Topik : Ilmu Geografi

ANALISIS KARAKTERIST MORFOMETRI DAERAH ALIRAN SUNGAI MELALUI PEMANFAATAN PENGINDERAAN JAUH DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFI

(Studi Kasus di DAS Limboto Provinsi Gorontalo)

Nurfaika

UNIVERSITAS NEGERI GORONTALO (Nurfaika@ung.ac.id)

Abstrak

Nurfaika. Analisis Karakterist Morfometri Daerah Aliran Sungai Melalui Pemanfaatan Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografi (Studi Kasus di DAS Limboto Prov.Gorontalo)Penelitian ini merupakan penelitian untuk menghasilkan produk berupa peta dan data terkait morfometri DAS Limboto melalui pemanfaatan penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG). Melalui data elevasi ketinggian permukaan digital (Digital Elevation Model) yang diturunkan dari citra ASTER GDEM dan aplikasi Arc GIS memberikan kemudahan dan efisiensi waktu dalam meganalisis morfometri DAS Limboto. Hasil dari penelitian ini adalah data dan peta terkait morfometri DAS Limboto yang meliputi : luas DAS, panjang sungai induk, lebar DAS, relief rasio (gradient sungai), kerapatan jaringan sungai, orde dan tingkat percabangan sungai, serta bentuk DAS.

Kata Kunci: Aster GDEM,, SIG,MorfometriDAS

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Berdasarkan Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS), inventarisasi karakteristik DAS sangat penting untuk dilakukan sebagai dasar penyusunan Rencana Pengelolaan DAS. Berbagai bencana hidrologi seperti fenomena banjir dan kekekringan yang sering terjadi di Indonesia merupakan indikasi rusaknya keseimbangan tata air akibat berkurangnya kemampuan beberapa proses daur hidrologi. Tindakan pengelolaan baik pencegahan maupun penanggulangan seringkali tidak memperhatikan karakteristik alami DAS, sehingga kejadian banjir tetap terjadi.

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan kesatuan ekosistem dimana jasad hidup dan lingkungannya berinteraksi secara dinamik dan terdapat saling ketergantungan *(interdependensi)* komponen-komponen penyusunnya. Karakteristik DAS adalah gambaran spesifik mengenai DAS yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan morfometri, topografi, tanah, geologi, vegetasi, penggunaan lahan, hidrologi dan manusia. Karakteristik fisik tersebut akan memberikan respon spesifik dari DAS terhadap curah hujan yang jatuh. Respon tersebut akan mempengaruhi besar-kecilnya nilai parameter karakteristik hidrologi seperti evapotranspirasi, infiltrasi, aliran permukaan, kandungan air tanah dan perilaku aliran sungai. Parameter tersebut telah banyak digunakan dalam berbagai studi geomorfologi dan aliran permukaan seperti karakteristik banjir, sedimentasi dan perubahan morfologi DAS.

Danau limboto merupakan salah satu objek wisata andalan dan memiliki peranan yang penting sebagai daerah resapan air bagi daerah sekitarnya. Berdasarkan laporan Badan Pengelolaan DAS Bone Bolango (2004), wilayah DAS Danau Limboto telah mengalami penurunan kualitas sumber daya alam, terjadinya erosi, sedimentasi, dan fenomena banjir yang hampir setiap tahun melanda wilayah hilir, serta terjadinya pendangkalan Danau Limboto yang merupakan sumber mata pencaharian bagi masyarakat yang bertempat tinggal di sekitaran wilayah tersebut. Fenomena tersebut mencerminkan rusaknya ekosistem pada wilayah DAS Danau Limboto.

DAS Limboto merupakan salah satu DAS Prioritas I berdasarkan SK Menhut No. 248/Kpts-II/1999 tentang urutan prioritas Daerah Aliran Sungai (DAS). Keberadaan DAS

limboto sangat penting karena danau limboto merupakan ekosistem perairan Kota Gorontalo yang kondisinya kualitasnya semakin menurun (Dewi dan Iwanuddin, 2004).

Berdasarkan fenomena tersebut diatas, diperlukan perencanaan yang intensif dengan membutuhkan data-data yang penting dan akurat, khususnya data spasial. Oleh sebab itu, dipandang perlu untuk dilakukan pengkajian yang lebih khusus terkait karakteristik fisik DAS melalui analisis morfometri DAS Limboto. Outpun dari kegiatan ini adalah peta dan data Morfometri DAS Limboto. Penelitian ini merupakan langkah awal untuk mengenali, mempelajari dan lebih memahami karkateristik morfometri yang dimiliki DAS tesebut. Outpun kegiatan ini akan dimanfaatkan untuk rencana kegiatan penelitian berikutnya yaitu kegiatan analsisis distribusi spasial limpasan permukaan serta pembuatan pemodelan kajian hidrologi untuk mitigasi bencana.

Teknologi penginderaan jauh merupakan salah satu teknologi yang mampu memberikan kemudahan dalam perolehan data dan informasi yang cepat, akurat dan mutkahir terkait objek yang ada dipermukaan bumi. Kaitanya dengan penelitian ini, salah satu pendekatan untuk mengoptimalkan pemanfaatan data satelit penginderaan jauh adalah memanfaatkan model ketinggian atau DEM *(Digital Elevation Model)*, untuk menganalisis morfometri DAS wilayah penelitian secara cepat, akurat dan mutakhir. Sistem Informasi Geografi (SIG) merupakan alat untukaproses pengolahan data menjadi dataspasial berupa peta, sehingga memberikan kemudahan untuk menganalisis posisi relatif suatu kenampakan beserta persebarannya.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut diatas maka muncul permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana karakteristik data morfometri DAS Limboto Provinsi Gorontalo dari data *Digital Elevation Model (DEM)* citra ASTER GDEM dan SRTM?
2. Bagaimana gambaran keruangan karakteristik data morfometri DAS Limboto Provinsi Gorontalo dari citra ASTER GDEM dan SRTM?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi dan menganalisis karakteristik data morfometri DAS Limboto Provinsi Gorontalo dari data *Digital Elevation Model (DEM)* citra ASTER GDEM dan SRTM.

2. Memetakan karakteristik data morfometri DAS Limboto Provinsi Gorontalo dari citra ASTER GDEM dan SRTM.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang di harapkan dari hasil penelitian ini diharapkan:

1. Menyajikan data yang diperlukan terkait pengelolaan DAS.
2. Acuan dalam menetapkan kebijakan, strategi pembangunan serta skala prioritas dalam pengelolaan DAS.
3. Sarana teknis dalam usaha meletakkan kegiatan pembangunan dengan lebih tepat dan cepat.
4. Untuk mengetahui kondisi fisik DAS kaitannya dengan morfometri DAS.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Suripin (2001) mendefinisikan DAS sebagai suatu daerah yang dibatasi oleh topografi alami, dimana semua air hujan yang jatuh didalamnya akan mengalir melalui suatu sungai dan keluar melalui outlet pada sungai tersebut, atau merupakan satuan hidrologi yang menggambarkan dan menggunakan satuan fisikbiologi dan satuan kegiatan sosial ekonomi untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya alam. Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) adalah bagian dari DAS dimana air hujan diterima dan dialirkan melalui anak sungai ke sungai utama. Setiap DAS terbagi habis menjadi wilayah yang lebih kecil yaitu Sub DAS -Sub DAS, dan apabila diperlukan dapat dipisahkan lagi menjadi Sub-sub DAS, dan demikian untuk seterusnya (Sudarmadji, 2007).

2.2. Morfometri Daerah Aliran Sungai

Asdak, (2004) menjelaskan bahwa morfometri DAS merupakan ukuran kuantitatif karakteristik DAS yang terkait dengan aspek geomorfologi suatu daerah. Parameter tersebut adalah luas DAS, bentuk DAS, jaringan sungai, kerapatan aliran, pola aliran, dan gradien kecuraman sungai.Kombinasi antara faktor morfometri DAS dengan faktor-faktor yang dapat diubah manusia (manageable) seperti tata guna lahan, kemiringan dan panjang lereng akan memberikan respon spesifik dari DAS terhadap curah hujan yang jatuh, evapotranspirasi, infiltrasi, aliran permukaan, kandungan air tanah dan perilaku aliran sungai (Noges, 2009; Rahayu, Widodo, Noordwijk, Suryadi dan Verbist, 2009). Karakteristik morfometri DAS bersama-sama penggunaan lahan dapat digunakan untuk mengevaluasi terjadinya banjir bandang dalam suatu kawasan (Nugroho, 2009).

a. Luas DAS

Garis batas anatara DAS adalah punggung permukaan bumi yang dapat memisahkan dan membagi air hujan ke masing-masing DAS. jika batas DAS telah ditentukan, maka pengukuran luas DAS bias terukur. Luas daerah sungai diperkirakan dengan pengukuran daerah itu pada peta topografi (Sosrodarsono dan Takeda 2003).

b. Panjang dan Lebar DAS

Panjang DAS adalah sama dengan jarak datar dari muara sungai ke arah hulu sepanjang sungai induk. Adapun lebar DAS adalah perbandingan antara luas DAS dengan

panjang sungai induk. Pengukuran lebar DAS tidak dapat dilakukan secara langsung akan tetapi dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Seyhan, 1977):

W = A/Lb

Keterangan :

W = lebar DAS (km)

A = Luas DAS (km2)

Lb = Panjang sungai Utama (km)

c. Relief Rasio (Kemiringan/Gradient sugai)

Relief rasio merupakan parameter yang penting dalam suatu DAS. Peningkatan relief dan lereng yang curam mengakibatkan waktu yang diperlukan pada saat pengumpulan air menjadi singkat. Relief rasio berpengaruh terhadap banjir dan erosi. Semakin tinggi relief rasionya maka aliran permukaan akan meningkat dan lebih besar dari kapasitas infiltrasinya. Sehingga erosi yang terjadi akan semakin besar. Stanley Schumn dalam penelitinaya pada 35 subdas di Utah Amerika Serikat, membuktikan bahwa semakin tinggi relief rasio suatu DAS maka laju sedimentasi juga semakin tinggi. Untuk mengetahui relief rasio suatu DAS, Strahler merumuskannya dengan perhitungan antara beda tinggi hulu dan hilir suatu DAS terhadap panjang sungai utama yang dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$S_u = \frac{(h85 - h10)}{0{,}75\ Lb}$$

S_u = Kemiringan alur sungai (gradient sungai)

h_{10} = Ketinggian titik yang terletak pada jarak 0,10 Lb

h_{85} = Ketinggian titik yang terletak pada jarak 0,85 Lb

Lb = Panjang alur sungai utama

d. Kerapatan jaringan sungai

Kerapatan sungai adalah suatu indeks yang menunjukkan banyaknya anak sungai dalam suatu daerah pengaliran. Sosrodarsono dan Takeda (2003) menyatakan bahwa kerapatan sungai rendah terlihat pada daerah dengan jenis tanah yang tahan terhadap erosi atau sangat permeable dan bila reliefnya kecil. Nilai yang tinggi dapat terjadi pada tanah yang mudah tererosi atau relatif kedap air, dengan kemiringan tanah yang curam, dan hanya sedikit ditumbuhi tanaman.

Kerapatan jaringan sungai dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Seyhan, 1977):

Dd = L/A

Keterangan :

Dd = Kerapatan alur (m/km2)

Ln = Total panjang alur (m)

A = luas DAS (km2)

Indeks kerpatan aliran sungai diklasifikasikan sebagai berikut :

Dd = < 0.25 km/km2 = rendah

Dd = 0.25 – 10 km/km2 = sedang

Dd = 10 – 25 km/km2 = tinggi

Dd = >25 km/km2 = sangat tinggi

Lynsley (1996), menyatakan bahwa jika nilai kerapatan aliran sungai lebih kecil dari 1 mile/mile^2 (0,62 km/km2), maka DAS akan mengalami penggenangan, sedangkan jika nilai kerapatan aliran sungai lebih besar dari 5 mile/mile2 (3,10 km/km2), maka DAS akan sering mengalami kekeringan.

e. Orde dan tingkat percabangan sungai (tekstur jaringan sungai)

Orde sungai adalah posisi percabangan alur sungai didalam urutannya terdapat induk sungai pada suatu DAS. orde sungai dapat ditetapkan dengan metode Horton, Strahler, Shreve, dan Scheidegger. Pada umunya metode Strahler lebih mudah untuk diterapkan dibandingkan dengan metode yang lainnya. Berdasarkan metode Strahler, alur sungai paling hulu yang tidak mempunyai cabang disebut dengan orde pertama (orde 1), pertemuan antara orde pertama disebut orde kedua (orde 2), demikian seterusnya sampai pada sungai utama ditandai dengan nomor orde yang paling besar. Jumlah alur sungai suatu orde dapat ditentukan dari angka indeks percabangan sungai (‘bifurcation ratio’), dengan persamaan berikut :

$$Rb = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

Perhitungan Rb biasanya dilakukan dalam unit Sub DAS atau Sub-sub DAS. untuk memperoleh nilai Rb dari keseluruhan DAS, maka digunakan tingkat percabangan sungai Rerata Tertimbang (‘Weigted Mean Bifurcation Ratio’/WRB), yang dihitung dengan persamaan berikut :

$$W_{Rb} = \frac{\sum Rb_{\frac{u}{u}+1\ (N_{u+}\ N_{u+1})}}{N_u}$$

Keterangan :

Rb = Indeks tingkat percabangan sungai

N_u = Jumlah alur sungai untuk orde ke-u

N_{u+1} = Jumlah alur sungai untuk orde ke (u + 1)

Hasil persamaan tersebut dapat menyatakan keadaan sebagai berikut :

- Rb <3: alur sungai mempunyai kenaikan muka air banjir dengan cepat, sedangkan penuruannya berjalan lambat.
- Rb 3-5 alur sungai mempunyai kenaikan dan penurunan muka air banjir terlalu cepat atau tidak terlalu lambat.
- Rb >5: alur sungai mempunyai kenaikan muka air banjir dengan cepat, demikian pula penurunannya akan berjalan denagan cepat.

f. Bentuk Daerah Aliran Sungai

Pola sungai menentukan bentuk suatu DAS. Bentuk DAS mempunyai arti penting dalam hubungannya denagn aliran sungai, yaitu berpengaruh terhadap kecepatan terpusat aliran. Bentuk DAS sulit untuk dinyatakan dalam bentuk kuantitatif, bentuk DAS dapat didekati dengan nisbah kebulatan (*Circularity ratio*) menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Rc = \frac{4\,\pi\,A}{P^2}$$

Keterangan :

Rc = nisbah kebulatan

A = luas DAS (km2)

P = keliling (perimeter) DAS (km)

nilai Rc > 0.5 maka DAS berbentuk bulat, Rc <0.5 DAS berbentuk memanjang (Table 1.2)

Table 1.2 Bentuk kebulatan (*Circularity ratio/Rc)*

No	Rc	Keterangan
1	>0.5	Bentuk daerah aliran sungai membualt, debit puncak datanya lama, begitu juga penurunannya
2	<0.5	Bentuk daerah aliran sungai memanjang, debit puncak datangnya cepat, begitu juga penurunannya.

Sumber : Soewarno. 1991

2.4. Citra ASTER/ ASTER GDEM

Teknik penginderaan jauh memiliki dua sistem utama yang dikenal dengan sistem pasif *(passive sensing)* dan sistem aktif *(active sensing). Advance Spaceborne Thermal Emission And Reflection Radiometer (ASTER)* merupakan kemajuan citra multispektral yang diluncurkan

oleh *National Aeronautics And Space Administration (NASA)* dan diperoleh dari sensor optik satelit *Earth Observation System (EOS AM-1)* pada bulan Desember tahun 1999. Spesifikasi dari citra *ASTER* adalah memiliki saluran tampak atau *Visible Near Infrared (VNIR)* yang resolusi spasialnya 15m, saluran dengan panjang gelombang pendek atau *Short Wave Infrared (SWIR)* yang resolusi spasialnya 30m dan saluran inframerah termal atau *Thermal Infrared (TIR)* dengan resolusi spasial 90m. Sensor *ASTER* dengan sub-sistem saluran *VNIR* terdiri dari dua pertemuan teleskop yang bebas yaitu *backward* dan *nadir looking* yang ditujukan untuk memperoleh informasi *Digital Terrain Model (DTM)* dan *Digital Elevation Model (DEM).* Oleh sebab itu, pemanfaatan citra ASTER banyak digunakan dalam berbagai macam kajian terkait fenomena yanga ada dipermukaan bumi misalnya untuk kajian hidrologi, geologi, kehutanan dan sebagainya.

Table 1.3 Karakteristik GDEM ASTER

Ukuran ubin	3601 x 3601 (1^0 x 1^0)
Ukuran Piksel	1 arc-second
System koordinat geografis	Geografi lintang dan bujur
Format Output DEM	GeoTIFF, Signed 16 bit, verikal dalam satuan meter direferensikan ke WGS84/EGM96 geoid
Nilai digital number	-9999 untuk piksel kosong dan 0 untuk permukaan laut
Cakupan	Utara 83^0 sampai selatan 83^0, 22.702 ubin

Sumber : ASTER GDEM Readme

Seiring dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, *The Ministry of Economy, Trade, and Industry (METI) of Japan* dan *the United States National Aeoronautis and Space Administration* (NASA) bersama-sama mengumumkan rilis dan *Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Global Digital Elevation Model (GDEM)* versi 2 pada 17 Oktober 201 (LP DAAC, 2011). Cakupan GDEM ASTER membentang dari 83^0 LU hingga 83^0 LS, meliputi 99% dari daratan bumi (Melebihi cakupan SRTM dari 60^0 LU hingga 56^0 LS).

2.5 Digital Elevation Model (DEM)

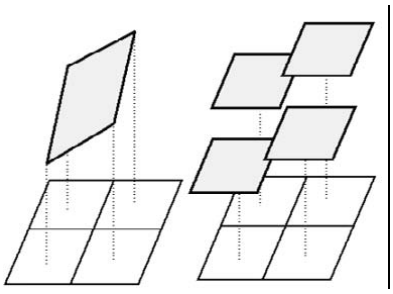
Konsep tentang *Digital Terrain Model(DTM)* merupakan suatu hal yang relatif masih baru dan telah berkembang dengan pesat. Istilah ini dikembangkan oleh dua orang Insinyur Amerika dari *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* sejak tahun 1950-an. Mereka mendefinisikan DTM adalah gambaran permukaan bumi yang disajikan secara statistik yang terdiri dari himpunan titik koordinat X,Y,Z hasil pengukuran lapangan (Miller and La Flamme, 1958 dalam Perizza, 2004).Sejak itu, muncul beberapa terminologi lain seperti *Digital Elevation Model (DEM*), *Digital Height Model (DHM), Digital Ground Model (DGM) dan Digital Terrain Elevation Data (DTED)* . Walaupun dalam prakteknya terminologi ini sering dianggap sama, pada kenyataannya mereka sering mengacu pada produk berbeda (Petrie dan Kennie, 1990).

Digital Elevation Model(DEM) data digital yang menggambarkan geometri dari bentuk permukaan bumi (atau bagiannya) yang terdiri dari himpunan titik-titik koordinat hasil sampling dari permukaan dan dari algoritma yang mendefinisikan permukaan tersebut menggunakan himpunan koordinat (Tempfli, 1991). Variasi dari permukaan bumi, seperti relief dapat disajikan secara matematis sebagai fungsi dari posisi, dan posisi dapat didefinisikan sebagai koordinat geografi (φ,λ) atau koordinat empat persegi panjang (X,Y) pada peta berproyeksi misalnya UTM *(Universal Transvers Mercator)*. Data elevasi biasanya mengacu pada datum *mean sea level.* Sumber data DEM adalah data elevasi berupa garis dan titik yang dapat diperoleh dari diperoleh dari : foto udara tegak stereo, citra satelit stereo, dan data titik ketinggian *(point elevation),* garis kontur *(isoline),* dan data pengukuran lapangan dengan menggunakan GPS, Teodolit, dan sebagainya.

Ada beberapa struktur data yang berbeda yang dapat dipakai untuk menyajikan topografi permukaan bumi yaitu : struktur data grid *(lattice),* TIN *(Trianguler Irregular Network)* dan Kontur *(Contours)*

a. Grid *(Lattice)*

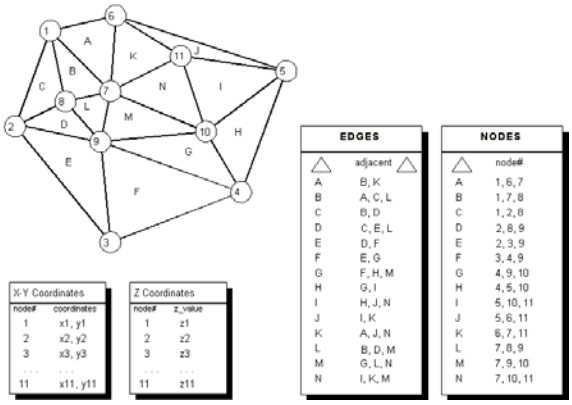
Struktur ini menggunakan sebuah bidang segitiga teratur, segiempat, atau bujursangkar atau bentuk siku yang teratur. Seperti data dapat disimpan dengan berbagai cara, biasanya metode adalah dengan koordinat Z berhubungan untuk rangkaian titik-titik sepanjang profil dengan titik awal dan spasi grid tertentu (Moore *et al.,* 1991 dalam Purwanto, 2002)



Gambar 1. Lattice versus categorical grids

b. TIN *(Trianguler Ireguler Networtk)*

TIN adalah rangkaian segitiga yang tidak tumpang tindih dihitung dari titik ruang yang tak beraturan dengan koordinat x, y dan nilai z yang menyajikan data elevasi. Data disimpan dalam suatu himpunan atau topologi yang berhubungan antara segitiga dengan segitiga didekatnya yang digabungkan dengan tiga titik segitiga yang dikenal sebagai facet (Laurini and Thompson, 1992 dalam El-Sheimy, 1999).



Gambar 2. Struktur Model TIN

c. Kontur *(Contours)*

Dibuat dari digitasi kontur disimpan dalam format seperti *Digital Line Graphs* (DLGs) membuat pasagan-pasangan koordinat x,y sepanjang tiap garis kontur yang menunjukkan elevasi khusus.

2.6 Sistem Informasi Geografi (SIG)

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem pengelolaan informasi yang juga menyediakan berbagai fasilitas analisa data. Sistem ini sangat bermanfaat dalam perencanaan dan pengelolaan SDA, antara lain untuk aplikasi inventarisasi dan monitoring hutan,

kebakaran hutan, perencanaan penebangan hutan, rehabilitasi hutan, konservasi Daerah Aliran Sungai (DAS) dan konservasi keragaman hayati.

Sistem nformasi Geografi (SIG), yang diterjemahkan dari Geographycal Information System (GIS) adalah sebuah sistem untuk pengelolaan, penyimpanan, pemrosesan atau manipulasi, analisis dan penayangan data, yang mana data tersebut secara spasial (keruangan) terkait dengan permukaan bumi (Prahasta, 2002).

BAB III

METODE PENELITIAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan kesatuan ekosistem dimana jasad hidup dan lingkungannya berinteraksi secara dinamik dan terdapat saling ketergantungan *(interdependensi)* komponen-komponen penyusunnya. Karakteristik DAS adalah gambaran spesifik mengenai DAS yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan morfometri. Parameter tersebut telah banyak digunakan dalam berbagai studi geomorfologi dan aliran permukaan seperti karakteristik banjir, sedimentasi dan perubahan morfologi DAS.

3.1 Bahan dan Alat

Bahan dan Alat yang digunakan adalah:

- Citra ASTER GDEM (*Global Digital Elevation Model)*
- Citra SRTM *(Shuttle Radar Topography Mission)*
- Peta Rupa Bumi Indonesia 1:50.000, sebagai peta dasar/data pembanding
- Peta Batas DAS dari BPDAS Provinsi Gorotalo, sebagai data pembanding hasil interpretasi batas DAS.
- Peta Administrasi, untuk informasi adaministrasi wilayah DAS

Alat yang digunakan adalah :

- Aplikasi SIG *(SoftwareArcGis 10)*, untuk pengolahan, pengukuran, anlalisis, managemen data dan pemetaan
- *Software ENVI, 4.4*, untuk pengolahan dan analisis data citra pengideraan jauh
- *Software Global Mapper 10,* untuk penglohahan dan analisis data citra penginderaan jauh
- *Global Position System (GPS),* untuk penentuan posisi absolut dipermukaan bumi dalam kegiatan observasi dan survey lapangan
- *Abney Level*, untuk pengukuran kemiringan lereng dilapangan
- *Altimeter,* untuk penentuan titik ketinggian di lapangan

3.2 Lokasi Penelitian

Kegiatan penelitian Penelitian ini dilaksanakan di DAS Limboto Provinsi Gorontalo.

3.3 Variabel Penelitian

Veriabel penelitian ini adalah data karakterisik morfometri DAS yang merupakan turunan DEM dari data ASTER GDEM versi 2.0 dan SRTM 4.0.

3.3 Prosedur Penelitian

3.4 .1 Tahap Pengumpulan Data

Data-data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder yang terkait karakteristik morfometri DAS. Data primer adalah data yang diperoleh langsung, data primer kaitannya dengan penlitian ini diperoleh dengan cara mengunduh data secara gratis (free) dari internet berupa data citra ASTER GDEM versi 2.0 dan citra SRTM versi 4.0. Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari instansi yang terkait, kaitannya dengan penelitian ini data sekunder berupa data kontur peta RBI BAKOSURTANAL dan data DAS dari BPDAS Provinsi Gorontalo.

3.4.2 Tahap Pengolahan Data

3.4.2.1 Pra Pengolahan Data

Tahap pra pengolahan data merupakan suatu proses yang dilakukan pada data diawal kegiatan pengolahan agar data dapat dianalisis lebih lanjut. Lingkup kegiatan dalam tahapan ini meliputi :

- Proses mosaic dan pemotongan data ASTER GDEM dengan *software GlobalMapper 10*
- Konversi system proyeksi, dalam hal ini perubahan referensi spasial dari format decimal (system koordinat geografi) ke meter (koordinat *Universal Transver Mercator*-UTM), karena satuan meter akan mempermudah proses analisis karakteristik morfometri DAS

3.4.2.2 Pengolahan data dan visualisasi DEM

Tahapan ini dilakukan dengan tujuan untuk membangun data DEM dari ASTER GDEM , serta untuk memperbaiki kualitas data DEM untuk tahap analisis lanjut. Adapun linkup kegiatan tahapan ini meliputi :

- Visualisasi DEM *(DEM Visualitation)*

  Visulisasi DEM dilakukan untuk memperoleh gambaran yang jelas terkait topografi yang dimaksud. Maksud dari kegiatan ini adalah untuk menggambarkan kembali DEM dengan *hillshade* (efek bayangan topografi)
- *Fill Sink*

  Fill Sink ini dilakukan untuk menghilankan *depression* atau *sink* yaitu kondisi dimana terdapat perbedaan elevasi yang mencolok dengan cakupan yang sangat kecil. Tahapan

ini harus dilakukan karena akan menggangu proses perhitungan kaitannya dengan kajian hidrologi.

3.4.2.3 Analisis data DEM untuk analisis Morfometri DAS

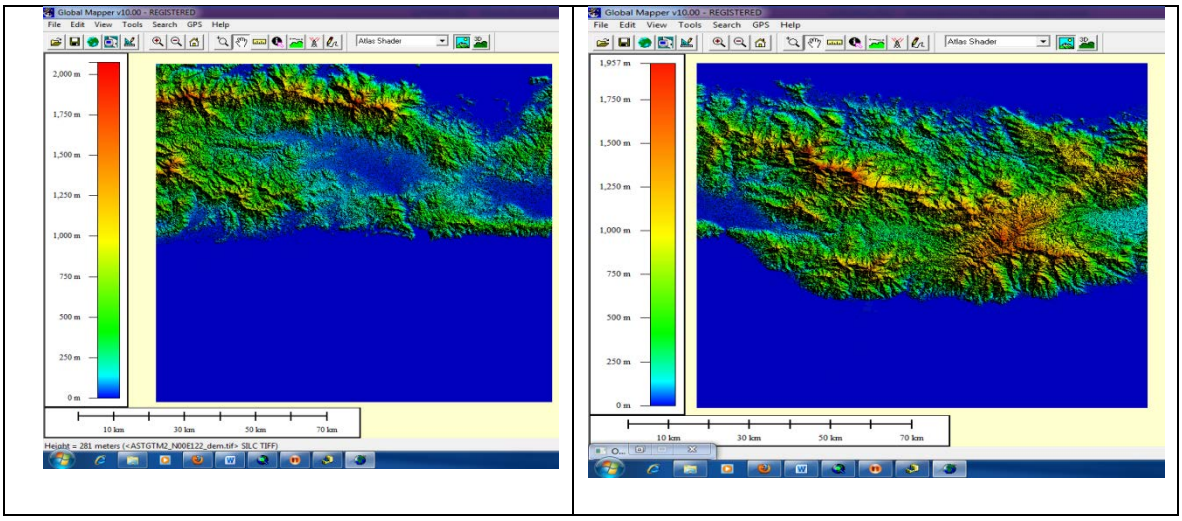
Tahapan ini dilakukan degan tujuan untuk menganalisis karakteristik morfometeri DAS dengan memanfaatakan data *ASTER GDEM* dan menggunakan *software Global Mapper* untuk ektraksi data DEM serta *tools Spatial Anlysis* > *Hydrology* yang terdapat dalam *softwareArcGIS* untuk analisis karakteristik morfometri DAS dari data DEM meliputi : analisis hillshade (peta visulisasi DEM), flow direction (peta arah aliran), flow accumulation (peta akumulasi aliran), single output (peta jaringan sungai utama), stream link (peta jaringan sungai), stream orde (peta orde dan percabangan sungai), watershed (peta batas DAS dan Sub DAS).

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

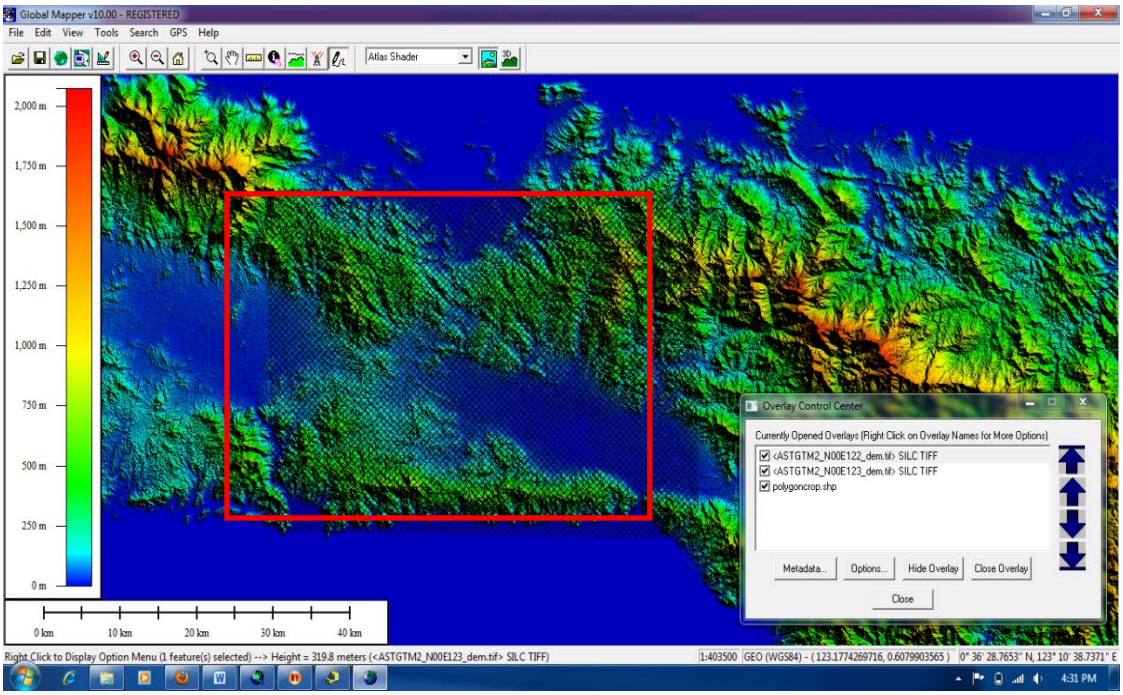
Data untuk morfometri DAS meliputi data primer terdiri dari data *ASTER GDEM* versi 2.0 dan data *SRTM* yang diperoleh dari hasil pengunduhan secara geratis di internet dan digunakan untuk ekstraksi data *DEM* sebagai data acuan untuk kajian morfometri melalui pemanfaatan *tools Watershed* pada *software ArcGIS*. Sedangkan data sekunder terdiri dari peta RBI dan peta DAS dari BPDAS yang digunakan sebagai data pembanding dalam penelitian ini.

4.1 Visualisasi data ASTER GDEM dan SRTM *(BingMap)*

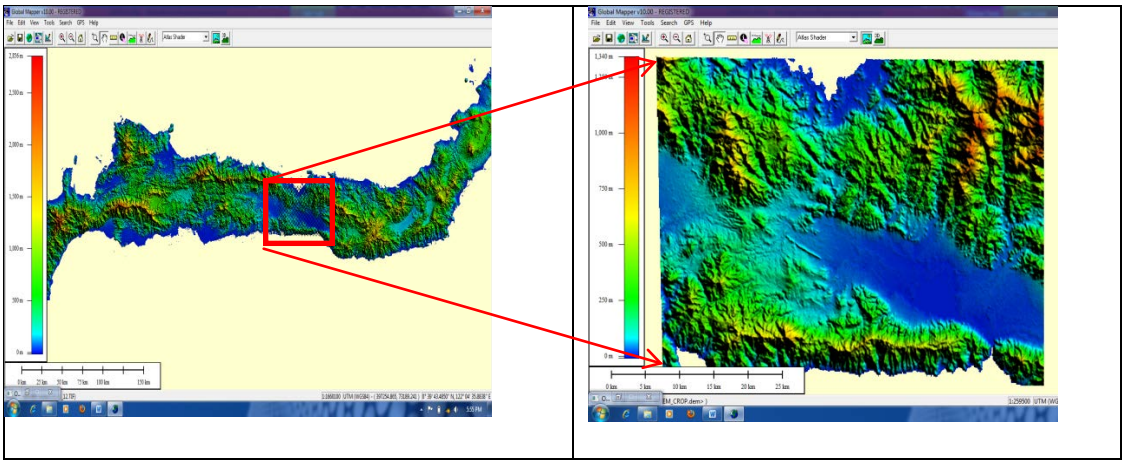
Citra ASTER GDEM Versi 2.0 dan SRTM merupakan data dasar yang digunakan untuk mengekstraksi data DEM yang akan digunakan untuk menganalsisi karakteristik morfometri DAS limboto. Citra ASTER GDEM lokasi penelitian terdiri dari 2 (dua) lembar *(sheet)* yaitu *shett ASTGTM2_N 00 E 122* dan *shett ASTGTM2_N 00 E 123*, dengan demikian diperlukan suatu proses mosaic (penggabungan) dua lembar citra tersebut yang kemudian dilakukan pembatasn wilayah kerja melalui proses pemotongan *(cropping)*. Berbeda dengan citra ASTER GDEM, citra SRTM untuk lokasi penelitian terdapat pada satu lembaran data sehingga pada tahap pra pengolahan tidak memerlukan proses mosaic hanya proses pemotongan *(cropping)*. Berikut tampilan data citra ASTER GDEM Versi 2.0 dan SRTM dari hasil pengunduhan secara gratis diinternet yang digunakan dalam penelitian ini untuk memperoleh karakteristik morfometri DAS Limboto.



Gambar 4.1 Citra *ASTER GDEM shett ASTGTM2_N 00 E 122*dan *shett ASTGTM2_N 00 E 123*



Gambar 4.2. Mozaik Citra ASTER GDEM sheet N00 E122 dan sheet N00 E123



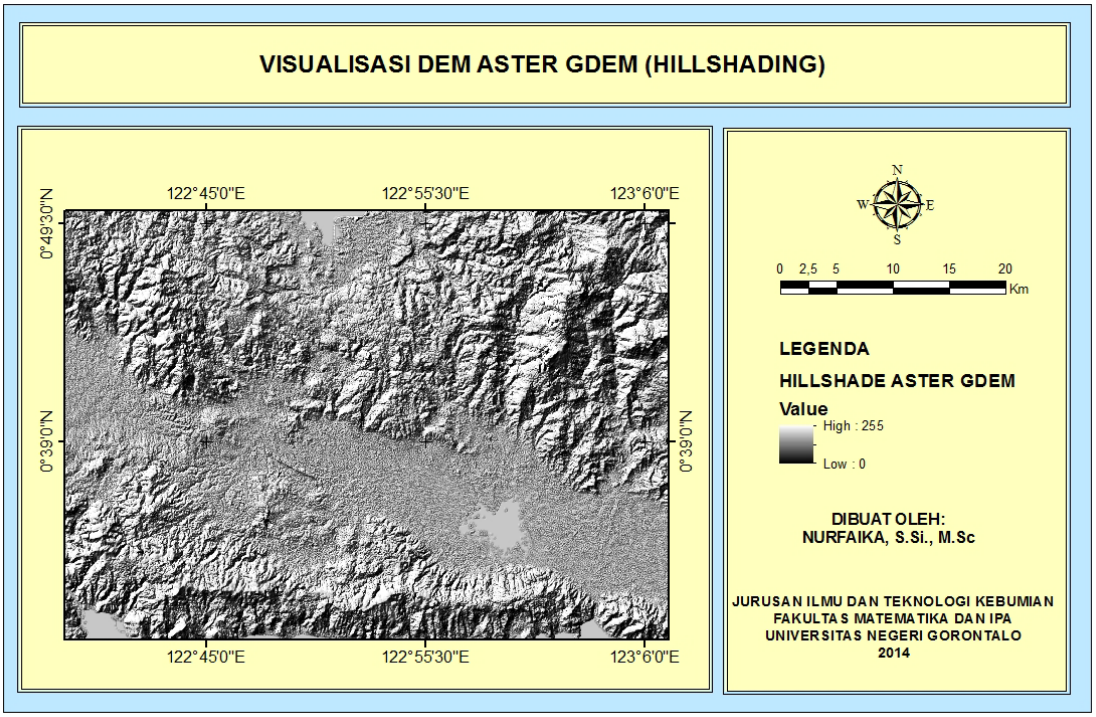
Gambar 4.3. Citra SRTM dan Hasil Pemotongan *(Cropping)*

4.2. Analisis Karakteristik Data Morfometri DAS dari data Digital Elevation Model (DEM) citra ASTER GDEM dan SRTM

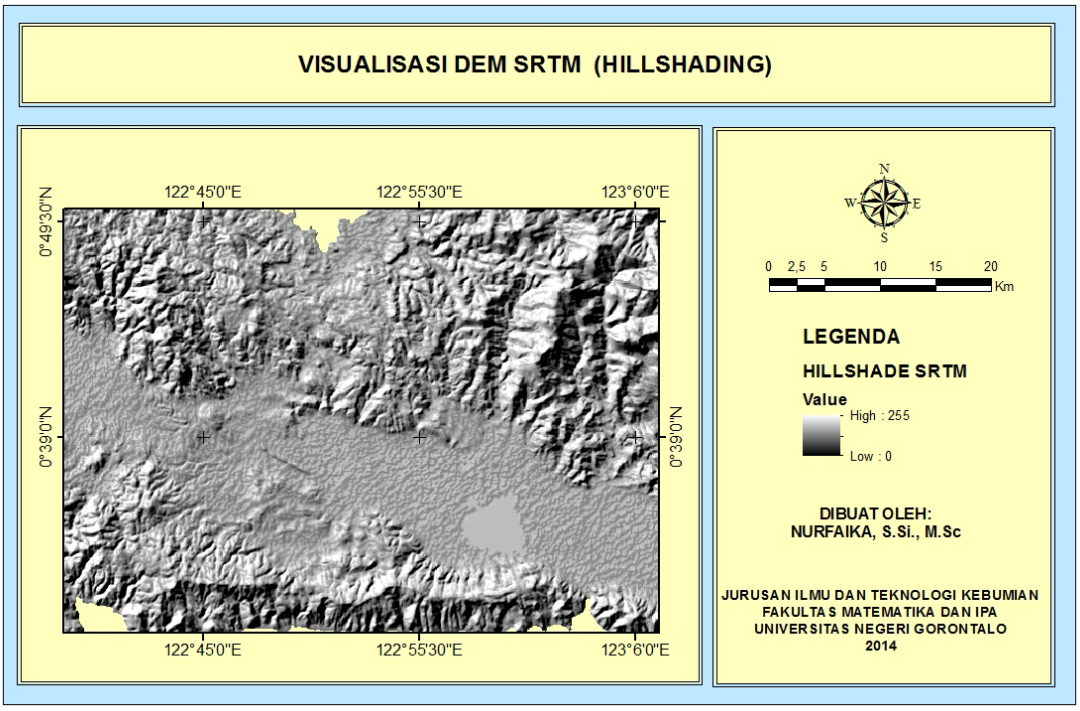
4.2.1. Visualisasi DEM ASTER GDEM dan SRTM *(Hillshading)*

Untuk analisis karakteristik morfometri DAS, diperlukan data topografi yang divisualisasikan melalui data *Digital Elevation Model (DEM).* Kaitannya dengan penelitian ini, data DEM dieksport dari data ASTER GDEM dan SRTM yang kemudian divisualisasikan melalui pemanfaatan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG).

Visualisasi data DEM ditampilkan dalam bentuk *Hillshade*, yaitu untuk menampilkan informasi tingkat kecerahan permukaan masing-masing sel (pixel) dalam data raster (ASTER GDEM dan SRTM). Melalui fungsi *Hillshade* dapat menentukan asal atau sudut datang cahaya pada citra sehingga memungkinkan untuk kegiatan analisis visual gambar beserta sumber cahayanya. Selain itu, visualisasi DEM dengan fungsi *hillshade* dapat memberikan gambaran ketinggian suatu tempat dan tingkat keberaturan permukaan suatu wilayah.



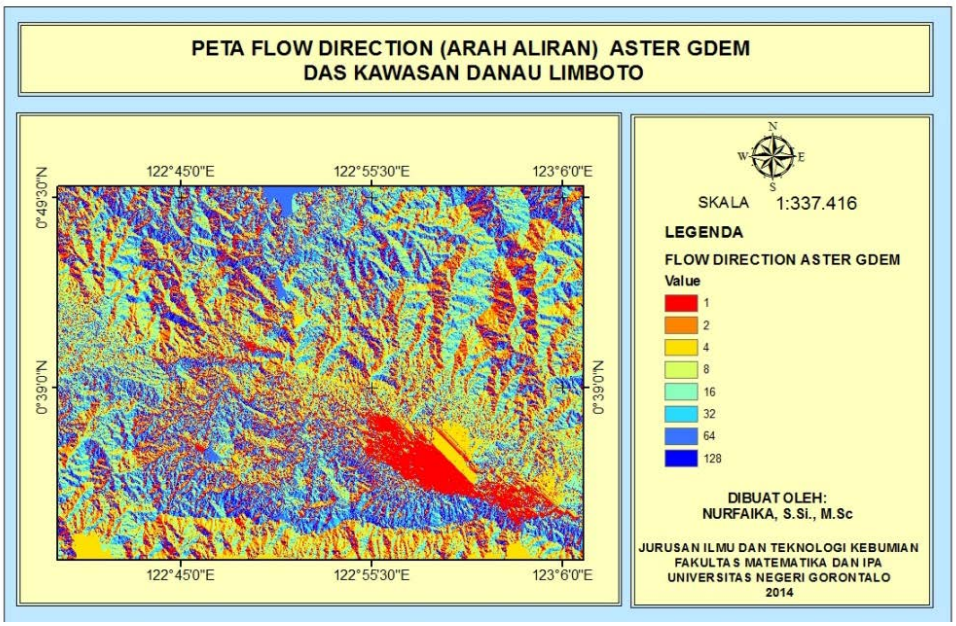
Gambar 4.4. PetaVisualisasi DEM ASTER GDEM Kawasan DAS Limboto



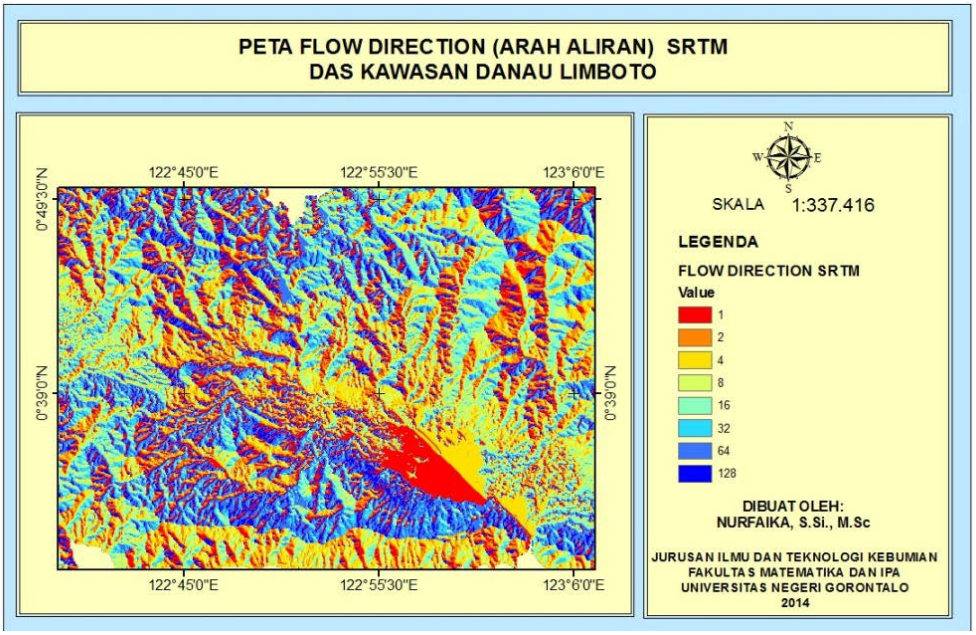
Gambar 4.5. Peta Hasil Visualisasi DEM SRTM Kawasan DAS Danau Limboto

4.2.2. *Flow Direction*

Fungsi flow direction adalah untuk menurunkan karakteristik hidrologi dalam menentukan arah aliran setiap sel (pixel) pada data raster lokasi penelitian. Berikut ditampilkan hasil peta flow direction (arah aliran) kawasan DAS Limboto.



Gambar 4.6. Peta Hasil Analisis *Flow Direction* (Arah Aliran) Kawasan DAS Danau Limboto Data ASTER GDEM

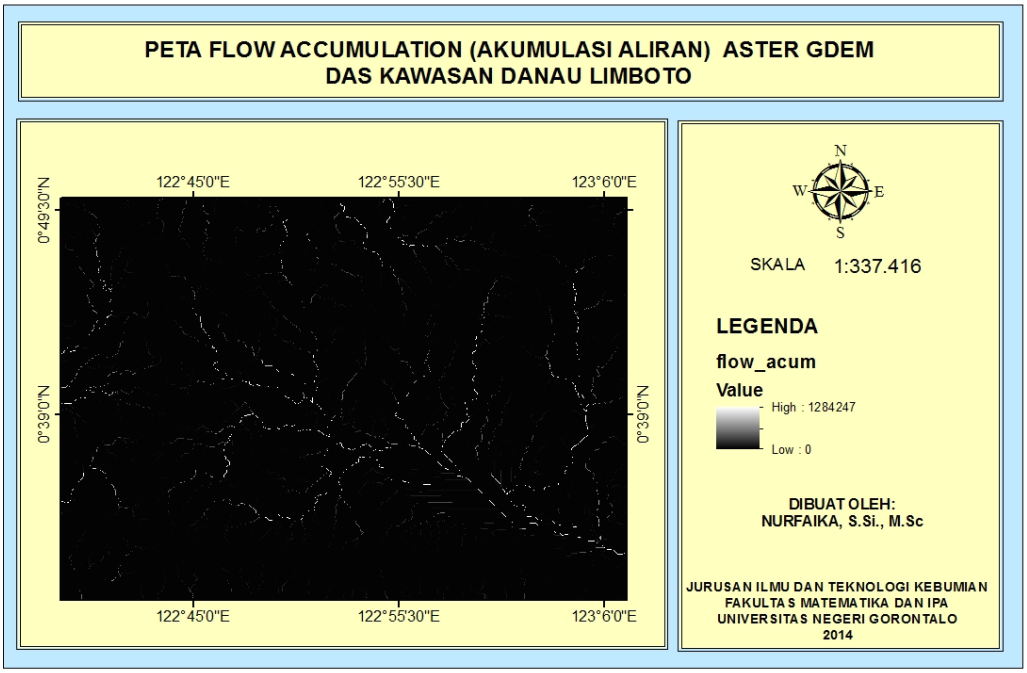


Gambar 4.7. Peta Hasil Analisis *Flow Direction* (Arah Aliran) Kawasan DAS Danau Limboto Data SRTM

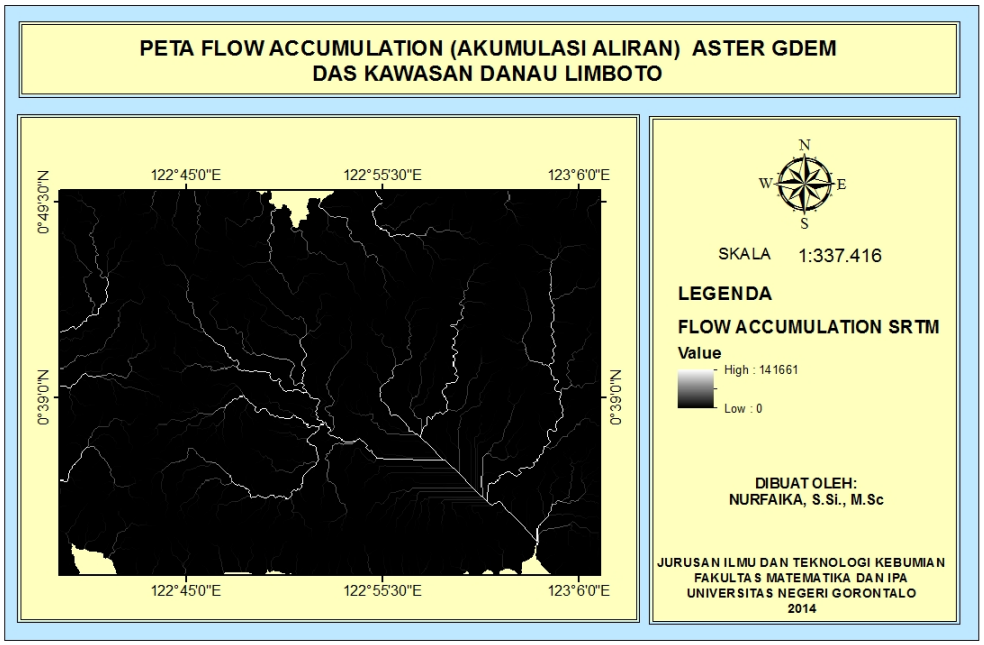
Pada peta arah aliran tersebut diatas tampak bahwa adanya simbol warna yang tebagi menjadi beberapa macam warna. Dari hasil *flow direction*, dapat dianalisis pola aliran dari suatu ketinggian tempat tertentu. Wilayah dengan adanya cell value berwarna biru pada flow direction ASTER GDEM dan SRTM menunjukkan karakteristik arah aliran. Pada peta tersebut, dapat dimati arah aliran tersebar dari dataran tinggi ke arah dataran rendah atau daerah yang memiliki kemiringan lereng yang lebih landai.

4.2.3 *Flow Accumulation*

Flow accumulation digunakan untuk menghitung akumulasi aliran dari semua sel (pixel) yang mengalir ke setiap sel (pixel) setelahnya sesuai dengan arah aliran. Oleh karena itu flow accumulation membutuhkan fungsi flow direction sebelumnya.



Gambar 4.8. Peta Flow Accumulation ASTER GDEM DAS Kawasan Danau Limboto

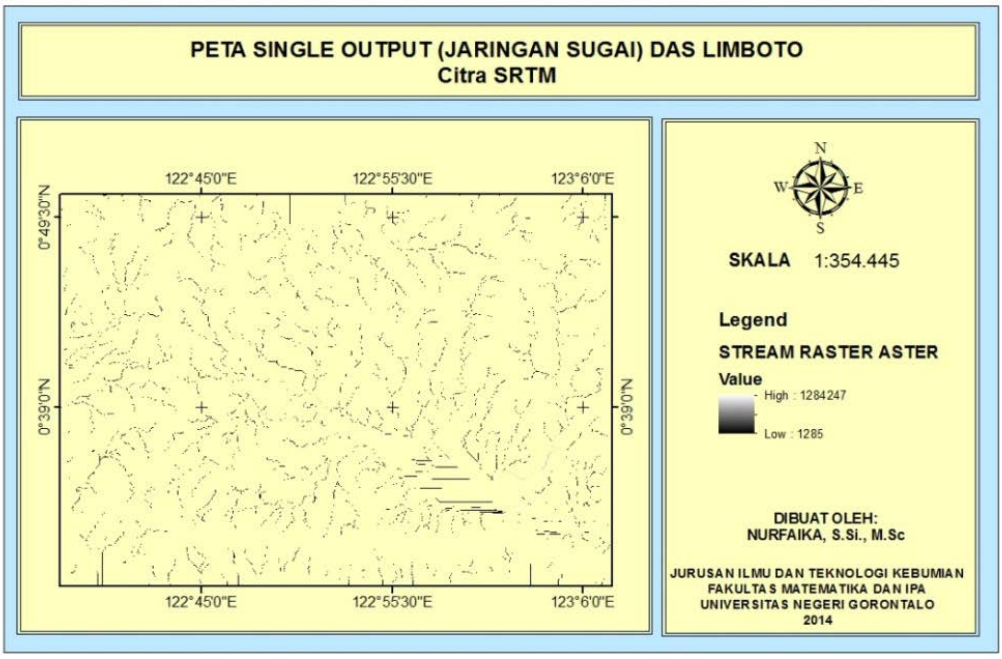


Gambar 4.9. Peta Flow Accumulation ASTER GDEM DAS Kawasan Danau Limboto

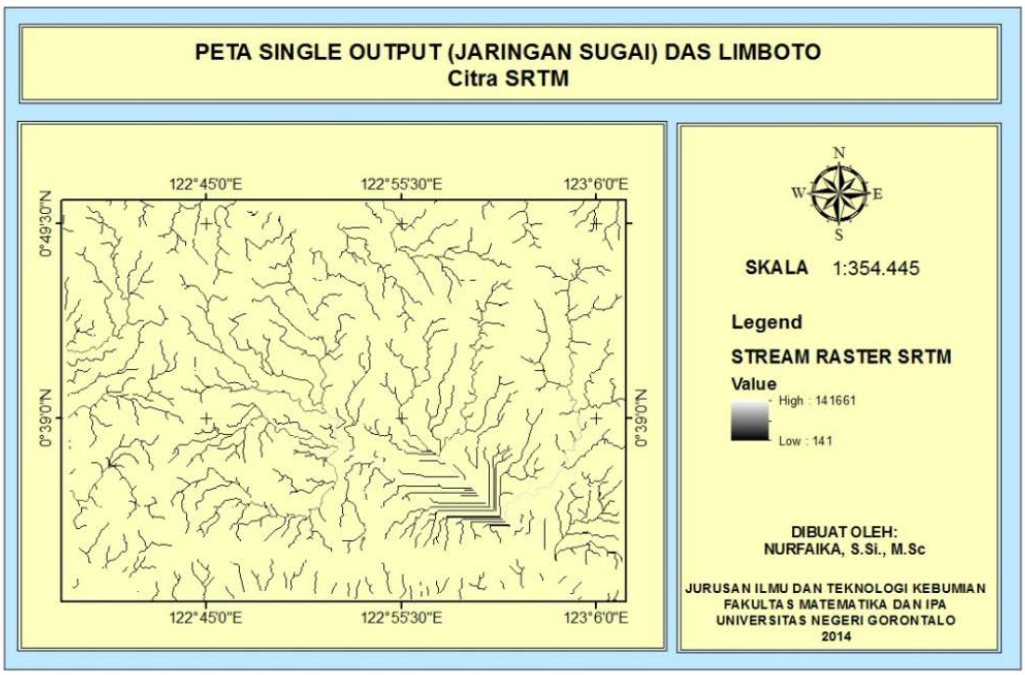
Berdasarkan peta flow accumulation (akumulasi aliran) yang diperoleh dari data ASTER GDEM dan SRTM memberikan kemudahan dalam menganalisis seberpa besar aliran dari suatu arah aliran. Pada kedua peta tersebut tampak adanya wilayah dengan cell value warna hitam dan wilayah berupa garis dengan cell value berwarna putih/cerah menunjukkan arah aliran (jaringan sungai). Flow accumulation pada kedua peta tersebut menunjukkan adanya akumulasi aliran yang sesuai dengan flow direction (arah aliran) yang kesemuaanya memiliki outlet (bermuara) di danau Limboto. Jika dibandingakn peta flow accumulation data ASTER GDEM dan SRTM, flow accumulation dari data SRTM tampak lebih jelas dan tegas jika dibandingkan dengan data ASTER GDEM. Hal tersbut dikarenakan oleh resolusi citra SRTM lebih besar (90 m) jika dibandingkan dengan data citra ASTER GDEM versi 2.0.

4.2.3. *Single Output*

Fungsi single output adalah untuk menghomogenkan nilai akumulasi aliran dan bukan aliran, sehingga nilai akumulasi aliran sesuai dengan arah aliran. Oleh karena itu pengoperasian fungsi single output membutuhkan data flow accumulation sebelumnya.



Gambar 4.10. Peta Single Outlet (Jaringan Sungai) DAS Limboto Citra ASTER GDEM



Gambar 4.11. Peta Single Outlet (Jaringan Sungai) DAS Limboto Citra SRTM

Peta Single Output (Jaringan Sungai) dair citra ASTER GDEM tampak lebih halus dan kurang jelas jika dibandingkan dengan peta single output (jaringan sungai) yang diperoleh dari data SRTM. Akan tetapi, jika dianalisis lebih lanjut dapat diinterpretasi bahwa sistem jaringan sungai yang diperoleh dari data ASTER GDEM lebih halus (lekukan-lekukan jaringan sungai) jika dibandingkan dengan sistem jaringan sungai dari data SRTM. Hal tersebut diatas disebabkan oleh adanya perbedaan resolusi spasial anatarcitra ASTER GDEM

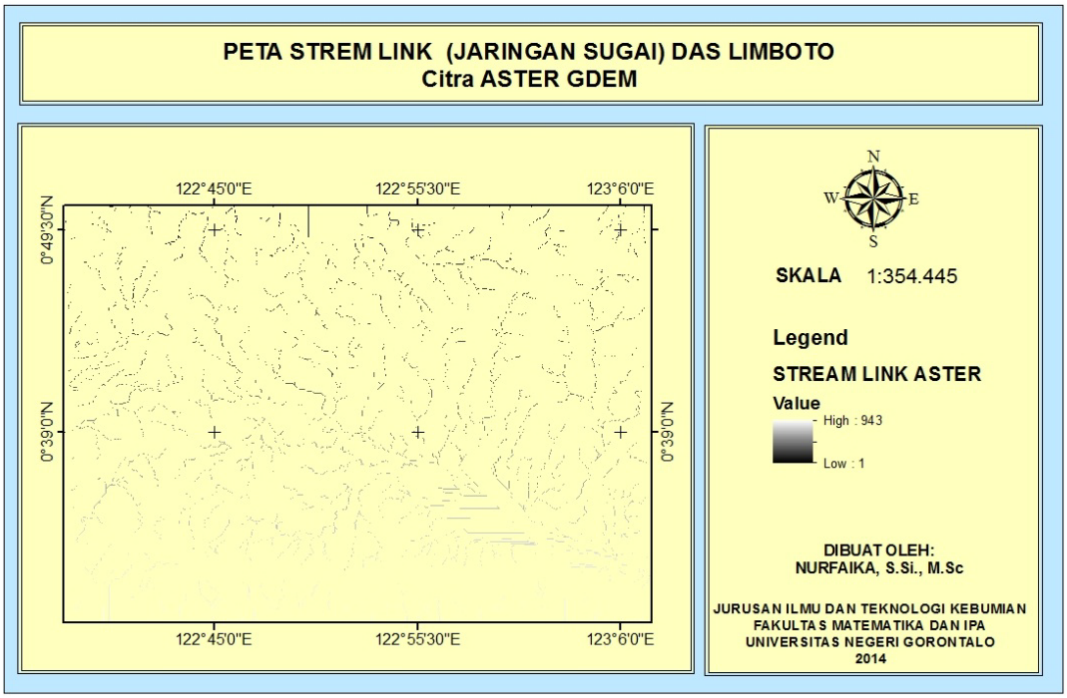
dan SRTM, dimana SRTM memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan ASTER GDEM.

Hasil dari analisis dengan menggunakan fungsi single output dari kedua data tersebut dapat diperoleh peta jaringan sungai dengan kejelasan dan ketegasan terkait sistem jaringan dan outlet (sistem pengeluarannya) dalam suatu kawasan DAS tertentu shingga memberikan kemudahan untuk menganalisis dan menentukan batas DAS dengan lebih mudah. Kaitannya dengan penelitian ini, dari kedua peta jaringan sungai tersebut diatas tampak bahwa adanya sistem jaringan sungai yang terbentuk dan diiterpretasi sebagai sistem DAS Limboto yang memiliki outlet (sistem pengeluaran) yang bermuara pada satu titik yaitu di Danau Limboto.

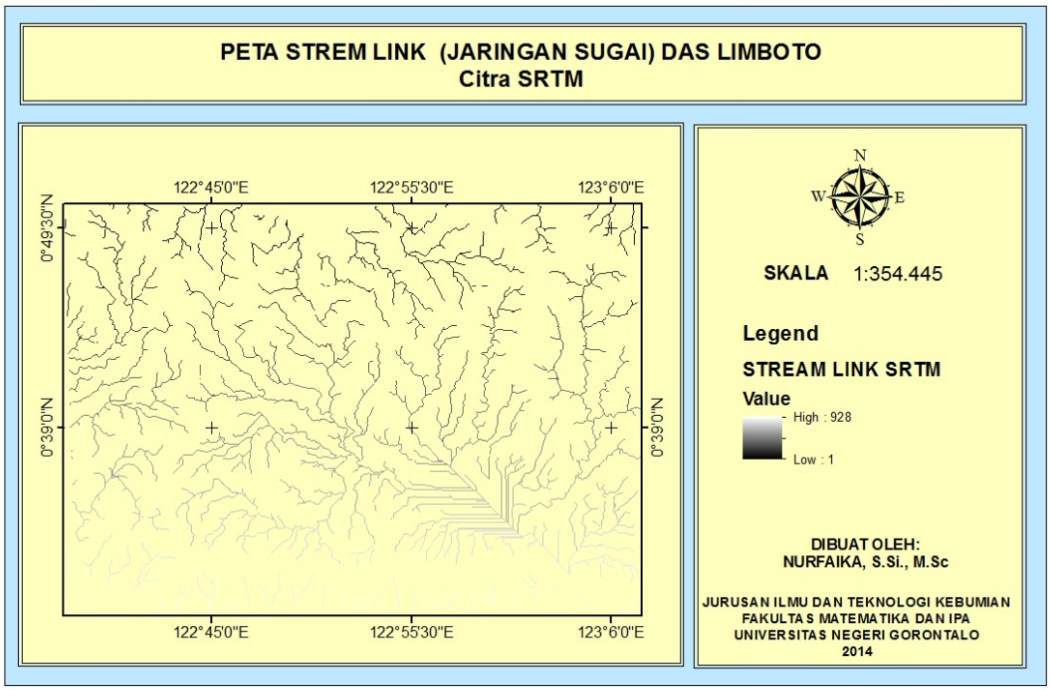
4.2.4. *Stream Link*

Fungsi dari stream link adalah untuk menghubungkan antara aliran sungai dalam sistem DAS. Untuk menjalankan fungsi ini, membutuhkan data dari proses single output dan flow direction. Berikut peta hasil analisis stream link (jaringan sungai) dari data ASTER GDEM dan SRTM dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

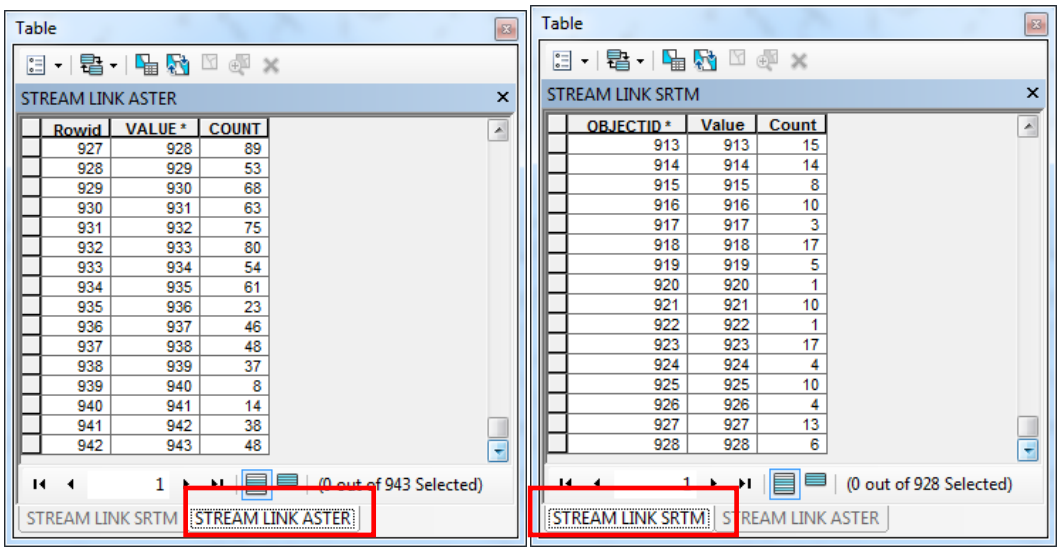
Hasil peta stream link (jaringan sungai) memberikan kemudahan untuk mendapatkan gambaran aliran sungai yang saling terhubung dari hulu ke hilir sungai. Berdasarka peta jaringan sungai tersebut diatas tampak bahwa jaringan sungai yang diperoleh dari data ASTER GDEM kurang jelas dan tegas jika dibandinkan dengan peta jaringan sungai dair citra SRTM. Akan tetapi, tampak pada peta jaringan sungai citra ASTER GDEM memiliki jaringan sungai yang lebih banyak jika dibandingkan dengan akumulasi jaringan sungai pada citra SRTM yang dapat dilihat dari tabel atribut berikut.



Gambar 4.12. Peta Stream Link (Jaringan Sungai) DAS Limboto Citra ASTER GDEM



Gambar 4.13. Peta Stream Link (Jaringan Sungai) DAS Limboto Citra SRTM

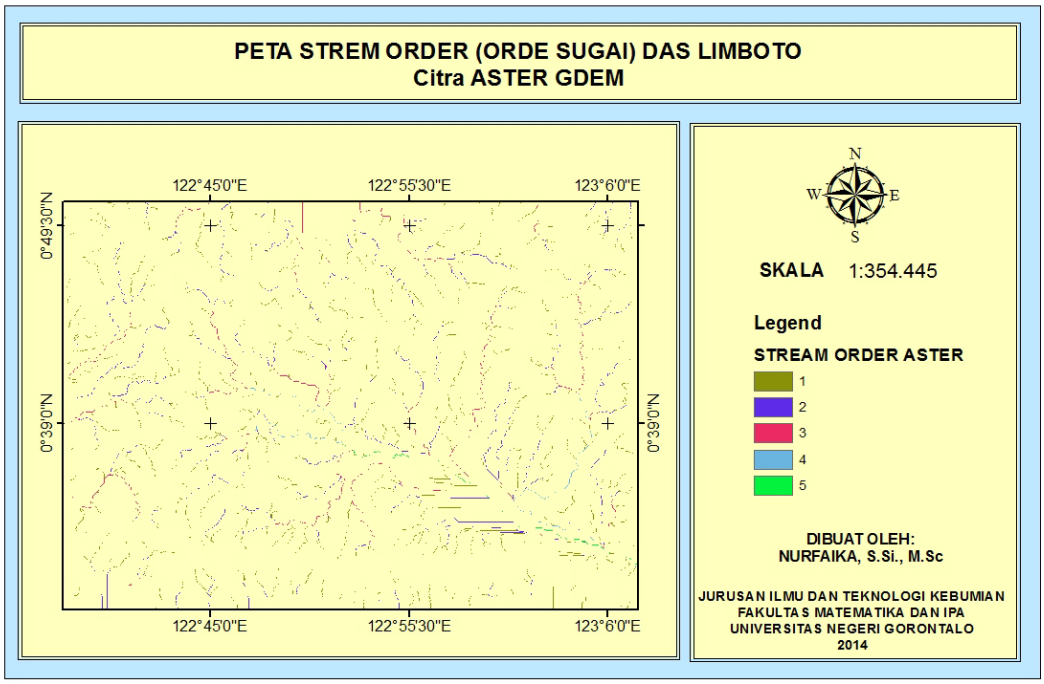


Gambar 4.14. Tabel Attribut Jumlah Stream Link (Jaringan Sungai) data ASTER dan SRTM

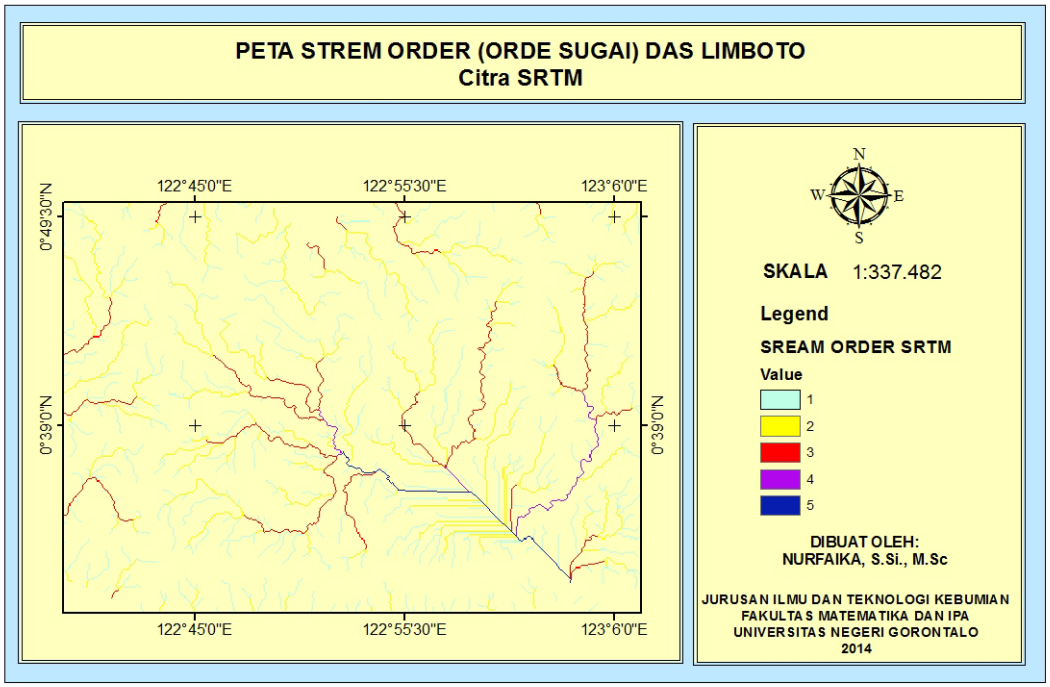
Adanya perbedaan hasil dari peta Stream Link (Jaringan Sungai) antara data ASTER dan SRTM disebabkan oleh adanya perbedaan resolusi spasial antara kedua data tersbut dimana citra ASTER GDEM memiliki resolusi spasial rendah sehingga gambar jaringan sungai kuran jelas akan tetapi memiliki jumlah jaringan sungai bagian hulu lebih banyak karena memiliki cakupan wilayah yang luas jika dibandingkan dengan citra SRTM yang memiliki resolusi spasial yang lebih tinggi shingga ukuran sel (pixel) untuk menggambarkan jaringan sungai wilayah tersebut lebih jelas dan lebih tegas dengan cakupan wilayah yang relatif lebih sempit jika dibandingakan dengan citra SRTM.

4.2.5. *Stream Order*

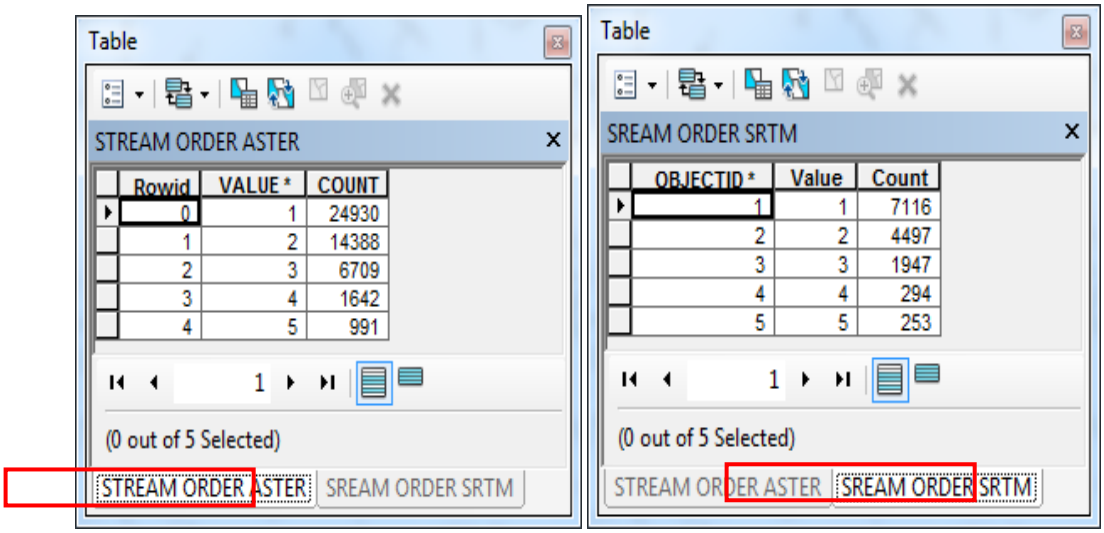
Stream order adalah metode untuk menempatkan urutan numerik dalam jaringan sungai serta untuk untuk mengidentifikasi dan mengklasfikasikan jenis sungai berdasarkan jumlah anak sungai. Karakteristik aliran dapat disimpulkan hanya mengetahui orde alirannya. Salah satu merode yang digunakan adalah metode Strahler (1957). Berikut ditampilkan peta hasil analisis orde jaringan sungai dari data ASTER GDEM dan SRTM dengan menggunakan metode Strahler.



Gambar 4.15. Peta Stream Order (Orde Sungai) DAS Limboto
Citra ASTER GDEM metode Strahler



Gambar 4.17. Peta Stream Order (Orde Sungai) DAS Limboto
Citra SRTM metode Strahler



Rowid	VALUE *	COUNT
0	1	24930
1	2	14388
2	3	6709
3	4	1642
4	5	991

OBJECTID *	Value	Count
1	1	7116
2	2	4497
3	3	1947
4	4	294
5	5	253

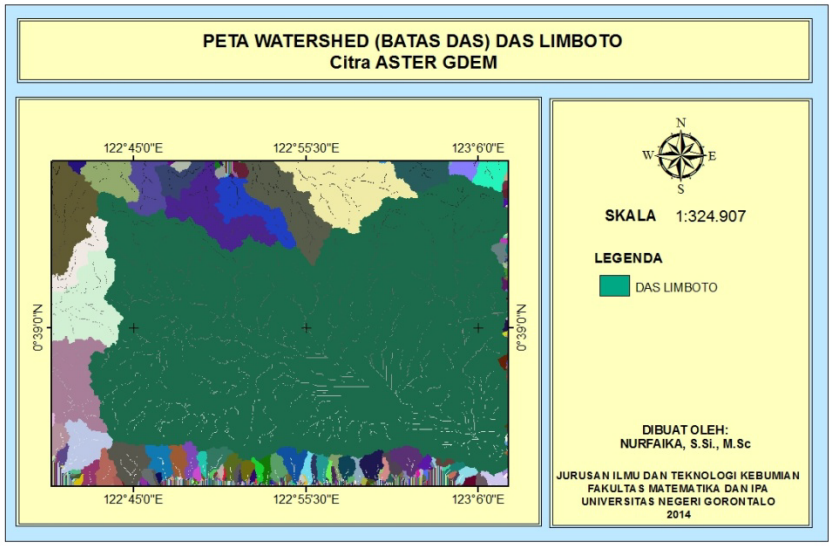
Gambar 4.18. Tabel Attribut Jumlah Stream Orde (Orde Sungai) data ASTER dan SRTM

Hasil peta Stream Order adalah berupa gambaran aliran sungai dengan orde alirannya. Orde adalah urutan daripada tingkat percabagan sungai, dimana dalam kedua peta tersbut baik orde sungai dari data ASTER GDEM maupun SRTM dengan menggunakan metode Strahler menklasifikasikan orde sungai menjadi 5 tingkatan (orde) yaitu dari orde 1 sampai dengan orde ke 5. Orde sungai pada kedua peta tersebut digambarkan dengan cell value (simbol) warna seperti yang tampak pada gambar peta orde sungai (stream orde). Jika dianalisis lebih lanjut tampak bahwa orde sungai dari data SRTM lebih jelas jika dibandingkan dengan data ASTER GDEM, akan tetapi jumlah dari masing-masing orde sungai data SRTM lebih sedikit jika dibandingakan dengan data ASTER GDEM. Hal tersebut tidak terlepas dari dara strem link (jaringan sungai) yang digunakan sebagai sumber data untuk penentuan orde sungai (stream orde), yang mana pada dasarnya sebagai akibat perbedaan resolusi spasial dari kedua data tersebut.

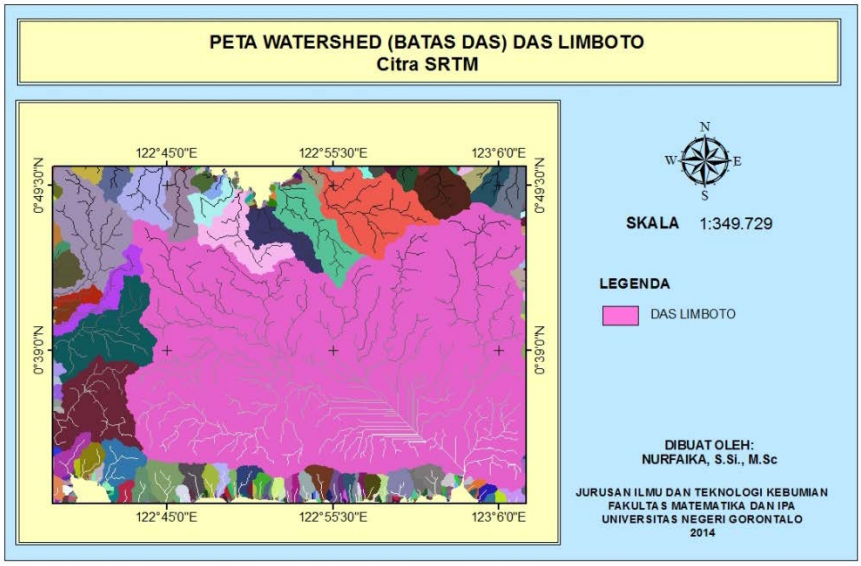
4.2.6. *Watershed dan Analisis Sub DAS*

DAS sebagai suatu daerah yang dibatasi oleh topografi alami, dimana semua air hujan yang jatuh didalamnya akan mengalir melalui suatu sungai dan keluar melalui outlet pada sungai tersebut, atau merupakan satuan hidrologi yang menggambarkan dan menggunakan satuan fisikbiologi dan satuan kegiatan sosial ekonomi untuk perencanaan dan pengelolaan sumber daya alam. Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) adalah bagian dari DAS dimana air hujan diterima dan dialirkan melalui anak sungai ke sungai utama.

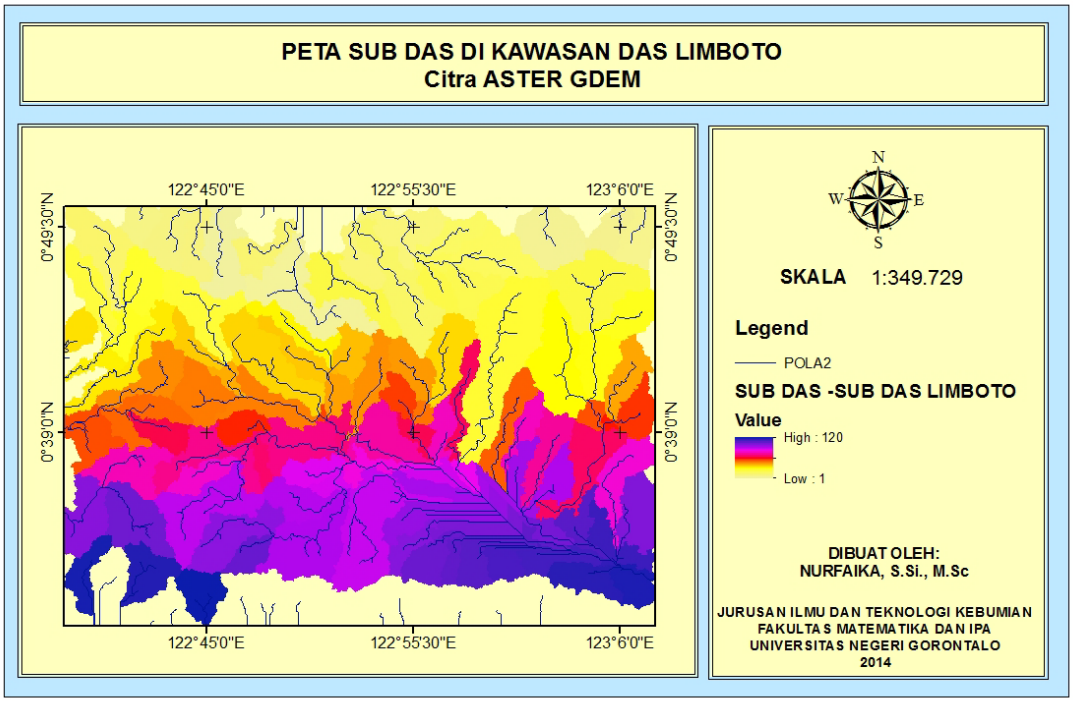
DAS dapat digambarkan dari data DEM dengan menghitung arah aliran dan menggunakannya sebagai fungsi DAS. Fungsi DAS menggunakan raster arah aliran untuk menentukan kontribusi daerah aliran. Berikut ditampilkan peta watershed (batas DAS) yaitu batas keseluruhan wilayah DAS Limboto beserta wilayah sub DASnya.



Gambar 4.19. Peta Watershed (Batas DAS) DAS Limboto Citra ASTER GDEM



Gambar 4.20. Peta Watershed (Batas DAS) DAS Limboto Citra SRTM



Gambar 4.21. Peta Sub-Sub DAS di Kawasan DAS Limboto

Berdasarkan peta tersbut diatas, tidak tampak perbedaan batas DAS antara data ASTER GDEM dan SRTM demikian pula halnya dengan batasan sub-sub DASnya. Hasil dari peta tersebut diatas menunjukkan bahwa fungsi watershed tools pada software ArcGIS mampu memberikan kemudahan dalam pembuatan batas kawasan DAS tertentu dalam hal ini adalah kawasan DAS Limboto beserta batasan wilayah sub-sub DAS dalam waktu yang relatif cepat, mudah dan lebih murah oleh karena perolehan data dasarnya berupa data bingmap (peta free download). Peta watershed (batas DAS) tersebut diatas, dapat dijadikan sebagai peta dasar untuk analisis karakteristik data morfometri DAS seperti luas, keliling dan bentuk dari pada DAS Limboto.

Keseleruhan peta-peta tematik tersebut diatas, dapat dijadikan sebagai peta dasar untuk pengamatan dan pengukuran karakteristik morfologi dan morfometri DAS secara kualitatif dan kuantitatif. Misalnya: 1). Peta Visulisasi DEM (hillshade) dapat memberikan informasi terkait keadaan morfologi atau topografi wilayah DAS Limboto, 2). Peta Flow Direction (arah aliran) memberikan informasi terkait gradien (kemiringan arah aliran) yang ada diwilayah penelitian, sehingga memungkinkan untuk melakukan perhitungan relief rasio (kemiringan/gradient sungai) melalui perhitungan parameter data ketinggian wilayah hulu dan hilir serta parameter panjang sungai utama, 3). Peta Flow Accumulation (akumulasi aliran) dapat memberikan informasi terkait akumulasi aliran dari yang memiliki akumulasi aliran

terbesar (sungai utama) dan anak-anak sungainya, 4). Peta Single Output (Jaringan sungai), untuk menghomogenkan nilai akumulasi aliran dan bukan aliran, sehingga nilai akumulasi aliran sesuai dengan arah aliran, 5). Peta Stream Link (Jaringan-jaringan sungai) memberikan informasi keseluruhan dari pada jaringan-jaringan sungai yang ada pada kawasan DAS tertentu, sehingga dapat digunakan untuk perhitungan kerapatan jaringan sungai (Dd) dari perbandingan antara parameter panjang sungai utama dengan luas DAS, 6). Peta Stream Orde (Orde Sungai) memberikan informasi terkait orde (peringkat hirarki) dari pada jaring sungai dengan menggunakan metode Strahler sehingga dapat dilakukan perhitungan tinkgat percabangan sungai (*Bificuration Ratio*) yang diperoleh dari perhitungan jumlah alur sungai berdasarkan ordonya, 7). Peta Watershed (Batas DAS) dan Sub Das mampu mengahasilkan deliniasi batas DAS dan sub DAS secara jelas sehingga dapat digunakan untuk perhirungan bentuk DAS yang diperoleh dari perhitungan Nisbah Memanjang (Re) Nisbah Membulat (Rc) dengan menggunakan parameter luas DAS, panjang sungai dan keliling DAS.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Data DEM dapat diekstraksi atau diperoleh dari citra ASTER GDEM dan citra SRTM. Data DEM dari citra ASTER GDEM dan citra SRTM dapat digunakan untuk ekstraksi data karaterisik morfologi dan morfometri DAS
2. Karakteristi data morfometri DAS di ekstraksi dari data DEM : 1) Visualisasi DEM (Hillshade) untuk analisis morfologi atau topografi wiayah DAS Limboto, 2) Flow Direction (arah aliran) untuk perhitungan kemiringan/gradient sungai, 3) Flow accumulation (akumulasi aliran) sebagai dasar untuk pembuatan peta jaringan sungai, 4) Single Output untuk menghomogenkan nilai akumulasi aliran dan bukan aliran, sehingga nilai akumulasi aliran sesuai dengan arah aliran, 5) Stream Link (peta jaringan sungai) sebagai dasar perhitungan kerapatan jaringan sungai (Dd) dari perbandingan antara parameter panjang sungai utama dengan luas DAS, 6) Stream Order (orde sungai) dasar untuk penetuan peringkat hirarki jaringan-jaringan sungai dan untuk perhitungan tingkat percabangan sungai, 7) Watershed (Batas Das dan Sub Das) sebagai dasar perhitungan bentuk, luas, lebar dan panjang keliling DAS.
3. Secara spasial, tampilan karakteristik data morfometri DAS dari data DEM ASTER GDEM dan DEM SRTM memiliki perbedaan yang dapat dilihat dari perbandingan peta-peta tematik yang dihasilkan. Jika ditinjau dari peta jaringan sungainya, peta jaringan sungai dari data citra SRTM lebih jelas jika dibandingkan peta jaringan sungai yang dihasilkan dari ASTER GDEM akan tetapi jumlah jaringan sungai pada peta dari citra SRTM lebih sedikit jika dibandingkan dengan jumlah jaringan sungai pada peta dari citra ASTER GDEM. Hal tersebut dikarenakan oleh adanya pengaruh perbedaan resolusi spasial antara kedua sumber data tersebut.

5.2 Saran

Peneitian ini memiliki keterbatasan data hanya dengan menggunakan citra SRTM dan ASTER GDEM untuk ekstraksi dan analisis karakteristik data morfometri DAS Limboto. Disarankan untuk dilakukan penelitian lanjutan untuk menghitung secara kuantitatif dari pada

morfometri DAS Limbot dari peta yang dihasilkan dari penelitian ini, serta dilakukannya penelitian untuk membandingkan data morfometri DAS Limboto dari data SRTM dan ASTER GDEM dengan morfometri DAS dari peta RBI digital dan BPDAS Provisi Gorontalo.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2011. ASTER GDEM 2 Readme. United States of America : LP DAAC.

Asdak, C. 2004. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Abrams, M., & Hook, S., 2002. ASTER User Hand Book Version 2, NASA Jet Propulsion Laboratory, Pasadena

Kementeri Hukum Dan Hak Asasi Manusia. 2004. Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2004 Tentang Sumberdaya Air. Jakarta.

Linsley. 1996. Hidrologi Untuk Insinyur. Erlangga. Jakarta.

Murtiono, U. (2001). Pedoman teknis pengukuran dan perhitungan parameter morfometri DAS. Info DAS, (10).

Noges, T. (2009). Relationship beetwen morphometry, geographic location and water quality parameters of European Lakes. Hydrobiologia.

Nugroho, S. (2009, April 26). Respon morfometri dan penggunaan lahan DAS terhadap banjir bandang (Studi kasus bencana banjir bandang di Sungai Bohorok). Diambil kembali dari http://sirrma.bppt.go.id

Pusat Penelitian Lingkungan Hidup dan Sumber Daya Alam (PPLH-SDA) Universitas Sam Ratulangi). 2002. Analisis Dampak Lingkungan banjir di DAS Limboto Provinsi Gorontalo. Dinas PU/KIMPRASWIL Provinsi Gorontalo.

Prahasta, Eddy (2002), Sistem Informasi Geografis. Bandung : InformatikaBandung.

Priyono CNS dan Savitri E. 1997. Hubungan antara Morfometri dengan Karakteristik Hidrologi suatu Daerah Aliran Sungai (DAS): Studi kasus Sub DAS Wader. Buletin Pengelolaan DAS Vol.III.No.2. Jakarta.

Rahayu, S., Widodo, R., Noordwijk, M., Suryadi, I., & Verbist, B. (2009). Monitoring air di daerah aliran sungai. Bogor: World Agroforestry Center, ICRAF Asia Tenggara.

Seyhan E. 1977. Dasar-Dasar Hidrologi. Gajah Mada University. Yogyakarta.

Sosrodarsono, S dan K Takeda. 2003. Hidrologi Untuk Pengairan. Jakarta: Paranya Paramita.

Soewarno. 1991. Hidrologi (Pengukuran dan pengolahan data aliran sungai hidrometri). Bandung: Nova.

Sudarmadji. 1997. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (Watershed Management). Fakultas Kehutanan Universitas Mulawarman. Samarinda.

Suripin. 2001. Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air. Yogyakarta: Penerbit Andi.