

ANALISIS PENGARUH PERUBAHAN DAERAH SEBARAN EROSI DI DAERAH TANGKAPAN AIR (DTA) TERHADAP SEDIMENTASI WADUK MENGGUNAKAN PENGINDERAAN JAUH DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (Studi Kasus : Waduk Sutami, Kabupaten Malang)

Marfu'ah, Siti¹. Sunaryo, Dedy Kurnia². Noraini, Alifah³

Jurusan Teknik Geodesi S-1, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang,
Jalan Bendungan Sigura-gura No. 2 Lowokwaru, Kecamatan Sumbersari, Kota Malang – sm.sitimarfuah@gmail.com

KATA KUNCI : Daerah Tangkapan Air, Erosi, Penginderaan Jauh, SIG, USLE.

ABSTRAK :

Kapasitas daya tampung air Waduk Sutami harus diperhatikan supaya pengoperasian waduk tetap berjalan, namun tidak dapat dipungkiri dapat berubah dikarenakan pendangkalan akibat sedimentasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perubahan daerah sebaran erosi di daerah tangkapan air terhadap sedimentasi waduk dengan metode USLE menggunakan data penginderaan jauh berupa citra Sentinel-2 dan analisis Sistem Informasi Geografi (SIG). Metode USLE dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1978) yang dibuat menggunakan parameter peta indeks erosivitas hujan (R) yang diperoleh dari peta curah hujan, peta indeks erodibilitas tanah (K) dari peta jenis tanah, peta indeks panjang dan kemiringan lereng (LS) dari peta kemiringan lereng, dan peta indeks penutupan vegetasi dan pengolahan lahan (CP) dari peta tutupan lahan. Proses pengolahan data penginderaan jauh pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak QGIS serta ENVI dengan metode klasifikasi terbimbing. Pengolahan data *overlay* parameter erosi menggunakan perangkat lunak ArcGIS untuk mendapatkan hasil akhir berupa tingkat bahaya erosi, dimana hasil erosi metode USLE selanjutnya juga dapat digunakan untuk perkiraan nilai sedimentasi. Daerah sebaran erosi di DTA Waduk Sutami terdiri dari empat kelas tingkatan bahaya erosi, yaitu sangat ringan, ringan, sedang, dan berat. Pada tahun 2016 daerah sebaran erosi dengan kelas sangat ringan, ringan, sedang, dan berat berturut-turut memiliki luasan seluas 189.699,088 ha, 21.697,096 ha, 556,326 ha, dan 1,191 ha. Sedangkan pada tahun 2018 daerah sebaran erosi dengan kelas sangat ringan, ringan, sedang, dan berat berturut-turut memiliki luasan seluas 188.940,881 ha, 22.133,964 ha, 877,603 ha, dan 1,253 ha. Nilai sedimentasi hasil perhitungan pada tahun 2016 dan 2018 berturut-turut sebesar 667.777,089 ton dan 805.319,455 ton. Perubahan daerah sebaran erosi dapat berpengaruh terhadap sedimentasi yang terjadi di Waduk Sutami, dilihat dari luas kelas erosi ringan, sedang, dan berat pada tahun 2018 mengalami kenaikan luasan dibanding tahun 2016 serta volume pengerukan tahun 2018 juga mengalami kenaikan dibanding tahun 2016 berturut-turut sebesar 402.840,00 ton menjadi 676.172,55 ton.

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Waduk Sutami merupakan waduk yang terbentuk akibat terbundungnya aliran Sungai Brantas. Waduk yang dibangun oleh Departemen Pekerjaan Umum ini berlokasi di Desa Karangates, Kecamatan Sumber Pucung, Kabupaten Malang, Jawa Timur serta mulai beroperasi sejak tahun 1972. Pemanfaatan waduk sutami sendiri sangat beragam, dari untuk menampung air, pengendali banjir, penyediaan air irigasi, pariwisata, perikanan, hingga pembangkit listrik. Untuk penyedia air irigasi lahan pertanian, waduk ini mampu menyuplai air dari bendungan untuk 34.000ha sawah. Sedangkan untuk pembangkit listrik, PLTA Sutami memiliki kapasitas 3 x 35 mega watt atau setara dengan total produksi listrik yang dihasilkan sebesar 488 Juta kwh/tahun (Perum Jasa Tirta, 1998 dan 2003 dalam Dwiastuti, 2006).

Dengan berbagai pemanfaatan tersebut tentu kapasitas daya tampung air waduk harus diperhatikan supaya pengoperasian waduk sutami tetap berjalan. Kapasitas daya tampung waduk sendiri diharapkan relatif tetap sama dari rencana awal pembuatan waduk, namun tidak dapat dipungkiri dapat berubah dikarenakan adanya pendangkalan waduk. Pendangkalan waduk dapat mengakibatkan penurunan daya guna waduk, umur rencana waduk, produktivitas air, hingga dapat menyebabkan bencana banjir di daerah hilir.

Direktur Pengelolaan Perusahaan Umum Jasa Tirta 1, Syamsul Bahri dalam wawancara oleh Koran Tempo menyatakan bahwa laju sedimentasi di Waduk Sutami, Karangates,

Kabupaten Malang mengkhawatirkan. Sedimentasi meningkat sejak pembabatan dan penggundulan hutan pada tahun 1998, dampaknya longsor tanah memenuhi waduk dan waduk cepat mengalami pendangkalan. Oleh karena itu Perusahaan Jasa Tirta 1 menggiatkan penghijauan di kawasan hulu Sungai Brantas. Tujuannya untuk mengendalikan sedimentasi serta melestarikan sumber mata air di aliran Brantas (Widianto, 2013).

Berdasarkan permasalahan di atas, maka diperlukan informasi yang bisa digunakan dalam upaya pengendalian pendangkalan Waduk Sutami, seperti monitoring secara berkala terhadap daerah sebaran erosi di Daerah Tangkapan Air (DTA). Penginderaan jauh dan sistem informasi geografis dapat digunakan sebagai masukan data yang efisien untuk pemetaan daerah sebaran erosi di daerah penelitian ini. Penginderaan jauh sebagai penyedia data citra satelit yang digunakan dalam interpretasi tutupan lahan yang merupakan salah satu parameter penentu erosi. Sistem informasi geografis sebagai teknologi yang mampu mengumpulkan, menyimpan, mentransformasi, menampilkan, memanipulasi, dan memadukan informasi dari berbagai sektor sehingga menghasilkan informasi berharga yang diperoleh dari mengorelasikan dan menganalisis data spasial atas fenomena geografis suatu wilayah (Purwadhi, 2015).

Untuk monitoring daerah sebaran erosi dapat dilakukan dengan perhitungan tingkat bahaya erosi pada DTA menggunakan metode USLE (*Universal Soil Loss Equation*). Hasil daerah sebaran erosi metode USLE, selanjutnya juga dapat digunakan untuk perkiraan nilai sedimentasi. Dengan solusi tersebut diharapkan dapat memberikan informasi dalam pengendalian pendangkalan, serta bermanfaat untuk pengembangan wilayah tangkapan air disekitar Waduk Sutami.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu: 1). Dimana daerah sebaran erosi di DTA Waduk Sutami ? 2). Berapa nilai sedimentasi dari hasil daerah sebaran erosi di DTA Waduk Sutami ? 3). Bagaimana pengaruh perubahan daerah sebaran erosi di DTA Waduk Sutami terhadap sedimentasi waduk pada periode tahun 2016 dan 2018 ?

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1. Tujuan Penelitian: Penelitian ini bertujuan untuk 1). Memetakan daerah sebaran erosi di DTA Waduk Sutami dengan metode USLE menggunakan data penginderaan jauh dan aplikasi SIG. 2). Menghitung nilai sedimentasi di DTA Waduk Sutami. 3). Menganalisis daerah sebaran erosi di DTA Waduk Sutami dengan data volume pengerukan sedimentasi waduk pada periode tahun 2016 dan 2018, sehingga mampu mengetahui faktor pendangkalan waduk.

1.3.2. Manfaat Penelitian: Manfaat penelitian ini ialah 1). Bagi peneliti, sebagai penambah wawasan dan pengetahuan peneliti dalam mengetahui faktor penyebab sedimentasi di Waduk Sutami. 2). Bagi pihak lain, sebagai pedoman bagi peneliti lainnya untuk mendapatkan data-data tambahan dan referensi dalam penelitian selanjutnya. 3). Bagi stakeholder, sebagai tambahan informasi faktor pengendalian pendangkalan waduk dan pengembangan wilayah tangkapan air di sekitar Waduk Sutami dan waduk lainnya.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini 1). Metode yang digunakan untuk menghitung daerah sebaran erosi ialah metode USLE dengan parameter yang digunakan untuk mengetahui daerah sebaran erosi adalah kemiringan lereng, jenis tanah, tutupan lahan, dan data curah hujan. 2). Parameter tutupan lahan dibuat dengan mengaplikasikan penginderaan jauh menggunakan citra sentinel-2. 3). Klasifikasi penutup lahan dilakukan dengan metode klasifikasi terbimbing (Supervised Classification) menggunakan algoritma Maximum Likelihood. 4). Skema klasifikasi penutup lahan mengacu pada SNI 7645-1:2014 tentang klasifikasi penutup lahan yang telah dimodifikasi sesuai kondisi di daerah penelitian dan tidak mengkaji jenis – jenis tanaman pada tutupan lahan. 5). Peta jenis tanah dan kemiringan lereng menggunakan peta satu tahun tertentu, yakni tahun 2016. 6). Besarnya sedimen yang masuk ke Waduk Sutami tidak dikaji, sedimen hanya dibahas sebagai faktor yang mempengaruhi pendangkalan waduk serta tidak mengkaji tentang debit sedimen dan laju aliran permukaan yang mengalir waduk sebagai penyebab sedimentasi.

1.5. Sistematika Penulisan

1. Bab I Pendahuluan, berisi tentang latar belakang yang menjadi alasan penulis memilih judul tersebut. Rumusan masalah berisi tentang hal yang ingin diketahui penulis pada penelitian. Tujuan berisi tentang jawaban dari rumusan masalah. Manfaat penelitian menguraikan tentang kegunaan dari hasil penelitian. Batasan masalah berisi tentang identifikasi faktor yang termasuk pada ruang lingkup penelitian. Sistematika penulisan berisi mengenai tata cara penulisan penelitian.
2. Bab II Dasar Teori, berisi tentang teori-teori yang berkaitan dengan penelitian tersebut. Teori ini menjadi dasar atau landasan dalam melakukan penelitian.

3. Bab III Metodologi Penelitian, berisi tentang tahapan – tahapan penelitian tersebut dilakukan, mulai dari pengumpulan data, proses pengolahan, sampai mendapat hasil dari penelitian tersebut.
4. Bab IV Hasil dan Pembahasan, berisi tentang penjelasan hasil akhir penelitian yang telah dilakukan, serta pembahasan tentang hasil tersebut.
5. Bab V Kesimpulan dan Saran, berisi tentang uraian singkat dari hasil dan pembahasan, serta saran dari penulis untuk penelitian selanjutnya.

2. DASAR TEORI

2.1. Daerah Tangkapan Air (DTA)

Daerah Aliran Sungai (DAS) ialah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan (Permen PU Nomor 02/PRT/M/2013). Wilayah daratan tersebut disebut Daerah Tangkapan Air (DTA) atau catchment area yang merupakan suatu ekosistem dengan unsur utamanya terdiri atas sumberdaya alam (tanah, air, dan vegetasi) dan sumberdaya manusia sebagai pemanfaat sumberdaya alam (Asdak, 2004 dalam Sari, 2017).

2.2. Waduk

Waduk ialah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan, dimana pengertian bendungan sendiri ialah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, dan beton, yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang, atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2015).

2.3. Erosi

Erosi ialah peristiwa pindahnya atau terangkutnya tanah atau bagian – bagian tanah dari suatu tempat ke tempat lain oleh media alami. Pada peristiwa erosi, tanah atau bagian – bagian tanah dari suatu tempat terkikis dan terangkut kemudian diendapkan pada suatu tempat lain (Arsyad, 2010 dalam Banuwa, 2013). Di daerah – daerah tropis yang lembab seperti di Indonesia dengan rata – rata curah hujan melebihi 1500 mm per tahun maka air merupakan penyebab utama terjadinya erosi (Suripin, 2004).

Tiga tahap proses erosi tanah yang disebabkan oleh air (Suripin, 2004) meliputi : 1). Pemecahan bongkah-bongkah agregat tanah ke dalam bentuk butir-butir kecil atau partikel tanah 2). Pemindahan atau pengangkutan butir-butir yang kecil tersebut 3). Pengendapan butir-butir atau partikel tersebut di tempat yang lebih rendah, di dasar sungai atau waduk.

2.4. Metode USLE

Menurut Banuwa, 2013 menyatakan bahwa USLE merupakan suatu model parametrik untuk memprediksi erosi dari suatu bidang tanah. Model ini dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1978). USLE memungkinkan perencanaan menduga laju rata-rata erosi suatu tanah tertentu pada suatu kecuraman lereng dengan pola hujan tertentu untuk setiap macam pertanaman dan tindakan pengelolaan yang mungkin dilakukan atau yang sedang dipergunakan. Persamaan USLE hingga saat ini masih relevan

dan paling banyak digunakan serta belum ada yang menggantikan metode ini, dengan USLE banyaknya tanah tererosi dapat diketahui. Berikut persamaan yang digunakan pada metode USLE :

$$Ea = R \times K \times LS \times CP \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

- Ea = Banyaknya tanah tererosi (ton/ha/tahun)
- R = Indeks erosivitas hujan
- K = Indeks erodibilitas tanah
- LS = Indeks panjang dan kemiringan lereng
- CP = Indeks penutup vegetasi dan pengolahan lahan

Hubungan antar jenis peta dan indeks yang digunakan dalam perhitungan tanah yang tererosi disajikan dalam tabel 2.1.

Tabel 2.1 Hubungan antar jenis peta dan indeks yang digunakan dalam perhitungan tanah yang tererosi (Herawati, 2010)

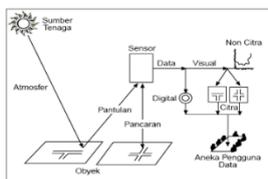
Indeks perhitungan	Simbol	Jenis peta
Indeks erosivitas (<i>Erosivity index</i>)	R	Peta curah hujan (<i>Map of rainfall</i>)
Indeks erodibilitas tanah (<i>Soil erodibility index</i>)	K	Peta jenis tanah (<i>Soil map</i>)
Indeks panjang dan kemiringan lereng (<i>Slope length-gradient index</i>)	LS	Peta kelas lereng (<i>Map of slope classification</i>)
Indeks penutupan vegetasi dan pengolahan lahan (<i>Crop/vegetation and management index</i>)	CP	Peta tutupan lahan (<i>Land cover map</i>)

2.5. Sedimentasi

Sedimentasi ialah sebuah proses pengangkutan sedimen hasil erosi oleh gerakan air permukaan. Menurut Bogen at al (1992) dalam Dwiastuti (2006), sedimentasi dapat berasal dari dua sumber utama, ialah erosi permukaan yang disebabkan oleh fenomena alam (adanya pengolahan tanah untuk pertanian, permukiman) dan erosi sungai yang dapat disebabkan oleh adanya aliran air yang sangat deras. Menurut Ward dan Elliot (1995) dalam Dwiastuti (2006) menjelaskan bahwa sedimentasi merupakan fungsi dari erosi yang terjadi di wilayah hulu, dengan demikian besarnya sedimentasi yang terjadi pada sebuah waduk ditentukan oleh besarnya erosi pada Daerah Tangkapan Air (DTA). Erosi pada daerah itu sendiri sangat ditentukan oleh vegetasi yang merupakan pengatur pola penggunaan lahan.

2.6. Penginderaan Jauh

Menurut Lillesand dan Kiefer (2004) dalam Purwadhi dkk (2015) , menjelaskan bahwa penginderaan jauh atau remote sensing ialah ilmu dan seni untuk memperoleh informasi tentang obyek, daerah, atau fenomena (geofisik) melalui analisis data yang diperoleh dengan suatu alat tanpa kontak langsung dengan obyek, daerah, atau fenomena yang dikaji. Sistem penginderaan jauh terbagi menjadi enam elemen atau komponen meliputi (Sutanto, 1994) sumber tenaga, atmosfer, interaksi antar tenaga dan obyek, sensor, perolehan data, dan pengguna data. Komponen dan interaksi antar komponen sistem penginderaan jauh tersebut ditampilkan pada gambar 2.1.



2.7. Citra Sentinel-2

Sentinel-2 adalah satelit pencitraan optik Eropa yang diluncurkan pada 23 Juni 2015. Satelit Sentinel-2 diluncurkan sebagai bagian dari program Copernicus untuk pemantauan bumi berkelanjutan oleh Komisi Eropa (EC) dan Badan Antariksa Eropa *European Space Agency* (ESA). Satelit ini membawa sensor Multi-spectral Instrument (MSI) dengan 13 saluran spektral pada spektrum tampak, infra merah dekat, dan infra merah tengah dengan resolusi spasial 10, 20, dan 60 meter. Sensor sentinel-2 dapat melakukan perekaman pada lokasi yang sama dalam kurun waktu 10 hari. Berikut karakteristik band citra Sentinel-2 dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Karakteristik Band Citra Sentinel-2 (ESA, 2015)

Band	Panjang Gelombang (nm)	Rentang Spektral (nm)	Resolusi Spasial (m)
Band 1 – Coastal Aerosol	443	423 – 463	60
Band 2 – Blue	490	425 – 555	10
Band 3 – Green	560	525 – 595	10
Band 4 – Red	665	635 – 695	10
Band 5 – Vegetation Red Edge	705	690 – 720	20
Band 6 – Vegetation Red Edge	740	725 -765	20
Band 7 – Vegetation Red Edge	775	755 – 795	20
Band 8 – NIR	842	727 – 957	10
Band 8A – Vegetation Red Edge	865	845 – 885	20
Band 9 – Water Vapour	940	920 – 960	60
Band 10 – SWIR – Cirrus	1380	1350 – 1410	60
Band 11 – SWIR	1610	1520 – 1700	20
Band 12 – SWIR	2190	2010 – 2370	20

2.8. Koreksi Citra

2.8.1. Koreksi Radiometrik : Koreksi radiometrik merupakan pembetulan citra akibat cacat atau kesalahan radiometrik, yaitu kesalahan yang berupa pergeseran nilai atau derajat keabuan elemen gambar (*pixel*) pada citra yang disebabkan oleh kesalahan sistem optik akibat gangguan energi radiasi elektromagnetik pada atmosfer dan kesalahan karena pengaruh sudut elevasi matahari (Purwadhi dkk, 2015). Dalam penelitian ini koreksi radiometrik yang dilakukan ialah koreksi yang dibantu software QGIS, yakni dengan *plugin Semo Automatic Classification Plugin* (SCP), dimana untuk mengkonversi digital number ke reflektan dilakukan dalam beberapa tahapan (Congedo, 2017) : 1). *Radiance at the sensor's aperture*. 2). *Top Of Atmosphere (TOA) Reflectance*. 3). *Surface Reflectance*.

2.8.2. Koreksi Atmosferik : Danoedoro (2012) menyatakan bahwa koreksi efek atmosfer telah dikembangkan oleh beberapa peneliti. Salah satunya model 5S (*Simulation of the Sensor Signal in the Solar Spectrum*) yang dikembangkan oleh Tanre, et al. (1986, 1990) dan kemudian Vermote, et al (1997) memperbaikinya menjadi model 6S (*Second Simulation of the*

Sensor Signal in the Solar Spectrum). Pada penelitian ini koreksi atmosferik yang digunakan ialah *Dark Object Substraction* (DOS).

Dark Object Substraction (DOS) ialah salah satu koreksi atmosfer, dimana nilai reflektan pada satelit dikonversi menjadi nilai surface reflectance dengan asumsi bahwa terdapat obyek yang mempunyai nilai pantulan mendekati nol persen (misalnya bayangan, air jernih dalam, dan hutan lebat), meskipun demikian sinyal yang terekam pada sensor dari obyek tersebut merupakan hasil dari hamburan atmosfer yang harus dihilangkan (Chavez, 1996 dalam Congedo, 2017). Pada penelitian ini koreksi tersebut dilakukan secara otomatis dengan bantuan software QGIS yakni dengan *plugin Semo Automatic Classification Plugin* (SCP).

2.8.3. Koreksi Geometrik : Menurut Purwadhi dkk (2015),¹ koreksi geometrik merupakan pembetulan mengenai posisi citra akibat kesalahan geometrik. Aspek geometrik terkait dengan posisi geografis yang berhubungan dengan distribusi keruangan (*spatial distribution*). Geometri citra memuat informasi data yang mengacu bumi (*geo-referenced data*), baik posisi (sistem koordinat lintang dan bujur) maupun informasi yang terkandung di dalamnya. Kesalahan geometrik citra dapat terjadi karena posisi, orbit, maupun sikap sensor pada saat satelit mengindra bumi, kelengkungan dan putaran bumi, serta adanya relief atau ketinggian yang berbeda dari permukaan bumi yang diindra. Akibat yang ditimbulkan dari kesalahan geometrik ini ialah posisi pixel dari data penginderaan jauh satelit tersebut tidak sesuai dengan posisi (lintang dan bujur) yang sebenarnya.

Menurut Perka BIG No.3, Tahun 2014, koreksi geometrik citra dapat dilakukan dengan dua cara yaitu : 1). *Image to map rectification*: menggunakan polynomial (titik kontrol) atau geocoding linear untuk merektifikasi sebuah citra ke dalam sebuah datum dan proyeksi peta menggunakan GCP (titik kontrol) dari peta RBI atau titik kontrol geodesi nasional; atau 2). *Image to image rectification*: menggunakan polynomial (titik kontrol) atau geocoding linier untuk merektifikasi satu citra ke citra yang lainnya menggunakan GCP.

2.9. Penutup Lahan

Penutup lahan/tutupan lahan ialah tutupan biosfisis pada permukaan bumi yang dapat diamati merupakan suatu hasil pengaturan, aktivitas, dan perlakuan manusia yang dilakukan pada jenis penutup lahan tertentu untuk melakukan kegiatan produksi, perubahan, ataupun perawatan pada penutup lahan tersebut (BSN, 2014). Klasifikasi ialah penggolongan objek ke dalam kelas-kelas tertentu menurut kriteria-kriteria tertentu (BSN, 2014).

Menurut Danoedoro (2012), menjelaskan bahwa klasifikasi citra adalah proses pengelompokkan piksel ke dalam kelas tertentu atau kategori yang telah ditentukan berdasarkan nilai kecerahan (*brightness value/BV*) piksel yang bersangkutan. Tujuan klasifikasi citra secara digital adalah untuk melakukan pengelompokkan secara otomatis dari setiap piksel ke kelas tertentu. Teknik klasifikasi citra multispektral dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu klasifikasi terbimbing (*supervised classification*) dan klasifikasi tidak terbimbing (*unsupervised classification*). Pada penelitian ini klasifikasi yang digunakan ialah klasifikasi terbimbing. Menurut Purwadhi dkk (2015) menjelaskan bahwa klasifikasi terbimbing (*Supervised Classification*) merupakan proses klasifikasi dengan pemilihan kategori informasi yang diinginkan dan memilih training area untuk tiap kategori penutup lahan yang mewakili sebagai kunci interpretasi dengan klasifikasi terbimbing. Klasifikasi terbimbing menggunakan data penginderaan jauh multispektral yang

berbasis numerik, sehingga pengenalan polanya otomatis dengan bantuan komputer.

2.10. Sistem Informasi Geografis (SIG)

Menurut Prahasta (2002), menjelaskan bahwa Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sistem komputer yang sangat powerful baik dalam menangani masalah basis data spasial (peta digital) maupun basis data non spasial (atribut). Sistem ini merelasikan lokasi geografi (data spasial) dengan informasi - informasi deskripsinya (non-spasial) sehingga para penggunaannya dapat membuat peta (analog dan digital) dan menganalisa informasinya dengan berbagai cara. Fungsi-fungsi analisis yang dapat dilakukannya oleh SIG (Prahasta, 2002) :

1. Klasifikasi, merupakan fungsi untuk mengklasifikasikan kembali suatu data hingga menjadi data spasial baru berdasarkan kriteria (atribut) tertentu (*reclassify*).
2. *Overlay* , merupakan fungsi untuk menghasilkan data spasial baru yang merupakan hasil kombinasi dari minimal dua data spasial yang menjadi masukannya.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam ialah sebagai berikut :

1. Perangkat keras
 - a. Laptop
 - b. GPS *Handheld*
 - c. Kamera
2. Perangkat lunak
 - a. ENVI 4.7
 - b. ENVI 5.3
 - c. ArcGIS 10.3
 - d. QGIS 3.6.3

Adapun bahan yang perlu dipersiapkan dalam penelitian ini ialah sebagai berikut :

1. Peta Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Sutami tahun 2016 Skala 1 : 25.000 diperoleh dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung (BPDASHL) Brantas Sampean.
2. Citra Sentinel-2 tahun 2016 dan 2018 cakupan area DTA Waduk Sutami diunduh dari laman <https://scihub.copernicus.eu/>.
3. Citra Pleiades tahun 2015 diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG).
4. Peta Jenis Tanah tahun 2016 skala 1 : 25.000 diperoleh dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Malang Raya.
5. Data Kontur tahun 2016 diperoleh dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Malang Raya.
6. Data Tabular Curah Hujan Bulanan tahun 2016 dan 2018 diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Karangploso Malang.
7. Data volume pengerukan sedimentasi Waduk Sutami tahun 2016 dan 2018 diperoleh dari Perusahaan Umum (Perum) Jasa Tirta I Malang.
8. Data lapangan (*ground check*).

3.2. Lokasi Penelitian

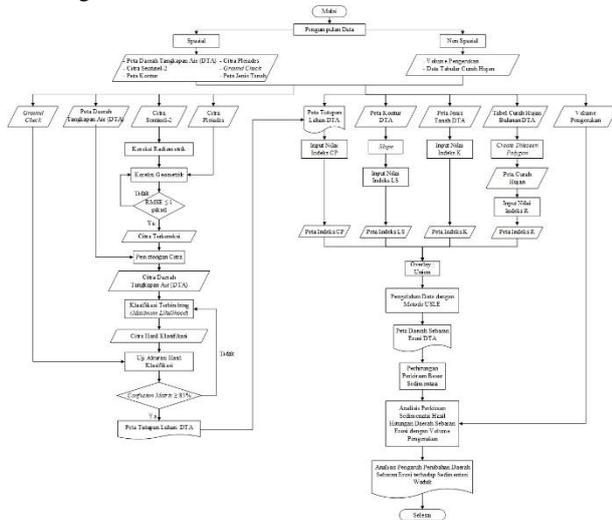
Lokasi penelitian ini berada di Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Sutami, Desa Karangates, Kecamatan Sumberpucung, Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur.



Gambar 3.1 Daerah Tangkapan Air Waduk Sutami, Kabupaten Malang (BPDASHL Brantas Sampean, 2016)

3.3. Diagram Alir Penelitian

Tahapan pengerjaan penelitian digambarkan dengan diagram alir sebagai berikut.



Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian

Penjelasan diagram alir gambar 3.2 ialah sebagai berikut :

1. Pengumpulan Data, data yang digunakan dalam penelitian ini adalah Peta Daerah Tangkapan Air (DTA), Citra Sentinel-2 tahun perekaman 2016 dan 2018 yang diunduh di laman <https://scihub.copernicus.eu/>, Citra Pleiades tahun 2015, Peta Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Sutami, Peta Kemiringan Lereng, Peta Jenis Tanah, Data Curah Hujan Bulanan, data volume pengerukan sedimentasi Waduk Sutami tahun 2016 dan 2018. Selain itu dilakukan pengukuran titik sampel untuk kelas penutup lahan.
2. Koreksi Radiometrik, koreksi radiometrik pada citra bertujuan untuk memperbaiki kualitas visual citra agar sesuai dengan nilai pancaran spektral objek, untuk koreksi radiometrik penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *software* QGIS 2.14.5, yakni dengan *plugin* *Semo Automatic Classification Plugin* (SCP).
3. Koreksi Geometrik, koreksi geometrik pada citra bertujuan supaya posisi piksel dari citra sentinel-2 sesuai dengan posisi (lintang dan bujur) yang sebenarnya. Koreksi geometrik pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software* ENVI 4.7 dengan cara *image to image rectification* dengan citra Pleiades sebagai acuan. Hasil koreksi geometrik dapat diterima apabila nilai $RMSE \leq 1$ piksel.
4. Pemotongan Citra, pemotongan citra bertujuan untuk mendapatkan citra sesuai daerah penelitian. Pemotongan ini menggunakan Peta Daerah Tangkapan Air (DTA) Waduk Sutami.
5. Klasifikasi Terbimbing (*Maximum likelihood*), peta penutup lahan pada penelitian ini diperoleh dengan klasifikasi digital metode terbimbing (*supervised classification*) dengan algoritma *maximum likelihood*. Kelas penutup lahan dibuat berdasarkan acuan SNI 7645-1:2014 tentang klasifikasi penutup lahan yang telah dimodifikasi sesuai kondisi di daerah penelitian dengan membuat *training area* yang tersebar merata pada area penelitian.
6. Uji Akurasi Hasil Klasifikasi, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat keakurasian hasil klasifikasi dengan keadaan sebenarnya di lapangan. Pengujian dilakukan menggunakan tabel *confusion matrix* antara titik uji lapangan dengan hasil klasifikasi. Hasil klasifikasi dapat diterima apabila nilai *overall accuracy* $\geq 85\%$ (Foody G.M., 2008).

7. *Slope*, membuat peta kemiringan lereng menggunakan data kontur dengan bantuan perangkat lunak ArcGIS menjadi beberapa kelas sesuai tabel 2.3.
8. Input Nilai Indeks (CP, LS, K), memasukkan nilai indeks Lta (kemiringan lereng), K (jenis tanah), CP (tutupan lahan) ke dalam atribut tabel berdasarkan tabel indeks yang digunakan.
9. Pengolahan Data dengan Metode *Overlay*, pengolahan data dengan metode *overlay* merupakan tahap tumpang susun peta parameter yang telah diolah sebelumnya.
10. *Create thieseen polygon*, untuk menggambarkan sebaran data curah hujan pada wilayah yang luas, yang hanya terdapat beberapa stasiun pengamatan curah hujan diperlukan metode *create thieseen polygon*. Metode ini dapat dikerjakan dengan *tools* pada *software* ArcGIS 10.3.
11. Input Nilai Indeks R, memasukkan nilai indeks R (curah hujan) ke dalam attribute table berdasarkan perhitungan yang dilakukan menggunakan rumus erosititas hujan.
12. Pengolahan Data dengan Metode USLE, pengolahan data dengan metode USLE merupakan tahap perhitungan untuk mendapatkan daerah sebaran erosi di DTA.
13. Perhitungan Perkiraan Besarnya Sedimentasi, perhitungan perkiraan besarnya sedimentasi dapat dihitung dengan cara mengalikan erosi total pada DTA dengan rasio pelepasan sedimen (SDR), dan luas DTA, sesuai model matematis pada persamaan 2.3.
14. Analisis Perkiraan Sedimentasi Hasil Hitungan Daerah Sebaran Erosi dengan Volume Pengerukan, yakni menganalisis perubahan perkiraan sedimentasi hasil hitungan dari daerah sebaran erosi terhadap volume pengerukan di Waduk Sutami pada tahun 2016 dan 2018.
15. Analisis Pengaruh Perubahan Daerah Sebaran Erosi terhadap Sedimentasi Waduk, yakni daerah sebaran erosi dianalisis terhadap sedimentasi Waduk Sutami pada tahun 2016 dan 2018 untuk dapat memberikan informasi mengenai faktor penyebab pendangkalan waduk.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Peta Indeks Tutupan Lahan (CP)

Dalam penelitian ini indeks CP yang paling besar bernilai 1 yaitu kelas pemukiman dan yang paling kecil bernilai 0,001 untuk kelas hutan. Semakin besar nilai indeks CP maka semakin besar pula banyaknya tanah yang tererosi dan sebaliknya semakin kecil nilai CP maka semakin kecil pula banyaknya tanah yang tererosi. Apabila dilihat dari gambar 4.3 dan 4.4 diatas, indeks CP yang mendominasi di dua tahun, yakni tahun 2016 dan 2018 ialah kelas perkebunan dengan nilai CP 0,5.

4.2. Hasil Peta Indeks Kemiringan Lereng (LS)

Kemiringan lereng pada DTA Sutami ini terbagi menjadi lima kelas kemiringan lereng yaitu kelas I (0 - 8%), II (8 - 15%), III (15 - 25%), IV (25 - 40%) dan V (> 40%). Nilai panjang dan kemiringan lereng (LS) diperoleh dari tabel besaran nilai LS berdasarkan kemiringan lereng. Besar kemiringan lereng memiliki pengaruh penting terhadap besarnya erosi. Lereng dengan kemiringan curam berpotensi menyebabkan erosi besar sedangkan lereng dengan kemiringan yang lebih kecil memiliki kemungkinan erosi yang lebih kecil pula. Lereng yang curam menyebabkan laju aliran air semakin cepat dan dapat menyebabkan material permukaan tanah mudah terlepas dan terangkut bersama aliran air. Hasil penilaian faktor LS menunjukkan bahwa di DTA Sutami didominasi oleh nilai LS 0,4 yang merupakan nilai LS untuk kemiringan lereng kelas I seluas 146.329,033 hektar. Sedangkan kelas lereng V dengan

kemiringan > 40% dan nilai LS 9,5 memiliki luasan paling kecil, yaitu 2.692,179 hektar.

4.3. Hasil Peta Indeks Erodibilitas Tanah (K)

Erodibilitas merupakan mudah tidaknya suatu tanah tererosi. Menurut Asdak (2010), erodibilitas tanah (K) menunjukkan resistensi partikel tanah terhadap pengelupasan dan transportasi partikel-partikel tanah tersebut oleh adanya energi kinetik air hujan. Setiap jenis tanah memiliki ketahanan yang berbeda terhadap erosi, sehingga air hujan yang jatuh pada tanah dengan jenis yang berbeda akan menyebabkan berbedanya pula tingkat erosinya. DTA Waduk Sutami memiliki 14 jenis, dari hasil penilaian erodibilitas, diketahui bahwa jenis tanah regosol coklat memiliki tingkat erodibilitas paling tinggi yaitu sebesar 0,346 dengan luas 35.681,543 hektar. Sedangkan jenis tanah latosol coklat kemerahan memiliki nilai erodibilitas paling kecil yaitu 0,121 dengan luas 39.098,028 hektar.

4.4. Hasil Peta Indeks Erosivitas Hujan

Faktor R (erosivitas) merupakan indeks yang menunjukkan besarnya tenaga curah hujan yang dapat mengakibatkan erosi (Asdak,2010). Erosivitas hujan sebagian terjadi karena pengaruh jatuhnya butir-butir hujan langsung di atas tanah dan sebagian lagi karena aliran air di atas permukaan tanah. Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini adalah curah hujan bulanan. Dimana perhitungan indeks R menggunakan persamaan 2.2.

$$R = (2,21 \cdot P)^{1,36} \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana :

- R = Nilai erosivitas hujan
- P = Curah hujan bulanan dalam cm

Nilai P pada persamaan diatas merupakan merupakan perhitungan rata – rata curah hujan dari bulan januari sampai desember dalam satu tahun tertentu. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan masing – masing stasiun amat curah hujan yang berada di DTA Waduk Sutami yang berjumlah 38 titik pada tahun 2016 dan 2018.

4.5. Daerah Sebaran Erosi DTA Waduk Sutami Tahun 2016

Tabel 4.1 Perhitungan Luas Daerah Sebaran Erosi Tahun 2016

No.	Nama DTA	Sangat Ringan		Ringan		Sedang		Berat		Luas DTA (Ha)
		Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	
1.	Amprong	53.186,293	27,863	4.742,435	21,857	21,541	3,872	0,312	26,173	57.950,580
2.	Hilir Brantas	8.010,779	4,197	1.588,873	7,323	1,516	0,273	0	0	9.601,167
3.	Hulu Brantas	30.389,453	15,920	4.914,494	22,650	84,863	15,254	0,769	64,508	35.389,578
4.	Lahor	12.068,276	6,322	1.916,348	8,832	4,408	0,792	0	0	13.989,032
5.	Lesti	55.068,691	28,849	5.350,935	24,662	304,555	0,529	0,111	9,319	60.784,293
6.	Manten	4.669,421	2,446	125,172	0,577	0	0	0	0	4.794,593
7.	Meri	4.373,856	2,291	11,123	0,051	0	0	0	0	4.384,979
8.	Metro	23.119,941	12,112	3.047,705	14,047	79,442	14,280	0	0	26.247,088
	Total	190.886,710	100	21.697,085	100	556,325	100	1,191	100	213.141,311

Berdasarkan tabel 4.1 total tingkat bahaya erosi untuk kelas sangat ringan mempunyai luasan sebesar 190.886,710 hektar, kelas ringan sebesar 21.697,085 hektar, kelas sedang sebesar 556,325 hektar, dan kelas berat sebesar 1,191 hektar. Kelas erosi sangat ringan mendominasi sebaran erosi di DTA waduk sutami tahun 2016 ini, yakni sebesar 89,56%, dan sebaliknya kelas berat yang sangat kecil, yakni sebesar 0,00056%.

4.6. Daerah Sebaran Erosi DTA Waduk Sutami Tahun 2018

Tabel 4.2 Perhitungan Luas Daerah Sebaran Erosi Tahun 2018

No.	Nama DTA	Sangat Ringan		Ringan		Sedang		Berat		Luas DTA (Ha)
		Ha	%	Ha	%	Ha	%	Ha	%	
1	Amprong	50.542,183	26,58	7.221,179	32,62	186,945	21,30	0,273	21,76	57.950,580
2	Hilir Brantas	9.222,749	4,85	357,699	1,62	20,719	2,36	0	0	9.601,167
3	Hulu Brantas	29.494,926	15,51	5.696,666	25,74	197,415	22,50	0,571	45,51	35.389,578
4	Lahor	13.685,595	7,20	278,897	1,26	24,540	2,80	0	0	13.989,032
5	Lesti	56.267,271	29,59	4.211,186	19,03	305,426	34,80	0,410	32,73	60.784,293
6	Manten	4.607,741	2,42	186,842	0,84	0,010	0,00	0	0	4.794,593
7	Meri	4.289,380	2,26	95,599	0,43	0	0	0	0	4.384,979
8	Metro	22.018,644	11,58	4.085,905	18,46	142,539	16,24	0	0	26.247,088
	Total	190.128,491	100	22.133,972	100	877,595	100	1,254	100	213.141,311

Berdasarkan tabel 4.2 total tingkat bahaya erosi untuk kelas sangat ringan mempunyai luasan sebesar 190.128,491 hektar, kelas ringan sebesar 22.133,972 hektar, kelas sedang sebesar 877,595 hektar, dan kelas berat sebesar 1,254 hektar. Kelas erosi sangat ringan mendominasi sebaran erosi di DTA waduk sutami tahun 2018 ini, yakni sebesar 89,20%, dan sebaliknya kelas berat yang sangat kecil, yakni sebesar 0,00059%.

4.7. Perubahan Daerah Sebaran Erosi DTA Waduk Sutami di Tahun 2016 dan 2018

Berikut hasil perubahan daerah sebaran erosi DTA Waduk Sutami di tahun 2016 dan 2018, untuk melihat total perubahan dan luasa dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perubahan Daerah Sebaran Erosi DTA Waduk Sutami Tahun 2016 dan 2018

Tahun 2016 \ Tahun 2018	Sangat Ringan	Ringan	Sedang	Berat	Tahun 2018
Sangat Ringan	180904.127	9127.924	96.187	0.253	190128.491
Ringan	9555.527	12368.873	209.573		22133.972
Sedang	426.310	200.289	250.093	0.902	877.595
Berat	0.745	0.472	0.036	0.036	1.254
Tahun 2016	190886.710	21697.085	556.325	1.191	213141.311

4.8. Analisis Perkiraan Nilai Sedimentasi dengan Volume Pengerukan

Berdasarkan hasil perhitungan nilai sedimentasi DTA Waduk Sutami yang telah telah dihitung pada tahun 2016 dan 2018 mengalami kenaikan jumlah sedimentasi dari 668.212,137 ton menjadi 819.187,053 ton serta volume pengerukan sedimentasi Waduk Sutami yang berhasil dikeruk pada tahun 2016 dan 2018 juga mengalami kenaikan, yakni dari 402.840,00 ton menjadi 676.172,55 ton. Apabila dilihat nilai sedimentasi dengan hasil perhitungan pada tiap tahunnya tentu terdapat selisih nilai, hal ini dapat terjadi karena pengerukan yang dilakukan oleh Perum Jasa Tirta tidak mungkin dilakukan secara menyeluruh di Waduk Sutami, pengerukan hanya dilakukan di titik-titik tertentu sehingga menyebabkan perbedaan nilai dari hasil perkiraan perhitungan dengan hasil sedimentasi yang berhasil dikeruk serta menurut Banuwa (2013) nilai SDR yang kurang dari 1 berarti tidak semua tanah yang terangkut erosi masuk ke waduk.

4.9. Analisis Pengaruh Perubahan Daerah Sebaran Erosi terhadap Sedimentasi Waduk

Pada tahun 2016 daerah sebaran erosi dengan kelas sangat ringan, ringan, sedang, dan berat berturut – turut memiliki luasan seluas 190.886,710 hektar, 21.697,085 hektar, 556,325 hektar, dan 1,191 hektar serta volume pengerukan di Waduk Sutami pada tahun 2016 adalah 402.840,00 ton. Sedangkan pada tahun 2018 daerah sebaran erosi dengan kelas sangat ringan, ringan, sedang, dan berat berturut – turut memiliki luasan seluas 190.128,491 hektar, 22.133,972 hektar, 877,595 hektar, dan 1,254 hektar serta volume pengerukan di Waduk Sutami pada tahun 2018 adalah 676.172,55 ton.

Pada kelas erosi sangat ringan pada tahun 2016 dan tahun 2018 mengalami penurunan luasan daerah sebaran erosi, hal ini berarti penanganan erosi di DTA Sutami dapat dikatakan masih sesuai. Namun apabila melihat ketiga kelas lainnya, yakni kelas erosi ringan, sedang, dan berat di tahun 2016 dan 2018 semuanya mengalami kenaikan luasan daerah sebaran erosi, hal ini berdampak pada sedimentasi di Waduk Sutami dilihat dari hasil perhitungan nilai sedimentasi serta volume pengerukan di tahun 2018 juga lebih besar dibanding tahun 2016. Oleh karena itu, perubahan daerah sebaran erosi dapat berpengaruh terhadap sedimentasi yang terjadi di Waduk Sutami atau dengan kata lain perubahan daerah sebaran erosi merupakan faktor yang berpengaruh terhadap pendangkalan waduk.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian yang berjudul “Analisis Pengaruh Perubahan Daerah Sebaran Erosi di Daerah Tangkapan Air (DTA) terhadap Sedimentasi Waduk Menggunakan Penginderaan Jauh Dan Sistem Informasi Geografis ” dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Peta daerah sebaran erosi DTA Waduk Sutami terdiri dari empat kelas tingkatan bahaya erosi, yaitu sangat ringan, ringan, sedang, dan berat baik di tahun 2016 dan 2018. Pada tahun 2016 daerah sebaran erosi dengan kelas sangat ringan, ringan, sedang, dan berat berturut – turut memiliki luasan seluas 190.886,710 hektar, 21.697,085 hektar, 556,325 hektar, dan 1,191 hektar. Sedangkan pada tahun 2018 daerah sebaran erosi dengan kelas sangat ringan, ringan, sedang, dan berat berturut – turut memiliki luasan seluas 190.128,491 hektar, 22.133,972 hektar, 877,595 hektar, dan 1,254 hektar.
2. Nilai sedimentasi hasil perhitungan pada tahun 2016 dan 2018 berturut – turut sebesar 668.212,137 ton/tahun dan 819.187,053 ton/tahun.
3. Perubahan daerah sebaran erosi dapat berpengaruh terhadap sedimentasi yang terjadi di Waduk Sutami, dilihat dari luas kelas erosi ringan, sedang, dan berat pada tahun 2018 mengalami kenaikan luasan dibanding tahun 2016 dan volume pengerukan tahun 2018 juga mengalami kenaikan dibanding tahun 2016.

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya diharapkan mengambil rentan waktu yang lebih lama minimal lima tahun, supaya hasil bervariasi dan diketahui lebih detail kondisi pada daerah tangkapan air.
2. Titik untuk uji ketelitian data citra satelit harus diperbanyak agar dapat mendapatkan ketelitian hasil penelitian yang lebih akurat.
3. Perlu adanya pengembangan pemanfaatan citra satelit penginderaan jauh dan aplikasi sistem informasi geografi agar dapat mempermudah pemetaan bahaya erosi.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Informasi Geospasial. 2014. *Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 3 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove*, Cibinong.

Badan Standardisasi Nasional. 2014. *SNI 76451-1:2014 tentang Klasifikasi Penutup Lahan*, Jakarta.

Banuwa, I.S. 2013. *Erosi*. Jakarta : Prenadamedia Group.

Congedo, L. 2017. *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation. Release 5.3.2.1.*, pp. 161–164.

Danoedoro, P. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta : Andi.

Dwiastuti, R. 2006. *Pengelolaan Sumberdaya Lahan dan Air di Daerah Tangkapan Air Bendungan Sutami dan Sengguruh : suatu Pendekatan Optimasi Ekonomi*. Disertasi. Program Studi Ilmu Ekonomi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

ESA. 2015. *Sentinel-2 User Handbook. ESA Standard Document User Handbook, European Space Agency*.

Foody, G.M. 2008. *Harshness In Image Classification Accuracy Assessment*. International Journal Of Remote Sensing Vol. 29, No. 11, 10 June 2008, 3137-3158.

Herawati, T. 2010. *Analisis Tingkat Bahaya Erosi di wilayah DAS Cisadane Kabupaten Bogor*. Jurnal Penelitian Hutan dan Konservasi Alam, Vol. VII No. 4 : 413-424, 2010.

Kementerian Kehutanan. 2009. *Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.32/Menhut-II/2009 tentang Tata Cara Penyusunan Rencana Teknik Rehabilitasi Hutan dan Lahan Daerah Aliran Sungai (RTKRHL-DAS)*, Jakarta.

Kementerian PU. 2013. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 02/PRT/M/2013 tentang Pedoman Penyusunan Rencana Pengelolaan Sumber Daya Air*, Jakarta.

Kementerian PUPR. 2015. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 27/PRT/M/2015 tentang Bendungan*, Jakarta.

Lubis, A.M. 2016. *Analisis Sedimentasi di Sungai Way Besai*. Skripsi. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Nashrillah, F. 2018. *Bendungan Sutami Malang Kembali Dapat Izin Operasi*, URL : <https://jatim.idntimes.com/news/jatim/bela-ikhsan-asaat/lolos-auditbendungan-sutami-malang-kembali-dapat-izin-operasi/full>.

Ningsih, D.H.U. 2012. *Metode Thiessen Polygon untuk Ramalan Sebaran Curah Hujan Periode Tertentu pada Wilayah yang Tidak Memiliki Data Curah hujan*. Jurnal Teknologi Informasi DINAMIKA, Vol. 17, No.2, Juli 2012.

Parasdy, P.A. 2016. *Evaluasi Kapasitas Sabo Dam Dalam Usaha Mitigasi Bencana Sedimen Merapi (Studi Kasus : Sabo Dam PA-C Pasekan, Kali Pabelan)*. Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.

Pandiangan, C.Z. 2018. *Keterkaitan Bencana Longsor dan Erosi Tanah menggunakan Sistem Informasi Geografis*. Skripsi. Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional Malang.

Perum Jasa Tirta (PJT) I. 2005. *Tinjauan Hidrologi dan Sedimentasi DAS Kali Brantas Hulu*, Malang.

Prahasta, E. 2002. *Konsep-Konsep Dasar SIG*. Bandung : Informatika.

Prahasta, E. 2014. *Sistem Informasi Geografis Konsep- Konsep Dasar (Perspektif Geodesi dan Geomatika) Edisi Revisi*. Bandung : Informatika Bandung.

Purwadhi, dkk. 2015. *Aplikasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis untuk Perkembangan Wilayah*. Jakarta Selatan : Polimedia Publishing.

- Purwadhi, S.H. 2001. *Interpretasi Citra Digital*. Jakarta : PT. Gramedia Widiasarana Indonesia.
- Putri, D.R. 2018. *Analisis Kombinasi Citra Sentinel-1A dan Citra Sentinel-2A untuk Klasifikasi Tutupan Lahan (Studi Kasus : Kabupaten Demak, Jawa Tengah)*. Skripsi. Program Studi Teknik Geodesi, Universitas Diponegoro.
- Sari, C.K. 2017. *Analisis Pengaruh Vegetasi terhadap Sedimentasi Waduk Gajah Mungkur Kabupaten Wonogiri menggunakan Citra Satelit Landsat 8*. Skripsi. Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional Malang.
- Sinaga, J. 2013. *Analisis Potensi Erosi pada Penggunaan Lahan Darah Aliran Sungai Sedau di Kecamatan Singkawang Selatan*. Jurnal Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Tanjungpura, Pontianak.
- Suripin. 2004. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Yogyakarta : Andi.
- Sutanto. 1994. *Penginderaan Jauh Jilid 1*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Sutapa, I.W. 2010. *Analisis Potensi Erosi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) di Sulawesi Tengah*. Jurnal SMARTek, Vo. 8 No. 3, Agustus 2010.
- Widiana, A. 2018. *Analisis Pengaruh Perubahan Lahan Pertanian Terhadap Hasil Produksi Padi Di Kabupaten Wonosobo Tahun 2013 Dan 2017*. Skripsi. Program Studi Teknik Geodesi, Institut Teknologi Nasional Malang
- Widianto, E. 2013. *Laju Sedimentasi Meningkat Ancam Waduk Sutam*, URL:
<https://nasional.tempo.co/read/514272/laju-sedimentasi-meningkat-ancam-waduk-sutami/full&view=ok>.