

**ANALISIS POTENSI EROSI MENGGUNAKAN MODEL AGNPS  
(AGRICULTURAL NON-POINT SOURCE POLLUTION MODEL)  
(Studi Kasus: Hutan Yona, Yanbaru)**

**Delima Canny Valentine Simarmata, Sawitri Subiyanto, Yudo Prasetyo <sup>\*)</sup>**

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro  
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang Semarang Telp.(024)76480785, 76480788  
Email: [canny.valen@gmail.com](mailto:canny.valen@gmail.com)

**ABSTRAK**

Negara Jepang terbagi menjadi 41 prefektur (provinsi) dengan luas sekitar 377,815 km<sup>2</sup> dengan 70% area ditutupi bukit dan pegunungan. Sekitar 250.905 km<sup>2</sup> atau samadengan 67% luas negara Jepang ditutupi oleh wilayah hutan. Menurut data lembaga kehutanan Jepang, salah satu pulau dengan luas hutan yang cukup mempengaruhi bentang alam negara Jepang adalah hutan Yanbaru, Okinawa. 72% dari bagian utara pulau Okinawa ditutupi oleh hutan Subtropis yang dalam dialek Okinawa disebut "Yanbaru". Kawasan hutan Yanbaru terbagi atas 3 bagian yaitu Kunigami, Higashi dan Ogimi. Kawasan Hutan Yona merupakan bagian dari area Kunigami dan Ogimi dan menjadi salah satu daerah konservasi oleh Negara Jepang. Saat ini, kawasan Hutan Yona sedang diseleksi untuk menjadi kawasan yang dilindungi oleh UNESCO, PBB.

Hutan Yona merupakan kawasan yang memiliki intensitas hujan dan badai taifun yang tinggi. Disisi lain, kawasan Hutan Yona juga memiliki ketererangan dan panjang lereng yang cukup curam. Faktor-faktor ini sangat berpotensi untuk menyebabkan adanya erosi. Oleh sebab itu, penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengkaji potensi dan tingkat kerawanan erosi di kawasan Hutan Yona. Data yang digunakan adalah data curah hujan, DEM, peta jenis tanah, peta tutupan lahan dan peta jaringan sungai. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pemodelan AGNPS (*Agricultural Non Point Source*). Metode ini menggunakan pemodelan grid seluas 10 x 10 m pada wilayah daerah tangkapan air (DTA).

Kawasan Hutan Yona dengan luas DTA seluas 937,55 ha memiliki nilai energi intensitas curah hujan 30 menit (EI30) sebesar 41,59 m.ton.mm/m<sup>2</sup>. Berdasarkan hasil pemodelan AGNPS (*Agricultural Non Point Source*), laju erosi rata-rata dan jumlah tanah terkikis pada DTA Hutan Yona masing-masing sebesar 13,53 m/s dan 0,1367 mm/th. Besar erosi yang terjadi adalah 113,91 ton/ha/th. Nilai erosi ini termasuk tingkat kerawanan pada kelas III yaitu kelas sedang, yaitu berada dengan interval erosi 61 – 180 ton/ha/thn.

**Kata Kunci :** AGNPS, Erosi, Okinawa, Penginderaan Jauh, Yona

**ABSTRACT**

*Japan is divided into 41 prefectures (provinces) with an approximately area about 377.815 km<sup>2</sup>. About 70% of Japan or equal with 264.47 km<sup>2</sup> is covered by hills and mountains. However, 250 905 km<sup>2</sup> or equal with 67% of Japan is covered by forests. According to data from the Forest Ministry of Japan, one of the islands which affects Japan landscape is Yanbaru Forest, Okinawa. 72% of the northern part of Okinawa Island is covered by subtropical forest that in the Okinawan dialect called "Yanbaru". Yanbaru forest area is divided into three areas, Kunigami, Higashi and Ogimi. Yona, one of the Yanbaru Forest area, is a part of the Kunigami and Ogimi. It has become one of the conservation area held by the Japan Government. Yona area is now nominated as a protected area by UNESCO, PBB.*

*Yona Forest Area (YFA) is an area with a high rainfall intensity and frequent storms typhoon. Besides, it has length-long slope and high steepness. These factors highly cause an erosion. Therefore, this study aimed to assess the potential and the level of vulnerability of erosion in Yona Forest Area (YFA). This study used Rainfall intensity data, DEM, soil map, land cover map and river stream map. The method in this study used AGNPS Model (*Agricultural Non-Point Source Model*) which had 10 x 10 m grid to represent a catchment area (DTA).*

*Yona Forest Area (YFA) with 937.55 ha of catchment area had 30 minutes rainfall intensity energy (EI30) about 41.59 m.tons.mm/m<sup>2</sup>. According to AGNPS Model (*Agricultural Non-Point Source Model*) result, velocity and amount of eroded soil were 13,53 m/s and 0,1367 mm/year, respectively. Erosion that occurred in catchment area of Yona Forest Area was about 113,91 ton/ha/yr. It was included into the middle erosion class with and interval class 61-180 tons / ha / yr.*

**Keywords:** AGNPS, Erosion, Okinawa, Remote Sensing, Yona,

<sup>\*)</sup> Penulis, Penanggung Jawab

## I. Pendahuluan

### I.1. Latar Belakang

Jepang adalah sebuah negara kepulauan yang terletak di pantai timur benua Asia. Kepulauan Jepang merupakan bagian dari Pasifik Rim yaitu negara-negara yang berada di wilayah samudera pasifik.

Kepulauan Jepang sendiri memiliki struktur geologi yang kompleks, diantaranya banyak terdapat lipatan pegunungan, zona vulkanik, dan terdapat di jalur patahan. Jepang memiliki lebih dari 6000 pulau, dengan pulau-pulau utamanya adalah Hokkaido, Shikoku, Kyushu (Organisasi Pangan dan Pertanian PBB, 2010).

Negara Jepang memiliki luas sekitar 377,815 km<sup>2</sup> dengan 70% area ditutupi bukit dan pegunungan. Sedangkan wilayah hutan Jepang adalah seluas 250.905 km<sup>2</sup> atau sama dengan 67% luas negara Jepang. Jepang termasuk area monsoon, yaitu area dengan fenomena perubahan iklim secara ekstrim. Jepang sendiri mengalami hujan lebat di awal musim panas dan angin topan pada akhir musim panas dan musim gugur (Mizuyama T., 2008).

Negara Jepang terbagi menjadi 41 prefektur (provinsi). Pulau Okinawa merupakan salah satu dari prefektur Jepang dan merupakan pulau terbesar dari pulau-pulau barat daya sepanjang Laut Cina Timur dan Samudra Pasifik.

Penggerak perekonomian pulau Okinawa adalah industri pariwisata. Adanya budaya dan sejarah unik yang berbeda dari bagian Jepang lainnya, habitat tanaman dan hewan langka, membuat banyak wisatawan mengunjungi pulau subtropis ini setiap tahunnya (Xu X. dkk, 2004).

Tujuh puluh dua persen dari bagian utara pulau Okinawa ditutupi oleh hutan Subtropis yang dalam dialek Okinawa disebut "Yanbaru". Menurut data lembaga kehutanan Jepang, salah satu pulau dengan luas hutan yang cukup mempengaruhi bentang alam negara Jepang adalah hutan Yanbaru, Okinawa.

Namun, karena penghancuran banyak hutan alam selama Perang Dunia II dan eksploitasi serius sejak kembalinya Okinawa ke Jepang, hutan alam besar yang tersisa hanya terdapat di 3 area, salah satunya adalah Hutan Yanbaru (Marten G., 2005).

Pada salah satu daerah di hutan Yanbaru, yaitu daerah Yona dibangun sebuah laboratorium yang digunakan sebagai pusat penelitian oleh Universitas Ryukyus. Kawasan pusat penelitian ini merupakan salah satu daerah konservasi Jepang dan sedang dalam proses seleksi menjadi salah satu kawasan yang dilindungi oleh UNESCO, PBB (Zawawi A. dkk, 2015).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Xu X. dkk (2004), kawasan hutan Yona memiliki intensitas hujan dan badai taifun yang sangat tinggi. Menurut Zawawi A. dkk, (2014) kawasan hutan Yona memiliki ketererangan dan panjang lereng yang cukup

curam. Kedua faktor ini mempengaruhi komponen dan struktur tanah.

Banyak sekali faktor yang mempengaruhi komponen dan struktur sebidang tanah. Pada penelitian ini, peneliti mencoba untuk memprediksi laju erosi dan menganalisis tingkat kerawanan di hutan Yanbaru, khususnya di wilayah Yona.

Untuk mengurangi laju erosi diperlukan upaya penanggulangan, salah satunya melalui penggunaan lahan secara optimal dalam mereduksi laju erosi (Londongsalu T. D., 2008).

Akan tetapi, Okinawa merupakan pulau yang sangat rentan akan badai topan yang sering kali terjadi sepanjang musim panas dan terdapat ular habu yang hidup bebas di hutan Yona, Yanbaru. Hal ini menjadi masalah yang cukup sulit untuk melakukan survei secara langsung ke lapangan (Shibata H. dkk, 2001).

Salah satu model prediksi erosi yang mampu memanfaatkan teknologi penginderaan jauh dan sistem informasi adalah model AGNPS (*Agricultural Non-Point Source Pollution Model*).

Model AGNPS merupakan model terdistribusi yang dapat memprediksi aliran permukaan (banjir), erosi, dan sedimentasi dengan hasil yang baik (Galuda, 1996) dan dapat digunakan untuk melakukan simulasi penggunaan lahan yang optimal dalam mengurangi laju erosi, sedimentasi, dan debit puncak. Dalam menganalisis menggunakan model AGNPS diperlukan parameter-parameter masukan model meliputi masukan data curah hujan, dan parameter biofisik.

Proses pengolahan data masukan model AGNPS memanfaatkan data penginderaan jauh dan pembangkitan data masukan model AGNPS setiap sel menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Pemanfaatan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis menggunakan pemodelan AGNPS dianggap mampu dalam menganalisis prediksi erosi yang terjadi di Hutan Yona, Yanbaru.

### I.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapakah laju erosi pada di hutan Yona setelah dilakukan pemodelan erosi menggunakan model AGNPS?
2. Bagaimanakah tingkat kerawanan erosi di hutan Yona berdasarkan pemodelan erosi AGNPS?

### I.3. Batasan Penelitian

Untuk menjelaskan permasalahan yang akan dibahas dan agar tidak terlalu jauh dari kajian masalah, maka penelitian ini akan dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Daerah penelitian ini hanya di kawasan Hutan Yona, Yanbaru, Jepang.

2. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pemodelan AGNPS (*Agricultural Non Point Source Pollution*).
3. Hasil yang diperoleh adalah laju erosi pada Hutan Yona berdasarkan pemodelan AGNPS.
4. Erosi hanya dianalisis berdasarkan erosi yang disebabkan oleh erosi air.
5. Ukuran grid sel yang digunakan pada model AGNPS adalah sebesar 10 m x 10 m.
6. Parameter-parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah parameter energi intensitas hujan 30 menit ( $EI_{30}$ ), Panjang Lereng (SL), Kemiringan Lereng (LS), Bentuk Permukaan Tanah (SS), Faktor Pengelolaan Tanaman (C), Faktor Tingkat Konservasi Tanah (P), Faktor Kondisi Penutupan Permukaan Tanah (SSC) dan Erodibilitas Tanah (K).

**I.4. Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui laju erosi yang terjadi di hutan Yona menggunakan pemodelan AGNPS.
2. Mengetahui tingkat kerawanan erosi yang terjadi di Hutan Yona berdasarkan pemodelan AGNPS.

Manfaat dari penelitian ini dapat diuraikan menjadi 2 bagian, yaitu:

1. Manfaat dari segi keilmuan
  - a. Penelitian ini diharapkan dapat memperkaya pengetahuan mengenai metode yang dapat diterapkan dalam memprediksi dan menghitung potensi erosi khususnya pada kawasan hutan.
  - b. Memberikan manfaat bagi bidang keilmuan dan pembangunan atau kebijakan yang akan diambil.
2. Manfaat dari segi kerekayasaan
  - a. Dapat digunakan sebagai pertimbangan proses konservasi kawasan hutan Yona.
  - b. Dapat digunakan sebagai referensi penelitian selanjutnya di kawasan hutan Yona.
3. Dapat digunakan sebagai pertimbangan pada penelitian prediksi laju erosi di daerah-daerah lainnya.

**I.5. Ruang Lingkup Penelitian**

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

**Wilayah Penelitian**

Daerah yang menjadi objek penelitian berada pada daerah Yona, Hutan Yanbaru, Okinawa dengan letak geografis 26° 45' 10"LU dan 128° 13' 48" BT dengan luas 937.55 ha. Hutan Yona memiliki 2 DAS yaitu Sungai Yona dan Sungai Aha.

Berdasarkan batas administrasi, kawasan Hutan Yona termasuk hutan Yanbaru, tepatnya pada kawasan hutan Kunigami dan Ogimi. Hutan Yanbaru terdiri dari 3 kawasan, yaitu hutan Kunigami, hutan Ogimi, dan hutan Higashi (Zawawi A. dkk, 2015).

**Alat dan Data Penelitian**

Adapun alat dan data penelitian yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah:

1. Alat Penelitian
 

Alat yang dibutuhkan dalam penelitian ini terbagi menjadi 2 komponen yaitu:

  - a. Perangkat keras (*Hardware*)
    - 1) *Workstation* dengan *processor intel (R) i7 RAM 8GB windows 7*
    - 2) *Printer A4*
  - b. Perangkat lunak (*software*)
    - 1) *Software* Pengolah Citra (*ENVI 5.0*)
    - 2) *Global Mapper*
    - 3) *ArcGIS 10.3*
    - 4) *Microsoft Office*
2. Data Penelitian
 

Data dan Sumber Data dalam penelitian ini dapat dilihat dalam Tabel I.1.

**Tabel I.1.** Data dan Sumber Data Penelitian

No	Data	Sumber Data	Waktu / Akuisisi Waktu
1	DEM LIDAR	Laboratorium Ekologi dan Kehutanan Universitas Ryukyus, Jepang	2011
2	Citra Here Nokia	<a href="http://www.here.com">www.here.com</a>	2014
3	Data Curah Hujan	<a href="http://www1.river.go.jp">www1.river.go.jp</a>	2003-2013
4	Peta Jaringan Sungai	<a href="http://nlftp.mlit.go.jp/">http://nlftp.mlit.go.jp/</a>	2009
5	Peta Batas Administratif	<a href="http://nlftp.mlit.go.jp/">http://nlftp.mlit.go.jp/</a>	
6	Peta Jenis Tanah	<a href="http://gis.pref.okinawa.jp/">http://gis.pref.okinawa.jp/</a>	2013

**II. Tinjauan Pustaka**

**II.1. Gambaran Umum Lokasi Penelitian**

Hutan Yona terletak pada Pulau Okinawa, Jepang. Okinawa memiliki kawasan hutan di bagian utara pulau yang dikenal dengan hutan Yanbaru. Kawasan hutan Yanbaru dibagi atas 3 bagian besar yaitu Kunigami, Higashi dan Ogimi. Kawasan Hutan Yona terletak pada bagian hutan Kunigami (Xu X. dkk, 2005).

Kawasan Hutan Yona secara geografis terletak antara 26° 45' 10"LU dan 128° 13' 48" BT dengan

ketinggian sekitar 260 m di atas permukaan laut. Puncak tertinggi kawasan Hutan Yona terdapat di Gunung Yonaha dengan ketinggian 498 m. Kawasan Hutan Yona terdapat pada wilayah subtropis dengan curah hujan tinggi dibandingkan dengan prefektur lain di Jepang (Zawawi A. dkk, 2015)

## II.2. Erosi

Erosi didefinisikan sebagai suatu peristiwa hilangnya atau terkikisnya bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain, baik disebabkan oleh pergerakan air, angin maupun es (Rahim, 2003). Menurut (Asdak, 2004), erosi dapat dibedakan menjadi beberapa macam, yaitu :

### 1. Erosi air

Erosi air adalah proses terkikis dan terangkutnya lapisan tanah yang disebabkan oleh aktivitas atau gerakan air. Gerakan air tidak hanya mengalir saja, tetapi juga air jatuh atau menetes. Proses erosi oleh air dimulai pada saat tenaga kinetik air hujan mengenai air tanah. Tenaga pukulan air hujan ini yang menyebabkan terlepasnya partikel-partikel tanah dari gumpalan tanah yang lebih besar. Semakin tinggi intensitas hujan akan semakin tinggi pula tenaga yang dihasilkan dan semakin banyak partikel tanah yang terlepas dari gumpalan tanah. Tanah yang terlepas ini akan terlempar bersama dengan percikan air (Morgan, 1980).

### 2. Erosi angin (Deflasi)

Erosi angin adalah proses terkikis dan terangkutnya batuan atau tanah oleh tenaga angin. Erosi angin ini juga disebut dengan istilah deflasi. Proses erosi oleh angin hanya terjadi di daerah yang kering, yaitu di daerah gurun pasir dan pantai berpasir. Erosi angin yang terjadi di daerah berpasir mengakibatkan terbentuknya bukit bukit pasir. Angin yang bertiup kencang dan mengandung pasir bisa mengakibatkan batuan batuan tersebut terkikis dan membentuk batu cendawan. Proses erosi oleh angin yang membentuk batuan cendawan ini disebut korasi.

### 3. Erosi Gletser (Glial)

Erosi gletser yaitu proses pengikisan tanah atau batuan yang diakibatkan oleh tenaga cairan gletser atau es. Erosi gletser hanya terjadi di daerah beriklim sedang, daerah yang beriklim dingin dan di pegunungan. Beberapa daerah yang sering terjadi erosi gletser yaitu Pegunungan Rocky, Pegunungan Alpen, Puncak Jaya Wijaya, dan di daerah yang beriklim dingin. Bahan endapan erosi gletser disebut *morena*.

### 4. Erosi ombak (Abrasi)

Erosi Ombak yaitu proses terpaan ombak yang membuat terkikisnya batuan di daerah pantai terjal. Proses erosi yang disebabkan oleh terpaan ombak disebut abrasi. Abrasi mengakibatkan terbentuknya cliff. Cliff yaitu lereng yang dinding atasnya menggantung karena dinding bawahnya terkikis ke dalam. Erosi juga dapat membentuk pantai yang berdinding cekung yang disebut relung.

## II.3. Model AGNPS

Model AGNPS (*Agricultural Non Point Source Pollution Model*), dikembangkan oleh Robert A. Young (1987) di *North Central Soil Conservation Research Laboratory, USDA-Agricultural Research Service, Morris, Minnesota*. Model ini merupakan sebuah program simulasi komputer untuk menganalisis limpasan, erosi, sedimen, perpindahan hara dari pemupukan (Nitrogen dan Fosfor) dan *Chemical Oksigen Demand (COD)* pada suatu areal. Model AGNPS merupakan model terdistribusi dengan kejadian hujan tunggal (Wulandary 2004 dalam Sutiyono 2006).

Pada model AGNPS karakteristik DAS digambarkan dalam tingkatan sel. Setiap sel mempunyai ukuran 2,5 acre (1,01 ha) hingga 40 acre (16,19 ha). Setiap sel dibagi-bagi menjadi sel-sel yang lebih kecil untuk memperoleh resolusi yang lebih rinci. Ukuran sel lebih kecil dari 10 acre direkomendasikan untuk DAS dengan luas kurang dari 2000 acre (810 ha), sedangkan untuk DAS yang luasannya lebih dari 2000 acre maka ukuran sel dapat berukuran 40 acre (Young dkk, 1990).

Menurut Pawitan (1998) dalam Salwati (2004), model AGNPS merupakan gabungan antar model terdistribusi (*distributed*) dan model *sequential*. Sebagai model terdistribusi penyelesaian persamaan keseimbangan massa dilakukan secara serempak untuk semua sel. Sedangkan model *sequential*, air dan cecaran di telusuri dalam rangkaian aliran di permukaan lahan dan di saluran secara berurutan.

Kelebihan dari model AGNPS ini adalah: 1) memberikan hasil berupa aliran permukaan, erosi, sedimentasi dan unsur-unsur hara yang terbawa dalam aliran permukaan, 2) membuat skenario perubahan penggunaan lahan, 3) menganalisis parameter yang digunakan untuk memberikan simulasi yang akurat terhadap sifat-sifat DAS.

Adapun kelemahan dari model AGNPS ini adalah : 1) pendugaan aliran permukaan model tidak mengeluarkan output dalam bentuk hidrograf, sehingga perbandingan antara hidrograf hasil prediksi dengan hidrograf hasil pengukuran tidak bisa diperlihatkan, 2) waktu respon yang merupakan indikator untuk menentukan kondisi biofisik DAS tidak dinyatakan dalam keluaran model.

Persamaan yang digunakan adalah persamaan Wischmeier dan Smith (1978) dalam (Young dkk, 1990), yaitu :

$$E = EI_{30} \cdot K \cdot LS \cdot SL \cdot C \cdot P \cdot SS \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan:

- E : erosi (ton/ha/thn)
- EI<sub>30</sub>: erosivitas curah hujan
- K : erodibilitas tanah
- LS : faktor kemiringan lereng (%)
- SL : faktor panjang lereng (meter)
- C : faktor tanaman
- P : faktor pengelolaan tanah
- SS : faktor bentuk permukaan tanah

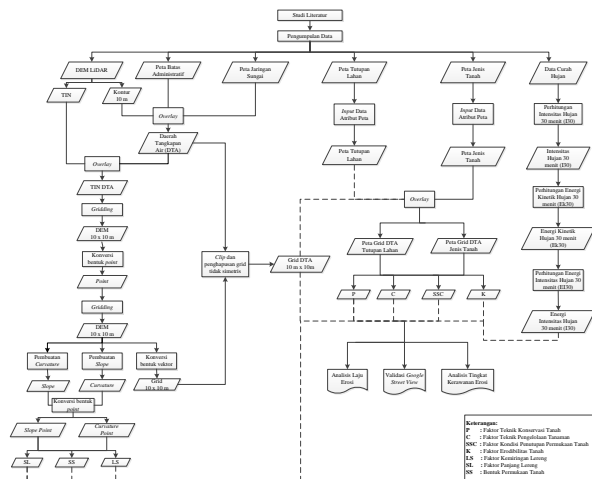
$$V_0 = 10^{0.5 \times \log 10 (LS \times 100) - SSC} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

- V<sub>0</sub> : erosi (m/s)
- LS : faktor kemiringan lereng (%)
- SSC : kondisi penutupan permukaan tanah

### III. Pengolahan Data

#### III.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar III.1. Diagram Alir Penelitian

#### III.2. Pengolahan Data Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Kementerian Pertanian, Infrastruktur, dan Manajemen Pengelolaan Air, Jepang di Stasiun Pengamat Curah Hujan Yona dan Fenchiji. Stasiun curah hujan Yona menggunakan data periode 2007-2009 sedangkan curah hujan Yonaha dan Fenchidji menggunakan data 2003-2013.

Penggunaan data kedua stasiun tersebut menggunakan konsep *overlay*, yaitu untuk mengisi data curah hujan yang tidak tersedia pada tahun tertentu. Setelah dilakukan penggabungan data curah hujan dari kedua stasiun curah hujan, maka data-data curah hujan yang digunakan adalah data stasiun curah hujan Fenchidji tahun 2003 – 2006 dan 2010 – 2013,

sedangkan untuk tahun 2007 – 2009 menggunakan data stasiun Yona.

Data curah hujan harian tersebut diolah menggunakan persamaan Energi Intensitas 30 menit (EI<sub>30</sub>) pada daerah subtropis sesuai dengan persamaan yang dibuat oleh Wischmeier dan Smith (1980). Data curah hujan seharusnya menggunakan periode hujan 25 tahun. Karena keterbatasan data maka pengolahan curah hujan menggunakan data 10 tahun (Londongsalu T. D., 2008).

Curah hujan atau dikenal dengan butir massa hujan berkaitan erat dengan energi kinetik. Energi kinetik hujan merupakan gabungan parameter massa hujan dan parameter kecepatan hujan. Energi kinetik hujan berpotensi besar menyebabkan erosi (Hudson (1973) dalam Handayani S. (2002). Energi kinetik hujan sering juga disebut dengan Energi Intensitas Hujan 30 menit (EI<sub>30</sub>).

Data curah hujan harian diolah untuk memperoleh nilai intensitas 30 menit (I<sub>30</sub>). Setelah diperoleh nilai I<sub>30</sub>, kemudian dihitung nilai energi kinetiknya. Energi kinetik tersebut kemudian dicari nilai erosivitas hujannya dengan mengalikan hasil tersebut dengan 0,01. Nilai tersebutlah yang disebut dengan EI<sub>30</sub>. Nilai EI<sub>30</sub> harian per stasiun curah hujan kemudian diakumulasikan untuk memperoleh nilai EI<sub>30</sub> tahunan per stasiun curah hujan.

Setelah nilai EI<sub>30</sub> tahunan per stasiun hujan diperoleh, yaitu EI<sub>30</sub> pada Stasiun Curah Hujan Yona, Yonaha dan Fenchiji, kemudian nilai EI<sub>30</sub> tersebut dirata-ratakan. Nilai EI<sub>30</sub> dari ketiga stasiun curah hujan ini kemudian dirata-ratakan kembali untuk memperoleh nilai EI<sub>30</sub> keseluruhan hutan Yona. Nilai ini yang akan digunakan sebagai parameter EI<sub>30</sub> pada pemodelan AGNPS.

#### III.3. Pembuatan Daerah Tangkapan Air (DTA)

Tahap pembuatan Daerah Tangkapan Air (DTA), yaitu:

1. Membuat Titik-titik batas DTA yaitu pada punggung-punggungan bukit yang terlihat pada garis-garis kontur berdasarkan peta jaringan sungai hutan Yanbaru. Kontur punggung-punggungan bukit adalah kontur-kontur yang tertinggi dibanding kontur-kontur sekitarnya.
2. Membuat garis-garis untuk menghubungkan titik-titik batas DTA dibuat pada menu *catalog* → *new shapefile* → *polygon* pada *ArcGIS 10.3*. Pemilihan titik-titik batas DTA dilihat berdasarkan polygon batas area Hutan Yona.
3. Pemotongan daerah tangkapan air (DTA). Pemotongan dilakukan dengan proses *overlay* pada poligon batas DTA dan poligon Hutan Yona.

### III.4. Pengolahan Citra Tutupan Lahan

Secara umum pengolahan data citra untuk klasifikasi tutupan lahan menggunakan metode klasifikasi terbimbing (*supervised*) dengan algoritma *maximum likelihood*. Pengolahan citra tutupan lahan dibagi dalam dua tahapan berikut :

1. Proses pra-pengolahan citra  
Proses pra-pengolahan citra meliputi proses penggabungan layer (*Layer Stacking*), koreksi geometrik dan pemotongan citra.
2. Proses klasifikasi terbimbing (*supervised*)  
Proses klasifikasi terbimbing menggunakan algoritma *Maximum Likelihood*.

### III.5. Proyeksi Sistem Koordinat

Data pada penelitian ini memiliki sistem koordinat yang berbeda-beda maka perlu dilakukan suatu proses untuk menyamakan sistem koordinat dari seluruh data penelitian. Proses penyamaan sistem koordinat dilakukan dengan memproyeksikan data-data tersebut. Seluruh data akan diproyeksikan ke sistem koordinat UTM (*Universal Transverse Mercator*) menggunakan datum WGS 1984 pada zona 52N.

### III.6. Pembuatan Model Sel AGNPS

1. Setelah Daerah Tangkapan Air (DTA) terbentuk, kemudian DEM dikonversi menjadi bentuk TIN..
2. Setelah TIN terbentuk, TIN tersebut di *overlay* dengan poligon DTA sehingga diperoleh TIN seluas DTA. TIN inilah yang akan diolah untuk memperoleh nilai-nilai kemiringan lereng dan bentuk permukaan.
3. TIN yang telah terbentuk kemudian diubah menjadi bentuk raster grid. Untuk meningkatkan kualitas standar pemodelan grid pada AGNPS yaitu dengan aturan ukuran grid 400 x 400 m, ditingkatkan menjadi 10 x 10 m.
4. Raster grid tersebut kemudian diubah menjadi bentuk *point*.
5. Setelah menjadi bentuk *point*, data tersebut kemudian diubah lagi menjadi bentuk grid. Hasil konversi tersebut membuat DTA menjadi lebih luas dari DTA yang sebenarnya. Untuk itu dilakukan pemotongan grid hasil *point* dengan luasan DTA.
6. Setelah grid-grid yang dihasilkan dari data *point* terbentuk, kemudian dilakukan pemotongan area grid seluas DTA. Hal tersebut mengakibatkan adanya grid-grid yang tidak berbentuk persegi. Maka, perlu dilakukan penghapusan terhadap grid-grid tersebut dengan pengecekan di menu *Open Attribute Table*.

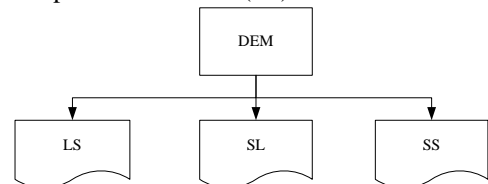
7. Selanjutnya dilakukan penomoran grid-grid sel sesuai dengan ketentuan pemodelan AGNPS, yaitu dimulai dari ujung sel sebelah kiri atas menuju sel sebelah kanan, dilanjutkan pada baris selanjutnya pada arah yang sama sampai dengan baris terakhir.

### III.7. Pembangkitan Data Setiap Sel

Model AGNPS merupakan pemodelan sel yang digambarkan dengan tiap-tiap selnya. Setiap sel atau grid pada model AGNPS menggambarkan 10 Ha di Hutan Yona. Sebelum dilakukan pembangkitan data setiap sel dilakukan pemotongan semua peta digital dengan batas DTA. Pembangkitan data sel yaitu pemasukan nilai parameter-parameter yang digunakan pada pemodelan AGNPS. Nilai parameter-parameter tersebut adalah nilai atribut-atribut data turunan DEM, peta tutupan lahan dan peta jenis tanah sesuai dengan distribusi spasial petanya.

#### 1. Data Turunan DEM

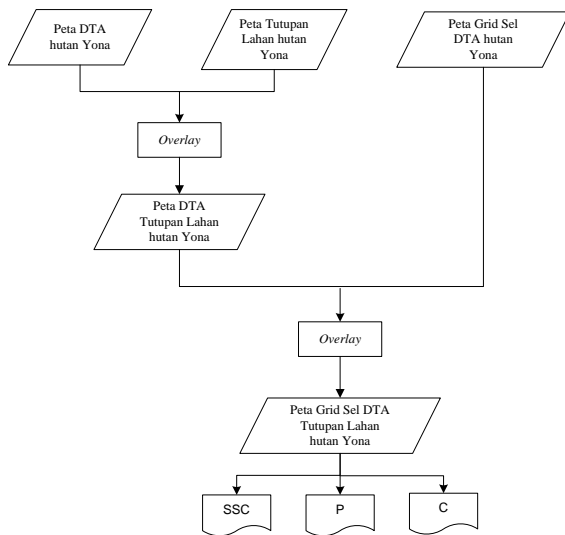
Dari data DEM dapat diturunkan data kemiringan lereng (SL), panjang lereng (LS) dan faktor bentuk permukaan tanah (SS).



Gambar III.2. Data Turunan DEM

#### 2. Data Turunan Tutupan Lahan

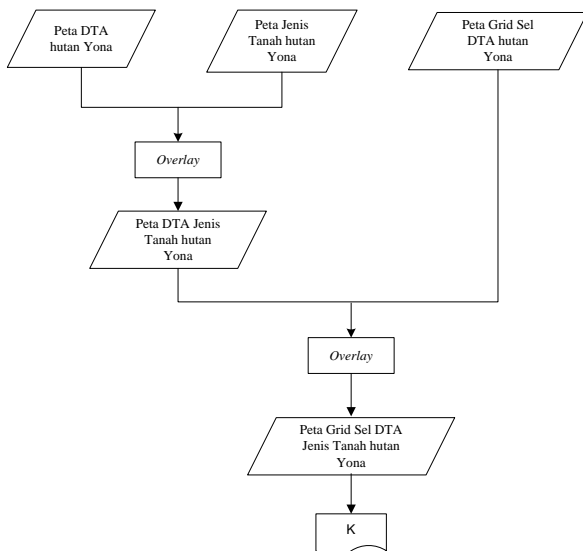
Dari peta tutupan lahan dapat diturunkan parameter faktor pengelolaan tanaman (C), tindakan konservasi tanah (P) dan kondisi penutupan permukaan tanah (SCC).



Gambar III.3. Data Turunan Tutupan Lahan

3. Data Turunan Jenis Tanah

Peta jenis tanah dapat diturunkan parameter erodibilitas tanah (K).



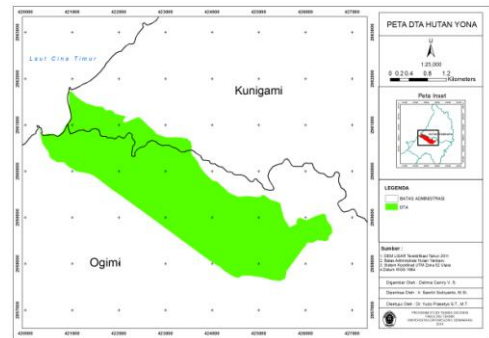
Gambar III.4. Data Turunan Jenis Tanah

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1. Bentuk Geografis DTA Hutan Yona

IV.1.1 Hasil Luasan DTA Hutan Yona

Kawasan Hutan Yona memiliki area seluas 941,07 Ha. Setelah dilakukan pemotongan untuk memperoleh daerah tangkapan air (DTA), luas wilayah menjadi 937,55 Ha (99,62%) atau berkurang seluas 3,52 Ha (0,38%). DTA Hutan Yona dapat dilihat pada Gambar IV.1. berikut :



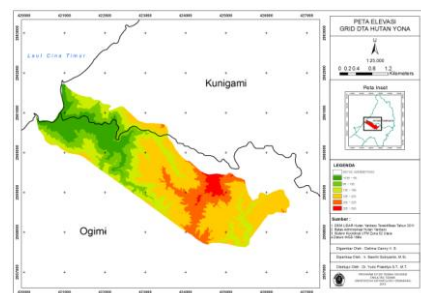
Gambar IV.1. Peta DTA Hutan Yona

IV.1.2 Elevasi Pada DTA Hutan Yona

Berdasarkan hasil pengolahan data DEM skala 1 : 25.000, kawasan DTA Hutan Yona terletak pada ketinggian antara -0.699-390 MDPL. DTA Hutan Yona didominasi oleh wilayah dengan ketinggian 195 – 260 MDPL seluas 303,32 Ha (32,34%). Secara lebih jelas, data dan peta elevasi DTA Hutan Yona disajikan pada Tabel IV.1 dan Gambar IV.2.

Tabel IV.1. Klasifikasi Tingkat Elevasi Pada Kawasan Hutan Yona

No.	Elevasi	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	-0,69 – 65	126,63	13,51
3	65 - 130	130	13,87
4	130 – 195	249,3	26,59
5	195 – 260	303,32	32,35
6	260 – 325	106,1	11,32
7	325 – 390	22,2	2,37



Gambar IV.2. Peta Elevasi DTA Hutan Yona

IV.1.3 Jenis Tanah Pada DTA Hutan Yona

Berdasarkan peta digital DTA jenis tanah kawasan Hutan Yona, jenis tanah yang terdapat di DTA didominasi oleh tanah berbatu litosol seluas 640,62 Ha (68,33%) dan penyebaran jenis tanah pada DTA Hutan Yona secara spasial disajikan pada Tabel IV.2 dan Gambar IV.3.

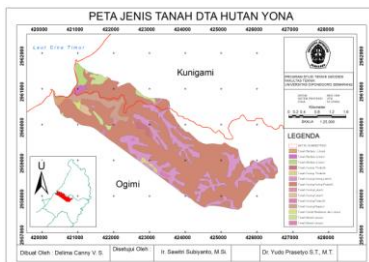
Tabel IV.2. Klasifikasi Jenis Tanah Pada Kawasan Hutan Yona

No	Jenis Tanah	Luas (Ha)	Persentase (%)
----	-------------	-----------	----------------

1	Tanah Berbatu Litosol	25,2	2,69
2	Tanah Kuning Muda Podsolik	5,95	0,63
3	Tanah Kuning Kering Laterit	186,90	19,93
4	Tanah Kuning Kering Podsolik	632,82	67,46
5	Tanah Kuning Laterit	11,26	1,20
6	Tanah Kuning Podsolik	7,7	0,82
7	Tanah Kuning Regosol	42,11	4,49
8	Tanah Mediteran Coklat Litosol	3,03	0,32
9	Tanah Merah Latosol	22,06	2,35
<b>Total</b>		938	100

IV.1.4 Tutupan Lahan DTA Hutan Yona

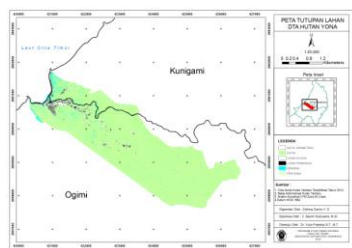
Berdasarkan peta tutupan lahan hutan Yona, penutupan lahan pada DTA Hutan Yona terbesar didominasi oleh hutan yaitu seluas 812,89 Ha (86,71%) dan tutupan lahan terkecil adalah lahan kosong yaitu seluas 10,29 Ha (1,1%). Sebaran penutupan lahan pada DTA Hutan Yona secara spasial disajikan pada Tabel IV.3 dan Gambar IV.4.



Gambar IV.3. Peta Jenis Tanah DTA Hutan Yona

Tabel IV.3. Klasifikasi Tutupan Lahan Pada Kawasan Hutan Yona

No	Tutupan Lahan	Luas (Ha)	Persentase (%)
1	Hutan	812,9	86,70
2	Pertanian	78,83	8,41
3	Lahan Terbangun	14,96	1,60
4	Lahan Kosong	10,3	1,10
5	Perairan	20,56	2,19
<b>Total</b>		937,55	100



Gambar IV.4. Peta Tutupan Lahan DTA Hutan Yona

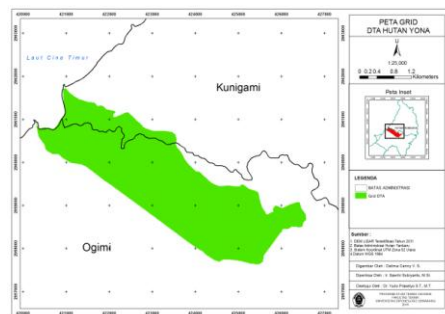
IV.2. Pembangkitan Data Model AGNPS

Pembangkitan data DTA dilakukan dengan membuat pemodelan grid seluas data DTA Hutan Yona sesuai dengan ketentuan pemodelan AGNPS. Standar pemodelan AGNPS didasarkan oleh luas area

DTA dan selanjutnya dipengaruhi oleh data curah hujan.

IV.2.1 Luas dan Jumlah Sel

Luas DTA pada kawasan Hutan Yona hasil pembuatan DTA dengan menggunakan SIG sebesar 937,55 Ha. Sedangkan jumlah sel DTA setelah dilakukan *gridding* dengan ukuran 10 x 10 m sebanyak 92.654 sel (926,54 Ha). Dari 92.654 sel (926,54 Ha) tersebut, sebesar 11,01 Ha dihilangkan karena memiliki bentuk yang tidak berbentuk persegi. Grid sel pada DTA Hutan Yona dapat dilihat pada Gambar IV.5.



Gambar IV.5. Peta Grid DTA Hutan Yona

IV.2.2 Energi Intensitas Hujan 30 Menit (EI<sub>30</sub>)

Berdasarkan parameter-parameter yang digunakan dalam pemodelan AGNPS, intensitas hujan 30 menit (I<sub>30</sub>) merupakan parameter yang sangat berpengaruh terhadap besar erosi. Oleh sebab itu, erosi yang terjadi pada hutan Yona sangat dipengaruhi oleh aktifitas air hujan sehingga erosi yang terjadi pada hutan Yona termasuk dalam erosi air.

Dalam memprediksi besarnya aliran permukaan pada DTA kawasan Hutan Yona digunakan data masukan curah hujan dengan periode ulang 10 tahun dari 3 stasiun curah hujan terdekat, yaitu stasiun curah hujan Yona dan Fenchiji.

Perhitungan nilai intensitas curah hujan dimulai dengan perhitungan nilai intensitas hujan 30 menit (I<sub>30</sub>). Dari hasil perhitungan I<sub>30</sub> kemudian diperoleh nilai erosivitas hujan atau lebih dikenal dengan energi intensitas curah hujan 30 menit (EI<sub>30</sub>). Salah satu perhitungan nilai EI<sub>30</sub> dapat dilihat sebagai berikut :

Stasiun Curah Hujan Fenchiji Pada 01 Februari 2003

$$R = 20 \text{ mm} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$I_{30} = R/0,5 \dots\dots\dots (4.2)$$

$$I_{30} = 20 / 0,5 = 40 \text{ mm/jam} \dots\dots\dots (4.3)$$

$$EK_{30} = 13.32 + 9.78 \log_{10} (I_{30}) \dots\dots\dots (4.4)$$

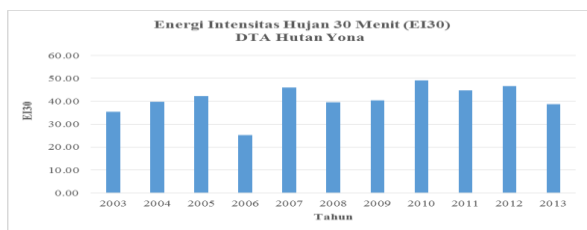
$$EK_{30} = 28,99 \dots\dots\dots (4.5)$$

Setelah seluruh data curah hujan dihitung seperti contoh diatas, maka diperoleh hasil di setiap stasiun curah hujan disajikan pada table dan gambar berikut sebagai berikut :



**Tabel IV.4.** Energi Intensitas Hujan (EI<sub>30</sub>) DTA hutan Yona

Tahun	EK30	EI30
2003	3.533,63	35,34
2004	3.976,07	39,76
2005	4.214,98	42,15
2006	2.532,22	25,32
2007	4.589,92	45,90
2008	3.947,68	39,48
2009	4.036,46	40,36
2010	4.914,63	49,15
2011	4.472,91	44,73
2012	4.668,12	46,68
2013	3.877,84	38,78
<b>Rata-rata</b>		<b>40,69</b>



**Gambar IV.6.** Energi Intensitas Hujan 30 Menit (EI<sub>30</sub>) DTA hutan Yona

### IV.3. Pembangkitan Data Grid Sel AGNPS

#### IV.3.1 Nomor Sel

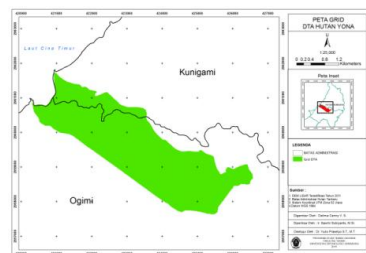
Penomoran dilakukan sesuai dengan ketentuan model AGNPS, yaitu dimulai dari ujung sel sebelah kiri atas menuju sel sebelah kanan, kemudian dilanjutkan pada baris selanjutnya dengan arah yang sama sampai dengan baris terakhir. Berdasarkan hasil penomoran yang telah dilakukan, dihasilkan sel sebanyak 92.654 dengan luas masing-masing sebesar 10 m<sup>2</sup>. Peta grid DTA Hutan Yona disajikan pada Gambar IV.6.

#### IV.3.2 Panjang dan Kemiringan Lereng

Panjang lereng adalah jarak dari titik dimulainya aliran ke titik dimana aliran menjadi terakumulasi atau aliran memasuki saluran. Panjang lereng diukur dan diidentifikasi secara langsung dari peta topografi. Panjang lereng menurut model AGNPS pada DTA pada kawasan Hutan Yona bervariasi dari 0 – 115.801,1 meter.

Berdasarkan hasil identifikasi dapat diketahui bahwa DTA di Hutan Yona memiliki kemiringan lereng terbesar didominasi oleh wilayah dengan lereng agak curam sebanyak 38.289 grid sel (41,32%) dan kemiringan lereng terkecil dengan kelerengan sangat

curam sebanyak 2.278 grid sel (2,46%). Pembagian luas dan jumlah sel pada masing-masing kelas lereng disajikan pada Tabel IV.5.



**Gambar IV.7.** Peta Grid DTA Hutan Yona

**Tabel IV.5.** Kemiringan dan Bentuk Lereng

No	Kelas Kemiringan Lereng (%)	Topografi	Jumlah Sel	Persentase (%)
1	< 8	Datar	7.352	7,93
2	8 -15	Landai	14.116	15,23
3	15 – 25	Agak curam	38.289	41,32
4	25 – 40	Curam	30.619	33,05
5	> 40	Sangat curam	2.278	2,46
<b>Total</b>			<b>92.654</b>	<b>100</b>

IV.3.3 Faktor Tindakan Konservasi (P), Faktor Pengelolaan Tanaman (C) dan Faktor Kondisi Penutupan Permukaan Tanah (SCC)

Berdasarkan parameter faktor kondisi permukaan tanah (P), factor pengelolaan tanaman (C) dan faktor kondisi penutupan permukaan tanah (SCC) diketahui bahwa grid sel DTA hutan Yona didominasi oleh tutupan lahan hutan, yaitu masing-masing seluas 804,38 ha, 804,25 ha dan 804,24 ha.

#### IV.3.4 Faktor Erodibilitas Tanah (K)

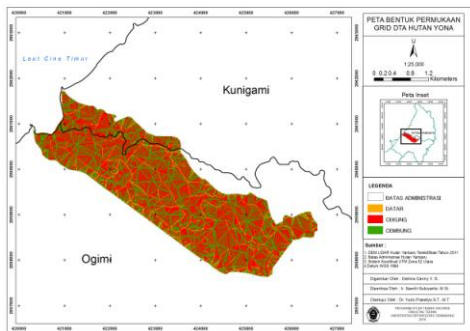
Berdasarkan parameter faktor erodibilitas tanah, diketahui bahwa grid sel DTA hutan Yona didominasi oleh tanah kuning kering podsolik, yaitu seluas 804,24 ha.

#### IV.3.5 Bentuk Permukaan Tanah (SS)

Bentuk permukaan tanah adalah suatu bentuk permukaan dalam arah kemiringan. Berdasarkan proses *curvature* pada data DEM seluas DTA, bentuk permukaan tanah di DTA Hutan Yona ini cukup berpotensi mengalami pengikisan (erosi), yaitu ditandai dengan jumlah grid sel bentuk permukaan cekung dan cembung sebesar 38,22%. DTA Hutan Yona didominasi oleh bentuk permukaan cekung, yaitu sebesar 52,88%. Pembagian bentuk permukaan tanah selengkapnya disajikan pada Tabel IV.6. Peta bentuk permukaan dapat dilihat pada Gambar IV.8 berikut :

**Tabel IV.6.** Bentuk Permukaan Tanah

No.	Bentuk Permukaan	Jumlah Sel	Persentase (%)
1	Datar	5440	5,87
2	Cekung	48.992	52,88
3	Cembung	38.222	41,25
<b>Jumlah</b>		<b>92.615</b>	<b>100</b>



Gambar IV.8. Peta Bentuk Permukaan Grid DTA Hutan Yona

IV.4. Analisis Keluaran Model AGNPS

IV.4.1 Bobot Padatan dan Kecepatan Permukaan Aliran pada Grid DTA hutan Yona

Berdasarkan hasil keluaran pemodelan AGNPS dengan menggunakan masukan energi intensitas 30 menit (EI<sub>30</sub>) sebesar 41,59 m.ton.mm/m<sup>2</sup>, diketahui bahwa bobot padatan pada grid DTA Hutan Yona adalah sebesar 164,04 ton/m<sup>2</sup>. Dari nilai tersebut, dapat dihitung dan diketahui bahwa tanah yang terkikis setiap tahunnya adalah sebesar 0,1367 mm. Sedangkan laju erosi atau dikenal dengan istilah kecepatan aliran permukaan yang terjadi pada pemodelan erosi AGNPS adalah sebesar 13,53 m/s. Berdasarkan sebaran di tiap grid selnya, kecepatan aliran permukaan yang terjadi berkisar antara 0,57 – 24,1 m/s dengan kecepatan maksimumnya adalah sebesar 24,1 m/s.

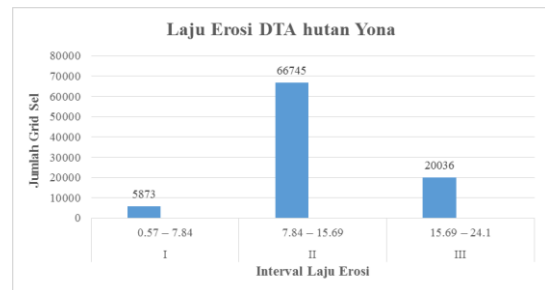
Laju erosi tersebut dapat dibagi menjadi 3 kelas menurut tingkat bahaya erosinya. Pembagian kelas tersebut adalah berdasarkan nilai minimum dan maksimum pada sebaran laju erosi. Sebaran laju erosi tersebut dapat dilihat pada Tabel IV.7 dan Gambar IV.9. Peta laju erosi dapat dilihat pada Gambar IV.10 berikut :

Tabel IV.7. Sebaran Laju Erosi Pada Sel Grid DTA

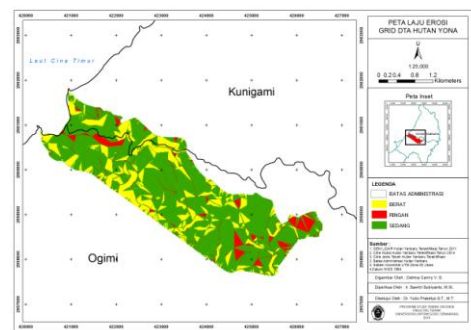
Kelas	Laju Erosi m/s	Jumlah Sel	Tingkat Laju Erosi
I	0,57 – 7,84	5873	Ringan
II	7,84 – 15,69	66745	Sedang
III	15,69 – 24,1	20036	Bahaya
<b>Total</b>		<b>92.654</b>	

IV.4.2 Tingkat Kerawanan Erosi

Kerapatan isi tanah DTA hutan Yona diasumsikan sebesar 1,2 x 10<sup>3</sup> kg /m<sup>3</sup>. Dengan ketebalan tanah yang terkikis sebesar 0,1368 mm/th dan dengan kecepatan aliran permukaan sebesar 13,53 m/s, diketahui bahwa erosi yang terjadi pada DTA hutan Yona adalah 115,59 ton/ha. Nilai erosi ini termasuk tingkat kerawanan pada kelas III yaitu kelas sedang, yaitu berada dengan interval erosi 61 – 180 ton/ha.



Gambar IV.9. Laju Erosi pada Grid DTA Hutan Yona



Gambar IV.10. Peta Sebaran Erosi DTA Hutan Yona

Validasi

Hal ini dilakukan untuk melihat kondisi Hutan Yona yang sebenarnya pada grid-grid sel DTA yang telah dianalisis. Validasi dilakukan dengan menggunakan google street view yaitu dengan mengambil sampel pada pada 21 grid DTA Hutan Yona.

Dari hasil pengambilan sample, terdapat 80,95% kesesuaian antara pemodelan AGNPS dengan google street view. Dapat dikatakan bahwa validasi menggunakan google street view cukup baik. Akan tetapi, validasi yang terbaik tetap disarankan untuk survei langsung ke lapangan.

V. Kesimpulan dan Saran

V.1. Kesimpulan

- Berdasarkan pemodelan AGNPS yang telah dilakukan, diketahui bahwa bobot padatan pada grid DTA Hutan Yona adalah sebesar 166,45 ton/m<sup>2</sup> yang menyebabkan ketebalan tanah berkurang sebesar 0,138 mm/th. kecepatan

aliran permukaan yang terjadi pada pemodelan erosi AGNPS adalah sebesar 13,53 m/s. Interval laju erosi yang terjadi pada grid DTA hutan Yona berkisar antara 0,57 – 24,1 m/s dengan kecepatan maksimumnya adalah sebesar 24,1 m/s. Dari nilai minimum dan maksimum laju erosi, dapat ditentukan kelas bahaya erosi, yaitu sebagai berikut :

- a. Kelas I : Laju erosi dengan interval 0,57 – 7,84 m/s berada pada kelas ringan terdapat pada 5.873 grid sel.
  - b. Kelas II : Laju erosi dengan interval 7,84 – 15,69 m/s berada pada kelas sedang terdapat pada 66745 grid sel.
  - c. Kelas III : Laju erosi dengan interval 15,69 – 24,1 m/s berada pada kelas bahaya terdapat pada 5873 grid sel.
2. Dari ketebalan tanah yang terkikis per tahun, yaitu sebesar 0,138 mm/th dan dengan mengasumsikan bahwa kerapatan isi tanah DTA hutan Yona adalah sebesar  $1,2 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ , diketahui bahwa besar erosi yang terjadi pada hutan Yona adalah sebesar 115,59 ton/ha. Nilai erosi ini termasuk tingkat kerawanan pada kelas III yaitu kelas sedang, yaitu berada dengan interval erosi 61 – 180 ton/ha.

## V.2. Saran

1. Penelitian ini merupakan kajian awal dalam menganalisis kondisi DTA Hutan Yona. Oleh karena itu perlu dilakukan validasi lapangan terlebih dahulu sebelum menentukan daerah tangkapan air (DTA).
2. Berdasarkan hasil validasi menggunakan *google street view*, terdapat kesesuaian sebesar 80,95% antara hasil pemodelan AGNPS dengan hasil validasi menggunakan *google street view*. Dapat dikatakan bahwa validasi menggunakan *google street view* cukup baik. Akan tetapi, validasi yang terbaik tetap disarankan untuk survei langsung ke lapangan.
3. Penelitian ini lebih banyak menggunakan parameter-parameter dari DEM. Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk lebih fokus pada faktor jenis tanahnya.
4. Penelitian ini menggunakan data DEM LIDAR dengan resolusi spasial 1 m. Untuk penelitian selanjutnya ukuran grid bisa lebih diperkecil untuk lebih meningkatkan kualitas data.
5. Dalam melakukan tindakan konservasi hutan, dapat dilakukan rekayasa tutupan lahan berdasarkan parameter-parameter turunannya guna mengurangi erosi yang terjadi pada hutan Yona.
6. Pengolahan data dalam penelitian ini tidak disarankan menggunakan perangkat keras (*hardware*) yang memiliki spesifikasi rendah.

## Daftar Pustaka

- Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. 2015. *Water Information System*. [www.l.river.go.jp/](http://www.l.river.go.jp/) diakses pada Oktober 2015.
- Ministry of Okinawa Prefecture Map System. 2015. *GIS Map Information*. <http://gis.pref.okinawa.jp/> diakses pada November 2015.
- GIS Homepage. 2015. *National Map Information*. <http://nlftp.mlit.go.jp/> diakses pada November 2015.
- Arsyad S. 2000. *Konservasi Tanah dan Air*. Institut Pertanian Bogor, Indonesia.
- Asdak C. 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Universitas Gajah Mada, Indonesia.
- Bakari S. S., Vuai A. S. dan Tokuyama A. 2004. *Forest Soil Fertility in Okinawa Island, Subtropical Region in Japan*. Department of Chemistry, Biology, and Marine Science, Faculty of Science, University of the Ryukyus, Japan.
- Departemen Kehutanan. 1998. *Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapang Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai*. Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan, Jakarta.
- Galuda D. 1996. *Penggunaan AGNPS untuk Memprediksi Aliran Permukaan, Sedimen dan hara N, P, dan COD di Daerah Tangkapan Air Cinere Sub DAS Citarik, Pengalengan*. Bogor: Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Indonesia.
- Kristianasari. 2006. *Aplikasi Sistem Informasi Geografis dan Model AGNPS Dalam Pendugaan Aliran Permukaan, Erosi, dan Sedimentasi di Sub Das Cihoe Kabupaten Bogor*. Institut Pertanian Bogor, Indonesia.