

ANALISIS PENGARUH TINGKAT BAHAYA EROSI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) BENGAWAN SOLO TERHADAP *TOTAL SUSPENDED SOLID* (TSS) DI PERAIRAN WADUK GAJAH MUNGKUR

Aziz Anjar Santoso, Bambang Sudarsono, Abdi Sukmono^{*)}

Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudarto, SH, Tembalang, Semarang Telp.(024)76480785, 76480788
Email : azizanjarsantoso@gmail.com

ABSTRAK

Waduk Gajah Mungkur yang terletak di Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah adalah waduk serbaguna dengan wilayah seluas kurang lebih 8.800 ha ini dapat mengairi sawah seluas 23.600 ha di Kabupaten Sukoharjo, Klaten, Karanganyar dan Sragen. Jumlah sedimentasi yang meningkat dengan pesat mengakibatkan degradasi kualitas air Waduk Gajah Mungkur. Sedimentasi yang tinggi dapat ditunjukkan dari tingginya nilai *Total Suspended Solid* (TSS) di perairannya. TSS adalah material padatan, termasuk bahan organik dan anorganik yang tersuspensi di daerah perairan. Dinamika TSS yang ada di perairan Waduk Gajah Mungkur tak lepas dari dinamika erosi tanah permukaan lahan di kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS).

Konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) dapat diidentifikasi menggunakan perhitungan algoritma *Total Suspended Solid* (TSS) pada citra Satelit Landsat 8 tahun 2013, 2015, dan 2017 yang kemudian dibandingkan dengan kadar TSS di lapangan. Tingkat bahaya erosi diidentifikasi menggunakan metode *Universal Soil Loss Equation* (USLE).

Bedasarkan hasil kajian kelas tingkat bahaya erosi pada DAS Bengawan Solo yang mengalir ke Waduk Gajah Mungkur kelas tingkat bahaya erosi yang memiliki luas paling besar adalah kelas 180-480 ton/ha/tahun dengan luas pada tahun 2013 sebesar 68.473,549 ha dan 2015 sebesar 65.055,459 ha. Algoritma yang paling cocok di perairan Waduk Gajah Mungkur adalah algoritma Syarif Budhiman dengan koefisien regresi 92%. Persamaan regresi Syarif Budhiman dengan TSS insitu adalah $Y=0,4711x+45.266$. Konsentrasi di perairan Waduk Gajah Mungkur dalam rentang waktu tahun 2013-2017 mengalami peningkatan. Tingkat bahaya erosi di DAS Bengawan Solo pada perairan Waduk Gajah Mungkur mempengaruhi pola persebaran dan perubahan nilai TSS-nya. Sub DAS yang perubahan erosinya memiliki pengaruh terhadap perubahan TSS yaitu Sub DAS Keduang dan Alang.

Kata Kunci : Erosi, TSS, USLE, Waduk Gajah Mungkur

ABSTRACT

Gajah Mungkur Reservoir located in Wonogiri Regency Central Java Province is a multipurpose reservoir with an area of approximately 8.800 ha. It can irrigate 23.600 ha of rice field in Sukoharjo, Klaten, Karanganyar and Sragen regencies. The rapidly increasing amount of sedimentation caused degradation of water quality of the Gajah Mungkur Reservoir. High sedimentation can be shown from the high value of Total Suspended Solid (TSS) in the waters. TSS is a solid material, including inorganic and organic matter suspended in aquatic area. Dynamics of TSS in the waters of Gajah Mungkur Reservoir can not be separated from the dynamics of land surface soil erosion in the area of Watershed.

Total Suspended Solid (TSS) concentrations can be identified using Total Suspended Solid (TSS) algorithm calculations on Landsat 8 satellite images 2013, 2015, and 2017 which are then compared with TSS levels in the field. The erosion hazard level is identified using the Universal Soil Loss Equation (USLE) method.

Based on the study of the class of erosion hazard level on the Bengawan Solo River Basin that flows to the Gajah Mungkur Reservoir, the largest erosion hazard class is 180-480 ton / ha / year with an area in 2013 of 68.473,549 ha and 2015 of 65.055,459 ha. The most suitable algorithm in the waters of Gajah Mungkur Reservoir is the Syarif Budhiman algorithm with 92% regression coefficient. Syarif Budhiman regression equation with TSS insitu is $Y = 0,4711x + 45.266$. Concentration in the waters of Gajah Mungkur Reservoir in the period of 2013-2017 has increased. The erosion hazard level in the Bengawan Solo River Basin in Gajah Mungkur Reservoir waters influences the distribution pattern and the change of TSS value. Sub watershed that changes its erosion have an influence on TSS change that is Keduang and Alang Sub DAS.

Keywords: Erosion, TSS, USLE, Gajah Mungkur Reservoir

^{*)} Penulis, Penanggung Jawab

I. Pendahuluan

I.1. Latar Belakang

Pendangkalan adalah masalah yang sering terjadi pada bangunan waduk di Indonesia. Salah satu waduk di Indonesia yang mempunyai masalah serius dengan pendangkalan adalah Waduk Gajah Mungkur Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah. Salah satu faktor penyebab permasalahan pendangkalan di Waduk Gajah Mungkur adalah meningkatnya jumlah sedimentasi. Akibat dari erosi di hulu sungai jumlah sedimentasi yang meningkat dengan pesat dan tidak terkendali mengakibatkan degradasi kualitas air Waduk Gajah Mungkur. Salah satunya peningkatan kandungan *Total Suspended Solid* (TSS).

Dinamika TSS yang ada di perairan Waduk Gajah Mungkur tak lepas dari dinamika erosi tanah permukaan lahan, erosi jurang, longsoran lereng, erosi tebing sungai, dan erosi sisi badan jalan. Banyak lokasi jurang dan longsoran di daerah tangkapan air, lereng-lereng (tebing) kawasan Daerah Aliran Sungai (DAS). Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan lahan total dan permukaan air yang dibatasi oleh suatu batas air topografi serta salah satu cara memberikan sumbangan terhadap debit suatu sungai pada suatu irisan melintang tertentu. Tangkapan DAS tidak hanya merupakan limpasan saja, melainkan juga erosi dan pengangkutan bahan-bahan kimia (Wirosoedarmo dkk, 2011).

Besarnya erosi yang terjadi di suatu wilayah merupakan hal yang penting untuk diketahui karena selain dapat mengetahui banyaknya tanah yang terangkut juga dapat digunakan sebagai salah satu jalan untuk mencari sebuah solusi dari permasalahan tersebut. Prediksi erosi dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung yaitu melalui model prediksi erosi. Prediksi erosi yang dilakukan secara langsung menemui banyak kendala, salah satunya adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengerjakan cukup lama. Sehingga digunakan sebuah model prediksi erosi, model prediksi erosi itu sendiri cukup beragam, seperti halnya USLE (*Universal Soil Loss Equation*).

Jika besarnya erosi yang sudah diketahui, maka dapat diketahui pula keterkaitannya dengan *Total Suspended Solid* (TSS). Besarnya *Total Suspended Solid* (TSS) dapat ditentukan dengan menggunakan metode penginderaan jauh. Penginderaan jauh dapat digunakan untuk mengkaji hal tersebut, yakni dengan menganalisis hasil perekaman karakteristik spektral air dengan parameter-parameter kualitas air.

Wilayah yang membentang cukup luas dari hulu sampai ke hilir memerlukan waktu dan biaya yang cukup besar untuk melakukan kajian kualitas fisik air di Waduk Gajah Mungkur dan membuat prediksi bahaya erosi pada Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo. Diperlukan teknologi yang aktual dan faktual untuk mengatasinya. Kemajuan teknologi yang pesat saat ini berdampak positif dalam keilmuan penginderaan jauh (Utami, 2016). Sehingga memungkinkan untuk melakukan pengukuran dan

pemantauan kualitas air serta melakukan pemetaan tingkat bahaya erosi secara efektif dan efisien.

Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan adanya usaha untuk memantau persebaran TSS di Waduk Gajah Mungkur mengingat pentingnya potensi yang ada. Salah satu pemantauan yang dapat dilakukan adalah menggunakan data satelit penginderaan jauh, tanpa harus terus menerus terjun ke lapangan. Selain itu perlu adanya pemodelan prediksi erosi di Sub DAS sekitar area Waduk Gajah Mungkur untuk mengetahui pengaruhnya terhadap sebaran TSS.

I.2. Perumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana tingkat bahaya erosi di Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo yang bermuara ke Waduk Gajah Mungkur?
2. Bagaimana Algoritma *Total Suspended Solid* yang paling baik untuk penurunan nilai *Total Suspended Solid* di perairan Waduk Gajah Mungkur?
3. Bagaimana sebaran konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) di Waduk Gajah Mungkur pada tahun 2013, 2015, dan 2017?
4. Bagaimana pengaruh tingkat bencana erosi Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo terhadap konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) di Waduk Gajah Mungkur?

I.3. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan penelitian ini adalah :

1. Memetakan tingkat bahaya erosi Daerah Aliran Sungai yang bermuara ke Waduk Gajah Mungkur
2. Menentukan Algoritma *Total Suspended Solid* yang paling baik untuk penurunan nilai *Total Suspended Solid* di perairan Waduk Gajah Mungkur
3. Memetakan sebaran konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS) di Waduk Gajah Mungkur pada tahun 2013, 2015, dan 2017
4. Mengetahui pengaruh Daerah Aliran Sungai yang rawan erosi terhadap konsentrasi *Total Suspended Solid* (TSS)

I.4. Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Lokasi penelitian ini adalah Waduk Gajah Mungkur, Kabupaten Wonogiri, Provinsi Jawa Tengah dan Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo.
2. Data yang digunakan adalah Peta Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo, DEM SRTM 1 arc, curah hujan Kabupaten Wonogiri tahun 2013 dan 2015, Citra Satelit Landsat 8, peta jenis tanah, dan peta RBI 1:25.000.
3. Validasi persebaran *Total Suspended Solid* (TSS) dilakukan dengan metode *regresi*

linear antara data lapangan dengan data pengolahan TSS citra Landsat

4. Pembuatan model prediksi Tingkat Bahaya Erosi pada DAS Bengawan Solo hanya dilakukan pada Sub DAS yang mengalir ke Perairan Waduk Gajah Mungkur
5. Analisis hubungan Tingkat Bahaya Erosi (TBE) dan konsentrasi nilai *Total Suspended Solid* (TSS) dilakukan pada tahun 2013 dan 2015.

II. Tinjauan Pustaka

II.1. Erosi

Erosi dapat disebut pengikisan atau pelongsoran, sesungguhnya merupakan proses penghanyutan tanah oleh desakan atau kekuatan air atau angin, baik yang berlangsung secara alamiah maupun akibat/tindakan perbuatan manusia. Faktor-faktor yang mempengaruhi erosi (Suripin, 2002):

1. iklim : sifat hujan
2. topografi : kemiringan lereng.
3. vegetasi : tanaman penutup tanah.
4. tanah : kemampuan tanah untuk menahan dispersi.
5. manusia.

II.2. Universal Soil Loss Equation (USLE)

Salah satu persamaan yang pertama kali dikembangkan untuk mempelajari erosi lahan adalah yang disebut persamaan *Musgrave*, yang selanjutnya berkembang terus menjadi persamaan yang disebut *Universal Soil Loss Equation* (USLE). USLE memungkinkan perencanaan memprediksi laju erosi rata-rata lahan tertentu pada suatu kemiringan dengan pola hujan tertentu untuk setiap macam-macam jenis tanah dan penerapan pengelolaan lahan (tindakan konservasi lahan). USLE dirancang untuk memprediksi erosi jangka panjang. Persamaan tersebut dapat juga memprediksi erosi pada lahan-lahan (Listriyana, 2006).

Dalam penghitungan bahaya erosi sangat dipengaruhi oleh faktor curah hujan, panjang lereng, kemiringan lereng, tanah, serta penutupan lahan berikut tindakan pengelolaannya. Faktor utama penyebab erosi yaitu curah hujan dan adanya aliran permukaan. Dengan faktor-faktor tersebut, maka besar erosi dapat ditentukan dengan rumus *Universal Soil Loss Equation* (USLE) yang dikembangkan Wischmeier dan Smith (1978), *cit.* Listriyana (2006).

$$A = R \times K \times LS \times C \times P$$

Dimana :

- A : Laju erosi
- R : faktor erosivitas erosi
- K : faktor erodibilitas erosi
- LS : faktor panjang kemiringan lereng
- C : faktor tanaman penutup lahan
- P : faktor tindakan konservasi lahan

II.3. Total Suspended Solid (TSS)

Zat Padat Tersuspensi (TSS) adalah padatan yang menyebabkan kekeruhan air, tidak terlarut dan

tidak dapat langsung mengendap, terdiri dari partikel-partikel yang ukuran maupun beratnya lebih kecil dari sedimen, misalnya tanah liat, bahan-bahan organik tertentu, sel-sel mikroorganisme, dan sebagainya (Nasution, M.I., 2008).

Zat padat tersuspensi merupakan tempat berlangsungnya reaksi-reaksi kimia yang heterogen, dan berfungsi sebagai bahan pembentuk endapan yang paling awal dan dapat menghalangi kemampuan produksi zat organik di suatu perairan (Tarigan dan Edward, 2003). TSS berhubungan erat dengan erosi tanah dan erosi dari saluran sungai. TSS sangat bervariasi, mulai kurang dari 5 mg/l yang yang paling ekstrem 30.000 mg/l di beberapa sungai. TSS tidak hanya menjadi ukuran penting erosi di alur sungai, juga berhubungan erat dengan transportasi melalui sistem sungai nutrisi (terutama fosfor), logam, dan berbagai bahan kimia industri dan pertanian.

II.4. Algoritma TSS

1. Algoritma Parwati (2014)

Algoritma yang merupakan hasil penelitian yang dilakukan Ety Parwati dalam rangka melakukan upaya pengoptimalisasikan pengawasan kualitas lingkungan perairan pantai akibat limbah industri dengan menggunakan teknologi penginderaan jauh. Pengamatan kualitas air ini menggunakan nilai reflektan yang dikonversikan menjadi nilai TSS.

Penjabaran mengenai algoritma penurunan nilai TSS nya adalah sebagai berikut :

$$TSS (mg/l) = 0,6211(7,9038 \times \exp(23,942 \times Redband))$$

Dimana

TSS = Total Suspended Solid

Red Band = Nilai reflektan Red band

2. Algoritma Woerd and Pastercamp (2004)

Algoritma yang dikembangkan oleh Hans van der Woerd dan Reinold Pasterkamp pada tahun 2004 ini merupakan hasil risetnya dalam memetakan materi tersuspensi di suatu wilayah konservasi di laut utara Eropa.

Penjabaran mengenai algoritma penurunan nilai TSS nya adalah sebagai berikut:

Jika nilai $X \leq 2,76$ atau nilai reflektan kanal $2 \leq 0.0282$ maka :

$$TSS (mg/l) = 1,0585 e^{1,3595x}$$

Jika nilai $X > 2,76$ atau nilai reflektan kanal $2 > 0.0282$ maka :

$$TSS (mg/l) = 32,918x - 46,616$$

Dengan nilai X yaitu :

$$X = (-0,53 * RefB2) + \frac{0,001}{0,03 * RefB2} - 0,0059$$

Dimana,

TSS = Total Suspended Solid

RefB2 = Nilai reflektan band 2

3. Algoritma Syarif Budhiman (2004)

Algoritma ini dikembangkan di wilayah perairan di Delta Mahakam dengan metode yang dikembangkan berdasarkan *bio optical modelling* untuk menganalisis suatu distribusi

dari materi yang tersuspensi melalui teknologi Penginderaan Jauh.

Algoritma Syarif Budhiman digunakan konstanta A dan S untuk melengkapi algoritma yang akan dibangun.

Penjabaran mengenai algoritma penurunan nilai TSS nya adalah sebagai berikut:

$$TSS(mg/l) = A * \exp(S * R(0 -)Redband)$$

Dimana,

TSS = Total Suspended Solid

R(0-)redband = irradian reflektan

III. Metodologi Penelitian

III.1. Persiapan Penelitian

Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

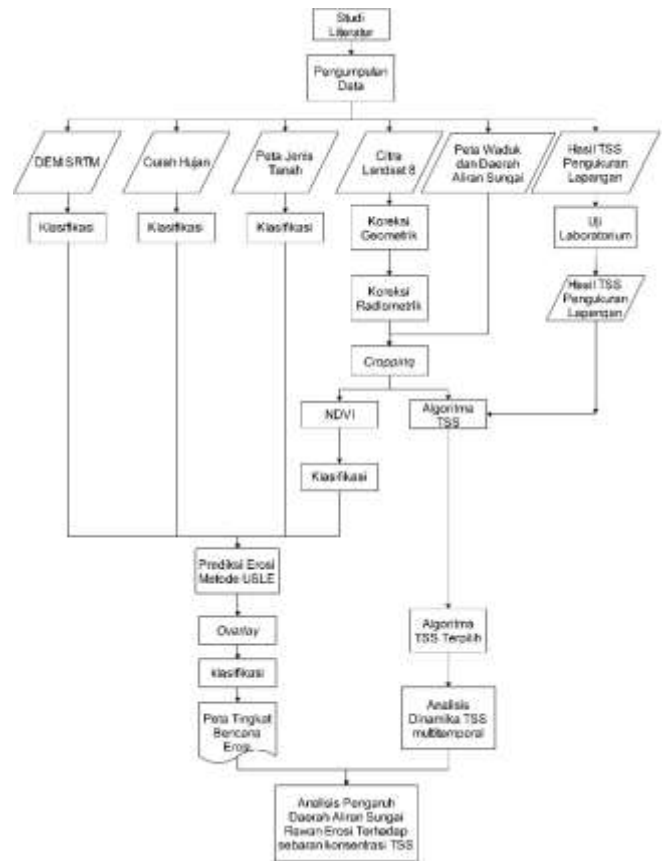
1. Perangkat Keras
 - a. Laptop Compaq Presario CQ42
 - b. Printer
2. Perangkat Lunak
 - a. Sistem Operasi Windows 8 Ultimate
 - b. Microsoft office 2013
 - c. Software GIS
 - d. Software Pengolah Citra
3. Peralatan Pengukuran Lapangan
 - a. GPS Handheld
 - b. Botol tempat air sampel
 - c. Perahu motor
 - d. Kamera

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Citra Landsat 8 tahun 2013, 2015, 2017
2. Peta DAS Bengawan Solo
3. Peta RBI skala 1:25.000 wilayah Kabupaten Wonogiri
4. Data Curah Hujan tahun 2013 dan 2015 Kabupaten Wonogiri
5. DEM SRTM path 119 row 66 sumber dari USGS
6. Peta Jenis Tanah Kabupaten Wonogiri
7. Data nilai TSS dan koordinat pengambilan sampel di lapangan untuk validasi

III.2. Pengolahan Data

Secara garis besar tahapan penelitian dijabarkan dalam gambar 1 berikut ini :



Gambar 1 Diagram alir penelitian

III.3. Koreksi Geometrik

Tahapan *preprocessing* dilakukan koreksi geometrik. Koreksi geometrik merupakan proses memposisikan citra sehingga cocok dengan koordinat bumi yang sebenarnya. Koreksi geometrik dapat dilakukan dengan membuat titik-titik *Ground Control Point* (GCP) dengan menggunakan pengamatan lapangan dengan menggunakan GPS dan menggunakan peta dasar dengan koordinat yang dianggap benar. Peta dasar juga dapat berupa citra yang sudah melalui proses orthorektifikasi.

III.4. Koreksi Radiometrik

Tahapan *preprocessing* dilakukan suatu koreksi pada citra untuk memperkecil kesalahan nilai piksel akibat faktor-faktor alam (faktor atmosfer) yang mempengaruhi nilai piksel citra seperti sudut matahari. Penelitian ini, menggunakan 4 *band* spektral Landsat 8 (2, 3, 4, 5) dimana nilai *digital number* diolah menggunakan perhitungan matematis untuk menghasilkan informasi tertentu dimna pada konteks penelitian ini, berupa nilai dari *Total Suspended Solid*.

III.5. Cropping Citra

Tahapan *preprocessing* dilakukan pemotongan pada citra untuk membatasi pengolahan citra sesuai dengan kebutuhan penelitian. Penelitian ini terbagi menjadi dua wilayah yaitu Waduk Gajah Mungkur dan subdas dari dari DAS Bengawan Solo.

III.6. Penentuan Tingkat Bahaya Erosi

III.6.1 Erosivitas Hujan (R)

Penelitian ini untuk menentukan nilai R menggunakan persamaan yang dikemukakan oleh Lenvain (DHV, 1989). Adapun persamaannya sebagai berikut (Asdak 2015):

$$R = 2,21P^{1,26}$$

dimana :

R : Indeks erosivitas

P : Curah Hujan Bulanan (cm)

III.6.2 Erodibilitas Tanah (K)

Penelitian ini menggunakan peta jenis tanah untuk mengetahui jenis tanah pada daerah penelitian. Kemudian setiap jenis tanah diberikan nilai K. Penelitian ini dalam menentukan nilai erodibilitas tanah (K) mengacu pada beberapa penelitian yang menggunakan daerah penelitian di beberapa tempat di Pulau Jawa seperti pada tabel 1.

Tabel 1 Prakiraan besarnya nilai K (Asdak, 2015)

Jenis Tanah	Nilai K
Litosol	0,29
Regosol	0,29
Mediteran	0,31
Grumusol	0,48

III.6.3 Panjang dan Kemiringan Lereng (LS)

Data yang digunakan untuk mendapat nilai panjang dan kemiringan lereng adalah DEM SRTM. DEM SRTM diklasifikasikan menjadi peta keterangan. Klasifikasinya sesuai dengan tabel dibawah ini. Kemudian setiap klasifikasi diberi nilai indeks LS. Dalam menentukan nilai panjang lereng (L) dan kemiringan lereng (S) menggunakan Tuti Herawati (2010). Klasifikasi dan nilai LS-nya terdapat pada tabel 2.

Tabel 2 Nilai Indeks LS (Tuti Herawati, 2010)

Kelas	Nilai LS
0 – 8 %	1,36
8 – 15 %	5,25
15 – 25 %	10,85
25 – 45 %	22,73
>45%	54,30

III.6.4 Penutup dan Konservasi Lahan (CP)

Tata guna lahan diperoleh dari pengoalahan citra Landsat 8 dengan pengolahan NDVI yang memanfaatkan band 4 dan band 5. Hasil NDVI merupakan kerapatan dari vegetasi. Penelitian ini dalam penentuan indeks pengelolaan tanaman (C) dan indeks pengelolaan lahan (P) dari penelitian lain seperti pada tabel 3.

Tabel 3 Perkiraan nilai CP berbagai jenis penggunaan lahan di Jawa (Suprayogi dkk, 2015)

Klasifikasi Kerapatan	Jenis Tutupan	Nilai CP
Badan Air	Danau, laut, sungai	0,01
Vegetasi Jarang	Pemukiman, Lahan Kosong	1
Cukup Rapat	Sawah, Tegalan	0,43
Rapat	Sawah, Semak Belukar	0,1
Sangat Rapat	Tumbuhan Perdu, Hutan	0,001

III.6.5 Klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Hasil perhitungan nilai laju erosi dengan menggunakan rumus USLE kemudian diklasifikasi menjadi lima kelas, yaitu sangat ringan, ringan, sedang, berat, dan sangat berat. Tabel 4 menunjukkan klasifikasi Tingkat Bahaya Erosi (TBE).

Tabel 4 Klasifikasi tingkat bahaya erosi (Departemen Kehutanan cit Tuti Herawati, 2010)

No	Kelas TBE	Kehilangan Tanah (ton/ha/tahun)	Keterangan
1	I	<15	Sangat Ringan
2	II	15 – 60	Ringan
3	III	60 – 180	Sedang
4	IV	180 – 480	Berat
5	V	>480	Sangat Berat

III.7. Pembuatan Model Sebaran TSS

Pembuatan model sebaran TSS dilakukan menggunakan data citra Landsat 8 tahun 2013, 2015, dan 2017. Pengembangan model untuk mengduga konsentrasi TSS dilakukan dengan menggunakan nilai reflektansi dari band tunggal sesuai dengan algoritma yang digunakan.

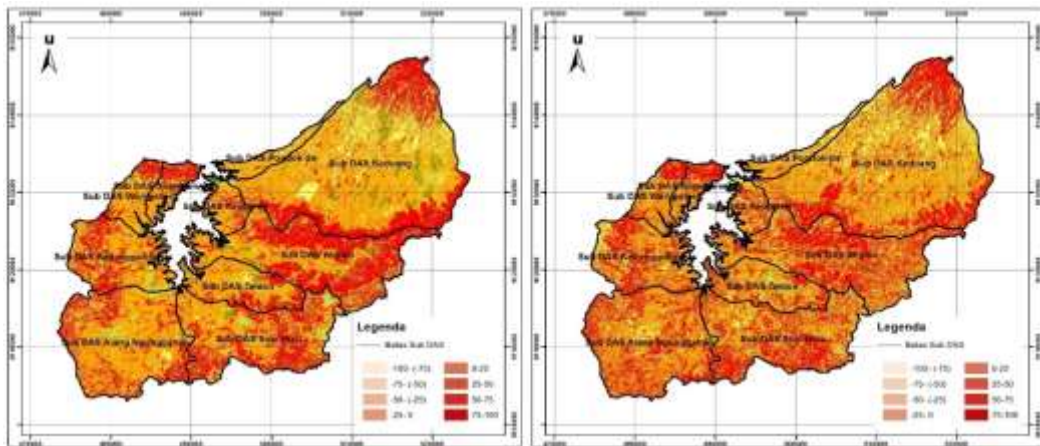
Adiputro (1994) dalam Kusuardani (2011) mengelompokkan tingkat pencemaran berdasarkan sebaran TSS menjadi 4 kelas, yakni :

1. Kelas 1: 0-20 mg/l (belum tercemar)
2. Kelas 2: 20-50 mg/l (tercemar ringan)
3. Kelas 3: 50-100 mg/l (tercemar sedang)
4. Kelas 4: > 100 mg/l (tercemar berat)

IV. Hasil dan Pembahasan

IV.1 Analisis Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Hasil overlay peta curah hujan, jenis tanah, kelas lereng, dan tutupan lahan, diperoleh hasil peta sebaran Tingkat Bahaya Erosi (TBE) di DAS Bengawan Solo yang mengalir ke Waduk Gajah Mungkur. Penelitian ini diperoleh peta sebaran TBE di DAS Bengawan Solo yang mengalir ke Waduk Gajah Mungkur tahun 2013 dan 2015. Peta sebaran TBE di DAS Bengawan Solo yang mengalir ke Waduk Gajah Mungkur tahun 2013 dan 2015 ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2 Peta tingkat bahaya erosi tahun 2013 dan 2015

Berdasarkan hasil analisis TBE tahun 2013 yang telah diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan metode USLE, di Sub DAS yang mengelilingi Waduk Gajah Mungkur sebagian besar termasuk ke kelas berat (180-480 ton/ha/tahun) memiliki luas 68.473,549 ha atau 57,025% dari luas Sub DAS yang mengelilingi Waduk Gajah Mungkur. Dan di kelas sangat berat (>480 ton/ha/tahun) memiliki luas 36.114,687 ha atau 30,076% dari luas keseluruhan.

Berdasarkan hasil analisis TBE tahun 2015 yang telah diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan metode USLE, di Sub DAS yang mengelilingi Waduk Gajah Mungkur sebagian besar termasuk ke kelas berat (180-480 ton/ha/tahun) memiliki luas 65.055,359 ha atau 54,177% dari luas Sub DAS yang mengelilingi Waduk Gajah Mungkur. Dan di kelas sangat berat (>480 ton/ha/tahun) memiliki luas 40.368,020 ha atau 33,619% dari luas keseluruhan.

IV.2 Analisis Penentuan Algoritma Total Suspended Solid Terbaik

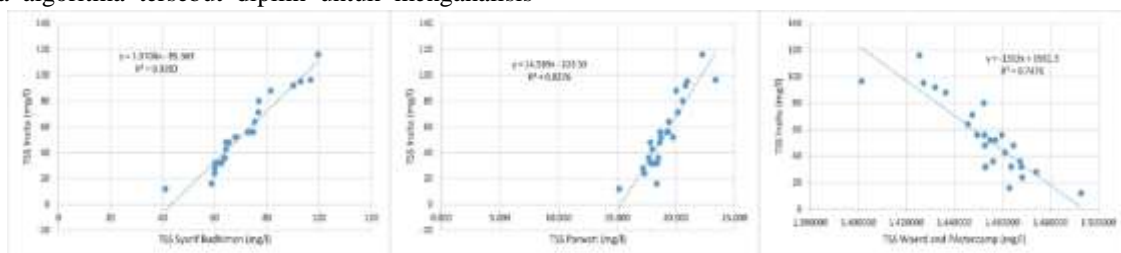
Penentuan hasil algoritma terbaik dimaksudkan untuk melakukan pemilihan algoritma yang sesuai dengan kondisi sebaran TSS *insitu*, dilakukan dengan meregresi hasil perhitungan algoritma TSS dari penelitian sebelumnya dengan TSS hasil uji sampel air yang berjumlah 26 titik sampel. Algoritma yang digunakan yaitu algoritma dari Syarif Budhiman, Algoritma Parwati, algoritma Woerd and Pastercamp berdasarkan nilai reflektansi dari *band*. Salah satu dari ketiga algoritma tersebut dipilih untuk menganalisis

sebaran TSS secara *multitemporal* dan pengaruh TBE terhadap TSS. Nilai TSS dari setiap titik sampel berdasarkan hasil pengujian laboratorium disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Validasi TSS *Insitu*

Nama Titik	Kadar TSS (mg/l)
G2	116
G3	88
G4	92
G5	96,4
G6	12
G7	80
G8	71,2
G9	56
G10	42,8
G11	56
G12	52
G13	48
G15	16
G16	32
G17	36
G18	52
G19	32
G20	28
G21	48
G22	36
G23	56
G24	64
G25	32

Hasil regresi linear antara TSS *insitu* dengan algoritma TSS ditunjukkan pada gambar 3.

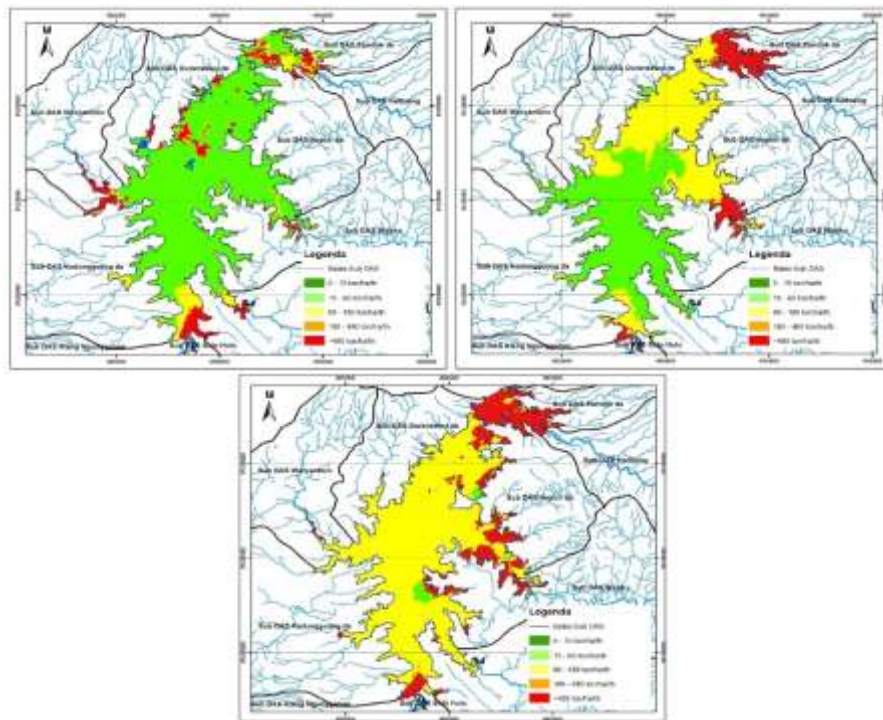


Gambar 3 Grafik Regresi linear antara TSS algoritma Syarif Budhiman, TSS Parwati , dan TSS Woerd and Pastercamp dengan TSS *insitu*

Perbandingan nilai TSS dari pengolahan citra Landsat 8 akusisi data tanggal 25 April 2017 dengan tiga algoritma TSS yaitu algoritma Syarif Budhiman, Algoritma Parwati, dan Algoritma Woerd and Pastercamp dengan nilai TSS *insitu* yang diambil pada tanggal 25 April 2017 yang memiliki nilai koefisien determinasi mendekati 1 adalah algoritma Syarif Budhiman. Algoritma syarif budhiman memiliki nilai determinasi 0,92 atau 92%. Nilai TSS yang diperoleh dari hasil perhitungan algoritma Syarif budhiman hampir memiliki kesamaan pola dengan nilai TSS *insitu* yang tersebar di Waduk Gajah Mungkur sebanyak 26 titik.

IV.3 Analisis Sebaran Konsentrasi Total Suspended Solid

Berdasarkan hasil penentuan algoritma terbaik diperoleh algoritma Syarif Budhiman dengan nilai TSS *insitu*. Selanjutnya algoritma Syarif Budhiman ini digunakan sebagai input pemetaan sebaran TSS di Perairan Waduk Gajah Mungkur pada tahun 2013, 2015 dan 2017. Peta sebaran TSS di Perairan Waduk Gajah Mungkur pada tahun 2013, 2015 dan 2017 disajikan pada gambar 4.



Gambar 4 Peta sebaran konsentrasi TSS Waduk Gajah Mungkur tahun 2013, 2015, dan 2017

Dari hasil yang diperoleh perbandingan luas sebaran TSS Waduk Gajah Mungkur tahun 2013, 2015, dan 2017 disajikan dalam grafik pada gambar 5 dan dalam tabel 6.



Gambar 5 Diagram perbandingan luas sebaran TSS tahun 2013, 2015, dan 2017

Tabel 6 Perbandingan luas sebaran TSS tahun 2013, 2015, dan 2017

No	Tahun	Luas (ha)			
		0-20	20-50	50-100	>100
1	2013	97,956	4.779,848	616,404	503,78
2	2015	51,521	2.880,392	2.526,905	539,171
3	2017	51,521	103,573	4.656,853	1.186,042

Berdasarkan dari perhitungan TSS di perairan Waduk Gajah Mungkur tahun 2013 luasan sebaran tersebar terdapat pada konsentrasi 20-50 mg/l yaitu seluas 4.779,848 ha atau sebesar 79,690%. Diikuti konsentrasi 50-100% memiliki luas sebesar 616,404 ha. Konsentrasi >100 mg/l memiliki luas sebesar 503,780 ha. Dan konsentrasi 0-20 mg/l memiliki luas sebesar 97,956 ha.

Tahun 2015 luasan terbesar terdapat pada konsentrasi 20-50 mg/l dengan luas sebesar 2.880,392 ha atau sebesar 48,022 %. Pada konsentrasi 50-100 mg/l memiliki luas hampir sama dengan konsentrasi 20-50 mg/l, yaitu 2.526,905 ha atau sebesar 42,129%.

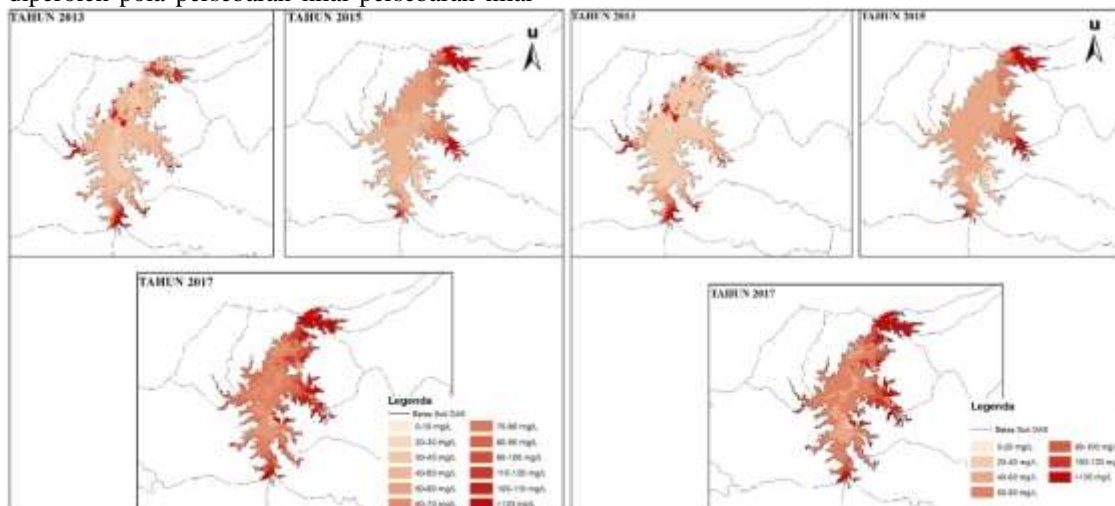
Konsentrasi >100 mg/l memiliki luas 539,171 ha dan konsentrasi 0-20 mg/l memiliki luas 51,521 ha.

Tahun 2017 luasan sebaran tersebar terdapat pada konsentrasi 50-100 mg/l yaitu seluas 4.656,853 ha atau sebesar 77,640%. Diikuti konsentrasi >100 mg/l memiliki luas sebesar 1.186,042 ha. Konsentrasi 20-50 mg/l memiliki luas sebesar 103,573 ha. Dan konsentrasi 0-20 mg/l memiliki luas sebesar 51,521 ha.

IV.4 Analisis Tingkat Bahaya Erosi

Dari peta sebaran TSS tahun 2013, 2015, dan 2017 diperoleh pola persebaran nilai persebaran nilai

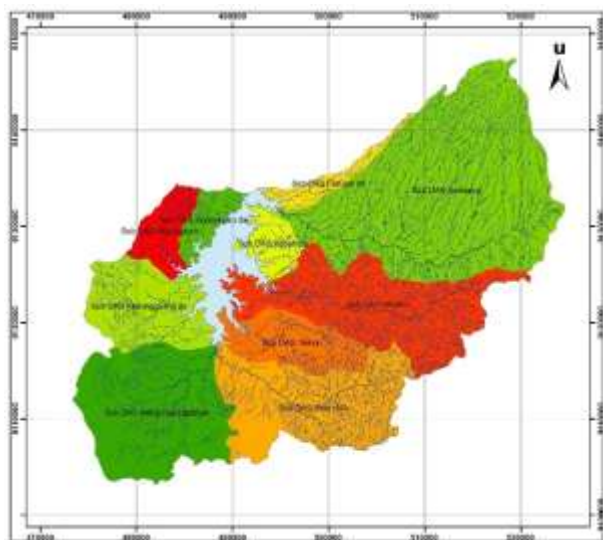
TSS di perairan Waduk Gajah Mungkur. Namun pada peta sebaran TSS yang telah dibuat kurang begitu terlihat pola penyebarannya. Maka peta persebaran nilai TSS di klasifikasi ulang dengan selisih rentang 20 mg/l dan 10mg/l dengan nilai tertinggi 120 mg/l. Peta sebaran TSS 2013, 2015, 2017 dengan klasifikasi ulang ditunjukkan dengan pada gambar 6.



Gambar 6 Peta klasifikasi sebaran TSS dengan rentang 10 mg/l dan 20 mg/l tahun 2013, 2015, dan 2017

Peta-peta sebaran TSS yang telah diklasifikasikan ulang tersebut akan dianalisis dengan peta aliran sungai di DAS Bengawan Solo pada arena Waduk Gajah Mungkur. Peta aliran sungai di DAS Bengawan Solo pada arena Waduk Gajah Mungkur ditunjukkan pada gambar 7.

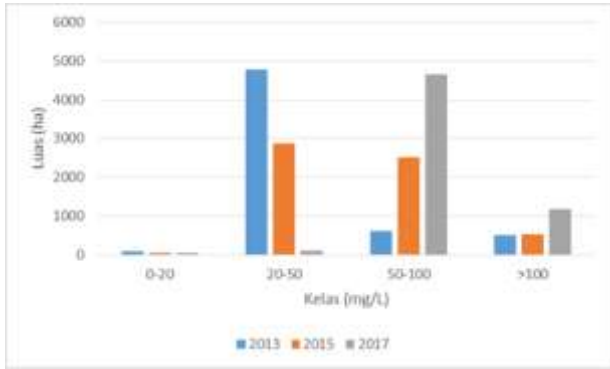
nilai lebih besar dibandingkan dengan bagian tengah waduk. Dapat dikatakan bahwa semakin ke tengah perairan maka nilai sebaran TSS akan semakin besar, begitu sebaliknya. Hal ini disebabkan pada bagian tepi akan lebih dekat dengan bagian daratan. Dengan berinteraksinya air dan daratan, maka air lama kelamaan akan mengikis tanah kemudian bercampur. Selain itu juga disebabkan oleh bagian tepi juga merupakan bagian antara sungai dengan perairan waduk. Sungai akan membawa material-material dari erosi di DAS ke perairan waduk. Semua material-material erosi dari daerah yang lebih tinggi akan terakumulasi dan terbawa oleh sungai menuju perairan waduk.



Gambar 7 Peta aliran sungai

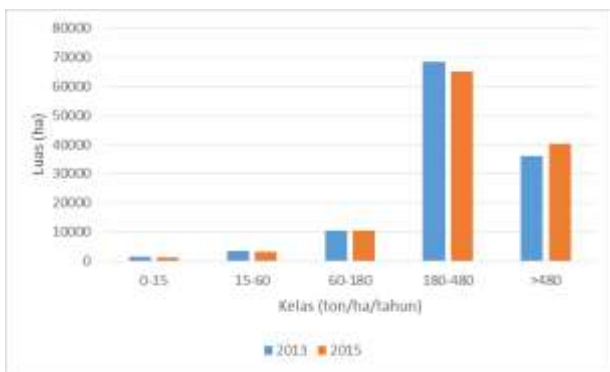
Dari analisis pengolahan nilai TSS di Waduk Gajah Mungkur secara multitemporal dari tahun 2013, 2015, dan 2017 diperoleh hasil perbandingan luas nilai TSS dari tahun 2013-2017 yang disajikan pada gambar 8.

Dari peta-peta sebaran TSS di perairan Waduk klasifikasi ulang dan peta aliran sungai, dapat diketahui bahwa pada bagian tepi waduk mempunyai



Gambar 8 Grafik perbandingan luas sebaran TSS tahun 2013, 2015, dan 2017

Hasil perbandingan luas sebaran TSS di perairan Waduk Gajah Mungkur tahun 2013, 2015, dan 2017 akan dianalisis dengan hasil perbandingan luas TBE di DAS Bengawan Solo pada perairan Waduk Gajah Mungkur tahun 2013 dan 2015. Perbandingan luas TBE di DAS Bengawan Solo pada perairan Waduk Gajah Mungkur disajikan dalam grafik pada gambar 9.



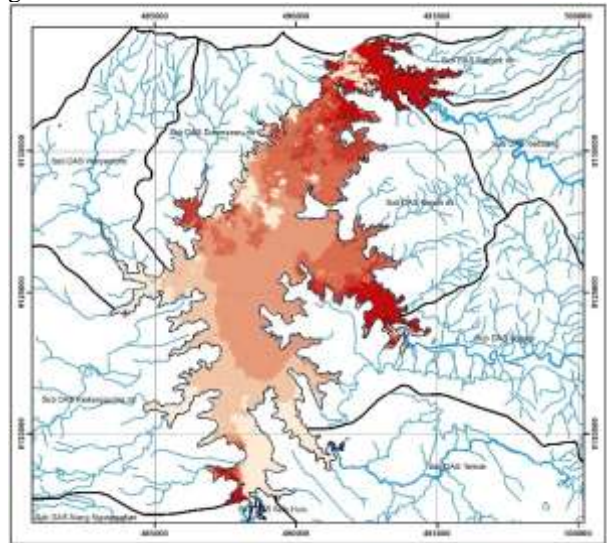
Gambar 9 Grafik perbandingan luas TBE di DAS Bengawan Solo pada perairan Waduk Gajah Mungkur tahun 2013-2015

Dari grafik perbandingan luas sebaran TSS tahun 2013, 2015, dan 2017 pada gambar IV.29 nilai sebaran TSS di perairan Waduk Gajah Mungkur tahun 2013, 2015, dan 2017 terjadi peningkatan, hal ini sebelumnya sudah dijelaskan pada subbab IV.3. Grafik perbandingan luas TBE tahun 2013 dan 2015 pada gambar IV.30 menunjukkan bahwa TBE di DAS Bengawan Solo pada perairan Waduk Gajah Mungkur tahun 2013 dan 2015 terjadi peningkatan hal ini sebelumnya dijelaskan pada subbab IV.1.5.

Dari hasil yang diperoleh semakin tinggi erosi yang terjadi pada daerah aliran sungai di atasnya maka semakin besar pula nilai TSS pada perairan waduk tersebut begitu pula sebaliknya. Hal ini dapat dikatakan bahwa nilai TSS di perairan Waduk Gajah Mungkur dipengaruhi oleh TBE di DAS Bengawan Solo pada perairan Waduk Gajah Mungkur.

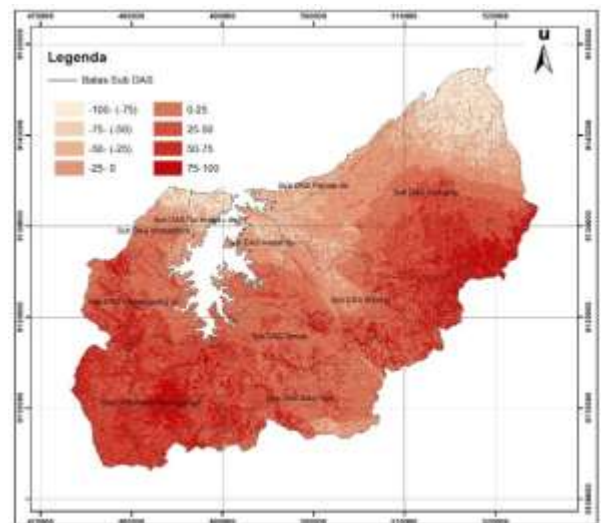
Dari hasil pengolahan TSS pada tahun 2013 dan 2015 diketahui perubahan nilai sebaran TSS di perairan Waduk Gajah Mungkur tahun 2013-2015. Peta perubahan nilai sebaran TSS di perairan Waduk

Gajah Mungkur tahun 2013-2015 ditunjukkan pada gambar 10.



Gambar 10 Peta perubahan TSS Waduk Gajah Mungkur tahun 2013-2015

Dari hasil pengolahan TBE di DAS Bengawan Solo pada perairan Waduk Gajah Mungkur pada tahun 2013 dan 2015 diperoleh perubahan TBE di DAS Bengawan Solo pada perairan Waduk Gajah Mungkur tahun 2013-2015. Peta perubahan TBE di DAS Bengawan Solo pada perairan Waduk Gajah Mungkur tahun 2013-2015 ditunjukkan pada gambar 11.



Gambar 11 Peta perubahan TBE di DAS Bengawan Solo pada perairan Waduk Gajah Mungkur tahun 2013-2015

Hasil perubahan luasan setiap kelas TBE pada masing-masing Sub DAS disajikan berupa grafik grafik pada gambar 12.



Gambar 12 Hasil perubahan setiap kelas TBE pada masing-masing Sub DAS

Peta perubahan TSS Peta perubahan nilai sebaran TSS diperairan Waduk Gajah Mungkur tahun 2013-2015 menunjukkan daerah yang terjadi perubahan nilai TSS paling besar terjadi pada bagian muara sungai dari sub DAS Keduang, Wiroko, Solo Hulu, Alang, Temon, dan Wuryantoro. Hal ini diindikasikan pada bagian muara sungai tersebut berwarna merah pekat dengan rentang perubahan nilai TSS sebesar 40-50 mg/l.

Peta perubahan TBE di DAS Bengawan Solo pada perairan Waduk Gajah Mungkur tahun 2013-2015 hampir keseluruhan DAS terjadi perubahan dari tingkat bahaya erosinya, untuk itu diperlukan data statistik perubahan luasan setiap kelas TBE pada masing-masing Sub DAS. Dari keseluruhan Sub DAS tersebut yang terjadi perubahan luas pada kelas TBE 180-480 ton/ha/tahun dan >480 ton/ha/tahun. Pada tahun 2013 luas kelas TBE 180-480 ton/ha/tahun lebih besar dibandingkan luas dari kelas >480 ton/ha/tahun. Sedangkan pada tahun kelas >480 ton/ha/tahun lebih besar dibandingkan kelas 180-480 ton/ha/tahun.

Subdas yang terjadi perubahan luasan TBE paling besar yaitu sub DAS Keduang dan Alang. Pada muara sungai sub DAS tersebut juga terjadi perubahan TSS yang besar. Hal ini menunjukkan perubahan TSS di perairan Waduk Gajah Mungkur juga dipengaruhi perubahan Tingkat Bahaya Erosi pada Sub DAS di atas perairan Waduk Gajah Mungkur. Sub DAS yang paling besar menyumbangkan erosi yaitu Sub DAS Keduang, dan Alang.

Sub DAS Wuryantoro dan Durensewu terjadi peningkatan erosi namun terjadi penurunan konsentrasi TSS pada muara sungainya. Hal ini bisa disebabkan karena perubahan terjadi pada hulu sungai sehingga pada muatan erosi mengendap sebelum sampai pada perairan waduk. Hal ini juga dapat disebabkan oleh kegiatan konservasi yang dilakukan pada Sub DAS Wuryantoro dan Durensewu. Sesuai dengan studi penanganan sedimentasi di Waduk Gajah Mungkur tahun 2007. Kegiatan pertama diawali dengan pengerukan sedimentasi pada tahun 2014. Kemudian

dikuti dengan gerakan penanaman pohon dan pembangunan bendung penahan sedimentasi.

Pada Sub DAS Pondok perubahan TBE tidak terlalu tinggi tetapi terjadi perubahan TSS yang tinggi. Hal ini dapat disebabkan karena Sub DAS tersebut memiliki Luas DAS yang lebih kecil, sehingga material-material yang terangkut oleh air sungai menuju waduk belum mengendap pada pada sungai-sungai tersebut. Sehingga banyak yang terbawa keperairan waduk. Jika Luas DAS itu besar kemungkinan material-material erosi mengendap sebelum sampai pada perairan waduk akan mengendap di sungai.

Sub DAS Wiroko terjadi penurunan erosi namun konsentrasi nilai TSS pada muara sungai terjadi peningkatan. Hal ini dapat disebabkan karena Sub DAS tersebut memiliki Luas DAS yang lebih kecil, sehingga material-material yang terangkut oleh air sungai menuju waduk belum mengendap pada pada sungai-sungai tersebut. Sehingga banyak yang terbawa keperairan waduk. Jika Luas DAS itu besar kemungkinan material-material erosi sebelum sampai pada perairan waduk akan mengendap di sungai. Hal ini juga dipengaruhi pada bagian hulu sungai Sub DAS Wiroko terjadi penurunan dan pada hilir sungai terjadi peningkatan.

Kesimpulan dan Saran

V.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari kegiatan penelitian yang telah dilakukan adalah :

1. Tingkat bahaya erosi di DAS Bengawan Solo yang mengalir ke Waduk Gajah Mungkur dengan metode USLE adalah sebagai berikut :
 - a. Kelas <15 ton/ha/tahun pada tahun 2013 memiliki luas 1.486,923 ha atau 1,238 % dan pada tahun 2015 memiliki luas 1.119,873 ha atau 0,958 % dari total luas DAS dan pada tahun 2015
 - b. Kelas 15-60 ton/ha/tahun pada tahun 2013 memiliki luas 3.455,418 ha atau 2,877 dan pada tahun 2015 memiliki luas 3.080,839 ha atau 2,566 % dari total luas DAS
 - c. Kelas 60-180 ton/ha/tahun pada tahun 2013 memiliki luas 10.545,759 ha atau 8,782% dan pada tahun 2015 memiliki luas 10.422,245 ha atau 8,680 % dari total luas DAS
 - d. Kelas 180-480 ton/ha/tahun pada tahun 2013 memiliki luas 68.473,549 ha atau 57,025 % dan pada tahun 2015 memiliki luas 65.055,459 ha atau 54,177 % dari total luas DAS
 - e. Kelas >480 ton/ha/tahun pada tahun 2013 memiliki luas 36.114,687 ha atau 30,076 % dan pada tahun 2015 memiliki luas 40.368,020 ha atau 33,619 % dari total luas DAS

2. Algoritma yang paling cocok di perairan Waduk Gajah Mungkur diantara algoritma Syarif Budhiman, algoritma Parwati, dan algoritma Woerd and Pastercamp adalah algoritma Syarif Budhiman dengan koefisien regresi 92%. Persamaan regresi Syarif Budhiman dengan TSS *insitu* adalah $Y=0,4711x+45.266$
3. Konsentrasi di perairan Waduk Gajah Mungkur dalam rentang waktu tahun 2013-2017 mengalami peningkatan. Hal ini dapat dilihat dari luas yang paling besar pada setiap tahunnya, tahun 2013 pada konsentrasi 20-50 mg/l, tahun 2015 pada konsentrasi 20-50 mg/l dan 50-100 mg/l, dan tahun 2017 pada konsentrasi 50-100 mg/l.
4. Tingkat bahaya erosi di DAS Bengawan Solo pada perairan Waduk Gajah Mungkur mempengaruhi pola persebaran dan perubahan nilai TSSnya. Hubungan antara Tingkat bahaya erosi di DAS Bengawan Solo pada perairan Waduk Gajah dan Konsentrasi TSS di perairan Waduk Gajah Mungkur menunjukkan hubungan yang searah. Sub DAS yang perubahan erosinya memiliki pengaruh terhadap perubahan TSS yaitu Sub DAS Keduang dan Alang.

V.2 Saran

Setelah melakukan kegiatan penelitian tugas akhir ini, maka beberapa saran yang diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini masih banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, dan banyak hal yang dapat ditingkatkan kualitasnya agar menghasilkan penelitian yang lebih baik. Hal-hal yang perlu diperbaiki adalah pemilihan citra dengan resolusi yang lebih tinggi.
2. Perlunya penambahan parameter lain seperti sedimen tersuspensi, klorofil-a, dan endapan di bawah air.
3. Jarak antara pengambilan sampel air dan perekaman citra sebaiknya pada waktu yang bersamaan, sehingga diharapkan akan menghasilkan nilai korelasi yang jauh lebih valid.
4. Proses pengambilan sampel air harusnya mengikuti prosedur yang telah ditentukan lembaga terkait atau SNI yang berlaku.
5. Jumlah pengambilan sampel air sebaiknya lebih banyak dan merata di seluruh bagian tubuh air, sehingga akan lebih valid untuk menggambarkan dan mempresentasikan TSS pada seluruh daerah kajian.

DAFTAR PUSTAKA

Asdak, Chay. 2015. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Budhiman, S. 2005. *Pemetaan Sebarab Total Suspended Matter Menggunakan Data Aster*

dengan Pendekatan Bio-Optical Model. *Prosiding PIT MAPIN XIV 'pemanfaatan Efektif Penginderaan Jauh untuk Peningkatan Kesejahteraan Bangsa'*. Jilid III, Teknologi informasi Spasial, Surabaya.

Herawati, Tuti. 2010. *Analisis Spasial Tingkat Bahaya Erosi di Wilayah DAS Cisadane Kabupaten Bogor*. Pusat Litbang Hutan dan Konservasi Alam. Bogor.

Kusuardini, Annisa. 2011. *Estimasi Konsentrasi Padatan Tersuspensi (TSS) dan Klorofil-A dari Citra Modis Hubungannya dengan Marak Alga di Perairan Teluk Jakarta*. Institut Pertanian Bogor. Bogor.

Listriyana, I. 2006. *Pemetaan Daerah Rawan Bahaya Erosi Di Bagian Barat Daya Gunung Lawu Melalui Pendekatan Model Pixel dan Sistem Informasi Geografi (SIG)*. Skripsi S1 Fakultas Pertanian UNS. Surakarta.

Nasution, MI. 2008. *Penentuan Jumlah Amoniak dan Total Padatan Tersuspensi Pada Pengolahan Air Limbah PT. Bridgestone Sumatera Rubber Estate Dolok Merangkir*. Universitas Sumatera Utara

Parwati, Ety. *Pemodelan Dinamika Spasial Pengelolaan Lahan Pesisir KABUPATEN Berau, Kalimantan Timur menggunakan Inderaja*. 2006. Laporan Akhir Riset Unggulan Kemandirian Kedirgantaraan LAPAN.

Pastercamp, P., S. W. M. Peters, M. rijkeboer and A.G. Dekber. 1999. *RESTWES: Retrieval of total suspended matter concentration from SPOT image. Report Number W-99/33, Institute for Environmental Studies, Vrije University, Amsterdam, The Netherlands*.

Suprayogi, Slamet, dkk. 2015. *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.

Suripin. 2002. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Penerbit Andi, Yogyakarta.

Tarigan, M.S dan Edward. 2003. *Kandungan Total Zat Padat Tersuspensi (Total Suspended Solid) Di Perairan Raha, Sulawesi Tenggara*. Makara, Sains, Vol. 7, No. 3.

Utami, F.P. 2015. *Analisis Spasial Perubahan Luasan Mangrove Akibat Pengaruh Limpasan Sedimentasi Tersuspensi Dengan Metode Penginderaan Jauh (Studi Kasus : Segara Anakan Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah)*. Teknik Geodesi, Universitas Diponegoro. Semarang.

Wirosoedarmo, Ruslan, dkk. 2011. *Perilaku Sedimentasi dan Pengaruhnya Terhadap Kinerja Saluran Pada Jaringan Irigasi Waru _ Turi Kanan Kediri*. Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya