

PENGAPLIKASIAN PENGINDERAAN JAUH DAN SIG UNTUK PEMANTAUAN ALIRAN PERMUKAAN DALAM PENGENDALIAN PENDANGKALAN WADUK JATIBARANG

Avini Sekha Rasina, Bandi Sasmito, Arwan Putra Wijaya^{*)}

Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Telp. (024) 76480785, 76480788
E-mail: geodesi@undip.ac.id

ABSTRAK

Waduk dibuat karena sungai-sungai di Indonesia memiliki kelebihan air saat musim penghujan dan debit sungai sangat kecil saat musim kemarau. Sebagai tempat penampungan air, Waduk Jatibarang mempunyai kapasitas daya tampung air tertentu sementara kapasitas tersebut dapat berubah karena adanya pendangkalan waduk yang disebabkan aktivitas alami maupun antropogenik. Salah satu penyebab pendangkalan waduk karena adanya aliran permukaan yang mengangkut sedimen dari beberapa daerah tangkapan hujan dalam suatu daerah aliran sungai (DAS) yang terdegradasi.

Penelitian ini dilakukan melalui pemantauan aliran permukaan dari pemanfaatan data ASTER GDEM versi-2 dan Landsat-8. Pemantauan dilakukan secara berkala terhadap penutupan vegetasi pada *catchment area* Waduk Jatibarang sebagai faktor utama pengendali degradasi dengan menggunakan metode klasifikasi terbimbing dan algoritma NDVI.

Hasil penelitian tugas akhir ini mengenai pola aliran permukaan yang terbentuk dan kondisi daerah tangkapan hujan yang mengacu pada penutupan lahan permanen/ hutan beserta empat kelas kerapatan hutannya yaitu non lebat, lebat, sangat lebat dan ekstra lebat. Berdasarkan analisis, pola aliran permukaan yang terbentuk adalah radial karena arah alirannya mengalir ke segala arah dari puncak gunung dan membentuk beragam sudut. Analisis selanjutnya menunjukkan terdapat 14 daerah tangkapan hujan berkondisi buruk dan 2 daerah tangkapan hujan berkondisi baik yaitu daerah tangkapan hujan Kreo 08 dan Kreo 15. Kedua daerah tangkapan hujan tersebut diidentifikasi berkondisi baik karena persentase hutannya lebih dari 30%. Selain itu, analisis kerapatan hutan menyatakan bahwa daerah tangkapan hujan Waduk Jatibarang memiliki luas hutan yang tergolong lebat (dengan nilai spektral $\geq 0,6$) sebesar 1001,618 Hektar dari total luas hutan 1041,712 Hektar sehingga hutan yang ada telah berperan baik dalam pengendalian pendangkalan Waduk Jatibarang.

Kata Kunci: Aliran Permukaan, Waduk Jatibarang, Daerah Tangkapan Hujan, Hutan

ABSTRACT

Reservoir is made because the rivers in Indonesia have too much water during the rainy season and the river debit is less water in the dry season. As the water reservoir, the Jatibarang Reservoir has a limited water capacity while the capacity can change because of the silting reservoir caused by natural and anthropogenic activity. One of the causes of the silting reservoir due to surface runoff carrying sediment from several catchment area in a degraded watershed (DAS).

This research was done through the monitoring of surface runoff from data utilization of ASTER GDEM version-2 and Landsat-8. The monitoring is done periodically for the landcover in the catchment area of Jatibarang Reservoir as a main factor of controlling the degradation using the method of supervised classification and NDVI algorithms.

Results of this minithesis are about the pattern of formed surface runoff and condition catchment areas which refer to the permanent landcover/ forest along with four density classes of the forest, those are non-dense, heavy, very heavy and extraordinary heavy. Based on the analysis, formed surface runoff pattern is radial because flowdirection to all directions of mountain top and creating various angles. The next analysis shows that there are 14 catchment areas in critical condition and 2 catchment areas in good condition, those are catchment area on Kreo 08 and 15. Both of catchments are identified to be good condition because their percentage of forest are more than 30%. On the other hand, forest density analysis shows that Jatibarang Reservoir's catchment areas have a relatively dense forest area of 1001.618 hectares of the total forest area of 1041,712 hectares so a relatively dense forest (with a spectral value $\geq 0,6$) so the existing forest has been well in Jatibarang Reservoir siltation control.

Keyword: Surface Runoff, Jatibarang Reservoir, Catchment Area, Forest

**) Penulis, Penanggungjawab*

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Waduk adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk menampung air sungai (Hadihardjaja, J., 1997). Kontruksi ini dibuat karena sungai-sungai di Indonesia memiliki kelebihan air saat musim penghujan dan debit sungai sangat kecil saat musim kemarau tiba.

Waduk Jatibarang adalah salah satu bendungan yang dibangun di Semarang yang terletak di dua wilayah Kecamatan, meliputi Mijen serta Gunungpati. Waduk ini untuk membendung Sungai Kreo yang merupakan anak Sungai Garang dengan daerah tangkapan seluas 54 km², luas genangan 110 Ha, dan volume tampungan sebesar 20,4 juta m³. Pembangunan Waduk Jatibarang yang berfungsi untuk memenuhi kebutuhan air baku, sebagai tempat penampungan air, pengendali banjir di Semarang, untuk irigasi, pembangkit tenaga listrik dan budidaya ikan tawar.

Sebagai tempat penampungan air, Waduk Jatibarang mempunyai kapasitas daya tampung air tertentu dan kapasitas tersebut dapat berubah karena adanya pendangkalan waduk yang disebabkan aktivitas alami maupun antropogenik (sumber pencemaran yang tidak alami, timbul karena ada pengaruh atau campur tangan manusia atau aktifitas manusia). Akibat dari pendangkalan waduk dapat menyebabkan berkurangnya umur rencana waduk (berkurangnya umur efektif waduk), menimbulkan penurunan dayaguna, produktivitas air, daya dukung waduk hingga sebagai salah satu faktor penyebab banjir di daerah hilir.

Penyebab utama pendangkalan waduk terjadi karena aliran permukaan mengangkut sedimen dari beberapa *catchment area*/ daerah tangkapan hujan dalam suatu daerah aliran sungai (DAS) yang terdegradasi. Degradasi daerah aliran sungai (DAS) di Indonesia saat ini sedang mengalami keadaan yang memprihatinkan dengan ditandainya 60 DAS dalam kondisi kritis berat, 222 kondisi kritis dan 176 lainnya berpotensi kritis (Antara News, 2013).

Pengangkutan sedimen melalui aliran permukaan sebagai penyebab pendangkalan waduk tersebut karena akibat alih fungsi lahan. Seperti yang telah dijelaskan oleh El Swaifi, 1982 dalam Aprisal, 2014 dan Sinukaban, 2014 bahwa hilang/ rusaknya penutupan vegetasi permanen/ hutan di bagian hulu, penggunaan lahan yang tidak sesuai dengan kemampuannya, dan penerapan teknologi pengelolaan lahan/ pengelolaan DAS yang tidak memenuhi syarat merupakan salah satu factor penyebab terjadinya pendangkalan pada waduk.

Realita yang terjadi dalam pertumbuhan dan pembangunan wilayah Semarang diikuti pula dengan peningkatan jumlah penduduk dan kebutuhan sarana permukiman menyebabkan maraknya perubahan

penutupan lahan di Semarang terhadap perubahan fungsi kawasan pertanian dan lahan hijau menjadi kawasan permukiman.

Alih fungsi lahan hijau tersebut ditandai dengan banyaknya penggundulan hutan yang terjadi. Surat Kabar Tempo, 2014 menyebutkan bahwa aksi penggundulan hutan yang paling massif terjadi sepanjang 2011 hingga 2012, dan deforestasinya dalam satu tahun sekitar dua juta hektar. Sepanjang 2001-2013 Indonesia telah kehilangan 15,8 juta hektar hutan. Banyaknya penggundulan hutan inilah yang menyebabkan degradasi DAS sehingga menjadi penyebab pendangkalan waduk.

Dilihat dari permasalahan yang ada maka pengendalian pendangkalan Waduk Jatibarang dalam menjaga rencana umurnya dari rencana yang telah direncanakan dan juga menjaga kualitas air agar tetap pada kondisi alamiah perlu dilakukan. Pemantauan dilakukan secara berkala terhadap penutupan vegetasi pada *catchment area*/ daerah tangkapan hujan dalam suatu daerah aliran sungai (DAS) sebagai factor utama pengendali degradasi daerah aliran sungai (DAS) yang aliran permukaannya membawa sedimentasi pada waduk.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang masalah diatas, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana pola aliran permukaan yang terbentuk di daerah tangkapan hujan Waduk Jatibarang hasil penggunaan ASTER GDEM?
2. Bagaimana komposisi penutupan lahan pada tiap-tiap daerah tangkapan hujan yang mengalir Waduk Jatibarang?
3. Bagaimana frekuensi kerapatan hutan eksisting daerah tangkapan hujan Waduk Jatibarang?

1.3 Batasan Masalah

Pembatasan permasalahan dalam penulisan penelitian ini adalah:

1. Pembuatan model spasial aliran permukaan pada *catchment area*/ daerah tangkapan hujan yang alirannya masuk ke Waduk Jatibarang, Semarang.
2. Penutupan lahan di daerah tangkapan hujan dibatasi pada kondisi lahan yang memberikan pengaruh terhadap terjadinya pendangkalan waduk.
3. Besarnya sedimen yang masuk ke Waduk Jatibarang tidak dikaji, sedimen hanya dibahas sebagai salah satu faktor yang mempengaruhi pendangkalan waduk.
4. Tidak mengkaji tentang debit sedimen serta laju aliran permukaan yang mengalir waduk sebagai penyebab sedimentasi pada waduk.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui pola aliran permukaan yang menuju ke Waduk Jatibarang.
2. Mengetahui wilayah tangkapan hujan Waduk Jatibarang berdasarkan Data ASTER GDEM versi 2 menggunakan pemodelan aliran permukaan.
3. Melakukan pemetaan penutupan lahan di wilayah tangkapan hujan Waduk Jatibarang menggunakan digital citra satelit Landsat8 multispektral resolusi 30 m.
4. Mengkaji komposisi penutupan lahan di wilayah tangkapan hujan Waduk Jatibarang menggunakan pendekatan spasial.
5. Menilai kondisi daerah tangkapan hujan/ *catchment area* berdasarkan pemetaan tutupan hutan eksisting yang mengacu UU 41 tahun 1999 dan peraturan direktur jenderal bina pengelolaan daerah aliran sungai dan perhutanan sosial tahun 2004.
6. Menganalisis kerapatan hutan yang ada pada daerah tangkapan hujan Waduk Jatibarang sehingga mampu berperan sebagai faktor pencegah pendangkalan Waduk Jatibarang.

2. Bahan dan Metode Penelitian

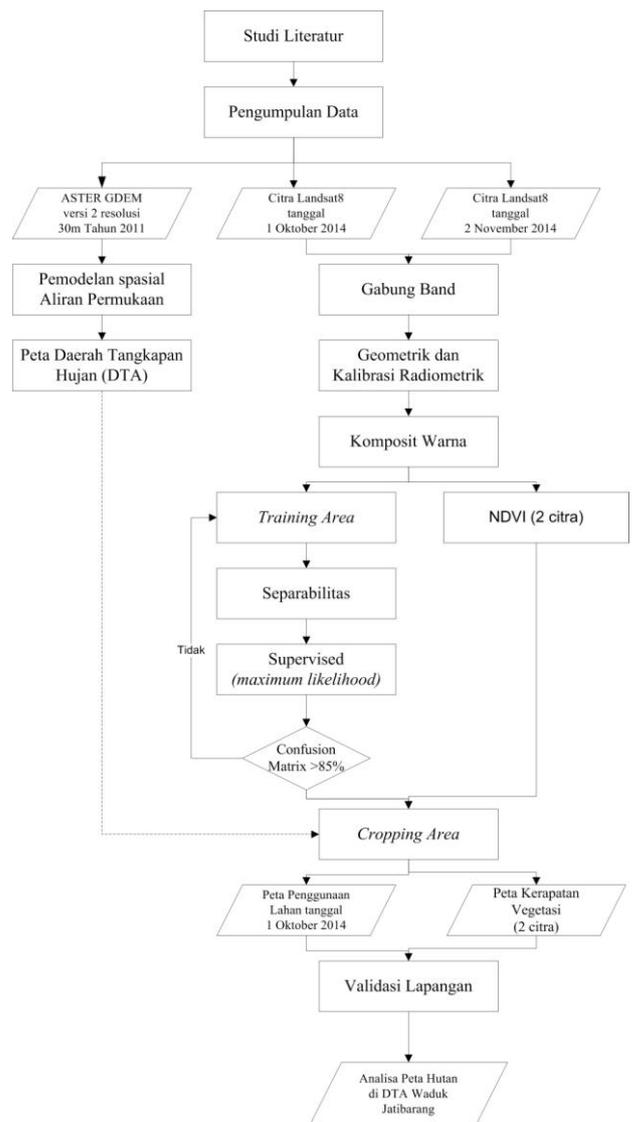
2.1 Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yang berupa perangkat keras adalah sebagai berikut:

1. Satu unit laptop Toshiba Processor Pentium ® Dual-Core CPU T440 @2.20GHz 2.20GHz, RAM 2.0 GB, OS Windows7.
2. Data yang digunakan adalah Data DEM dari ASTER GDEM versi 2 tahun 2011 resolusi 30 m level L1B, Citra Digital Landsat8 multispektral dengan tanggal perekaman 1 Oktober 2014 dan 2 November 2014 resolusi 30 m level L1T, serta Peta Rupa Bumi Indonesia digital skala 1:25.000 tahun 2009.
3. Software pengolah citra

2.2 Metode Penelitian

Tahapan dimulai dengan pengumpulan data primer dan sekunder yang digunakan, pengolahan data, serta menganalisis hasil dari proses pengolahan data pada penelitian ini. Secara garis besar digambarkan dalam bentuk diagram alir seperti dibawah ini:



Gambar 1. Diagram Alir

2.3 Pemodelan Spasial Aliran Permukaan

Pemodelan spasial aliran permukaan menghasilkan daerah tangkapan hujan/ *catchment area* dan pola aliran sungai yang diperoleh dengan beberapa tahapan dari pengolahan ASTER GDEM versi 2 menggunakan *Surface Hydrology Extention 2.0* (Software SIG). Berikut tahapan-tahapan yang harus dilakukan yaitu:

1. Mengunduh/ *download* Citra ASTER GDEM versi 2
2. *Fill sink*
3. *Flow Direction*
4. *Flow Accumulation*
5. *Stream Definition*
6. *Stream Segmentation*
7. *Catchment Grid Delineation*
8. *Catchment Polygon*
9. *Drainage Line Processing*

Pola aliran atau susunan sungai pada suatu DAS merupakan karakteristik fisik setiap drainase basin yang penting karena pola aliran sungai mempengaruhi efisiensi sistem drainase serta karakteristik hidrografis dan pola aliran menentukan bagi pengelola DAS untuk mengetahui kondisi tanah dan permukaan DAS khususnya tenaga erosi. (Kemenhut, 2013). Bentuk pola aliran (*drainage pattern*) ada bermacam – macam yang masing – masing dicirikan oleh kondisi yang dilewati oleh sungai tersebut (Kemenhut, 2013). Bentuk pola aliran ada tujuh jenis yaitu:

1. Dendritik
2. Paralel
3. Radial
4. Trellis
5. Annular
6. Centripetal
7. Multibasinal

2.4 Penutupan Menggunakan Metode Klasifikasi Terbimbing

Bagian-bagian tanah yang terangkut pada aliran permukaan tersebut menyebabkan pendangkalan waduk. Pendangkalan pada waduk tersebut menyebabkan berkurangnya umur rencana waduk (berkurangnya umur efektif waduk) hingga faktor penyebab banjir di daerah hilir oleh karena itu dibutuhkan solusi dalam penanganannya. Dengan keberadaan hutan dapat mengurangi konsentrasi aliran air yang jatuh di atasnya untuk kejadian hujan berintensitas sedang dan melepaskan air tersebut ke sungai lebih terkendali dibandingkan kalau hujan jatuh di atas wilayah tidak berhutan (Asdak, 1995) dan (Sahab, 2003)

Seperti yang telah dijelaskan para ahli, begitu pentingnya keberadaan hutan pada hulu suatu DAS dalam perannya untuk perlindungan aliran permukaan terhadap proses sedimentasi sehingga dibutuhkan parameter jumlah hutan pada *catchment area* dalam suatu daerah aliran sungai (DAS). Keberadaan hutan tersebut dapat diketahui dengan dilakukan proses pembuatan peta penutupan lahan menggunakan metode klasifikasi terbimbing. Proses penutupan lahan ini menggunakan data Citra Landsat 8 tanggal perekaman 1 oktober 2014 level L1T. Tahapan proses klasifikasi terbimbing meliputi:

1. Gabung *Band*
2. Koreksi Geometrik
3. Koreksi Radiometrik
4. Komposit Warna
5. *Training Area*
6. Separabilitas
7. Klasifikasi terbimbing (*supervised classification*)
8. Matriks Konfusi
9. *Cropping Area*

10. Validasi Lapangan

Jika luas keberadaan hutan diketahui dengan menganalisis proses penutupan lahan ini, maka dilakukan pengklasifikasian data hutan menurut parameter yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial Tahun 2004 dalam menganalisis kondisi tiap *catchment area/* daerah tangkapan hujan. Berikut adalah tabel klasifikasi hutannya:

Tabel 1. Klasifikasi dan Skoring Hutan di Daerah Tangkapan Hujan (Kemenhut, 2004)

Kriteria	Kelas	Besaran
Hutan	Sangat Baik	>40%
	Baik	31%-40%
	Sedang	21%-30%
	Buruk	10%-20%
	Sangat Buruk	<10%

2.5 Transformasi Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi merupakan suatu transformasi matematis yang melibatkan beberapa saluran sekaligus dan menghasilkan citra baru yang lebih representatif dalam menyajikan fenomena vegetasi. Indeks tersebut mempunyai berbagai macam variasi algoritma diantaranya *Normalized Different Vegetation Index* (NDVI), *Perpendicular Vegetation Index* (PVI), *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI), dan lain sebagainya (Danoedoro, 2012).

Transformasi indeks vegetasi ini bertujuan untuk mengetahui persebaran dan luas vegetasi lebat yang berada di sekitar daerah tangkapan hujan Waduk Jatibarang. Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah NDVI (*Normalized Different Vegetation Index*). Sesuai dengan tujuan, vegetasi lebat dapat diketahui nilainya dengan cara mensortir nilai spektral vegetasi hijau lebat dengan nilai lebih dari sama dengan 0,6 (NASA, 2000).

Citra yang digunakan dalam transformasi NDVI ini adalah Citra Landsat-8 tanggal perekaman 1 Oktober 2014 (musim kemarau) dan 2 November 2014 (musim penghujan) untuk bab 3 dan 4. Kelebihan dalam penggunaan 2 citra dalam transformasi NDVI untuk penelitian ini dikarenakan perhitungan menjadi lebih teliti pada cahaya tampak dan inframerah-dekat yang mencerminkan dari sifat dan proses fotosintesis vegetasi itu sendiri. Dalam proses fotosintesis dipengaruhi langsung oleh unsur iklim sehingga sangat diperlukan untuk menggunakan 2 citra dengan

iklim yang berbeda, yaitu iklim kemarau dan musim penghujan.

2.6 Overlay

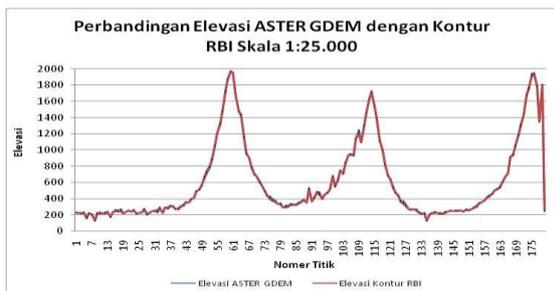
Penggabungan dari kedua metode tersebut dilakukan untuk pembuatan peta penutupan lahan yang mempunyai beberapa jenis kerapatan khususnya pada area hutan. Hasil persebaran dan luas hutan yang didapatkan digunakan untuk menganalisa kondisi daerah tangkapan hujan yang alirannya berdampak pada Waduk Jatibarang berdasarkan Undang-undang nomor 41 tahun 1999 dan diperkuat dengan peraturan direktur jenderal bina pengelolaan DAS dan perhutanan sosial tahun 2004.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Validasi Elevasi ASTER GDEM versi 2

Data DEM (*Digital Elevation Model*) dalam penelitian ini menggunakan hasil pengunduhan data ASTER GDEM versi 2 dari Satelit Terra dengan resolusi 30m. Terdapat perbandingan ketinggian antara data ASTER GDEM versi 2 dengan data kontur RBI skala 1:25.000 sehingga menghasilkan perbedaan luas, bentuk SubDAS Kreo bahkan pada aliran sungai. Selisih perbandingan ketinggian tersebut dapat diketahui dengan melakukan perhitungan statistic sederhana dengan mengambil beberapa sampel. Sampel diambil pada suatu tempat-tempat yang sama pada data ASTER GDEM versi 2 dan data RBI sebanyak 180 titik secara acak.

Hasil perhitungan statistic pada 180 titik sampel tersebut berupa nilai minimum, nilai maksimum, nilai rerata, dan nilai standard deviasi dari beda tinggi keduanya. Nilai minimum yang didapatkan sebesar 0,03 m, nilai maksimum adalah 41,54 m, nilai rerata sebesar 9,69 m, dan standard deviasinya yaitu 8,03 m. Perbandingan beda tinggi/elevasi data ASTER GDEM versi 2 dan data RBI skala 1:25.000 dalam perhitungan statistik sebelumnya dapat dilihat pada lampiran dan ditunjukkan dalam grafik berikut:



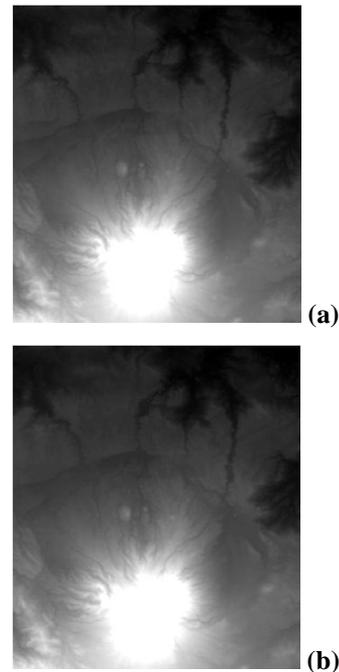
Gambar 2. Perbandingan Elevasi antara data ASTER GDEM versi 2 dan data Kontur RBI skala 1:25.000

Alasan penelitian ini menggunakan ASTER GDEM karena data ASTER GDEM versi 2 memiliki jumlah *sink* lebih banyak (jumlah *sink* ASTER

GDEM sebanyak 2034 piksel) dibandingkan menggunakan data kontur RBI pada area yang sama. Purwanto, tahun 2014 menjelaskan bahwa proses perbaikan *sink* sangat penting dan harus dilakukan untuk mendapatkan jaringan sungai dan batas DAS atas penggunaan data DSM maupun DTM. DEM (DSM atau DTM) harus bebas dari *sink*.

3.2 Analisa Hasil Fill Sink

Hasil proses penurunan arah aliran tanpa penghilangan *sink* atau dengan penghilangan *sink* akan memberikan hasil dan tampilan berbeda.

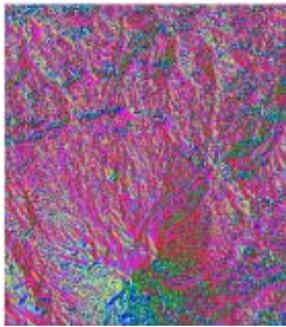


Gambar 3. (a) Sebelum Proses *Fill Sink* dan (b) Daerah Tangkapan Hujan

Point (a) menunjukkan tampilan yang lebih gelap dibandingkan pada point (b). Perbedaan juga terlihat pada nilai value kedua data tersebut. Nilai value pada ASTER GDEM sebelum *Fill sink* pada data point (a) berkisar 3 hingga 2039 sedangkan nilai value data point (b) pada ASTER GDEM setelah *Fill sink* berkisar 5 hingga 2039. Hal ini merupakan tanda bahwa dalam data ASTER GDEM terdapat *sink*. Untuk mendapat grid arah aliran yang kontinu perlu adanya penghilangan *sink*.

3.3 Analisa Hasil Flow Direction

Hasil proses *Flow direction* adalah arah pola aliran baru. Aliran yang semula mengalir menuju *sink* akan berubah dengan proses *Flow direction*. Berbagai warna pada gambar 4. menunjukkan arah aliran air berdasarkan angka-angka sel yang mewakili 8 penjuror arah mata angin. Dengan melihat kedelapan warna secara seksama kita dapat menginterpretasi secara visual arah aliran air.



Gambar 4. Hasil Proses *Flow Direction*

3.4 Analisa Hasil *Fill Accumulation*

Total banyak sel yang mengalir menuju suatu sel/ total sel dari aliran yang terkumpul dihitung sebagai akumulasi aliran. Sel-sel penerima aliran yang mempunyai akumulasi tinggi diidentifikasi sebagai sungai atau saluran air. Hasil proses *Flow accumulation* berupa data raster jaringan utama sungai yang berupa garis terkumpulnya suatu aliran.



Gambar 5. Hasil Proses *Flow Accumulation*

3.5 Analisa Hasil *Stream Definition*

Proses *Stream definition* merupakan proses yang paling berpengaruh pada kerapatan dan panjang aliran. Prosesnya yaitu memberikan batasan aliran (nilai ambang) dalam pembentukan 1 pola aliran. Nilai ambang yang dipakai dalam proses pengolahan *Stream definition* ini sebesar 500 piksel. Sehingga terbentuknya 1 pola aliran akan terjadi jika suatu aliran telah melewati jarak sebesar 0,45 kilometer/ 450 meter dengan total nilai ambang 500 piksel.



Gambar 6. Hasil Proses *Stream Definition*

3.6 Analisa Hasil *Stream Segmentation*

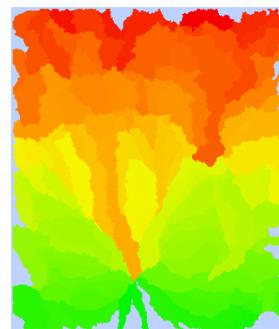
Terlihat dari hasil proses *Stream segmentation* bahwa aliran sungai yang terbentuk digambarkan dengan tingkatan warna yang berbeda. Perbedaan warna terjadi karena terdapat bermacam-macam orde sungai pada aliran sungai tersebut. Ada aliran sungai yang warnanya lebih terang dan ada pula yang terlihat lebih gelap, hal tersebut disebabkan karena perbedaan nilai value pada tiap orde.



Gambar 7. Hasil Proses *Stream Segmentation*

3.7 Analisa Hasil *Catchment Grid Delineation*

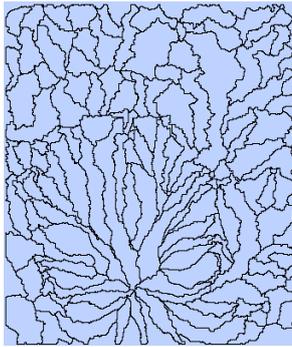
Dalam proses *Catchment grid delineation* dihasilkan batas poligon area Daerah tangkapan hujan/ DTA yang berkorelasi dengan arus yang mengalir dan berformat raster. Setiap Daerah tangkapan hujan memiliki warna yang berbeda yang teraliri oleh aliran sungai yang terbentuk dari proses sebelumnya. Daerah tangkapan hujan/ *Catchment area* disebabkan daerah sisa tidak terdapat aliran sungai yang melewatinya.



Gambar 8. Hasil Proses *Catchment Grid Delineation*

3.8 Analisa Hasil *Catchment Polygon*

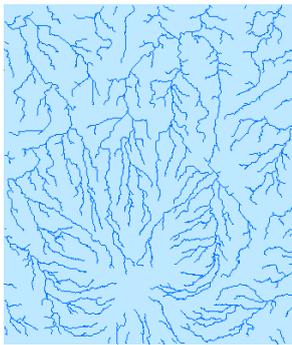
Hasil proses *Catchment polygon* berupa batas poligon area Daerah tangkapan hujan/ DTA yang berformat vektor. Setiap DTA dapat dihitung luas dan panjang *line* yang membentuk tiap poligon tersebut.



Gambar 9. Hasil Proses *Catchment Polygon*

3.9 Analisa Hasil *Drainage Line Processing*

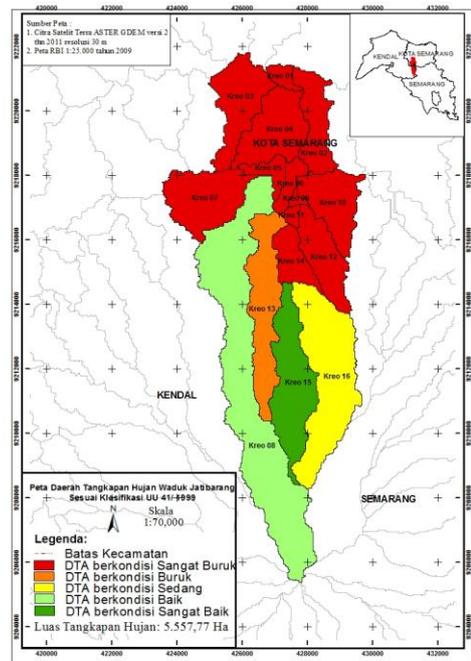
Proses *drainage line processing* menghasilkan jaringan sungai berformat vektor.



Gambar 10. Hasil Proses *Drainage Line Processing*

3.10 Pemodelan Spasial Aliran Permukaan

Telah dijelaskan sebelumnya bahwa hasil dari proses pemodelan spasial adalah diketahui pola aliran permukaan dan batas daerah tangkapan hujan. Pola aliran yang terbentuk merupakan pola aliran radial karena alirannya mengalir ke segala arah dari puncak gunung dan arah alirannya membentuk beragam sudut, seperti yang terlihat pada gambar 10. Sementara itu, daerah tangkapan hujan yang terbentuk (arah alirannya menuju Waduk Jatibarang) sebanyak 16 daerah tangkapan hujan, meliputi Kreo 01, Kreo 02, Kreo 03, Kreo 04, Kreo 05, Kreo 06, Kreo 07, Kreo 08, Kreo 09, Kreo 10, Kreo 11, Kreo 12, Kreo 13, Kreo 14, Kreo 15, dan Kreo 16. Seperti dalam gambar 11, Luas antar DTA Waduk Jatibarang tersebut berbeda-beda bergantung pada panjangnya aliran sungai yang mengalirinya.



Gambar 11. Daerah Tangkapan Hujan (DTA) Waduk Jatibarang

3.11 Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki kesalahan posisi obyek-obyek yang terekam pada citra karena distorsi. Pada penelitian ini dilakukan koreksi geometrik dengan rektifikasi yang beracuan pada peta RBI skala 1:25000 tahun 2009.

Tabel 2. Akurasi Geometrik Citra Landsat8 perekaman 1 Oktober 2014

Titik	Koordinat Citra		Koordinat UTM		RMSE
	Cell X	Cell Y	X (m)	Y (m)	
1	5158,34	2845,06	433458	9331225	0,05
2	5120,96	3076,64	432326	9224286,1	0,07
3	4784,47	2912,32	422240	9229208	0,05
4	5356,22	2875,92	439397	9230303,6	0,06
5	5204,85	2955,75	434846	9227910,5	0,1
6	5350,3	3036,21	439210	9225504,1	0,09
7	4990,21	2947,55	428410	9228153,2	0,03
8	4815,94	3192,56	423169	9220813,7	0,04
9	5234,23	3230,22	435718	9219686,9	0,05
10	4962,55	3294,35	427563	9217765,1	0,02
Rata-rata RMSE					0,056

Sumber: Hasil Analisa, 2015

Tabel 3. Akurasi Geometrik Citra Landsat8 perekaman 2 November 2014

Titik	Koordiat Citra		Koordiat UTM		RMSE
	Cell X	Cell Y	X (m)	Y (m)	
1	4205,18	3062,51	404544,37	9224703,8	0,01
2	1946,82	2321,4	336841,12	9246910,04	0,04
3	6092,11	2208,92	461229,24	9250295,85	0,01
4	6356,67	4077,47	469041,98	9194293,89	0,02
5	4383,17	4934,31	409805,24	9168626,51	0,04
6	2855,67	4474,01	363989,66	9182419,89	0
7	417,01	5529,47	290767,79	9150785,67	0,01
8	1592,08	3116,57	326136,33	9223077,04	0,04
9	4611,55	5371,25	416641,31	9155537,88	0,06
10	5574,71	6257,04	445479,97	9129013,04	0,03
Rata-rata RMSE					0,03

Sumber: Hasil Analisa, 2015

Hasil koreksi geometrik kedua citra diatas dikatakan benar dan dapat digunakan untuk proses-proses selanjutnya karena hasil RMSE citra yang dipakai (Citra Landsat8) tidak melebihi resolusi spasial (30 meter) yang dimiliki citra tersebut (Citra Landsat8).

3.12 Koreksi Radiometrik

Koreksi Radiometrik yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode *Top of Atmosphere (TOA)*. Koreksi *Top of Atmosphere (TOA)* merupakan koreksi citra untuk menghilangkan distorsi radiometrik yang disebabkan oleh posisi matahari (*sun angle*).

Koreksi *TOA* dilakukan dengan cara mengubah nilai *digital number* ke nilai reflektansi (0 hingga 1). Dengan menggunakan metode *TOA* memudahkan membedakan hutan, sawah dan vegetasi lainnya menggunakan karakteristik reflektansi dari citra Landsat8 pada proses klasifikasi.

3.13 Klasifikasi Terbimbing (*Supervised Classification*)

Dalam proses klasifikasi terbimbing ini menggunakan metode kemiripan maksimum (*maximum likelihood*).

Diketahui luas awan sebesar 437,483 hektar atau 7,872 % dari luas total penutupan lahan. Dengan jumlah persentase luas awan yang kurang dari 10% tersebut menunjukkan bahwa Citra Landsat8

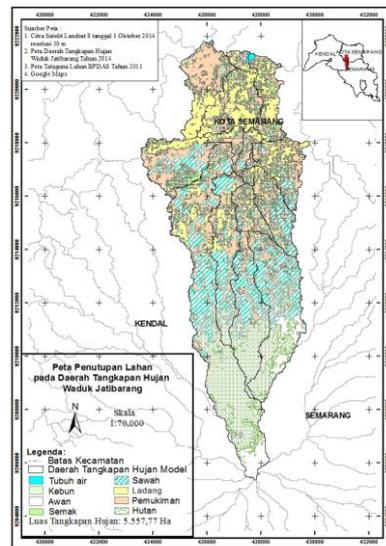
perekaman 1 Oktober 2014 layak dijadikan peta penutupan lahan pada daerah penelitian ini.

Tabel 4. Luas Penutupan lahan dari Hasil Klasifikasi Terbimbing Citra Landsat8

Klasifikasi	Luas Hasil Klasifikasi (Hektar)	Persentase (%)
Hutan	1041,712	18,743
Kebun	74,754	1,345
Tubuh Air	8,916	0,160
Sawah	1302,781	23,441
Semak	436,293	7,850
Pemukiman	1171,382	21,076
Awan	437,483	7,872
Ladang	1084,448	19,512
Total	5557,769	100

3.14 Analisa Penutupan Lahan di Daerah Tangkapan Hujan

Analisis penutupan lahan dilakukan dari proses klasifikasi terbimbing. Berikut adalah peta penutupan lahan dari hasil klasifikasi terbimbing pengkelasan *maximum likelihood*:



Gambar 12. Hasil Proses Klasifikasi Terbimbing Citra Landsat-8 Perekaman 1 Oktober 2014

Analisis ini dilakukan pada tiap daerah tangkapan hujan Waduk Jatibarang, yang arah aliran airnya menuju Waduk Jatibarang tersebut. Kondisi daerah tangkapan hujan dari perhitungan luas hutan tersebut ditentukan dengan peraturan direktur

jenderal bina pengelolaan daerah aliran sungai dan perhutanan sosial tahun 2004.

Dilihat berdasarkan peraturan tersebut dan telah diperkuat dengan UU 41 tahun 1999, terdapat 14 daerah tangkapan hujan berkondisi buruk dan 2 daerah tangkapan hujan berkondisi baik yaitu daerah tangkapan hujan Kreo 08 dan Kreo 15. Daerah tangkapan hujan dikatakan baik jika luas hutan lebih dari sama dengan 30%. Dalam penganalisaan secara rinci kondisi tiap DTA dijelaskan pada tabel 5 dan tergambarkan pada gambar 11.

Tabel 5. Komposisi Penutupan lahan di Tiap Daerah Tangkapan Hujan

Darah Tangkapan Hujan (DTA)	Penutupan Lahan	Luas (Ha)	%	Kondisi
Kreo 01	Awan	5.04	9.5	Sangat Buruk
	Kebun	0.292	0.6	
	Ladang	22.285	42.2	
	Pemukiman	12.919	24.5	
	Sawah	3.808	7.2	
	Semak	5.108	9.7	
	Tubuh Air	3.379	6.4	
		52.831	100	
Kreo 02	Awan	6.282	2.5	Sangat Buruk
	Kebun	3.952	1.6	
	Ladang	114.992	45.1	
	Pemukiman	57.702	22.6	
	Sawah	12.22	4.8	
	Semak	54.195	21.3	
	Tubuh Air	5.537	2.2	
		254.88	100	
Kreo 03	Awan	8.99	2.5	Sangat Buruk
	Kebun	19.602	5.5	
	Ladang	120.803	33.9	
	Pemukiman	164.662	46.3	
	Sawah	10.740	3.0	
	Semak	31.063	8.7	
		355.860	100	

Kreo 04	Awan	10.075	2.7	Sangat Buruk
	Kebun	11.881	3.2	
	Ladang	222.336	59.8	
	Pemukiman	61.635	16.6	
	Sawah	15.200	4.1	
	Semak	50.843	13.7	
		371.970	100	
Kreo 05	Awan	1.390	1.7	Sangat Buruk
	Kebun	1.350	1.7	
	Ladang	28.234	34.8	
	Pemukiman	28.481	35.1	
	Sawah	9.527	11.7	
	Semak	12.107	14.9	
		81.090	100	
Kreo 06	Awan	2.588	3.3	Sangat Buruk
	Kebun	0.583	0.7	
	Ladang	18.317	23.1	
	Pemukiman	33.513	42.2	
	Sawah	13.598	17.1	
	Semak	10.781	13.6	
		79.380	100	
	Kreo 07	Awan	7.439	
Kebun		13.548	3.3	
Ladang		91.115	22.3	
Pemukiman		150.654	36.8	
Sawah		97.312	23.8	
Semak		49.073	12.0	
		409.140	100	
Kreo 08	Awan	172.956	12.0	Baik
	Hutan	523.260	36.4	
	Kebun	9.068	0.6	
	Ladang	128.005	8.9	
	Pemukiman	213.462	14.9	
	Sawah	342.864	23.9	
	Semak	47.415	3.3	
		1437.03	100	

Kreo 09	Awan	0.387	2.1	Sangat Buruk
	Kebun	0.090	0.5	
	Ladang	5.427	30.0	
	Pemukiman	6.263	34.6	
	Sawah	3.010	16.6	
	Semak	2.914	16.1	
		18.090	100	
Kreo 10	Awan	6.117	2.0	Sangat Buruk
	Kebun	1.382	0.5	
	Ladang	96.495	31.4	
	Pemukiman	94.662	30.8	
	Sawah	51.557	16.8	
	Semak	57.226	18.6	
		307.440	100	
Kreo 11	Awan	0.783	3.0	Sangat Buruk
	Ladang	8.877	34.2	
	Pemukiman	5.402	20.8	
	Sawah	3.780	14.6	
	Semak	7.077	27.3	
	25.920	100		
Kreo 12	Awan	11.838	4.3	Sangat Buruk
	Hutan	0.352	0.1	
	Kebun	2.651	1.0	
	Ladang	60.691	22.2	
	Pemukiman	61.450	22.5	
	Sawah	98.915	36.2	
	Semak	37.702	13.8	
	273.600	100		
Kreo 13	Awan	9.469	2.0	Buruk
	Hutan	70.102	14.9	
	Kebun	3.323	0.7	
	Ladang	76.291	16.2	
	Pemukiman	108.017	23.0	
	Sawah	180.367	38.4	
	Semak	22.681	4.8	
	470.250	100		

Kreo 14	Awan	4.906	3.0	Sangat Buruk
	Kebun	3.648	2.2	
	Ladang	54.893	33.5	
	Pemukiman	39.527	24.1	
	Sawah	36.276	22.2	
	Semak	24.461	14.9	
		163.710	100	
Kreo 15	Awan	25.913	5.2	Sangat Baik
	Hutan	227.706	45.3	
	Kebun	0.581	0.1	
	Ladang	13.338	2.7	
	Pemukiman	53.879	10.7	
	Sawah	171.385	34.1	
	Semak	10.028	2.0	
	502.830	100		
Kreo 16	Awan	163.312	21.7	Sedang
	Hutan	220.292	29.2	
	Kebun	2.804	0.4	
	Ladang	22.348	3.0	
	Pemukiman	79.155	10.5	
	Sawah	252.221	33.5	
	Semak	13.619	1.8	
	753.750	100		

Vegetasi lebat permanen/ hutan merupakan factor utama pencegah sedimentasi pada waduk. Meskipun faktor-faktor penyebab pendangkalan waduk terdiri dari tutupan lahan dan kondisi vegetasinya, kemiringan lereng/ topografi, kondisi tanah, iklim dan cuaca tetapi hutan itulah faktor yang utama dan pengontrol dalam pencegahan pendangkalan waduk karena dengan adanya hutan arus aliran yang membawa sedimen dapat dicegah dengan lebatnya akar, daun dan proses metabolismenya. Seperti pernyataan Rahayu, 2009 bahwa kemampuan untuk meredam energi kinetis hujan yang tinggi didapatkan pada vegetasi penutupan lahan yang semakin lebat (terutama hutan).

3.15 Matriks Konfusi

Matriks konfusi digunakan untuk menguji tingkat akurasi metode yang telah digunakan dalam penelitian ini. Tepatnya dalam uji ketelitian ini untuk mengetahui kebenaran hasil interpretasi penutupan

lahan. Pengambilan data lapangan dalam uji matriks konfusi dilakukan dengan pengambilan titik – titik koordinat menggunakan alat *GPS map 60CSX* dengan penggunaan datum WGS 84 dan sistem koordinat UTM zona 49s.

Berdasarkan tabel 6, diketahui tingkat ketelitian antara identifikasi penutupan lahan hasil

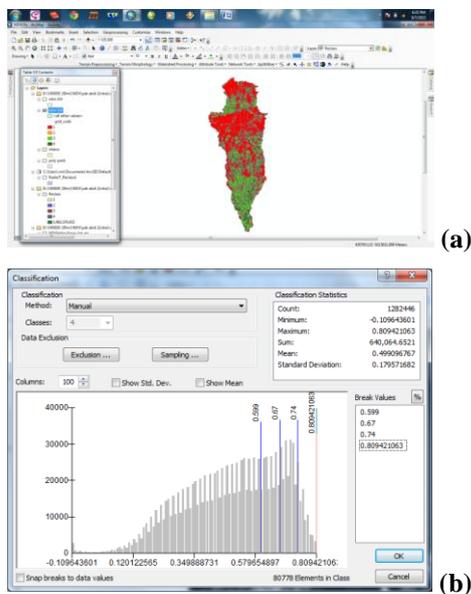
klasifikasi terbimbing dengan data lapangan sebesar 82,6% dengan nilai *kappa coefficient* sebesar 0,798. Hasil tersebut dikatakan lulus uji akurasi karena *overall accuracy* telah melebihi >80%, sesuai dengan ketentuan sistem klasifikasi penutup lahan menurut (Short, 1982 dalam Lonita, 2015).

Tabel 6. Nilai Matriks Konfusi antara Hasil Lapangan dengan Hasil Klasifikasi Terbimbing

Sampel/ Kelas	Kebun	Sawah	Semak	Pemukiman	Tubuh Air	Hutan	Awan	Ladang	Total	Omisi (piksel)	MA (%)
Kebun	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	100,0
Sawah	0	8	0	0	0	0	0	0	8	0	80,0
Semak	0	0	2	0	0	0	1	0	3	1	66,7
Pemukiman	0	0	0	10	0	0	2	0	12	2	76,9
Tubuh Air	0	0	0	0	2	0	1	0	3	1	66,7
Hutan	0	0	0	0	0	10	0	0	10	0	100,0
Awan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,0
Ladang	0	2	0	1	0	0	1	3	7	4	42,9
Total	3	10	2	11	2	10	5	3	46	8	82,6
Komisi (piksel)	0	2	0	1	0	0	5	0	8		

3.16 Analisis Transformasi Indeks Vegetasi

Hasil olah NDVI gabungan dari 2 citra Landsat8 menunjukkan nilai terendah (-0,109644) dan nilai tertinggi sebesar 0,809421. Hasil transformasi NDVI gabungan dan nilai histogram dapat dilihat pada gambar x.



Gambar 13. Transformasi NDVI gabungan dari dua citra Landsat-8

Pada proses ini, kerapatan hutan dibagi menjadi 4 kelas yaitu 3 kelas yang menunjukkan kerapatan vegetasi lebat (lebat, sangat lebat, dan ekstra lebat) dan 1 kelas menunjukkan kerapatan yang tidak lebat. Secara kuantitas, luas hutan berdasarkan kerapatannya dapat dilihat pada tabel 7.

Analisa proses transformasi indeks vegetasi ini menghasilkan perbandingan kerapatan hutan non lebat dengan kerapatan hutan lebat (lebat, sangat lebat, dan ekstra lebat) yaitu 3,85% : 96,15%, dengan deskriptif luasnya meliputi hutan non lebat sebesar 40,093 Ha, lebat sejumlah 159,045 Ha, sangat lebat sebanyak 627,744 Ha dan ekstra lebat sebesar 214,829 Ha. Dengan nilai perbandingan tersebut dinyatakan hutan yang ada di daerah tangkapan hujan Waduk Jatibarang sebagian besar merupakan hutan yang tergolong lebat (dengan nilai spektral $\geq 0,6$) sehingga mempunyai peranan yang baik dalam pengendalian pendangkalan Waduk Jatibarang sehingga mampu mengintersepsi hujan yang jatuh, mentranspirasi air oleh akar, mampu untuk pemadatan tanah kembali dan pembentukan kerak permukaan tanah.

Tabel 7. Kerapatan Hutan pada Daerah Tangkapan Hujan Waduk Jatibarang

	Hutan Non Lebat		Kerapatan Hutan Lebat				
	Luas (Ha)	%	Lebat (Ha)	Sangat Lebat (Ha)	Ekstra Lebat (Ha)	Luas Total Hutan (Ha)	%
Kreo 08	17,585	1,7	75,183	312,249	118,243	505,675	48,5
Kreo 12	-	-	0,09	0,262	-	0,352	0
Kreo 13	3,517	0,3	7,19	50,72	8,675	66,585	6,4
Kreo 15	7,615	0,7	36,042	153,822	30,228	220,091	21,1
Kreo 16	11,376	1,1	40,541	110,692	57,683	208,916	20,1
Total	40,093	3,8	159,045	627,744	214,829	1001,619	96,2

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Jenis pola aliran permukaan yang terbentuk pada daerah tangkapan hujan Waduk Jatibarang dalam penelitian ini yaitu pola aliran radial karena alirannya mengalir ke segala arah dari puncak gunung dan arah alirannya membentuk beragam sudut.
2. Dalam proses pemodelan spasial aliran permukaan, terbentuk sebanyak 16 daerah tangkapan hujan dengan luas total sebesar 5557,77 Hektar. Berdasarkan UU 41 tahun 1999, terdapat 14 DTA berkondisi buruk dan 2 DTA berkondisi baik. Dinyatakan berkondisi buruk karena persentase hutan tidak mencapai 30% pada tiap DTA-DTA tersebut. DTA Kreo11 merupakan DTA yang memberikan kontribusi sedimen paling besar terhadap Waduk Jatibarang karena DTA yang paling rusak dengan persentase luas penutupan lahannya terdiri dari awan 3,023%, Ladang 34,248%, Pemukiman 20,841%, Sawah 14,584% dan Semak 27,304%. Daerah tangkapan hujan Kreo 11 tersebut dinyatakan terburuk karena tidak memiliki area hutan dan area kebun.
3. Kerapatan hutan didasarkan pada empat kelas terdiri dari kelas non lebat, lebat, sangat lebat dan ekstra lebat. Perbandingan kerapatan hutan non lebat dengan kerapatan hutan lebat (lebat, sangat lebat, dan ekstra lebat) yaitu 3,85% : 96,15%, dengan deskriptif luasnya sebagai berikut hutan non lebat sebesar 40,093 Ha, lebat sejumlah 159,045 Ha, sangat lebat sebanyak 627,744 Ha dan ekstra lebat sebesar 214,829 Ha. Berdasarkan luas dari kualitas kerapatan

hutan eksisting tersebut, dinyatakan bahwa di DTA Waduk Jatibarang sebagian besar merupakan hutan yang tergolong lebat (dengan nilai spektral $\geq 0,6$) sehingga mampu mengurangi energi kinetis air sebagai faktor pengendalian pendangkalan Waduk Jatibarang

4.2 Saran

Dari beberapa kesimpulan diatas, maka dapat dikemukakan saran-saran sebagai berikut:

1. Bahan pertimbangan untuk pemerintah dalam mereboisasi hutan baik secara kualitas dan kuantitas hutan itu sendiri khususnya jumlah hutan pada tiap DTA diperbanyak untuk meminimalisir pendangkalan waduk.
2. Dalam penggunaan data DEM pada penelitian selanjutnya diharapkan menggunakan data DEM yang beresolusi spasial yang lebih tinggi agar perbandingan tinggi dengan RBI skala 1:25000 dapat sebanding.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan dalam penggunaan citra satelit dengan resolusi spasial lebih tinggi agar memperoleh ketelitian yang lebih tinggi dalam pembuatan *training area*
4. Disarankan dalam proses indeks vegetasi menggunakan lebih banyak citra saat musim yang berbeda karena dapat meningkatkan ketelitian dalam identifikasi piksel hutan
5. Titik untuk uji ketelitian data citra harus diperbanyak agar dapat mendapatkan ketelitian hasil penelitian yang lebih akurat.

Daftar Pustaka

- Asdak, Chay. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Asih, Tika M., Helmi, Muhammad, & Sasmito, Bandi. 2012. *Pemodelan Spasial Aliran Permukaan Menggunakan Data Satelit Terra ASTER-GDEM di Daerah Tangkapan Hujan Waduk Rawa Pening Provinsi Jawa Tengah*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional. 2010. *Klasifikasi Penutup Lahan*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Hadihardjaja, J. 1997. *Pengembangan Sumber Daya Air*. Jakarta: Universitas Gunadarma.
- Kementerian Kehutanan. 2013. *Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai*. Jakarta: Direktorat Jendral Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial. Nomor : P.3/ V-SET/ 2013.
- Pariadi, Priambodo. 2005. *Panduan Praktis Membaca dan Menggunakan Peta Rupa Bumi Indonesia*. Cibinong: Pusat Pelayanan Jasa dan Informasi BAKOSURTANAL.
- Sahab, Iman. 2003. *Aplikasi Model Data RASTER Untuk Analisis Hidrologi di Taman Nasional Lore Lindu (TNLL), Sulawesi Tengah*. Bogor: Institut Pertanian Bogor Jurusan Geofisika dan Meterologi.
- Antara News. 2013. 282 DAS di Indonesia Kritis. <http://www.antaraneews.com/berita/356260/282-das-di-indonesia-kritis>
- Aprak. 2014. Aliran Permukaan, Evaporasi dan Infiltrasi. <http://aprak-we.blogspot.com/2012/12/aliran-permukaan-evaporasi-dan.html>
- Kadje, Mathurin. 2012. ASTER Global DEM (ASTER GDEM) – Quick Guide for V2. https://www.academia.edu/5261391/ASTER_Global_DEM_ASTER_GDEM_--Quick_Guide_for_V2
- NASA. 2000. *Measuring Vegetation (NDVI & EVI)*. http://earthobservatory.nasa.gov/Features/MeasuringVegetation/measuring_vegetation_2.php
- NASA. 2012. *Advance Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER), Norfolk Island, Australia*. <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>
- U.S. Geological Survey. 2014. *Landsat 8*. <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>
- U.S. Geological Survey. 2014. *Routine ASTER Global Digital Elevation Model*. https://lpdaac.usgs.gov/products/aster_products_table/astgtm