daerah Aliran Sungai (DAS).

Konservasi Tanah

Konservasi tanah adalah usaha-usaha untuk memanfaatkan dan menjaga serta melindungi sumber daya tanah, atau suatu tindakan pengembangan dan proteksi terhadap sumber daya tanah. Pada umumnya konservasi tanah dimaksudkan untuk melindungi tanah dari curahan langsung air hujan, meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah, mengurangi limpasan permukaan, meningkatkan stabilitas agregat tanah (Hardjowigeno, 1995 :163).

Dengan demikian, hal yang sangat penting dalam memanfaatkan sumber daya tanah adalah analisis kemampuan tanah atau lahan tersebut. Berdasarkan analisis kemampuan lahan atau tanah inilah arahan penggunaan lahan dapat diketahui, sehingga konservasi tanah dapat dijadikan sebagai salah satu landasan dalam penataan ruang.

Konservasi Air

Konservasi air merupakan usaha-usaha dalam pemanfaatan serta perlindungan terhadap sumberdaya air.

Memberdayakan prinsip konservasi air dalam perencanaan ruang adalah merupakan cara yang efektif untuk menjaga keadaan alam dan keseimbangan lingkungan.

Dari uraian di atas, maka dapat diartikan bahwa konservasi air adalah upaya untuk memasukkan air ke dalam tanah dalam rangka pengisian air tanah, baik secara alami (*natural recharge*) atau secara buatan (*artificial recharge*).

Model AGWA (*Automated Geospatial Watershed Assessment*) Tool

Metode Kinos, adalah bagian dari extension AGWA yang merupakan alat untuk

menganalisis fenomena hidrologi untuk penelitian tentang daerah pengaliran sungai.

Model ini dirancang untuk mensimulasikan proses infiltrasi, kedalaman limpasan permukaan dan erosi yang terjadi pada suatu DAS dengan skala yang relatif kecil yaitu $\leq 100 \text{ km}^2$ (AGWA *theoretical documentation*, 2000).

Dasar Filosofis Metode Kinos

Dasar pemikiran dari Metode Kinos adalah, apabila suatu lahan menerima hujan dengan intensitas tertentu, maka air yang jatuh ke permukaan tanah sebagian akan terinfiltrasi ke dalam tanah sampai batas kejenuhan tertentu, sedangkan sebagian lagi akan melimpas di atas permukaan tanah atau menggenang, keadaan ini tergantung dari kemampuan tanah dalam menyerap air berdasarkan berbagai faktor yang mempengaruhinya, antara lain kemiringan dari suatu lahan, komponen-komponen penyusun tanah dan sifat-sifat fisik tanah. Dengan memasukkan semua parameter yang diperlukan untuk menjalankan metode Kinos, maka akan diperoleh nilai dari infiltrasi dan limpasan permukaan yang berupa kedalaman infiltrasi dan kedalaman limpasan permukaan yang terjadi. Dasar pemikiran metode Kinos tersebut dapat diilustrasikan sebagaimana berikut:

Gambar 2. Ilustrasi Metode Kinos

Data-data yang diperlukan dalam metode Kinos terdiri dari data utama dan data sementara. Data utama merupakan sekumpulan data yang digunakan untuk membuat sketsa DAS, permukaan tanah, parameterisasi tanah serta untuk menuliskan *file-file* presipitasi yang terdiri dari: *Digital Elevation Model* (DEM), tekstur tanah, permukaan tanah dan parameter hujan, sedangkan data sementara adalah semua

data yang dihasilkan selama berlangsung proses pengerjaan metode Kinos, yaitu pola arah aliran, pola akumulasi aliran, pola jalur arus, batas dan bentuk DAS. Data-data tersebut harus tersimpan dalam bentuk *file* untuk memudahkan dalam proses metode Kinos.

Prosedur Metode Kinos

Prosedur metode Kinos terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. *Digital Elevation Model* (DEM)

Model Permukaan Digital (*Digital Elevation Model* atau juga biasa disebut sebagai *Digital Terrain Model*) adalah salah satu metode pendekatan yang bisa dipakai untuk memodelkan relief permukaan bumi dalam bentuk tiga dimensi. Perkembangan dari teknologi SIG dan model permukaan digital saat ini, telah memungkinkan untuk membantu proses analisis dari suatu fenomena hidrologi, yaitu infiltrasi dan limpasan permukaan. Karakteristik dari infiltrasi dan limpasan permukaan akan sangat ditentukan dari relief atau kondisi dari permukaan suatu lahan.

Penggunaan model permukaan digital dalam proses analisis infiltrasi dan limpasan permukaan, merupakan langkah yang tepat dalam merepresentasikan permukaan relief bumi untuk membantu ketelitian dalam mengidentifikasi kemiringan lahan, arah aliran dan penentuan daerah aliran.

Terdapat beberapa metode untuk mempresentasikan bentuk permukaan bumi menggunakan DEM, diantaranya yaitu model *grid*, model *TIN* (*Triangulated Irregular Network*), dan *Cellular Automata* (CA). Model data *grid/raster* menyajikan permukaan bumi dalam matriks atau piksel-piksel kecil berbentuk bujur sangkar yang mewakili luasan sebenarnya pada permukaan bumi. Setiap piksel dalam model ini memiliki atribut ketinggian (elevasi) masing-masing. *TIN* menyajikan model permukaan sebagai sekumpulan bidang-bidang kecil (*facet*) berbentuk segi tiga yang saling berhubungan

dari titik-titik yang memiliki atribut koordinat horizontal (x,y) dan koordinat vertikal (elevasi). Sedangkan *Cellular Automata (CA)* menyajikan dalam bentuk segitiga, segiempat, atau segienam beraturan.

Dari berbagai metode tersebut yang paling sering digunakan adalah *DEM* dengan model data *grid/raster*, karena dianggap mudah dalam penggunaannya. Model data *grid* memiliki sel-sel yang bentuknya beraturan dan luasan yang sama, sehingga memudahkan dalam penerapan rumus atau perhitungan serta analisa lebih lanjut. Hasil akhir yang diperoleh dari proses ini adalah berupa gambar DAS beserta batas-batas DAS, sub DAS dan jaringan sungai sintetik.

2. Pengolahan Peta Penggunaan Lahan

Pada tahap pengolahan peta penggunaan lahan ini, analisis yang dilakukan adalah :

- Klasifikasi poligon penggunaan lahan; dan
- Pencatatan data dasar peta penggunaan lahan.

Hasil akhir dari tahap analisis ini adalah diperoleh data dasar peta penggunaan lahan untuk tahap pengerjaan metode Kinosel selanjutnya, yaitu berupa catatan data karakteristik DAS dan sub DAS berdasarkan jenis penggunaan lahan yang ada serta peta penyebaran jenis tanah.

3. Pengolahan Peta Jenis Tanah dan Pendefinisian Tekstur Tanah

Pemasukan data yang berhubungan dengan tekstur tanah dan nilai-nilai parameter hidrologi dapat diubah oleh pemakai metode Kinosel jika dianggap perlu. Untuk membuat hubungan tersebut, nilai-nilai dari parameter yang berhubungan dengan masing-masing tekstur tanah tersebut disajikan dalam bentuk tabel, yaitu sebagai *look up* tabel untuk menjalankan metode Kinosel. Tabel tersebut berisi data propertis tanah untuk masing-masing elemen model.

Setiap satu luasan poligon tekstur tanah, memiliki kandungan beberapa komponen tanah yang berbeda. Komponen tersebut dicatat pada suatu bentuk tabel yang diberi

nama *Comp.dbf*. Selanjutnya untuk setiap komponen tersebut memiliki komponen tanah yang berbeda tiap kedalamannya dan dicatat pada suatu bentuk tabel yang dinamakan *Layer.dbf*.

Analisis peta jenis tanah ini, secara umum terdiri dari tahapan pengolahan peta jenis tanah dan pendefinisian tekstur tanah. Perincian tahapan-tahapan tersebut adalah :

a).Klasifikasi poligon tekstur tanah.

Dasar penentuan batas poligon penyebaran tekstur tanah pada lokasi studi, yaitu peta tekstur tanah yang bersumber dari Balai RLKT. Lebih lanjut, pada batas-batas tersebut dilakukan pengidentifika-sian ID, dan identifikasi ini dapat disesuaikan dengan keinginan dan kepentingan pemakai model.

b).Pendefinisian tekstur tanah.

Sebelum dilakukan pendefinisian tekstur tanah terlebih dahulu dilakukan penentuan propertis penyusun tanah di lokasi studi, sehingga dapat diketahui pola penyebaran tekstur tanah di lokasi studi, baik dalam satuan luasan (horisontal) maupun dalam satuan kedalaman (vertikal). Penentuan propertis penyusun tanah di sini berdasarkan dari data tekstur tanah yang telah diperoleh dengan menggunakan segitiga tekstur berikut:

Gambar 3. Diagram Segitiga Kelas Tekstur Tanah

Definisi tekstur tanah pada lokasi studi tersebut, dicatat dalam format tabel dbf, diikuti penomoran ID sesuai batas poligon yang dimaksud.

c). Pencatatan data dasar peta tekstur tanah

Setelah dilakukan klasifikasi poligon tekstur tanah dan pendefinisian tekstur tanah, maka kemudian dilakukan pencatatan data dasar peta tekstur tanah yaitu pencatatan data karakteristik DAS dan sub DAS berdasarkan tekstur tanah di lokasi studi dengan berpedoman pada parameter-parameter yang terdapat pada tabel STATSGO.

d). Parameterisasi tekstur tanah dan penutup lahan

Dua proses pencatatan data dasar di atas (penggunaan lahan dan tekstur tanah), secara khusus dalam Metode Kineros disebut parameterisasi jenis tanah dan penutup lahan (*landcover*). Parameterisasi tekstur tanah dan penutup lahan di sini merupakan hasil tumpang susun (*overlay*) dari peta penggunaan lahan dengan peta tekstur tanah hasil dari pencatatan data dasar peta tekstur tanah di atas.

4. Pengolahan data hidrologi

Pengolahan data hidrologi merupakan proses yang mendasar dalam metode Kineros. Data masukan parameter hujan yang diperlukan dalam model ini adalah ketinggian hujan (mm) atau intensitas hujan (mm jam^{-1}) selama durasi waktu puncak banjir setiap kala ulang. Jenis analisis hidrologi yang termasuk dalam pengolahan data hidrologi metode Kineros, adalah sebagai berikut:

- a). Curah hujan rerata daerah
- b). Curah hujan rancangan
- c). Uji kesesuaian distribusi
- d). Debit Banjir Rancangan

Hasil Metode Kineros

Hasil Metode Kineros adalah tampilan berupa peta zoning dari parameter yang dikehendaki yaitu infiltrasi (mm), limpasan (mm), hasil sedimentasi (kg/ha), aliran puncak

atau peakflow (m^3/dt) dan hasil sedimentasi puncak atau peak sediment discharge (kg/s), sedangkan hasil keluaran yang dipakai dalam studi ini adalah berupa tinggi limpasan permukaan (mm) untuk tiap-tiap Sub DAS, sehingga dapat diketahui perubahan limpasan permukaan akibat perubahan penggunaan lahan dan kawasan resapan air (zona infiltrasi).

3. METODE PENELITIAN

Deskripsi Lokasi Studi

Lokasi studi adalah Daerah Aliran Sungai (DAS) Dendeng di Kota Kupang Propinsi Nusa Tenggara Timur, yang termasuk dalam DAS Benain Noelmina yang menjadi wilayah BP DAS Kupang.

Sungai Dendeng mengalir melewati 4 wilayah kecamatan di Kota Kupang, yaitu Kecamatan Alak, Kecamatan Maulafa, Kecamatan Oebobo, Kecamatan Kelapa Lima dan satu wilayah kecamatan di Kabupaten Kupang yaitu Kecamatan Kupang Barat.

Data-Data yang Dibutuhkan

Data-data yang diperlukan untuk menyelesaikan studi ini adalah :

1. Data curah hujan harian tahun 2000 s.d. 2009 yang bersumber dari BP DAS Benain Noelmina. Data curah hujan digunakan untuk menentukan besarnya intensitas hujan yang terjadi.
2. Peta Daerah Aliran Sungai (DAS) dan jaringan sungai DAS Dendeng yang bersumber dari BP DAS Benain Noelmina. Peta DAS dan jaringan sungai digunakan sebagai alat pembandingan dalam pembuatan batas DAS.
3. Peta stasiun hujan digunakan untuk mengetahui penyebaran stasiun penakar hujan, dan juga untuk mengetahui luas daerah pengaruh dimana letak stasiun hujan tersebut.
4. Peta topografi (kontur) dengan skala 1: 50000 digunakan untuk mengetahui kondisi alam, elevasi, dan arah aliran. Data topografi digunakan untuk membuat peta batas DAS, sub DAS dan Jaringan Sungai Sintetik.

5. Peta penggunaan lahan terbaru DAS Dendeng.
6. Peta jenis tanah, peta solum tanah dan tekstur tanah digunakan untuk analisis infiltrasi.
7. Peta Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Kupang, digunakan sebagai pembanding dari hasil tata ruang berbasis konservasi tanah dan air.

Langkah Penelitian

1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data berupa data spasial dan data non spasial, diubah dari data analog menjadi data *digital*. Data spasial diubah melalui proses digitasi *on screen* dengan menggunakan *software Autodesk Map 2004* sedangkan data non-spasial dibuat dalam bentuk tabel-tabel guna penyusunan suatu sistem *data base* dengan menggunakan fasilitas *Ms Excel*.

2. Digitasi Data Spasial

Digitasi merupakan konversi data spasial yang berupa cetak atau lembaran kertas (*hardcopy*) menjadi format *digital*. Data dari peta sifatnya masih berupa *hardcopy* untuk itu diperlukan mengubah data tersebut menjadi *digital* dengan metode digitasi data. Peralatan yang umum digunakan dalam digitasi data adalah meja *digitizer* dan menggunakan *software*. Pada studi ini, pemindahan peta kertas ke dalam format yang dapat dibaca oleh komputer (peta *digital*) dilakukan melalui proses digitasi *on-screen* menggunakan *software Autodesk Map 2004*, dimana peta yang didigitasi sesuai dengan *layer-layer* atau tema-temanya.

3. Pengeditan Hasil Digitasi

Proses editing merupakan suatu proses perbaikan dan penyempurnaan terhadap peta hasil digitasi, sehingga hasil digitasi tersebut telah bebas dari kesalahan yang diakibatkan pada saat digitasi dan telah siap untuk diolah lebih lanjut. Proses editing dapat dilakukan dengan menggunakan *software Autodesk Map 2004* dan *Arc/Info*. Dalam studi ini proses editing menggunakan *software Autodesk Map 2004*.

4. Pembuatan Coverage dan Pembangunan Topologi

Coverage merupakan istilah yang digunakan untuk menggambarkan *layer* dari informasi di dalam Sistem Informasi Geografis. Data Spasial yang telah didigitasi menggunakan *software Autodesk Map 2004*, maka perlu dibuat *coverage* sesuai dengan *layer* yang telah dibuat di *Autodesk Map 2004*. Pembuatan *coverage* ini dilakukan juga dengan menggunakan *software Autodesk Map 2004*. Topologi adalah konsep atau metode matematis yang digunakan di dalam mendefinisikan hubungan spasial diantara unsur-unsurnya. Dalam studi ini proses pembangunan topologi menggunakan *software Autodesk Map 2004* dengan perintah *Build* dan *Clean*. Perbedaan dari perintah *Build* dan *Clean*, disajikan dalam Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Perbedaan Pembangunan Topologi Build dan Clean

Kemampuan	Build	Clean
Polygon	Ya	Ya
Garis	Ya	Ya
Titik	Ya	Tidak
Memberi nomor label	Ya	Ya
Menghitung pengukuran spasial	Ya	Ya
Membuat perpotongan	Tidak	Ya
Kecepatan pemrosesan	Lebih cepat	Lebih lambat

Sumber : Leo Pantinera, 1999 dalam Marwan, 2003

5. Pemilihan dan Penyusunan Data Atribut

Penyusunan data atribut merupakan kegiatan pengorganisasian data atribut yang berupa angka, teks, atau gambar dalam bentuk tabel-tabel yang rapi dan teratur. Data yang tersedia belum tentu digunakan seluruhnya untuk keperluan penyusunan suatu sistem informasi geografis, oleh karena itu terlebih dahulu dilakukan pemilihan dan pengelompokan data-data yang akan disusun dengan tema sistem informasi geografis yang akan dibuat.

Data pada sistem informasi geografis merupakan data yang tersusun rapi sehingga mudah dalam pengelolaannya. Data-data atribut yang akan dimasukkan harus dikelompokkan menurut jenis dan kesamaan

yang ada, karena data atribut nantinya akan menjadi data tabulasi untuk analisa data. Dalam pemilihan dan penyusunan data atribut dapat menggunakan *software Ms Excel atau ArcView*. Proses pemilihan dan pengelompokan data harus diperhatikan *field-field* yang akan direncanakan dan juga tiap *record* data tabulasi harus mempunyai tanda atau identitas yang berbeda satu dengan lainnya.

6. Penggabungan Data

Coverage yang telah dibuat topologinya, maka *coverage* tersebut telah terstruktur antara *database* dan spasialnya. Atributnya terdiri dari atribut standar dan atribut yang belum mempunyai ID, sehingga harus diberi ID baru. Atribut standar dihubungkan dengan data atribut dengan ID baru untuk mendukung data spasial. Penghubungan dua tabel atribut ini menggunakan dapat dilakukan dengan *software ArcView*. Setelah dilakukan penggabungan data maka *item* standar *coverage* akan bergabung dengan *item* baru yang ditambahkan, sehingga menjadi tabel yang menginformasikan data spasial secara lengkap.

Proses Analisis Model AGWA (*Automated Geospatial Watershed Assessment*) Tool

Model AGWA merupakan salah satu *extension* dari *software ESRI ArcView GIS 3.3*. Model AGWA digunakan untuk menghitung infiltrasi dengan Metode Kineros. Analisis menggunakan Metode Kineros dilakukan dengan cara memasukkan semua data yang diperlukan untuk menjalankan Metode Kineros, baik data atribut berupa data tekstur tanah, data hidrologi maupun data ruang berupa peta topografi, dan peta penggunaan lahan dalam bentuk peta digital.

Adapun tahap-tahap pengerjaannya adalah sebagai berikut: a). pembuatan jaringan sungai sintetis dari DEM, b). pengolahan peta penggunaan lahan, c). pengolahan peta jenis tanah, dan d). pengolahan data hidrologi.

a. Digital Elevation Model (DEM)

Pada penelitian ini, DEM digunakan untuk mengetahui karakteristik fisik daerah yang

berupa kemiringan (*slope*), penentuan arah aliran (*flow direction*), penentuan panjang aliran (*flowlength*) dari hulu sampai hilir yang selanjutnya hasil ekstraksi data tersebut digunakan untuk membuat diagram *time-area*. DEM dihasilkan dari rasterisasi peta kontur dari peta rupa bumi (topografi). Oleh karena itu, kualitas dari DEM ditentukan oleh skala dari peta topografi dan ketelitian dalam proses digitasi dari peta yang digunakan.

Setelah proses digitasi selesai, maka selanjutnya langkah-langkah yang digunakan untuk mengolah DEM adalah sebagai berikut:

- 1). Memasukkan data atribut yang berupa nilai-nilai elevasi dari titik-titik ketinggian,
- 2). Membangkitkan hasil digitasi peta ke dalam bentuk tiga dimensi dalam format (*Triangular Irregular Network*) TIN,
- 3). Melakukan konversi hasil DEM dari format TIN ke dalam format *grid* dengan ukuran 500 m x 500 m,
- 4). Identifikasi anomali atau biasa disebut *sink* dari DEM,
- 5). Manipulasi dari *sink-sink* yang ada,
- 6). Membangkitkan *grid* arah aliran (*flow direction*),
- 7). Membangkitkan *grid* panjang aliran dari *upstream* sampai *outlet* (*flow length*),
- 8). Membangkitkan jaringan sungai sintetis (*stream network*) dari DE, dan
- 9). Koreksi jaringan sungai sintetis DEM dengan jaringan sungai digitasi.

Setelah tahapan di atas selesai, selanjutnya adalah penggambaran DAS lokasi penelitian dan penggambaran sub-sub DAS yang termasuk dalam Sub DAS Dendeng yang nantinya akan menghasilkan gambar berupa peta batas DAS, Sub DAS dan jaringan sungai sintetis.

b. Pengolahan Peta Penggunaan Lahan

Analisis yang dilakukan antara lain:

1. Klasifikasi poligon penggunaan lahan

Sebelum menjalankan metode Kineros, parameter data dari peta penggunaan lahan (*land use*) berupa simbol (penomoran) ID terlebih dahulu disusun sesuai jenis penggu-

naan lahan di lokasi penelitian. Tahap ini disebut dengan tahap pengklasifikasian poligon penggunaan lahan.

2. Pencatatan data dasar peta penggunaan lahan

Setelah dilakukan klasifikasi poligon penggunaan lahan, kemudian dilakukan pencatatan data dasar peta penggunaan lahan, yaitu pencatatan data karakteristik DAS dan sub DAS berdasarkan jenis penggunaan lahan yang ada dengan berpedoman pada parameter-parameter yang terdapat dalam metode Kineros.

Dari kedua analisis tersebut akan diperoleh data dasar peta penggunaan lahan untuk metode Kineros, yaitu berupa catatan data karakteristik DAS dan sub DAS berdasarkan jenis penggunaan lahan yang ada serta peta penyebaran jenis tanah Sub DAS Dendeng.

3. Pengolahan peta jenis tanah dan pendefinisian tekstur tanah

Analisis peta jenis tanah ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu :

- a). Klasifikasi poligon tekstur tanah;
- b). Pendefinisian tekstur tanah;
- c). Pencatatan data dasar peta tekstur tanah;
- d). Parameterisasi tekstur tanah dan penutup lahan.

Hasil akhir dari tahap analisis ini adalah diperoleh data dasar peta jenis tanah untuk tahap pengerjaan. Metode Kineros selanjutnya, yaitu berupa tabel yang berisi data referensi jenis tanah untuk masing-masing elemen model dan nilai-nilai dari parameter yang berhubungan dengan masing-masing tekstur tanah di daerah penelitian yang berfungsi sebagai tabel untuk menjalankan Metode Kineros. Setiap satu luasan poligon tekstur tanah, memiliki kandungan beberapa komponen tanah yang berbeda dan untuk setiap komponen tersebut memiliki komponen tanah yang berbeda tiap kedalamannya, keduanya dicatat dalam bentuk format tabel.

4. Pengolahan data hidrologi

Sebagai data yang mendasar dalam model ini adalah data masukan parameter hujan (*writing precipitation files*). Hasil dari analisis hidrologi tersebut digunakan sebagai data masukan dalam menjalankan Metode Kineros.

Sebagai data masukan parameter hujan pada model ini adalah ketinggian hujan (mm) atau intensitas hujan (mm menit⁻¹) selama durasi waktu puncak banjir setiap kala ulang. Tahapan pengolahan data hidrologi dalam penelitian ini adalah :

- 1). perhitungan curah hujan rerata daerah,
- 2). perhitungan curah hujan rancangan,
- 3). uji kesesuaian distribusi, dan
- 4). debit rancangan Metode Rasional Modifikasi.

Perhitungan curah hujan rerata daerah dalam penelitian ini menggunakan metode Poligon Thiessen, hal ini dikarenakan penyebaran stasiun hujan yang tidak merata, sehingga cara ini dapat memberikan hasil yang lebih baik terhadap koreksi luas.

Perhitungan curah hujan rancangan dalam penelitian ini menggunakan metode Log Pearson tipe III dengan pertimbangan karena metode ini dapat dipakai untuk segala macam sebaran data.

Uji kesesuaian distribusi bertujuan untuk mengetahui kesesuaian data yang tersedia dengan distribusi yang dipakai. Dalam penelitian ini, metode yang dipakai adalah uji Smirnov-Kolmogorof dan uji Chi Square.

Analisis debit banjir rancangan di sini dimaksudkan untuk memperoleh nilai waktu puncak banjir di DAS Dendeng.

Analisis Kelas Kemampuan Lahan

Kemampuan lahan dapat diartikan sebagai kemampuan suatu lahan untuk digunakan sebagai usaha pertanian yang paling intensif, termasuk penentuan tindakan pengelolannya, tanpa menyebabkan lahan menjadi rusak.

Analisis kemampuan lahan ini dimaksudkan untuk memilih kawasan-kawasan yang harus

dilindungi dan/atau kawasan mana yang bisa digunakan untuk budidaya. Penilaian kemampuan suatu lahan dilakukan dengan cara mengklasifikasi atau mengelompokkan sifat-sifat dari lahan tersebut, khususnya faktor pembatas lahan (kualitas lahan). Klasifikasi kemampuan lahan dibagi dalam tiga tingkatan, yaitu:

- a. Kelas Kemampuan Penggunaan Lahan – mengungkapkan *total derajat pembatas* (penghambat) dari nol atau dapat diabaikan pada kelas I sampai ekstrem pada kelas VIII. Kelas Kemampuan Penggunaan Lahan dituliskan dalam angka Romawi, misalnya Kelas Kemampuan Penggunaan Lahan VI.
- b. Sub Kelas Kemampuan Penggunaan Lahan – menunjukkan jenis pembatas utama yang meliputi tekstur (t), lereng (l), drainase (d), kedalaman efektif (k), tingkat erosi (e), batu (b) dan bahaya banjir (O). Contoh sub Kelas Vb2O4.
- c. Satuan Pengelolaan Kemampuan Penggunaan Lahan – pengelompokan beberapa *satuan peta lahan yang mempunyai kemiripan respon terhadap pengelolaan yang sama, mempunyai hasil yang potensial yang hampir sama, dan memerlukan upaya konservasi tanah yang sama*. Pengelolaan yang dimaksud disesuaikan untuk kesamaan jenis tanaman, padang rumput dan spesies hutan. Sebagai contoh pemberian nama dalam Satuan Pengelolaan Kemampuan Penggunaan Lahan adalah Vie1, Vie2 dst.

Dalam konsep ini tanah dikelompokkan ke dalam kelas I sampai VIII, dimana resiko kerusakan dan besarnya faktor penghambat bertambah dengan semakin tingginya kelas kemampuan lahan. Tanah kelas I sampai IV merupakan lahan yang sesuai untuk usaha pertanian, sedang kelas V sampai VIII tidak sesuai untuk usaha pertanian atau memerlukan biaya tinggi untuk pengelolaannya.

Klasifikasi kemampuan lahan ini dilakukan dengan memperhatikan faktor-faktor pembatas lahannya. Faktor-faktor klasifikasi pada kategori kelas adalah faktor penghambat yang bersifat telah atau sulit untuk dapat diubah.

Faktor-faktor yang dimaksud adalah lereng (l), tekstur tanah (t), permeabilitas (p), kedalaman efektif (k), drainase (d), serta erosi (e) (berdasarkan sistem USDA).

Analisis Fungsi Kawasan

Fungsi kawasan ditetapkan berdasarkan kriteria dan tata cara penetapan hutan lindung dan hutan produksi yang adalah berkaitan dengan karakteristik fisik DAS berikut ini :

- a). Kemiringan lereng,
- b). Jenis tanah menurut kepekaannya terhadap erosi, dan
- c). Curah hujan harian rata-rata.

Penetapan penggunaan lahan setiap satuan lahan ke dalam suatu kawasan fungsional dilakukan dengan menjumlahkan nilai skor ketiga faktor tersebut di atas dengan mempertimbangkan keadaan setempat. Dengan cara demikian, dapat dihasilkan kawasan lindung, kawasan penyangga, dan kawasan budidaya.

Penataan Ruang Berbasis Konservasi Tanah dan Air

Tata ruang disusun dengan bantuan sistem informasi geografi (SIG). Dalam perencanaan ruang, parameter-parameter sebagai fungsi dari tataruang ditampilkan dalam bentuk data spasial dan atribut. Penyusunan tata ruang menggunakan analisis spasial tumpang susun (*overlay*) yang merupakan proses penggabungan dua buah peta untuk membentuk peta baru dengan tiga perintah, yaitu:

- 1). *Union* : Tumpang susun poligon dan menyimpan semua area dari kedua peta,
- 2). *Identity* : Tumpang susun titik, garis, atau poligon pada poligon dan menyimpan semua jenis input, dan
- 3). *Intersect* : Tumpang susun titik, garis, atau poligon pada poligon tetapi hanya menyimpan bagian input yang berada dalam tumpang susun.

Tumpang susun pertama adalah antara peta konservasi tanah dengan peta penggunaan lahan eksisting, hasilnya ditumpang susunkan dengan

peta konservasi air, sehingga didapatkan peta tata ruang berbasis konservasi tanah dan air.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggambaran DAS Dendeng

Penggambaran peta batas DAS Dendeng menggunakan *software ArcView GIS 3.3* dan *AVSWAT (ArcView Soil and Water Assessment Tool) 2000*. Penggambaran dilakukan dengan membangkitkan *DEM (Digital Elevation Model)* dari peta topografi yang berbentuk garis kontur yang diubah kedalam bentuk *cell (grid)*. Penggunaan model permukaan digital dalam proses analisis limpasan permukaan yang mempresentasikan relief permukaan bumi akan membantu ketelitian dalam mengidentifikasikan kemiringan lahan, arah aliran, akumulasi aliran, panjang lintasan aliran dan penentuan daerah pengaliran. Hasil dari penggambaran DAS Dendeng dapat dilihat pada gambar 4 dan gambar 5, dan data atributnya Tabel 2 dan Tabel 3.

Gambar 4. DAS Dendeng

Gambar 5. Sub-Sub. DAS Dendeng

Tabel 2. Data Atribut Sub DAS Hasil dari Pembuatan Batas DAS dengan menggunakan DEM

Subbasin	Luas Subbasin (ha)	Streamreach Length Panjang Lereng [LEN1] (m)	Subbasin Slope [SLO1] (%)	Stream reach Slope [SLL] (%)	Stream reach Width [WID1] (m)	Streamreach Depth [DEP1] (m)	Elevation of Subbasin Centroid [ELEV] (m)
1	137.00	2180.1062	10.9054	36.5954	1.5718	0.1483	12.50
2	55.88	1046.3410	7.0019	60.9756	0.9201	0.1038	76.27
3	0.63	111.7640	33.3521	0.0500	0.0614	0.0171	41.33
4	278.25	4638.9220	8.9802	60.9756	2.3872	0.1960	106.27
5	129.19	2463.7311	8.1141	60.9756	1.5169	0.1448	66.32
6	334.13	5428.3558	5.0738	60.9756	2.6752	0.2114	192.71
7	316.00	5876.5960	6.5441	60.9756	2.5746	0.2061	166.72
8	20.13	1236.6315	4.5141	91.4634	0.4930	0.0685	148.16
9	247.75	3415.7173	11.3281	36.5954	2.2314	0.1073	182.49
10	177.31	2878.7067	7.8098	60.9756	1.8450	0.1650	182.50
11	116.31	1895.2325	8.6378	60.9756	1.4292	0.1302	168.30
12	180.38	3004.2043	10.8069	36.5954	1.8378	0.1646	295.04
13	193.50	3578.7546	6.8880	60.9756	1.9184	0.1694	218.47
14	57.19	1913.0084	8.9474	60.9756	0.9429	0.1055	251.23
15	43.75	1826.3190	6.9395	60.9756	0.7996	0.0937	250.00
16	141.69	2998.2446	5.2502	60.9756	1.5900	0.1494	240.55
17	81.56	2287.1964	5.5303	60.9756	1.1426	0.1199	255.52
18	117.81	2113.5218	5.2128	60.9756	1.4247	0.1389	313.18
19	137.50	3010.2712	4.8399	91.4634	1.5845	0.1491	333.26
20	366.44	5402.3203	4.7846	91.4634	2.8150	0.2187	262.50
21	21.31	1047.9380	6.9251	60.9756	0.5111	0.0701	237.50
22	282.00	4071.6153	6.8646	60.9756	2.4192	0.1977	338.49
23	308.75	5228.1725	8.4726	60.9756	2.5403	0.2042	387.85
24	90.06	1737.6881	8.6397	60.9756	1.2115	0.1247	262.50
25	117.44	2088.0080	5.0848	60.9756	1.4286	0.1386	283.16
26	55.06	1542.6414	3.0613	91.4634	0.9042	0.1026	351.05
27	148.69	2767.8168	6.6253	60.9756	1.6445	0.1528	406.27
28	4.25	373.4696	3.9394	91.4634	0.1939	0.0368	332.37
29	59.56	1590.9882	3.3731	91.4634	0.9554	0.1064	349.67
30	246.56	3089.2389	8.8128	60.9756	2.2169	0.1885	383.38
31	60.94	1825.0446	7.8795	60.9756	1.0139	0.1107	354.67
Jumlah	4535						

Sumber : Analisa Spatial ArcView GIS 3.3

Tabel 3. Data Atribut Sungai Hasil dari Pembuatan Batas DAS dengan menggunakan DEM

Subbasin	Luas Subbasin (ha)	Luas Area Cakupan [AREAC] (ha)	Panjang Sungai [LEN2] (m)	Slope Sungai [SLO2] (%)	Elevasi Minimum Sungai [MINEL] (m)	Elevasi Maksimum Sungai [MAXEL] (m)
1	137	4564	1592.500	2.26	1.97	37.93
2	56	57	380.632	6.58	37.50	62.50
3	1	4368	70.717	1.28	37.50	38.40
4	278	1654	3680.335	1.56	37.50	93.37
5	129	2714	2108.481	1.78	37.50	75.00
6	334	337	4302.705	3.49	75.00	225.00
7	316	2245	4094.219	2.96	75.00	222.81
8	20	320	526.118	8.42	93.37	137.50
9	248	1054	3076.131	1.84	93.37	150.00
10	177	182	1642.915	1.02	137.50	154.23
11	118	119	477.297	0.10	137.50	137.50
12	180	180	1688.074	3.71	150.00	212.50
13	194	625	1886.786	3.46	150.00	215.17
14	57	1626	957.877	0.85	222.81	230.91
15	44	303	1309.924	3.99	222.81	275.00
16	142	349	2049.075	2.31	215.17	262.50
17	82	82	334.244	2.94	215.17	225.00
18	118	118	714.509	2.55	275.00	293.22
19	138	141	1574.700	3.20	275.00	325.30
20	366	367	3398.120	1.79	226.76	287.50
21	21	1200	780.430	1.60	225.00	237.50
22	282	285	2906.567	3.87	237.50	350.00
23	309	893	4451.733	2.25	237.50	337.50
24	90	90	694.541	1.58	262.50	273.47
25	117	117	1043.793	1.20	262.50	275.00
26	55	55	273.744	0.10	350.00	350.00
27	149	150	1078.251	4.21	350.00	395.35
28	4	517	251.947	3.68	327.12	336.40
29	60	266	882.948	1.54	336.40	350.00
30	247	247	1752.691	1.66	336.40	365.51
31	67	67	575.015	3.65	327.12	348.11
Jumlah	4535					

Sumber : Analisa Spatial ArcView GIS 3.3

Analisis Hidrologi

Curah Hujan Maksimum Harian Rerata Daerah

Pada lokasi studi terdapat tiga stasiun hujan yang berpengaruh terhadap wilayah DAS Dendeng, yaitu Stasiun Hujan Batuliti, Stasiun Hujan Penfui dan Stasiun Hujan Oiletsala. Data hujan yang digunakan dalam analisa tersebut meliputi data curah hujan harian dengan periode pengamatan tahun 2000 sampai dengan tahun 2009. Dari hasil analisis Stasiun Hujan Penfui memiliki luas pengaru sebesar 2.804,797 Ha (61,80 %), Stasiun Batuliti 901,835 Ha (19,90 %), dan Stasiun Oiletsala 828,368 Ha (18,30 %). Adapun hasil pembuatan Poligon Thiessen DAS Dendeng disajikan Gambar 6. Sedangkan hasil perhitungan curah hujan maksimum harian rerata daerah dapat dilihat pada Tabel 4.

Gambar 6. Peta Piligon Thiessen DAS Dendeng

Tabel 4. Curah Hujan Maksimum Harian Rerata Daerah

No.	Tahun	Koefisien Thiessen			CH Rerata
		St Batuliti	St Penfui	St Oiletsala	
		0.199	0.618	0.183	
1	2000	168	113.5	118	125.169
2	2001	87.5	120.1	102	110.300
3	2002	36	114.5	30	83.415
4	2003	169	145.4	160	152.768
5	2004	86.9	113.2	90	103.721
6	2005	127	67.8	190	101.943
7	2006	165	97.8	60	104.255
8	2007	93.5	110	50	95.737
9	2008	149	115	120	122.681
10	2009	105	130	128	124.659

Sumber : Analisa Spasial ArcView GIS 3.3

Dalam studi ini, metode analisis hujan rancangan yang digunakan adalah metode Log Pearson Tipe III dan perhitungan hujan rancangan dengan berbagai kala ulang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Distribusi Log Pearson Tipe III

No	Tahun	X_i (mm)	P (%)	Log X_i	Log $X_i - \log X$	$(\log X_i - \log X)^2$	$(\log X_i - \log X)^3$
1	2002	83.42	9.09	1.92	-0.12	0.0154	-0.001910
2	2007	95.74	18.18	1.98	-0.06	0.0041	-0.000265
3	2005	101.94	27.27	2.01	-0.04	0.0014	-0.000051
4	2004	103.72	36.36	2.02	-0.03	0.0009	-0.000026
5	2006	104.26	45.45	2.02	-0.03	0.0007	-0.000020
6	2001	110.30	54.55	2.04	0.00	0.0000	0.000000
7	2008	122.68	63.64	2.09	0.04	0.0019	0.000062
8	2009	124.66	72.73	2.10	0.05	0.0025	0.000128
9	2000	125.17	81.82	2.10	0.05	0.0027	0.000142
10	2003	152.77	90.91	2.18	0.14	0.0192	0.002569
Jumlah		1124.65		20.45		0.0489	0.000749
Rerata		112.46		2.05			
Stand. Dev		14.22		0.07			
Koef. Kemencengan (Cs)				0.26			

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 6. Perhitungan Hujan Rancangan dengan Berbagai Kala Ulang

No	T_r (tahun)	R rata-rata (Log)	Std Deviasi (log)	Kemencengan (Cs)	Peluang (%)	K	Curah Hujan Rancangan Log	Curah Hujan Rancangan mm
[1]	[2]	[3]	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]
1	1.01	2.05	0.07	0.26	99	-2.134	1.89	77.28
2	2	2.05	0.07	0.26	50	-0.043	2.04	110.19
3	5	2.05	0.07	0.26	20	0.826	2.11	127.71
4	10	2.05	0.07	0.26	10	1.306	2.14	138.54
5	25	2.05	0.07	0.26	4	1.837	2.18	151.60
6	50	2.05	0.07	0.26	2	2.190	2.21	160.97
7	100	2.05	0.07	0.26	1	2.515	2.23	170.10
8	1000	2.05	0.07	0.26	0.1	3.464	2.30	199.81

Sumber : Hasil Analisa

Analisis Debit Limpasan

Di antara beberapa hidrograf sintetik yang biasa digunakan, adalah hidrograf satuan sintetik Nakayasu yang mempunyai tahapan pengerjaan sebagai berikut:

- Menghitung intensitas hujan jam-jaman dan curah hujan jam-jaman menggunakan persamaan Mononobe berikut:

$$RT = \left(\frac{R_{24}}{t} \right) \times \left(\frac{t}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2 - 19)$$

$$rT = (T \times RT) - (T - 1) \times R(T - 1) \quad (2 - 20)$$

dengan:

RT = intensitas hujan rata-rata jam-jaman (mm jam⁻¹)

rT = curah hujan jam-jaman (mm)

R₂₄ = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

t = lama hujan (jam)

T = jam ke-T

– Menghitung ordinat hidrograf banjir dengan persamaan berikut:

$$Qp = \frac{CAR_0}{3,6(0,3Tp + T_{0,3})} \quad (2 - 21)$$

dengan:

Qp = debit puncak banjir (m³ detik⁻¹)

R₀ = hujan satuan (mm)

tr = 0,5 tg sampai tg

Tp = tenggang waktu permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

= tg + 0,8 tr

tg = waktu konsentrasi (jam)

= 0,21 L^{0,7} (jika L < 15 km), dan

= 0,4 + 0,058 L (jika L > 15 km)

= panjang alur sungai (km)

T_{0,3} = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)

= α tg

C = koefisien pengaliran

α = koefisien yang bergantung karakteristik DAS

= 2 untuk daerah pengaliran biasa

= 1,5 untuk bagian hidrograf yang naik dengan lambat dan menurun dengan cepat

= 3 untuk bagian hidrograf yang naik dengan cepat dan menurun dengan lambat

A = luas DAS (km²)

Nakayasu membagi bentuk hidrograf satuan dalam dua bagian, yaitu lengkung naik dan lengkung turun. Pada bagian lengkung naik, besarnya nilai hidrograf satuan dihitung dengan persamaan berikut:

$$Qa = Qp \left(\frac{t}{Tp} \right)^{2,4}$$

dengan:

Qa = limpasan sebelum mencapai debit puncak (m³ detik⁻¹)

t = waktu (jam)

Pada bagian lengkung turun yang terdiri dari tiga bagian, persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

– Tp < t < (Tp + T_{0,3})

$$Qd_1 = Qp \times 0,3 \left(\frac{t - Tp}{T_{0,3}} \right)$$

– (Tp + T_{0,3}) < t < (Tp + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})

$$Qd_2 = Qp \times 0,3 \left(\frac{t - Tp + 0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}} \right)$$

– t > (Tp + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})

$$Qd_3 = Qp \times 0,3 \left(\frac{t - Tp + 1,5T_{0,3}}{2T_{0,3}} \right)$$

dengan:

Qd = debit (m³ detik⁻¹)

t = satuan waktu (jam)

Rekapitulasi hasil perhitungan debit limpasan permukaan disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Debit Limpasan DAS Dendeng

No	Sub-sub DAS	Luas	Q	Q	Q	Q	Q
		Sub-sub DAS	Kala Ulang	Kala Ulang	Kala Ulang	Kala Ulang	Kala Ulang
		(Ha)	1.01 Tahun	2 Tahun	5 Tahun	10 Tahun	25 Tahun
1	1	137.00	1.044862	1.489899	1.726841	1.873207	2.049774
2	2	55.88	0.257064	0.366553	0.424849	0.460859	0.504300
3	3	0.63	0.024137	0.034419	0.039891	0.043273	0.047352
4	4	278.25	0.853680	1.217287	1.410873	1.530459	1.674718
5	5	129.19	0.681345	0.971551	1.126059	1.221501	1.336638
6	6	334.13	0.595058	0.848511	0.983450	1.066808	1.167363
7	7	316.00	0.703236	1.002768	1.162238	1.260747	1.379585
8	8	20.13	0.143255	0.204272	0.236758	0.256825	0.281034
9	9	247.75	0.608779	0.868075	1.006126	1.091404	1.194274

10	10	177.31	0.429781	0.612839	0.710302	0.770507	0.843133
11	11	118.31	0.395006	0.563252	0.652825	0.708159	0.774911
12	12	180.38	0.527556	0.752259	0.871888	0.945790	1.034939
13	13	193.50	0.424642	0.605509	0.701805	0.761289	0.833049
14	14	57.19	0.182345	0.260008	0.301358	0.326900	0.357714
15	15	43.75	0.128423	0.183122	0.212244	0.230234	0.251936
16	16	141.69	0.294809	0.420092	0.486899	0.528168	0.577954
17	17	81.56	0.231057	0.329472	0.381868	0.414235	0.453280
18	18	117.81	0.305246	0.435259	0.504478	0.547237	0.598819
19	19	137.50	0.270918	0.386312	0.447747	0.485697	0.531479
20	20	366.44	0.482997	0.688716	0.798246	0.865902	0.947524
21	21	21.31	0.090839	0.129531	0.150129	0.162854	0.178205
22	22	282.00	0.507471	0.723616	0.838690	0.909777	0.995533
23	23	308.75	0.502999	0.717243	0.831307	0.901767	0.986769
24	24	90.06	0.307975	0.439151	0.508991	0.552132	0.604176
25	25	117.44	0.321402	0.458297	0.531180	0.576203	0.630515
26	26	55.06	0.153842	0.219083	0.253924	0.275446	0.301410
27	27	148.69	0.350243	0.499421	0.578845	0.627908	0.687094
28	28	4.25	0.031316	0.044655	0.051756	0.056143	0.061435
29	29	59.56	0.165940	0.236620	0.274248	0.297493	0.325536
30	30	246.56	0.555889	0.792659	0.918717	0.996586	1.090524
31	31	66.94	0.219859	0.313504	0.363361	0.394159	0.431312

Sumber : Analisa Spasial ArcView GIS 3.3

Analisa Laju Erosi Metode MUSLE dan Penggambaran Peta Erosi DAS Dendeng

Penentuan besarnya laju erosi dengan cara analisa spasial tumpang susun (*overlay*) dengan menggunakan perangkat lunak *ArcView GIS 3.3*. Analisa ini dilakukan dengan mengaktifkan *extension Geoprocessing* pada perangkat lunak *ArcView GIS 3.3*. Data-data yang digunakan adalah :

- peta indeks erosivitas limpasan permukaan (Rw),
- erodibilitas tanah (K),
- kemiringan dan panjang lereng (LS).
- peta penggunaan lahan (CP).

Hasil rekap perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 8. Tabel Laju Erosi Metode MUSLE di DAS Dendeng.

Tabel 8. Laju Erosi Metode MUSLE di DAS Dendeng

No	Sub-sub DAS	Luas (Ha)	A (Ton/ha/tahun)
1	1	137.000	3576.082
2	2	55.875	678.154
3	3	0.625	333.875
4	4	278.250	5636.406
5	5	129.188	1311.179
6	6	334.125	1752.763
7	7	316.000	1943.368
8	8	20.125	347.506
9	9	247.750	9103.523
10	10	177.313	2326.581
11	11	118.313	2362.359
12	12	180.375	12858.374
13	13	193.500	2484.371
14	14	57.188	1348.249
15	15	43.750	35.732

16	16	141.687	1300.055
17	17	81.563	66.912
18	18	117.812	71.831
19	19	137.500	185.119
20	20	366.438	2160.008
21	21	21.313	606.385
22	22	282.000	1864.882
23	23	308.750	10550.727
24	24	90.063	165.346
25	25	117.438	349.875
26	26	55.062	41.819
27	27	148.687	29.962
28	28	4.250	3.514
29	29	59.562	42.838
30	30	246.563	338.916
31	31	66.938	9.042
Jumlah		4535.00	63885.749

Sumber : Analisa Spasial ArcView GIS 3.3

Jika terdapat satu jenis penggunaan lahan maka nilai laju erosinya juga sama, namun jika penggunaan lahan tersebut memiliki beberapa kedalaman solum tanah yang berbeda maka tingkat bahaya erosinya juga akan berbeda. Analisa tingkat bahaya erosi ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Prosentase Tingkat Bahaya Erosi DAS Dendeng

No	Tingkat Bahaya Erosi	Luas (m ²)	Luas (Ha)	Prosentase (%)
1	Sangat Ringan	2624561	262.46	5.79
2	Ringan	8197472	819.75	18.08
3	Sedang	307501	30.75	0.68
4	Berat	17710189	1771.02	39.05
5	Sangat Berat	16510276	1651.03	36.41
Jumlah		45350000	4535.00	100.00

Rekomendasi ARLKT (Arahan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah)

Mengacu pada rencana pengembangan wilayah Kota Kupang serta didasarkan pada perkembangan fisik dan lingkungan pada kawasan DAS Dendeng, maka dapat ditentukan arahan pemanfaatan DAS Dendeng dimana DAS tersebut mempunyai peranan yang sangat penting dan membawa dampak secara langsung terutama pada daerah yang dilalui sungai serta Kawasan Teluk Kupang sebagai outlet dari DAS Dendeng. Sebagai dasar pertimbangan dalam mempersiapkan arahan pemanfaatan lahan pada DAS Dendeng, perlu diperhatikan berbagai kriteria untuk menetapkan Kawasan Lindung, Kawasan Penyangga dan Kawasan Budidaya

Tanaman Tahunan serta Kawasan Budidaya Tanaman Semusim/permukiman. Parameter yang dibutuhkan dalam penentuan arahan penggunaan lahan adalah dari data kemiringan lereng, data jenis tanah serta kepekaannya terhadap erosi, serta intensitas hujan harian rata-rata.

Cakupan wilayah yang dijadikan Kawasan Lindung, Kawasan Penyangga, Kawasan Budidaya Tanaman Tahunan dan Kawasan Budidaya Tanaman Semusim/Pemukiman dapat dilihat pada Gambar 4.28. Sedangkan penentuan skor kemiringan lereng, jenis tanah, intensitas hujan rerata, dapat dilihat pada Tabel 10 sampai dengan Tabel 11.

Hasil dari rekomendasi Arahan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (RLKT) yang telah dibuat pada sub bab sebelumnya diperoleh bahwa 16,72 % dari luas DAS Dendeng merupakan kawasan penyangga, sedangkan sisanya merupakan kawasan budidaya tanaman tahunan dan kawasan budidaya semusim / permukiman. Berikut ini merupakan kriteria yang harus dipenuhi dari ketiga kawasan tersebut (Asdak, 2004 : 417) :

a). Kawasan Penyangga

Keadaan fisik kawasan memungkinkan untuk dilakukan budidaya pertanian secara ekonomis dan tidak merugikan dari segi ekologi/lingkungan hidup. Alternatif kegiatan vegetatif : Hutan, hutan/kebun rakyat, Agroforestry, tanaman dalam jalur, tanaman dalam kontur, tanaman campuran. Alternatif kegiatan mekanis : Dam pengendali, teras, saluran pembuangan.

b). Kawasan Budidaya Tanaman Tahunan

Kawasan yang sesuai untuk dikembangkan usaha tani tanaman tahunan (tanaman perkebunan, tanaman industri), selain itu areal tersebut harus memenuhi kriteria umum untuk kawasan penyangga.

Alternatif kegiatan vegetatif : Reboisasi, perkebunan, hutan/kebun rakyat, Agroforestry. Alternatif kegiatan mekanis : Dam pengendali / penahan trucus, teras, saluran pembuangan.

• Kawasan Budidaya Tanaman Semusim / Permukiman

Kawasan yang sesuai untuk dikembangkan usaha tani tanaman semusim serta terletak di tanah milik, tanah adat, dan tanah negara. Alternatif kegiatan vegetatif : Tanaman dalam jalur, tanaman dalam kontur, tanaman campuran.

Alternatif kegiatan mekanis : Dam pengendali/ penahan trucus, teras, saluran pembuangan.

Tabel 10.

Sub-sub DAS	Slope (%)	Skor	Keterangan	Luas (ha)	Prosentase (%)
1	10.91	40	Landai	137.00	3.02
2	7.88	20	Datar	55.88	1.23
3	33.35	80	Curam	0.63	0.01
4	8.99	40	Landai	278.25	6.14
5	6.11	20	Datar	129.19	2.85
6	5.07	20	Datar	334.13	7.37
7	6.54	20	Datar	316.00	6.97
8	4.51	20	Datar	20.13	0.44
9	11.33	40	Landai	247.75	5.46
10	7.11	20	Datar	177.31	3.91
11	8.64	40	Landai	118.31	2.61
12	10.90	40	Landai	180.38	3.98
13	6.69	20	Datar	193.50	4.27
14	8.85	40	Landai	57.19	1.26
15	6.94	20	Datar	43.75	0.96
16	5.26	20	Datar	141.69	3.12
17	5.53	20	Datar	81.56	1.80
18	5.21	20	Datar	117.81	2.60
19	4.83	20	Datar	137.50	3.03
20	4.78	20	Datar	366.44	8.08
21	6.93	20	Datar	21.31	0.47
22	6.86	20	Datar	282.00	6.22
23	8.47	40	Landai	308.75	6.81
24	8.64	40	Landai	90.06	1.99
25	5.69	20	Datar	117.44	2.59
26	3.66	20	Datar	55.06	1.21
27	6.63	20	Datar	148.69	3.28
28	3.94	20	Datar	4.25	0.09
29	3.37	20	Datar	59.56	1.31
30	8.81	40	Landai	246.56	5.44
31	7.88	20	Datar	66.94	1.48
Jumlah				4535.00	100.00

Sumber : Hasil Analisa

Tabel 11.

Nb	Jenis Tanah	Skor	Luas (m ²)	Luas (Ha)	Prosentase (%)
1	Kantisd	75	3063378.625	306.338	6.75
2	Latbsd	30	32954236.265	3295.424	72.67
3	Renzina	75	9332385.113	933.239	20.58
Jumlah			4535000	4535	100

Tabel 12.

Tabel 4.34. Skor Intensitas Hujan Harian Rerata

Bulan	Curah Hujan Rerata (R1) St. Batulis	Curah Hujan Rerata (R2) St. Penful	Curah Hujan Rerata (R3) St. Oletasala	Curah Hujan rerata Max (R) (R1 + R2 + R3) / 3	Rerata Hari Hujan St. Batulis	Rerata Hari Hujan St. Penful	Rerata Hari Hujan St. Oletasala	Hari hujan Rerata (R1 + R2 + R3) / 3	Intensitas Hujan Harian Rerata (R/Rn)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Jan	834.14	328.81	483.38	437.77	18.75	18.80	18.30	19.20	24.488
Feb	488.28	482.12	581.48	448.85	18.50	20.50	18.80	19.40	25.888
Mar	428.81	302.17	581.28	389.32	11.80	17.10	19.40	14.10	25.7814
Apr	173.39	75.10	118.80	121.88	8.80	8.20	8.80	8.80	20.820
Mei	41.84	17.80	27.88	28.50	3.80	1.70	1.80	2.87	12.8014
Jun	10.80	18.02	7.70	12.44	1.20	2.80	0.80	1.87	7.8404
Jul	3.10	1.87	1.70	2.87	0.80	0.80	0.30	0.80	4.8133
Agst	0.38	0.50	0.50	0.58	0.20	0.10	0.50	0.10	0.0000
Sep	3.00	4.28	3.40	3.88	0.10	0.20	0.20	0.17	21.3800
Oct	8.24	40.28	32.80	28.10	0.70	2.80	2.10	1.78	14.7714
Nov	138.82	123.78	182.81	151.88	7.80	10.00	8.40	8.87	18.8384
Des	424.88	278.44	374.14	358.81	13.80	18.00	18.80	18.80	22.8478
Jumlah Rerata Skor									187.8184
									18.8814
									20

Keterangan :

(1) : Bulan

(2) : Curah hujan rerata bulanan Stasiun Batulis

(3) : Curah hujan rerata bulanan Stasiun Penful

(4) : Curah hujan rerata bulanan Stasiun Oletasala

(5) : (2) + (3) + (4) / 3

(6) : Rerata jumlah hari hujan bulanan Stasiun Batulis

(7) : Rerata jumlah hari hujan bulanan Stasiun Penful

(8) : Rerata jumlah hari hujan bulanan Stasiun Oletasala

(9) : (6) + (7) + (8) / 3

(10) : (5) / (9)

Tabel 13. Prosentase Arah Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah

No	Arah Penggunaan Lahan	Luas (m ²)	Luas (Ha)	Prosentase (%)
1	Kawasan Penyangga	7582672	758.27	16.72
2	Kawasan Budidaya Tanaman Tahunan	13885419	1388.54	30.62
3	Kawasan Budidaya Tanaman Semusim / Perumahan	23881908	2388.19	52.66
Jumlah		45350090	4535.00	100.00

Sumber : Analisa Spasial ArcView GIS 3.3

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan, analisa data dan pembahasan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. DAS Dendeng mempunyai luas total keseluruhan 4.535 Ha yang didalamnya terdiri atas Sub – Sub DAS sebanyak 31 (tiga puluh satu) Sub DAS dengan Laju Erosi lahan 365,992 ton/ha/tahun, dengan ketebalan erosi lahan 4,16 mm/tahun..
2. Hasil analisis prosentasi kondisi lahan dengan tingkat bahaya erosi dan kekritisian lahan di DAS Dendeng, dengan kriteria : Sangat ringan 1.901,86 Ha (41,33), Sedang 1,524,79 Ha (33,13%), Berat 601,41 Ha (13,07%) dan Sangat Berat seluas 573,70 Ha (12,47 %).
3. Debit limpasan maksimum yang terjadi pada Wilayah DAS Dendeng dengan 74 (tujuh puluh empat) Sub DAS mempunyai limpasan dengan kala ulang $Q_{1,01 \text{ Tahun}} = 33.60 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{2 \text{ Tahun}} = 65.10 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{5 \text{ Tahun}} = 86.60 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{10 \text{ Tahun}} = 101.55 \text{ m}^3/\text{dt}$, $Q_{25 \text{ Tahun}} = 121.31 \text{ m}^3/\text{dt}$.
4. Arah Fungsi Kawasan di DAS Dendeng sesuai hasil analisa luas Kawasan Lindung = 18.531.247,25 m² (1.853,12 Ha) dengan

prosentase 40,27 %, Kawasan Penyangga = 11.909.329,00 m² (1.190,93 Ha) dengan prosentasi 25,88 %, Kawasan Budidaya Tanaman Tahunan = 6.893.421,50 m² (689,34 Ha) dengan prosentasi 14,98% dan Kawasan Budidaya Tanaman Semusim / Permukiman = 8.683.502,25 m² (868,25 Ha) dengan prosentasi 18,87%.

5. Arahkan sesuai hasil analisa merekomendasikan untuk Wilayah DAS Dendeng terdapat 9 lokasi Bangunan Pengendali Sedimen (*Check Dam*) yang lokasinya terdapat di lokasi Sub – Sub DAS (1,9,16,20,23,29,41,50 dan 64).

Desain Bangunan Pengendali Sedimen dari masing-masing Sub DAS Dendeng yang telah direkomendasikan dan hasil analisis debit limpasan (Qr) menghasilkan tinggi dan panjang bangunan pengendali sedimen (*Check Dam*) adalah sebagai berikut :

- a. Sub DAS 1 panjang 166,21 m, tinggi = 12,04 m, luas cakupan = 470,76 ha dengan usia bangunan pengendali 13 tahun.
- b. Sub DAS 9 panjang 148,74 m, tinggi = 10,09 m luas cakupan = 583,75 ha dengan usia bangunan pengendali 9 tahun.
- c. Sub DAS 16 panjang 119,16 m, tinggi = 7,80 m, luas cakupan = 329,75 ha dengan usia bangunan pengendali 14 tahun.
- d. Sub DAS 20 panjang 177,75 m, tinggi = 11,53 m, luas cakupan = 359,25 ha dengan usia bangunan pengendali 27 tahun.
- e. Sub DAS 23 panjang 151,12 m, tinggi = 11,52 m, luas cakupan = 431,75 ha dengan usia bangunan pengendali 5 tahun.
- f. Sub DAS 29 panjang 124,30 m, tinggi = 8,96 m, luas cakupan = 400,25 ha dengan usia bangunan pengendali 8 tahun.
- g. Sub DAS 41 panjang 90,25 m, tinggi = 7,25 m, luas cakupan = 403,25 ha dengan usia bangunan pengendali 13 tahun.
- h. Sub DAS 50 panjang 129,35 m, tinggi = 7,18 m, luas cakupan = 743,50 ha dengan usia bangunan pengendali 5 tahun.
- i. Sub DAS 64 panjang 168,32 m, tinggi = 9,05 m, luas cakupan = 653,00 ha dengan usia bangunan pengendali 5 tahun.

Adanya dari ke 9 bangunan pengendali sedimen dengan volume tampungan sebesar 478.832,89 ton dengan usia bendungan selama 27 tahun bisa menampung erosi 53.250,23 ton/tahun dan mengendalikan laju erosi yang terjadi di DAS Oesapa Besar sebesar 420,38 ton/ha/tahun.

5.2. Saran

- a). Dari hasil analisa perlu dilakukan segera penanganan secara serius dan terintegrasi seluruh stake holder dari Pemerintah Pusat, Pemerintah Provinsi Nusa Tenggara Timur (NTT), Pemerintah Kota Kupang dan Pemerintah Kabupaten Kupang (Dinas Kehutanan, BP DAS Noelmina, Dinas Pertanian, Dinas Perkebunan, Dinas PU), untuk mengupayakan langkah-langkah kegiatan rehabilitasi hutan dan lahan di kawasan DAS Dendeng sebagai berikut :

1. Program jangka pendek (program tahunan) berupa : sosialisasi masyarakat, pemberantasan *illegal logging*, pemanfaatan sisa-sisa tanaman atau tumbuhan (*residue management*), menyusun PERDA yang mendukung rehabilitasi hutan dan lahan.
2. Implementasi Program Nasional berbasis masyarakat seperti : GN-RHL (Gerakan Nasional Rehabilitasi Hutan Lahan, GN-KPA (Gerakan Nasional Kemitraan Penyelamatan Air) dengan membentuk Tim Pelaksana di tingkat Pusat, Provinsi, Kabupaten, Kecamatan, dan Desa.
3. Program jangka menengah (program lima tahunan) : sosialisasi masyarakat, penanaman tanaman keras berbasis *Agroforestry* dan *Social Forestry* dengan memilih jenis tanaman yang diinginkan oleh masyarakat setempat yang bisa meningkatkan taraf ekonomi yang disesuaikan dengan kondisi tanah setempat serta dilakukan pembuatan sumur resapan dan parit jebakan air. Serta pada alur-alur sungai dibuat *gully plug* (bangunan terjunan dari pasangan batu kosong/kayu) yang berfungsi sebagai penghambat aliran air

4. Program Jangka Panjang : sosialisasi masyarakat, pemantapan peraturan yang ada, penegasan tentang pemanfaatan fungsi kawasan, penanganan secara mekanis, reboisasi (GN-RHL, GN-KPA), pembenahan garis sempadan sungai dengan PERDA yang mendukung pelaksanaan penegakan hukum (*low enforcement*).
 5. Penggunaan lahan sebaiknya memperhatikan kemampuan lahan dan arahan penggunaan lahan (fungsi kawasan), serta Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) sehingga dapat mencegah kerusakan lahan dan tetap menjaga produktivitas tanah.
 - b). Pada lahan kritis maupun sangat kritis perlu memproteksi kawasan di kawasan DAS Oesapa Besar sebagai zona penangkap sedimen (*sedimen trap*) untuk mengendalikan erosi yang terjadi karena dapat mengakibatkan sedimentasi yang tinggi dan pendangkalan di Teluk Kupang.
- ## DAFTAR PUSTAKA
- Agriceli. 2004. Puluhan Daerah Aliran Sungai Kritis. Tempo interaktif. <http://www.tempointeraktif.com/hg/nasional/2004/07/09/brk.20040709-32.id.html>. [8 Oktober 2004].
- Anonim, 1998. "Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah DAS", Jakarta : Departemen Kehutanan (Dirjen Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan).
- Anonim, 2005. Undang Undang RI No. 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air. Pustaka Widyatama. Yogyakarta.
- Anonim, 2009. Revisi Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Kupang. Bappeda Kota Kupang. Kupang.
- Aronoff. 1989. Geographic Information System – A Management Perspective. WDL Publications. Ottawa.
- Arsyad, S. 2000. Konservasi Tanah dan Air. IPB Press. Bogor.
- Asdak, C. 2004. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Jawa Timur, 2006. Pedoman Pemanfaatan Ruang Dan Pengendalian Pemanfaatan Ruang Kabupaten Situbondo. Surabaya.
- Bisri, Mohammad. 2006. Konservasi Air Sebagai Landasan Dalam Perencanaan Ruang (Studi Kasus di DAS Kali Sumpil). Disertasi Tidak Diterbitkan. Program Pasca Sarjana Universitas Brawijaya. Malang.
- Bisri, Mohammad dkk. 2009. Model Tata Ruang Wilayah Berbasis Hidrogeologi. Laporan Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi Universitas Brawijaya. Malang.
- Bisri, Mohammad dkk. 2010. Implementasi Model Tata Ruang Wilayah Berbasis Hidrogeologi di Kabupaten Situbondo. Laporan Penelitian Hibah Bersaing Perguruan Tinggi Universitas Brawijaya. Malang.
- ESRI (Environmental System Research Institute, Inc). 1996. ArcView GIS, The Geographic Information System for Everyone. ESRI, New York.
- Hardjowigeno S. 1995. Ilmu Tanah. Penerbit Akademika Pressindo. Jakarta.
- Harto, Sri Br. 1993. Analisis Hidrologi. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta.
- Iqbal, Khairul. 2007. Analisa Tingkat Bahaya Erosi dan Arahan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (ARLKT) Pada Sub DAS Bango Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Skripsi tidak Diterbitkan. Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Malang.