

Pembuatan Digital Elevation Model Resolusi 10m dari Peta RBI dan Survei GPS dengan Algoritma ANUDEM

Interpolation of 10m DEMs from RBI maps and GPS survey using ANUDEM

Indarto, Lab. Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (Lab TPKL),
Program Studi Teknik Pertanian, FTP-UNEJ. Jl. Kalimantan X No.75, Kampus-Tegalboto, Jember 68121
E-mail: indarto.ftp@unej.ac.id

Debby Rio Prasetyo, Lab. Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (Lab TPKL),
Program Studi Teknik Pertanian, FTP-UNEJ. Jl. Kalimantan X No.75, Kampus-Tegalboto, Jember 68121

Abstract

This study proposes the generation of Digital Elevation Model (DEM) with spatial resolution of 10m x 10m by re-interpolation of elevation data. Data input for this study includes: (1) digitized datum coordinate from RBI map, (2) sample points surveyed by GPS, (3) digitized contour data from SRTM DEM and ASTER GDEM2, and (4) digitized stream-network layer from RBI. All collected data were converted to mass point coordinates. On the top of Topogrid-ArcGIS, all points data were interpolated to produce DEM. After that the produced DEM were compared and evaluated to the SRTM and ASTER DEM visually. The result shows that produced DEM are more accurate to represent the detailed topography of the study areas.

Key words: DEM 10m, GPS survey, Interpolation, SRTM-DEM, Aster-GDEM2.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk membuat DEM dengan ketelitian spasial 10m (ukuran pixel 10m x 10m) dengan cara re-interpolasi data ketinggian. Input data yang digunakan mencakup: (1) digitasi titik-titik ketinggian dari peta RBI, (2) hasil survei melalui GPS, (3) data kontur yang diperoleh dari peta DEM SRTM dan Aster GDEM2, dan (4) layer jaringan sungai. Metodologi penelitian terdiri dari: (1) inventarisasi data, (2) ekstraksi nilai ketinggian, (3) integrasi data ke dalam Topogrid-ArcGIS, (4) interpolasi DEM. Hasil interpolasi selanjutnya dievaluasi secara visual dan dibandingkan dengan DEM SRTM dan ASTER GDEM2. Hasil interpolasi menunjukkan DEM dengan resolusi spasial yang lebih detail (10 m x 10 m) dapat menggambarkan karakteristik topografi DAS lebih detail.

Kata kunci: DEM 10m, Survei GPS, Interpolation, SRTM-DEM, Aster-GDEM2

Diterima: 12 Desember 2013; Disetujui: 14 Maret 2014

Pendahuluan

Digital Elevation Model

Informasi tentang ketinggian suatu tempat (elevasi) merupakan elemen yang fundamental dari suatu data Geospasial dan digunakan oleh hampir sebagian besar pengguna. Data Elevasi tersebut digunakan pada banyak aplikasi, misalnya: pemetaan luas genangan banjir, perencanaan wilayah, perencanaan jaringan jalan, jaringan irigasi, pembuatan peta jaringan sungai, dll. Data elevasi tersebut umumnya disimpan dalam bentuk *Digital Elevation Model (DEM)*. DEM selanjutnya dapat diintegrasikan dengan data Geospasial lainnya di dalam GIS untuk berbagai keperluan. DEM sudah lama dikenal dan diaplikasikan di berbagai belahan dunia, baik untuk RISET, pendidikan, maupun dunia komersial. Penelitian dan publikasi tentang DEM

dapat dijumpai pada banyak literatur, misalnya di dalam: O'Callaghan and Mark (1984), Jenson and Domingue (1988), Fairfield and Leymarie (1991), Costa-Cabral and Burges (1994), Garbrecht and Martz (1997), Quinn et. al., (1991), Tarboton (1997).

Pada prinsipnya, DEM merupakan suatu model digital yang merepresentasikan bentuk permukaan bumi kita dalam bentuk tiga dimensi (3D). Definisi lain, menyatakan bahwa DEM merupakan suatu file atau database yang menampung titik-titik ketinggian dari suatu permukaan (Jensen, 2007). Selanjutnya, Jensen (2007), membedakan DEM menjadi dua, yaitu: DSM dan DTM.

1. **DSM (Digital Surface Model)**, yang memuat informasi ketinggian semua fitur di permukaan bumi meliputi: vegetasi, gedung-gedung dan fitur lainnya.

2. **DTM** (*Digital terrain model*), hanya memuat informasi ketinggian permukaan tanah (*bare-earth surface*) tanpa terpengaruh oleh vegetasi atau fitur buatan manusia lainnya.

Sepanjang dasawarsa terakhir, penelitian dan aplikasi menunjukkan bahwa DEM telah memberikan hasil yang cukup signifikan dan dapat diterima secara ilmiah. Contoh aplikasi yang menggunakan DEM, misalnya: pemodelan Daerah Aliran Sungai, perencanaan teknik sipil, penempatan titik-titik korodinat untuk antena BTS, simulasi dan training dibidang militer, penerbangan dan perencanaan tata kota, kartografi dan pembuatan peta dasar, dan pertambangan.

Proses pembuatan DEM umumnya dimulai dari pembuatan peta topografi yang terproyeksi dengan baik. Selanjutnya, garis kontur, titik ketinggian dan batas wilayah perairan darat dan garis pantai dikonversi ke layer vektor digital dengan koordinat yang jelas. Selanjutnya, proses interpolasi dengan algoritma tertentu akan menghasilkan layer raster/grid. DEM juga dapat dinyatakan dengan grid teratur, jaringan triangulasi (*TIN/Triangulation Irregular Network*) dan kontur. Ukiran file DEM akan tergantung pada skala dan interval kontur yang dijadikan sebagai sumber, format file dan ketelitian spasial yang diinginkan. Beberapa contoh format file untuk data DEM antara lain: USGS ASCII (.dem), ESRI GRID, ESRI BIL with HDR, Digital Terrain Elevation Data (.dted), Generic ASCII, Generic BIL, ERDAS Imagine (.img), ER-Mapper (.ers) dan GeoTIFF.

Teknik Pembuatan dan Jenis Produk DEM

Menurut Bossler et al., (2002) dan Jensen (2007), ada empat macam kategori teknologi yang digunakan untuk memperoleh informasi ketinggian, meliputi: (1) pengukuran langsung di lapangan (*in situ surveying*), (2) *photogrammetri* atau *Remote sensing*, (3) IF-SAR dan (4) LIDAR.

In-situ surveying

Pengukuran langsung di lapangan menggunakan GPS akan menghasilkan data titik-titik ketinggian dengan koordinat lokasi-nya. Selanjutnya, data tersebut diimport ke dalam software GIS dan dilakukan interpolasi data untuk menentukan ketinggian titik-titik lain yang tidak terukur pada wilayah yang dimaksud. Banyak metode interpolasi telah digunakan untuk proses pembuatan DEM. Umumnya proses pembuatan DEM membutuhkan layer: kontur, datum dan jaringan sungai. Informasi lain dapat ditambahkan untuk menghasilkan DEM yang lebih baik dan hal ini tergantung pada software atau cara yang dipakai dalam proses pembuatan DEM. Banyak paket software GIS atau ekstension (plugin) telah dikembangkan dan dapat dimanfaatkan untuk membuat dan mengolah DEM. Beberapa modul (ekstension) yang terintegrasi dengan Software GIS antara lain: Topogrid di dalam

ArcInfo/ArcGIS; Hydrogrid dan AGWA yang bekerja di atas ArcViewGIS, SINMAP di dalam Arcview dan ArcGIS; ArcHidro-GIS dengan ArcGIS. Beberapa modul pengolahan DEM yang relatif gratis misalnya, HEC-GeoHMS dan HEC-GeoRAS dengan Arcview/ ArcGIS; TauDEM dengan Map Window. Beberapa contoh paket software pengolah DEM yang berdiri sendiri dan terpisah dari Software GIS juga sudah dikembangkan misalnya: *CatchmentSIM-GIS* (www.toolkit.net.au), *ANUDEM* (<http://fennerschool.anu.edu.au>), *LandSerf* (<http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/landserf/>); *TAS (Terrain Analysis System)* (<http://www.uoguelph.ca>), Geospatial Analysis Tool atau GAT (Lindsay, 2009), SAGA (www.qgis.org), HydroSHEDS (<http://hydrosheds.cr.usgs.gov/index.php>), TerraStream (Danner et al., 2007) dan lain-lain.

Photogrammetry/Remote sensing

Proses fotogrametri melalui teknik tertentu (misalnya: *stereo-plotting*) dapat digunakan untuk menghasilkan DEM dari teknik foto udara. DEM dengan teknik ini dapat mencakup wilayah yang lebih luas dan ketelitian spasial yang lebih tinggi, sehingga permukaan bumi yang dimaksud dapat digambarkan dengan lebih detail. Teknik stereo menggunakan citra satelit juga sudah umum digunakan untuk memproduksi DEM. Beberapa satelit dengan ketelitian spasial tinggi (misalnya: GeoEye-1, WorldView-1, WorldView-2, Pléiades 1A, Pléiades 1B dan IKONOS) mampu menghasilkan DEM untuk lokasi tertentu dengan ketelitian spasial tinggi, menggunakan teknik citra satelit stereo (*Stereo Satellite Imagery*). Satelit lain (misalnya: SPOT-6, ALOS, dan ASTER) mampu menghasilkan DEM dengan ketelitian sedang. **ASTER GDEM2** merupakan contoh produk DEM yang mengcover hampir seluruh permukaan bumi. ASTER GDEM2 dikembangkan bersama oleh METI (*Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI)*) Jepang dan *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* Amerika Serikat. ASTER GDEM2 tersedia gratis untuk siapapun dan dapat didownload melalui internet, melalui salah satu situs berikut: asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp; gdem.ersdac.jpacesystems.or.jp/; lpdaac.usgs.gov.

IF-SAR

Teknik Interferometric Synthetic Aperture Radar (IF-SAR) merupakan teknologi penginderaan jauh berbasis RADAR interferometri (*interferometric radar*). Pembuatan DEM dengan teknik RADAR dapat dilakukan baik melalui platform pesawat udara maupun Citra Satelit (Andersen et al., 2005). Contoh produk DEM yang menggunakan teknik ini adalah DEM SRTM.

DEM SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) (Farr et al., 2007) dan beberapa sistem pesawat udara yang dilengkapi dengan *Interferometric Synthetic Aperture Radar for Elevation (IFSARE)*

menyediakan data elevasi untuk wilayah tertentu maupun global. SRTM-DEM telah mengkover hampir seluruh permukaan bumi dengan ketelitian spasial 90m (Farr et al., 2007). Meskipun, SRTM masih belum menjangkau beberapa wilayah pegunungan dan desert, tetapi DEM SRTM tetap merupakan salah satu alternatif data DEM gratis yang mengkover seluruh wilayah permukaan bumi kita. Data SRTM telah digunakan untuk memetakan daerah yang sulit dijangkau, terisolir baik pada skala regional maupun global. Hal ini dijumpai misalnya dalam studi yang dilakukan oleh Kinner, dkk. (Kinner et al., 2005). Kelemahan SRTM adalah tidak mengkover wilayah Antartica dan lintang di atas 60° pada bagian utara bumi kita, sehingga sungai-sungai besar yang mengalir ke wilayah utara digambarkan kurang dari yang seharusnya. Beberapa project juga telah dijalankan untuk memperbaiki performance SRTM DEM pada wilayah yang kosong tersebut (Lehner and D'Oll, 2004). Studi dan proyek perbaikan lebih lanjut untuk meningkatkan performance SRTM DEM telah dilakukan oleh beberapa kelompok peneliti, misalnya dijumpai dalam: Lindsay and Creed (2005), Rodriguez et al., (2006), Farr et al., (2007), Hancock, et al., (2006). Saat ini, DEM SRTM sudah dapat didownload secara gratis untuk hampir seluruh wilayah permukaan bumi, melalui beberapa website, misalnya: www.cgiar-csi.org; glcf.umd.edu/data/srtm/; srtm.usgs.gov; dan www.opendem.info.

Contoh lain, satelit *TerraSAR-X* and *TandemSAR-X* dengan sistem SAR (*Synthetic Aperture Radar*) mampu menghasilkan DEM dengan ketelitian 10 m untuk wilayah Tropis. Wilayah tropis umumnya terlalu banyak awan yang menyulitkan aplikasi sistem remote sensing optik, sehingga sistem SAR dapat menjadi salah satu alternatif penyelesaian.

LIDAR DEM

LASER atau "*light amplification by stimulated emission of radiation*" merupakan alat yang dapat menghasilkan sinar dengan energi tinggi yang disebut photon pada range panjang gelombang yang sangat sempit. LASER menghasilkan sumber sinar yang koheren yang dapat digunakan untuk tujuan tertentu, mencakup aplikasi: CD/DVD player, sebagai alat photon di industri, peralatan kedokteran, peralatan survei dan sistem pemetaan menggunakan LIDAR atau "*light detection and ranging*". Panjang gelombang yang dipakai pada banyak sistem pemetaan topografi menggunakan laser adalah 1064 nm, yang merupakan panjang gelombang sinar infra-merah dari spektrum gelombang elektromagnetik. Secara ringkas, cara kerja LIDAR adalah: (a) menembakkan sinyal dari posisi sensor ke objek dan mengukur waktu perjalanan sinyal, (b) mengukur waktu perjalanan dari suatu sinyal dari sumber ke objek, waktu perjalanan kembali sinyal yang dipantulkan dari

objek ke sumber. Pengembangan dan aplikasi sistem LIDAR misalnya dijumpai dalam: Killian et al., (1996), Kraus and Pfeiffer (1998, 2001), Wever and Lindenberger (1999), Notebaert et al. (2009). Data citra LIDAR sangat detail dan akurat, namun demikian menuntut ketersediaan pesawat udara yang memadai. Pemotretan juga dapat dilakukan dengan pesawat tanpa awak (Drone).

Perkembangan Algoritma

Berkembangnya algoritma pengolahan DEM merupakan salah satu ukuran betapa pentingnya DEM sebagai alat bantu dalam menyelesaikan berbagai permasalahan keseharian kita. Penentuan arah dan jaringan drainase (jaringan sungai) merupakan aspek penting dalam pengolahan dan pemanfaatan DEM. Umumnya, jaringan sungai (*drainage network*) ditentukan secara otomatis berdasarkan model arah aliran (*flow routing model*).

Berbagai macam algoritma telah dikembangkan untuk dapat menurunkan jaringan drainase dan menentukan arah aliran air di dalam DEM, misalnya dijumpai dalam: O'Callaghan and Mark (1998), Quinn et al. (1991), Tarboton (1997), Santini et al. (2009). Penentuan arah aliran dilakukan dengan step metodologi, mencakup: *filling pits* atau *fill sink* (Pengisian cekungan), menentukan arah aliran (*flow direction*), menghitung jumlah piksel yang mengalir ke tiap piksel di dalam raster (citra) atau *flow accumulation*, menghubungkan akumulasi aliran air menjadi ruas sungai (*streamnetworking*), pengkodean ruas sungai (*stream ordering*), pembentukan sub-DAS dan penggabungan sub-DAS menjadi DAS *basin/watershed delineation* (Ehlschlaeger, 1989; Fairfield, J. and Leymarie, P., 1991; Freeman, 1991; Garbrecht and Martz, 1997; Arge et al., 2003; Grimaldi et al., 2007).

Konversi arah aliran drainase ke suatu bentuk jaringan membutuhkan algoritma lebih lanjut, misalnya *slope-area threshold* (O'Callaghan and Mark, 1984; Tarboton et al., 1991; Holmgren, 1994; Peckham, 1998; Hutchinson, 1998; Wood, 1996ab; Wood, 1998; Planchon and Darboux, 2001; Dalla Fontana and Marchi, 2003; Colson, 2006; Grimaldi et al., 2007).

Sejalan dengan waktu, metode penelusuran jaringan drainase-pun berkembang dan melahirkan banyak algoritma. Lebih detail tentang berbagai algoritma yang digunakan untuk penurunan jaringan sungai dari DEM dapat dijumpai dalam studi yang dilakukan oleh: Jenson and Domingue (1988), Holmgren (1994), Quinn et al. (1991), Quinn et al. (1995), Gallant and Wilson (2000), Lindsay and Creed (2005), Kinner et al. (2005), Wang and Liu (2006), Metz and Ehlschlaeger (2010), NCWC (2010).

Perkembangan teknologi DEM juga diikuti dengan ketersediaan data-data DEM global yang bersifat gratis untuk semua orang. Namun

demikian, umumnya DEM yang tersedia gratis adalah DEM dengan ketelitian piksel (30 m x 30 m), ASTER GDEM2 atau lebih). Khusus untuk wilayah Indonesia data DEM dengan ketelitian lebih tinggi dari ASTER GDEM2 masih belum tersedia secara gratis. DEM dengan ketelitian spasial yang lebih tinggi dibutuhkan untuk berbagai macam aplikasi. Oleh karena itu prosedur manual pembuatan DEM dapat ditempuh sebagai salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk membuat DEM dengan resolusi spasial 10 m (ukuran pixel 10 m x 10 m) dengan cara re-interpolasi data ketinggian (datum dan kontur), dan membandingkan dengan produk DEM Global (SRTM dan ASTER GDEM2). Metode pembuatan DEM menggunakan software ArcGIS-10 dengan data masukan diperoleh dari digitasi peta RBI, data kontur dari SRTM dan ASTER GDEM2 dan survey lapang dengan GPS.

Bahan dan Metode

Penelitian ini dilakukan di Sub-DAS Rawatamtu (gambar 1). Sub-DAS Rawatamtu merupakan bagian dari DAS Bedadung. Secara Administratif, 90% Wilayah DAS Bedadung berada di Wilayah Kabupaten Jember.

Penelitian dilakukan dari bulan April 2012 sampai September 2012. Pengolahan data dilakukan di Laboratorium Teknik Pengendalian Konservasi dan

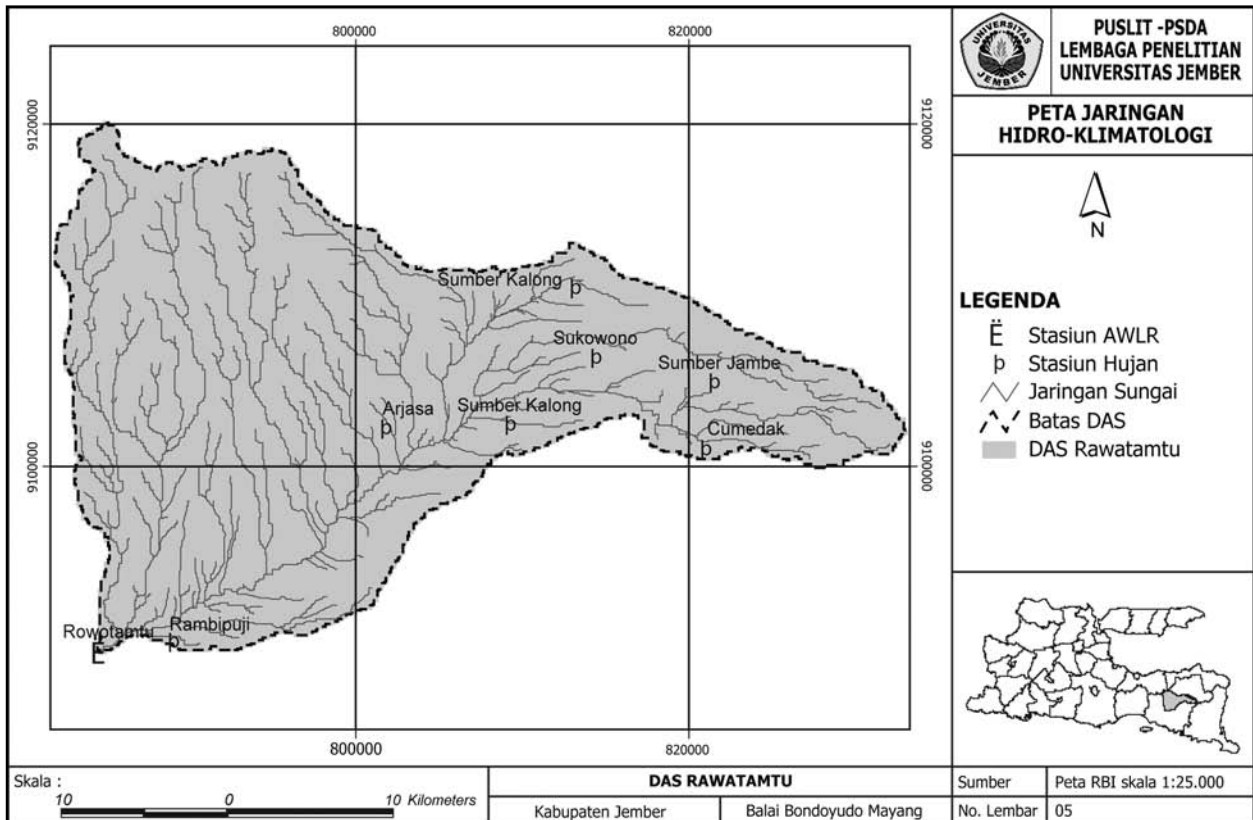
Lingkungan (Lab.TPKL), FTP - Universitas Jember. Pengambilan data titik ketinggian dengan cara survei GPS dilakukan dengan *Mobile Mapping System* pada sebagian wilayah sub-DAS Rawatamtu.

Bahan

Bahan yang digunakan sebagai Input dalam pembuatan DEM mencakup: (1) peta datum, (2) peta kontur interval 25 m, (3) koordinat titik-titik ketinggian hasil survei dengan GPS. Data no (1) dan (2) diperoleh dari digitasi peta RBI. Ketiga jenis data merupakan komponen utama sebagai input untuk proses interpolasi. Bahan lain yang digunakan adalah: (4) Data Digital Elevation Model (DEM) - SRTM, dengan ketelitian pixel (90 m x 90 m); (5) ASTER GDEM2, dengan ketelitian pixel (30 m x 30 m). Data no (4) dan (5) digunakan sebagai input untuk menghasilkan layer kontur dan pembanding DEM yang dihasilkan.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah software ArcGIS 10.1 yang digunakan untuk mengolah, membuat dan menganalisis DEM. Software MapWindow versi 4.8.6 digunakan untuk mendigitasi titik-titik ketinggian datum dan kontur dari peta RBI. GPS (*Global Positioning System*) Garmin 76, yang digunakan untuk memperoleh titik ketinggian di kawasan Sub-DAS Rawatamtu. Software Map Source 6.13.7 yang digunakan untuk mentransfer data titik ketinggian hasil survey GPS ke dalam komputer.



Gambar 1. Lokasi Penelitian : Sub-DAS Rawatamtu

Metode

Inventarisasi data

Inventarisasi data dilakukan dengan tiga cara sebagai berikut. *Pertama*: Digitasi peta RBI untuk mendapatkan layer datum yang berisi data titik-titik ketinggian dan layer kontur. *Kedua*: Survey lapang dengan GPS untuk memperoleh tambahan data titik-titik ketinggian terutama pada wilayah yang datar (flat) dan daerah pegunungan. Selanjutnya, data hasil survey GPS ditransfer ke komputer dan dibuka dengan *software* ArcGIS 10.1 dan dikonversi menjadi format *shapefile* (*.shp). *Ketiga*: ekstraksi DEM-SRTM dan ASTER GDEM2 menjadi data kontur dengan interval 50 m untuk SRTM dan 15 m untuk ASTER GDEM2. Data yang telah diinventarisasi tersebut, selanjutnya diintegrasikan ke dalam *software* ArcGIS.

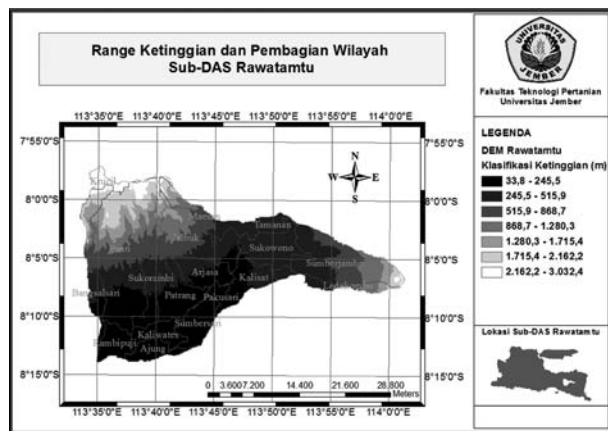
Interpolasi DEM

Proses interpolasi dilakukan menggunakan metode *Topo to Raster* yang tersedia didalam ArcGIS. *Topo to raster* di dalam ArcGIS merupakan suatu tool yang disediakan khusus untuk pembuatan DEM. DEM yang dibuat dengan *Topo to Raster* akan secara otomatis dikoreksi sehingga DEM tersebut memenuhi kriteria hidrologi. *Topo to Raster* dikembangkan dari program ANUDEM

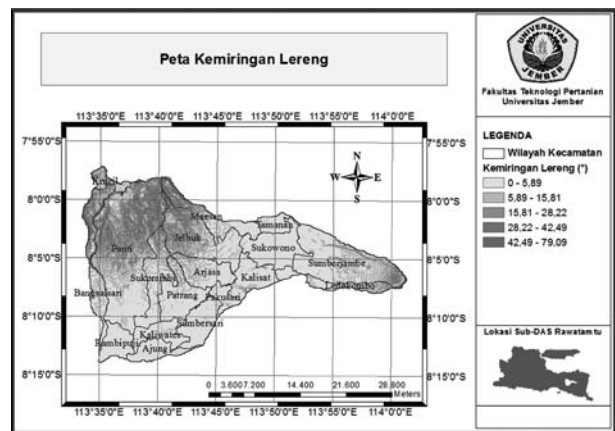
yang dikembangkan oleh Michael Hutchinson (Hutchinson, 1988, 1989, 1996, 2000, 2001, 2008, 2009). Aplikasi ANUDEM untuk produksi DEM dalam skala yang luas dapat dijumpai dalam Hutchinson and Dowling (1991). Aplikasi DEM untuk pemodelan di bidang lingkungan dapat dijumpai dalam Hutchinson dan Gallant (2000) dan Hutchinson (2008). Pengembangan lebih lanjut ANUDEM termuat dalam Hutchinson et al., (2009, 2011). *Topo to raster* menginterpolasi nilai ketinggian untuk setiap piksel raster dengan memperhatikan beberapa konstrain untuk memastikan: (1) struktur jaringan sungai yang terkoneksi, (2) ruas sungai dan anak-anak sungai tergambar dengan baik. *Topo to raster* juga dapat dijalankan dengan input berbasis file. Dalam hal ini kita tinggal memanggil file input, kemudian diproses di dalam *Topo to Raster* dan selanjutnya didapatkan output. Proses interpolasi menggunakan algoritma (*Inverse Distance Weighting* atau IDW). Selanjutnya, layer hasil interpolasi di clip sesuai dengan batas Sub-DAS Rawatamtu.

Evaluasi DEM

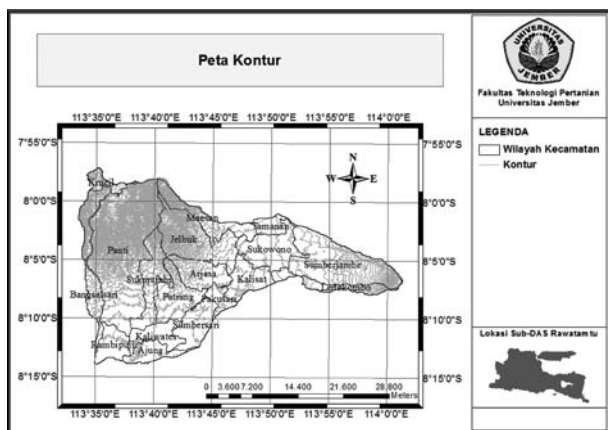
Hasil re-interpolasi DEM tersebut dievaluasi untuk menguji kualitasnya. Proses evaluasinya dilakukan dengan cara grafis dengan perbandingan



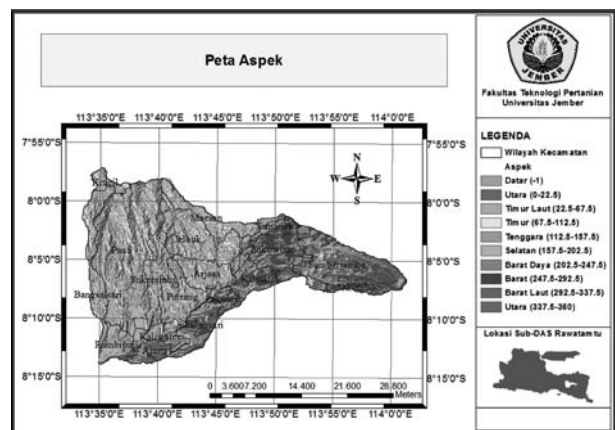
Gambar 2a. Peta klasifikasi ketinggian tempat



Gambar 2b. Peta Kemiringan Lereng



Gambar 2c. Peta Kontur



Gambar 2d. Peta Aspek

tampilan. Perbandingan tampilan ini menggunakan *tool hillshade* yang terdapat pada *software* ArcGIS.

Koordinat DEM hasil produksi (10 m), ASTER GDEM2 (30 m), DEM SRTM (90 m), data survey GPS dan titik-titik ketinggian (datum) pada peta RBI untuk lokasi sampel dijadikan masukan untuk mengukur perbedaan ketinggiannya.

Hasil dan Pembahasan

Kelas Ketinggian

Gambar 2a memperlihatkan terlihat bahwa daerah yang paling tinggi adalah 3032,4 m dpl (di atas permukaan laut) yang ditunjukkan oleh berwarna putih. Sedangkan daerah yang paling rendah adalah 33,8 m dpl (warna hitam pekat). Sub-DAS Rawatamtu mencakup 3 kabupaten di Jawa Timur yang terdiri dari 15 kecamatan di Kabupaten Jember, 2 kecamatan di Kabupaten Bondowoso serta 1 kecamatan di Kabupaten Probolinggo.

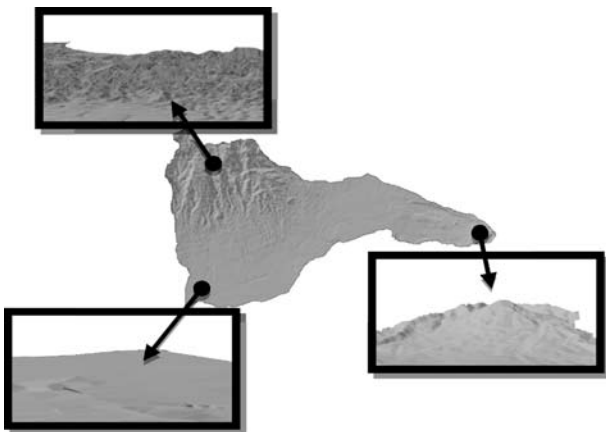
Informasi turunan pertama dari DEM

DEM Sub-DAS Rawatamtu yang telah dibuat, dapat diturunkan atau diolah kembali sehingga

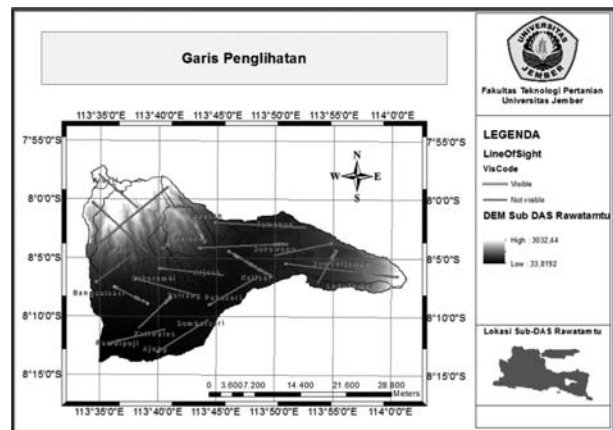
menghasilkan berbagai jenis data dan informasi, antara lain: kelas kemiringan (Gambar 2b); peta kontur (gambar 2c); dan azimuth (Gambar 2d).

Produk lain yang dapat diturunkan dari DEM adalah tampilan 3-Dimensi (Gambar 3a) dan garis penglihatan (Gambar 3b).

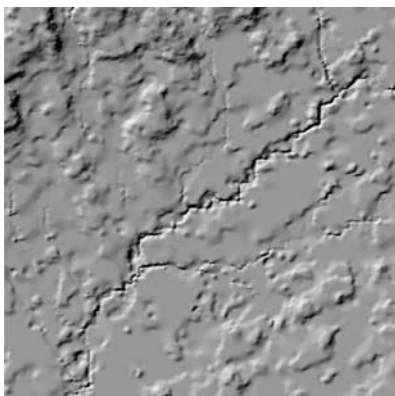
Penggunaan fitur garis penglihatan (*line of sight*) berfungsi untuk mengetahui keadaan suatu lahan dapat terlihat dari daerah yang lain. Garis yang dibuat secara acak tersebut menghubungkan antara satu titik dengan titik yang lain. Garis berwarna merah menunjukkan daerah tersebut tidak terlihat (*not visible*) dari titik awal garis, sedangkan yang berwarna kuning menunjukkan daerah tersebut terlihat (*visible*). Dominasi garis dengan warna merah menginformasikan bahwa Sub-DAS Rawatamtu memiliki kondisi tanah yang tidak merata. Banyak terdapat bukit-bukit maupun lembah-lembah yang menutup garis penglihatan antara titik yang satu dengan yang lain. Hal tersebut cukup beralasan karena Sub-DAS Rawatamtu terletak diantara 2 gunung yaitu Gunung Argopuro dan Gunung Raung. Banyak data-data lain yang dapat dihasilkan dari DEM dan digunakan untuk berbagai keperluan. Data turunan kedua misalnya,



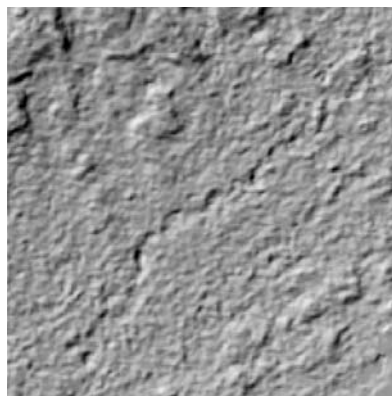
Gambar 3a. Tampilan 3 Dimensi Sub DAS Rawatamtu



Gambar 3b. Peta Garis pandang (*line of sight*)



DEM hasil interpolasi ketelitian piksel = 10 m



Aster GDEM2 : ketelitian piksel = 30 m



SRTM DEM: ketelitian piksel = 90 m

Gambar 4. Perbandingan *Hillshading*

jaringan sungai, luas DAS, berbagai indeks yang menyatakan topografi dan morfometrik DAS.

Evaluasi visual DEM

Hasil peta di atas merupakan sumber informasi yang dapat dilakukan dengan pengolahan DEM Sub-DAS Rawatamtu. Untuk menguji kualitas DEM yang telah dibuat (resolusi 10 m), maka dilakukan evaluasi dan perbandingan dengan sumber DEM yang lain yaitu DEM resolusi 30 m dan 90 m. Sehingga DEM yang telah dibuat dapat dipergunakan untuk memperoleh data yang akurat.

Perbandingan Tampilan (*Hillshading*)

Hillshading merupakan efek bayangan suatu permukaan. Teknik *Hillshading* dapat digunakan untuk mempertajam visualisasi suatu permukaan. Gambar 4 menampilkan perbandingan visual dengan *hillshade* antara DEM hasil interpolasi dengan SRTM-DEM dan ASTER GDEM2.

Gambar 4 memperlihatkan bahwa *hillshade* DEM hasil interpoalsi dengan ketelitian per piksel 10 m memiliki tampilan yang lebih tajam. Relief sungai dapat terlihat dengan jelas. Pada *hillshade* 30 juga terlihat memiliki tampilan yang cukup tajam namun lebih terlihat buram (*blur*).

Simpulan

Penelitian telah berhasil memproduksi DEM baru dengan ketelitian spasial 10 m x 10 m. DEM tersebut (DEM-10 m) dihasilkan dari re-interpolasi data ketinggian yang terdapat pada : titik-titik ketinggian pada peta RBI, ASTER GDEM2, dan SRTM. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa secara visual DEM-10 m mampu merepresentasikan fitur di lapangan dengan lebih akurat. DEM-10 m juga relatif lebih akurat untuk menggambarkan ketinggian tempat pada setiap pikselnya, dibanding ASTER-GDEM2 dan DEM SRTM.

Daftar Pustaka

- Andersen, H. E., Reutebuch, S. E., and McGaughey, R. J. 2005. Accuracy of an IFSAR-derived digital terrain model under a conifer forest canopy, *Can. J. Remote Sens.*, 31, 283–288, 2005.
- Arge, L., Chase, J. S., Halpin, P. N., Toma, L., Vitter, J. S., Urban, D., and Wickremesinghe, R. 2003. Flow computation on massive grid terrains, *Geoinformatica*, 7, 283–313.
- Bossler, J. D., Jensen, J. R., McMaster, R. B. and C. Rizos, 2002, *Manual of Geospatial Science & Technology*, London: Taylor & Francis, 623 p.
- Colson, T. P. 2006. Stream network delineation from high-resolution digital elevation models, Ph.D. Dissertation, Department of Forestry & Environmental Resources, North Carolina State University, Raleigh, NC, available at <http://www.lib.ncsu.edu/theses/available/etd-10302006-122024>.
- Costa-Cabral, M.C. and Burges, S.J. 1994. Digital elevation model networks (DEMON): A model of flow over hillslopes for computation of contributing and dispersal areas, *Water Resour. Res.*, 30, 1681–1692.
- Danner, A., Yi, K., Moelhave, T., Agarwal, P. K., Arge, L., and Mitasova, H. 2007: TerraStream: From Elevation Data to Watershed Hierarchies, *Proc. ACM GIS*, 28, doi:10.1145/1341012.1341049.
- Ehlschlaeger, C. 1989. Using the A* Search Algorithm to Develop Hydrologic Models from Digital Elevation Data, *Proceedings of International Geographic Information Systems (IGIS) Symposium*, Baltimore, MD, USA, 275–281.
- Fairfield, J. and Leymarie, P. 1991. Drainage networks from grid digital elevation models, *Water Resour. Res.*, 27, 709–717.
- Farr, T. G., Rosen, A. R., Caro, E., Crippen, R., Duren, R., Hensley, S., Kobrick, M., Paller, M., Rodriguez, E., Roth, L., Seal, D., Shaffer, S., Shimanda, J., Umland, J., Werner, M., Oskin, M., Burbank, D., and Alsdorf, D. 2007. The Shuttle Radar Topography Mission, *Rev. Geophys.*, 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- Freeman, T. G. 1991. Calculating catchment area with divergent flow based on a regular grid, *Comput Geosci.*, 17, 413–422.
- Garbrecht, J. and Martz, L.W. 1997. The assignment of drainage direction over flat surfaces in raster digital elevation models, *J. Hydrol.*, 192, 204–213.
- Grimaldi, S., Nardi, F., Di Benedetto, F., Istanbuluoglu, E., and Bras, R. L., 2007. A physically-based method for removing pits in digital elevation models, *Adv. Water Resour.*, 30, 2151–2158.
- Hancock, G. R., Martinez, C., Evans, K. G., and Moliere, D. R., 2006. A comparison of SRTM and high-resolution digital elevation model and their use in catchment geomorphology and hydrology: Australian examples, *Earth Surf. Proc. Land.*, 31, 1394–1412.
- Holmgren, P., 1994. Multiple flow direction algorithms for runoff modeling in grid based elevation models: An empirical evaluation, *Hydrol. Process.*, 8, 327–334.
- Hutchinson, M.F. 1988. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. Paper presented at Third International Symposium on Spatial Data Handling at Sydney, Australia.
- Hutchinson, M.F. 1989. A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology* 106: 211-232.
- Hutchinson, M. F. and Dowling, T. I. 1991. A continental hydrological assessment of a new

- grid-based digital elevation model of Australia. *Hydrological Processes* 5: 45-58.
- Hutchinson, M. F. 1996. A locally adaptive approach to the interpolation of digital elevation models. In *Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling*. Santa Barbara, CA: National Center for Geographic Information and Analysis. See: http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/hutchinson_michael_dem/local.html
- Hutchinson, M.F. 2000. Optimising the degree of data smoothing for locally adaptive finite element bivariate smoothing splines. *ANZIAM Journal* 42(E): C774–C796.
- Hutchinson, M.F. and Gallant, J.C. 2000. Digital elevation models and representation of terrain shape. In: J.P. Wilson and J.C. Gallant (eds) *Terrain Analysis*. Wiley, New York, pp. 29–50.
- Hutchinson, M.F. 2008. Adding the Z-dimension. In: J.P. Wilson and A.S. Fotheringham (eds), *Handbook of Geographic Information Science*, Blackwell, pp 144–168.
- Hutchinson, M.F., Stein, J.A., Stein, J.L. and Xu, T. 2009. Locally adaptive gridding of noisy high resolution topographic data. In Anderssen, R.S., R.D. Braddock and L.T.H. Newham (eds) *18th World IMACS Congress. Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand and International Association for Mathematics and Computers in Simulation*, July 2009, pp. 2493–2499. See: <http://www.mssanz.org.au/modsim09/F13/hutchinson.pdf>.
- Hutchinson, M.F., Xu, T. and Stein, J.A. 2011. Recent Progress in the ANUDEM Elevation Gridding Procedure. In: *Geomorphometry 2011*, edited by T. Hengel, I.S. Evans, J.P. Wilson and M. Gould, pp. 19–22. Redlands, California, USA. See: <http://geomorphometry.org/HutchinsonXu2011>.
- Jenson, S. K. and Domingue, J. O. 1988. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis, *Photogramm. Eng. Rem. S.*, 54(11), 1593–1600.
- Jensen, J. R., 2007. *Remote Sensing of the Environment: An earth resource perspective*. 2nd Prentice-Hall series in Geographic Information Science, USA
- Kinner, D., Mitasova, H., Harmon, R. S., Toma, L., and Stallard, R. 2005. GIS-based Stream Network Analysis for The Chagres River Basin, Republic of Panama. In: Harmon R (ed) *The Rio Chagres: A Multidisciplinary Profile of a Tropical Watershed*, Springer/Kluwer, 83–95.
- Killian, J., Haala, N., Englich, M., 1996. Capture and evaluation of airborne laser scanner data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. XXXI, Part B3, pages 383–388, Vienna, Austria.
- Kraus, K., Pfeiffer, N., 1998. Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data, *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 53 (1998) 193-203.
- Kraus, K., Pfeiffer, N., 2001. Advanced DTM generation from LIDAR data, *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume XXXIV-3/W 4 Annapolis, MD.
- Lehner, B. and D'oll, P. 2004 Development and validation of a global data base of lakes, reservoirs and wetlands, *J. Hydrol.*, 296, 1–22.
- Lindsay, J. B. 2009: Whitebox http://www.uoguelph.ca/_hydrogeo/Whitebox/index.html.
- Lindsay, J. B. and Creed, F., 2005. Removal of artefact depressions from digital elevation models: towards a minimum impact approach, *Hydrol. Process.*, 19, 3113–3126.
- Martz, L. W. and Garbrecht, J. 1998: The treatment of flat areas and depressions in automated drainage analysis of raster digital elevation models, *Hydrol. Process.*, 12, 843–855.
- Metz, M. and Ehlschlaeger, C. 2010. Watershed analysis program *r.watershed*, source code, <https://trac.osgeo.org/grass/browser/grass/branches/releasebranch64/raster/r.watershed>.
- North Carolina Division of Water Quality (NCWQ) 2010: *Methodology for Identification of Intermittent and Perennial Streams and Their Origins*, Version 4.1.1, <http://portal.ncdenr.org/web/wq/swp/ws/401/waterresources/streamdeterminations>, Effective Date: 1 September 2010.
- Notebaert, B., Verstraeten, G., Govers, G., and Poesen, J. 2009: Qualitative and quantitative applications of LiDAR imagery in fluvial geomorphology, *Earth Surf. Proc. Landforms*, 34, 217–231.
- O' Callaghan, J. F. and Mark, D. M. 1984. The Extraction of Drainage Networks from Digital Elevation Data, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28, 223–344.
- Peckham, S. D., 1998. Efficient extraction of river networks and hydrologic measurements from digital elevation data, in Barndorff-Nielsen and others, eds., *Stochastic Methods in Hydrology: Rain, Landforms and Floods*: Singapore, World Scientific, 173–203, 1998.
- Planchon, O. and Darboux, F., 2001. A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models, *Catena*, 46, 159–176, 2001.
- Quinn, P., Beven, K., Chevallier, P., and Planchon, O. 1991: The prediction of hillslope flow paths for distributed hydrological model using digital terrain models, *Hydrol. Process.*, 5, 59–79.
- Quinn, P. F., Beven, K. J., and Lamb, R. 1995: The $\ln(a/\tan(\beta))$ index: How to calculate it and how to use it within the top model framework, *Hydrol. Process.*, 9, 161–182.
- Rieger, W., 1998. A phenomenon-based approach to upslope area and depressions in DEMs, *Hydrol. Process.*, 12, 857–872.

- Rodriguez, E., Morris, C. S., and Belz, J. E., 2006. A global assessment of the SRTM performance, *Photogramm. Eng. Rem. S.*, 72, 249–260.
- Santini, M., Grimaldi, S., Rulli, M. C., Petroselli, A., and Nardi, F., 2009. Pre-processing algorithms and landslide modeling on remotely sensed DEMs, *Geomorphology*, 113, 110–125.
- Tarboton, D.G. 1997. A New Method for the Determination of Flow Directions and Contributing Areas in Grid Digital Elevation Models, *Water Resour. Res.*, 33, 309–319.
- Valeriano, M. M., Kuplich, T. M., Storino, M., Amaral, B. D., Mendes, J. N., and Lima, D. J. 2006. Modeling small watersheds in Brazilian Amazonia with shuttle radar topographic mission 90 m data, *Comput. Geosci.*, 32, 1169–1181.
- WorldWildlife Fund, HydroSHEDS, <http://hydrosheds.cr.usgs.gov/index.php>, 2009. Hydrol.
- Wever, C., and Lindenberger, J., 1999. Experiences of 10 years laser scanning, <http://www.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo99/wever.pdf> (accessed 21 Jan. 2013).
- Wang, L. and Liu, H. 2006. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling, *Int. J. Geogr. Inf. Sci.*, 20, 193–213, 2006
- World Wild life Fund, HydroSHEDS, <http://hydrosheds.cr.usgs.gov/index.php>, 2009. Hydrol.
- Wood, J. (1996a) Scale-based characterisation of Digital Elevation Models. In Parker D. (ed.) *Innovations in GIS 3*, Ch. 13, London: Taylor & Francis.
- Wood, J. (1996b) The geomorphological characterisation of Digital Elevation Models, PhD Thesis, University of Leicester, <http://www.soi.city.ac.uk/~jwo/phd/>
- Wood, J. (1998) Modelling the continuity of surface form using digital elevation models. In Poiker, T. and Chrisman, N. (Eds.) *Proceedings, 8th International Symposium on Spatial Data Handling, IGU, Vancouver, 725-736.*