

# TEKNOLOGI REBOISASI TEPAT GUNA SALAH SATU ALTERNATIF KONSERVASI DAERAH ALIRAN SUNGAI WADUK WONOGIRI

Kirno<sup>1)</sup> Sarwono<sup>2)</sup>

<sup>1),2)</sup> Peneliti Madya Bidang Sungai  
Peneliti Balai Sungai, Puslitbang Sumber Daya Air, Balitbang PU  
E-Mail: sarwono\_bs@yahoo.co.id

Diterima: 17 Januari 2011; Disetujui: 27 Mei 2011

## ABSTRAK

Waduk Wonogiri adalah salah satu pengendali banjir di Bengawan Solo berfungsi sebagai pengendali banjir, waduk tersebut memiliki multi guna yaitu untuk air irigasi, pembangkit tenaga listrik, perikanan, pariwisata dll. Mengingat DAS waduk Wonogiri tataguna lahannya sudah banyak berubah, alih fungsi lahan dari hutan menjadi lahan pertanian akibat perkembangan kebutuhan manusia, maka terjadi laju erosi yang tinggi, dan akhirnya mengendap di waduk. Hal ini umur waduk akan menjadi berkurang. Salah satu pemasok sedimen terbesar adalah dari sub DAS Keduang, selain luas DAS nya yang paling besar juga kondisinya sudah kritis. Tindakan konservasi sangat di perlukan dalam pengendalian laju erosi. Upaya reboisasi yang diterapkan harus secara efisien dan tepat guna. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan alternatif teknik reboisasi sehingga bisa menurunkan laju erosi dan aliran permukaan. Untuk mengetahui laju erosi permukaan dianalisis dengan metode USLE dan dikalibrasi dengan pengukuran langsung, sedangkan aliran permukaan dianalisis berdasarkan kondisi aktual dan setelah direboisasi dengan rumusan Rational yang dikalibrasi pengukuran debit aliran secara langsung. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa reobisasi lahan tegal dan hutan dengan tanaman reboisasi terpilih merupakan skenario yang paling efisien dalam penanggulangan erosi.

**Kata kunci:** Reboisasi, aliran permukaan, erosi, sedimentasi, metode USLE, lahan kritis, umur guna.

## ABSTRACT

The Wonogiri Multipurpose Dam one of the flood control structures in the Bengawan Solo, functions also to supply water for irrigation, hydro power generation, fisheries, tourism, etc. Due to land-use change from forest to agriculture land, resulted erosion and sedimentation will reduce the life time of dam. Highest sediment load is supplied by the Keduang watershed, since it has largest critical area. Conservation efforts are needed to control the rate of erosion and reforestation must be applied effectively, efficient and appropriate. The aim of this study is to determine the alternative of reforestation techniques that can reduce the erosion rate and surface runoff. Referring to research results of the Institute of Forestry, Solo (2009), one of the best reforestation methods is by planting teak and mango trees. Surface erosion was analyzed by USLE method and calibrated by direct measurement, while surface runoff was analyzed on actual conditions and after reforestation by Rational formula which is calibrated by measuring the direct runoff. This research shows that reforestation using the right selected plants will be the most effective scenario to solve erosion problems.

**Key words:** Reforestation, surface runoff, erosion, sedimentation, USLE method, critical land, life time.

## PENDAHULUAN

Waduk Wonogiri merupakan salah satu waduk besar yang dibangun oleh Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Bengawan Solo, terletak di desa Wuryorejo Kabupaten Wonogiri ± 3 km sebelah selatan Kota Wonogiri. Waduk tersebut selesai di bangun pada tahun 1982, dengan Daerah Aliran Sungai (DAS) seluas ± 1.350 km<sup>2</sup>.

Waduk Wonogiri mempunyai beberapa sub DAS antara lain: sub DAS Keduang, Tirtomoyo, Wuryantoro, Bengawan Solo Hulu, Alang dan Temon. Pemasok sedimen yang terbesar adalah sub DAS Keduang. Selain karena DAS nya sudah kritis, juga memiliki luas paling besar. Luas sub DAS Keduang 35.993 ha, dengan jenis penggunaan lahan terdiri dari sawah 9.915,6 ha (27,5%); tegalan 7.799,6 ha (21,7 %); hutan 5.209 ha (14,5%); pemukiman 13.068 ha (36,3%). Bentuk

sub DAS Keduang adalah agak bulat berbentuk sisir dengan kerapatan drainase sangat rapat, curah hujan rata-rata tahunan 800 mm – 2900 mm, suhu rata-rata 26° C, tingkat kelembaban udara berkisar 70 – 90 % , laju penguapan rata-rata adalah 5,3 mm/ hari. Menurut laporan yang telah dilakukan penelitian terdahulu laju sedimen per tahun untuk DAS Keduang diperkirakan 4.370.976 m<sup>3</sup>/tahun (JICA, 2007).

Fungsi dan manfaat waduk Wonogiri antara lain:

- 1 Pengendali banjir, dapat mengendalikan banjir dari 4.000 m<sup>3</sup>/det menjadi 400 m<sup>3</sup>/det khususnya untuk mengamankan Kota Surakarta dan sekitarnya.
- 2 Mengairi daerah irigasi seluas ± 30.000 ha dengan pola tanam padi – padi – polowijo di wilayah Kabupaten Wonogiri, Sukoharjo, Karanganyar, Klaten dan Sragen.
- 3 Suplai air baku untuk air minum ( PDAM ) dan air industri
- 4 Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) sebesar 12,40 MW dengan produksi listrik ± 32.600 MWh/Tahun.
- 5 Perikanan darat, pariwisata dan lain-lain.
- 6 Pemeliharaan/pengeyelontoran Sungai Bengawan Solo pada musim kemarau.

Permasalahan utama pada waduk Wonogiri adalah bertambahnya lahan kritis, terjadinya peningkatan erosi dan sedimentasi di DAS waduk Wonogiri sehingga mengakibatkan pendangkalan waduk. Makalah ini akan membahas mengenai teknologi reboisasi tepat guna sebagai salah satu alternatif konservasi sub DAS Keduang dengan harapan mampu memberi kontribusi mengurangi pendangkalan waduk Wonogiri, dan untuk memberikan masukan/sumbang saran kepada instansi terkait serta pemangku kepentingan (*stakeholders*).

## TINJAUAN PUSTAKA

Balai Sungai pada tahun 2009 telah mengkaji ulang laju erosi permukaan di sub DAS Keduang berdasarkan kondisi tataguna lahan aktual, dengan metode *USLE* diperoleh sebesar 357.658 m<sup>3</sup>/tahun. Analisis laju erosi dengan metode *USLE*, perlu dikalibrasi yaitu dengan memasang alat penakar curah hujan otomatis (*ARR*) dan alat pencatat muka air otomatis (*AWLR*) di anak Sungai Keduang tepatnya di kali Bodiran. Pemasangan alat ini digunakan untuk mengukur/ mengetahui laju erosi permukaan. Parameter yang dicatat adalah tinggi curah hujan, debit permukaan yang terkumpul di sungai dan kandungan suspensi, sehingga akan diketahui penyimpangan laju erosi pengukuran langsung dengan perumusan.

Untuk tahun 2010 dilaksanakan teknologi reboisasi optimum yang didasarkan hasil Demplot penelitian jenis tanaman terpilih oleh Badan Penelitian Pengembangan Kehutanan Balai Penelitian Kehutanan Solo tahun 2009 di sub DAS Keduang. Dari penelitian jenis tanaman reboisasi ini dapat aplikasikan dengan mensimulasikan jenis tataguna lahan yang perlu di reboisasi. Sehingga akan diketahui penurunan laju erosi dan aliran permukaan dengan pembandingan kondisi actual.

## METODOLOGI

Untuk mengetahui penurunan laju erosi khususnya pada aliran permukaan dan mendapatkan teknologi reboisasi yang tepat, maka metodologi penelitian yang dilakukan mencakup ruang lingkup kegiatan seluruh area DAS waduk Wonogiri, kegiatannya meliputi: 1) Studi pustaka; 2) Penyusunan program kerja; 3) Pengumpulan data sekunder; 4) Pengumpulan data primer yang meliputi: pengambilan contoh jenis tanah untuk diketahui nilai erodibilitas tanah (K), pengukuran debit aliran di sungai Bodiran, pengukuran kandungan suspensi untuk setiap pengukuran debit aliran, survai lapangan untuk indentifikasi tataguna lahan; 5) Analisis laju erosi dan debit aliran permukaan dengan memilih tataguna lahan dan jenis tanaman yang terpilih; 6) Penyusunan laporan.

Maksud dari penelitian ini untuk menurunkan laju erosi dan aliran permukaan di DAS Wonogiri dan tujuan untuk mendapatkan teknologi reboisasi yang cocok di DAS Waduk Wonogiri sehingga dapat mengendalikan banjir dan mengurangi suplai sedimen yang masuk ke Waduk Wonogiri.

## HASIL DAN BAHASAN

### 1 Kalibrasi Rumus *USLE*.

Untuk mendapatkan teknologi reboisasi yang optimal perlu diketahui laju erosi kondisi aktual (kondisi saat ini) dan laju erosi setelah dilakukan reboisasi dengan berbagai skenario tataguna lahan. Untuk memprediksi laju erosi pada penelitian ini digunakan metode *USLE*. Mengingat banyak pendekatan yang digunakan dalam metode ini, maka Balai Sungai melakukan pengukuran laju erosi secara langsung, dengan mengambil lokasi di sub sub DAS Keduang, tepatnya di sub DAS Bodiran. Tujuan dari pengukuran laju erosi secara langsung ini adalah untuk mengetahui keakuratan atau perbedaan prediksi laju erosi dengan metode *USLE*. Berikut adalah prediksi laju erosi permukaan kondisi aktual, dilakukan dengan:

- 1) Pengukuran langsung

Dalam penelitian ini dilakukan pengukuran debit air dan suspensi yang terbawa oleh aliran sungai secara langsung. Pengukuran langsung dilakukan di sub DAS Bodiran. Pada daerah ini dipasang alat ukur *AWLR* dan *ARR* yang berfungsi mencatat tinggi muka air dan curah hujan, sehingga dapat diketahui besarnya curah hujan dan tinggi muka air/debit aliran permukaan yang terjadi.

Kali Bodiran merupakan salah satu sub DAS dari sub DAS Keduang dengan luas 2.379 Ha dan panjang sungai sekitar 16,40 km. Sub DAS Bodiran mencakup sebagian tiga Kecamatan yaitu Kecamatan Jatiroto, Kecamatan Jatisrono, dan Kecamatan Jatipurno.

Hasil pengukuran debit air, kandungan sedimen dan pencatatan tinggi curah hujan di kali Bodiran dapat ditampilkan dalam bentuk grafik (Gambar 1, 2, 3 dan 4).

Gambar 1. adalah lengkung debit air di kali Bodiran, dari hasil pengukuran, curah hujan yang berbeda mengakibatkan tinggi muka air di sungai berbeda dan debit aliran yang berbeda, dari data pengukuran debit air ini disusun supaya untuk mempermudah analisis laju sedimen selama satu tahun.

Gambar 2. Grafik curah hujan dengan debit aliran, setiap terjadi hujan jatuh sebagian akan meresap ke dalam tanah dan sebagian akan mengalir ke sungai. Untuk mengetahui besarnya debit aliran akibat hujan jatuh yang berbeda, maka dilakukan pengukuran debit aliran dan pencatatan tinggi curah hujan dengan waktu yang sama, sehingga setiap hujan yang jatuh dengan tinggi yang berbeda akan diketahui besarnya debit aliran airnya.

Gambar 3. Grafik kandungan sedimen, untuk setiap pengukuran debit aliran air diukur kandungan sedimennya, sehingga akan mempermudah analisis laju sedimen apabila terjadi tinggi curah hujan yang berbeda.

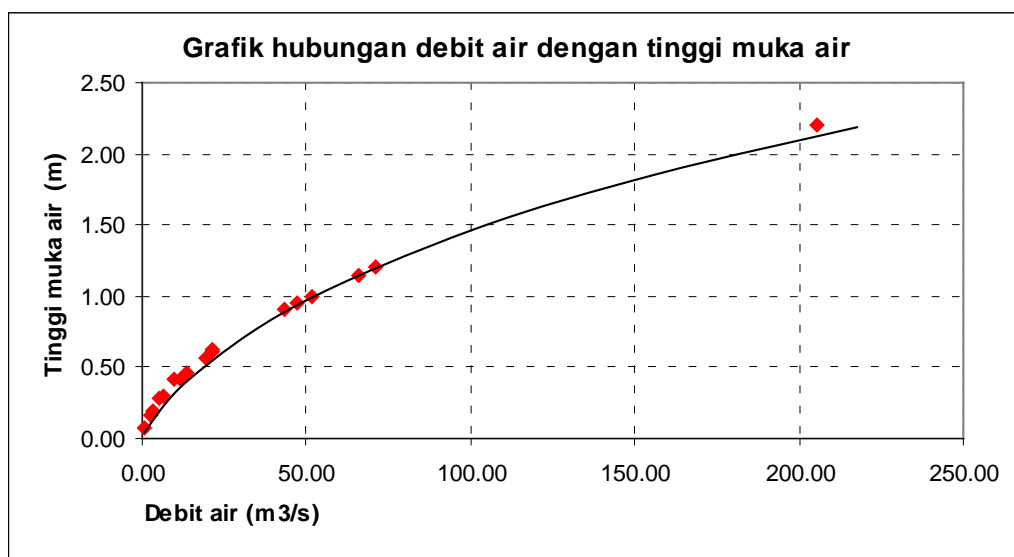
Gambar 4. adalah Grafik kandungan debit air dengan sedimen. Semakin curah hujan tinggi, debit aliran semakin besar dan kandungan sedimen

Berdasarkan data tinggi curah hujan tahun 2009, debit air dan laju erosi tiap bulan dapat dianalisis dengan mengacu grafik tersebut, hasilnya seperti Tabel 1.

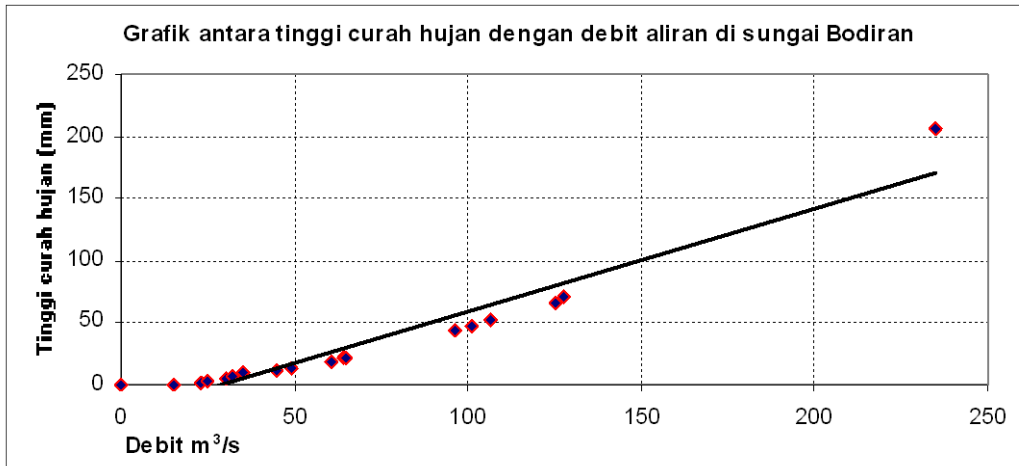
## 2 Metode USLE

Untuk menguji hasil analisis metode USLE, dilakukan kalibrasi menggunakan data sub DAS Bodiran (Gambar 5). Dengan demikian dapat diketahui perbedaan laju erosi pengukuran langsung dan hasil analisis USLE Berdasarkan perhitungan laju erosi dengan metode *USLE* di sub DAS Bodiran terjadi erosi sebesar 27.416,73 m<sup>3</sup>/tahun. Sumbangan erosi terbesar berasal dari penutup lahan tegal, yang kebanyakan berada di bagian hulu dengan kemiringan antara 8–15% (sedang).

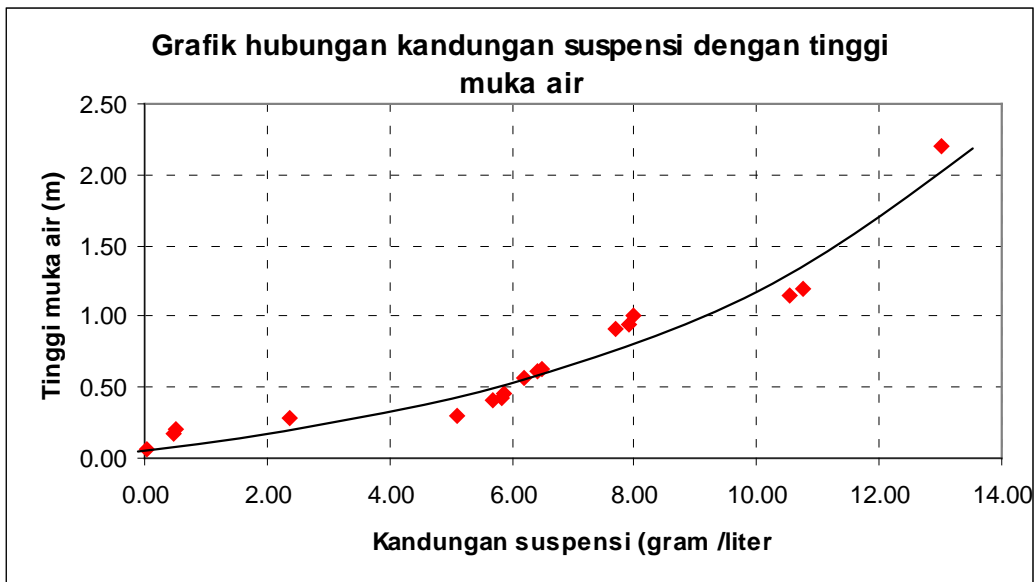
Berdasarkan analisis erosi terbesar, dari lahan tegal. karena lahan tegal berada pada kemiringan sedang hingga curam. Umumnya para petani memanfaatkan lahan tersebut untuk menanam singkong. Padahal tanaman singkong merupakan tanaman yang cara pemanenannya di cabut sehingga akan menghancurkan struktur tanah, berpotensi terhadap sumbangan erosi cukup besar.



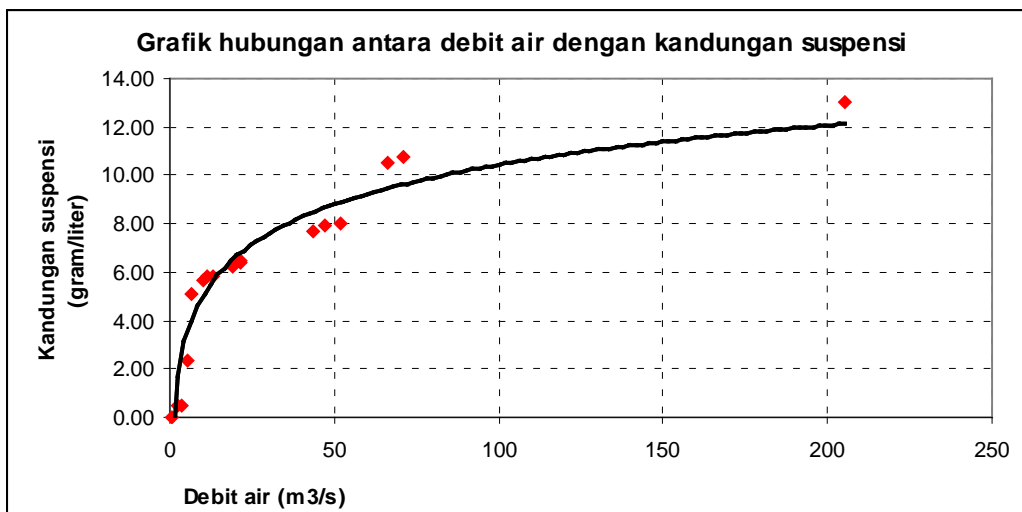
Gambar 1 Lengkung debit di kali Bodiran



Gambar 2 Grafik tinggi curah hujan dengan debit aliran permukaan di DAS Bodiran



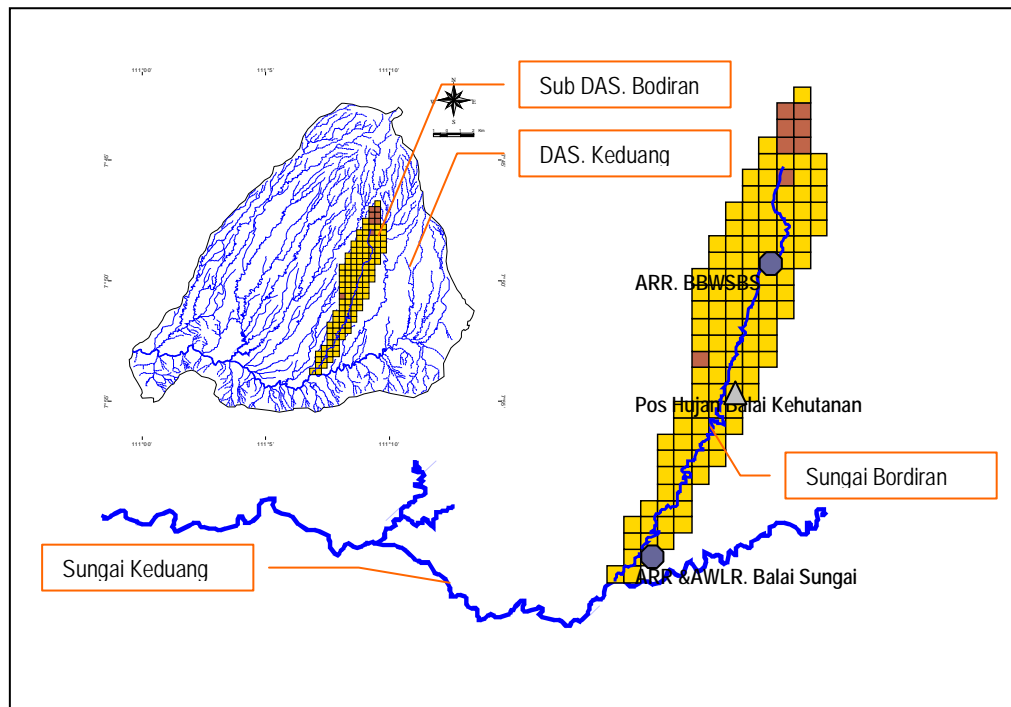
Gambar 3 Kandungan Sedimen berdasarkan tinggi muka air



Gambar 4 Kandungan Sedimen berdasarkan debit aliran

**Tabel 2** Laju Erosi di Sub DAS. Bodiran (metode *USLE*)

Penggunaan Lahan	Luas (Ha)	Jumlah grid	Erosi ( <i>USLE</i> ), m <sup>3</sup> /tahun
Pemukiman	1.131	62	0,00
Sawah	1.131	62	5.764,87
Tegal	117	8	21.651,86
<b>Jumlah</b>	<b>2.379</b>	<b>132</b>	<b>27.416,73</b>



**Gambar 5** Peta lokasi Sub DAS Keduang

**Tabel 3** Perbandingan analisis laju erosi metode *USLE* dengan Pengukuran Langsung

Bulan	Laju Erosi (m <sup>3</sup> /tahun)	
	Metode <i>USLE</i>	Langsung
Januari		7.466,76
Februari		4.748,40
Maret		1.700,28
April		2.919,60
Mei		2.724,84
Juni		39,60
Juli		150,84
Agustus		0,00
September		0,00
Oktober		728,64
Nopember		3.460,32
Desember		2.820,60
<b>Jumlah (m<sup>3</sup>/tahun)</b>	<b>27416,73</b>	<b>26759,88</b>

Berdasarkan Tabel 3 diatas dapat diketahui bahwa jumlah suspensi pada pengukuran langsung sebesar 26.759,88 m<sup>3</sup>/tahun. Sumbangan jumlah suspensi tertinggi dicapai pada bulan Januari. Hal ini dikarenakan pada bulan tersebut intensitas hujan yang terjadi tinggi sehingga energi kinetik yang dihasilkan oleh air hujan menjadi besar sehingga banyak partikel tanah yang terbawa oleh aliran permukaan (*run off*). Dari hasil pengukuran laju erosi secara langsung dan dengan metode *USLE* terjadi penyimpangan 2,50 %. Karena penyimpangan tidak terlalu jauh maka metode *USLE* dapat digunakan untuk memprediksi laju erosi di DAS Wonogiri.

### 3 Prediksi Laju Erosi DAS Waduk Wonogiri

Untuk memprediksi laju erosi DAS Waduk Wonogiri dilakukan skenario reboisasi terhadap tataguna lahan di DAS Waduk Wonogiri.

Dalam hal ini penggunaan lahan yang diubah adalah hutan, kebun dan tegal sedangkan semak

tidak mengalami perubahan karena solum tanah yang terlalu dangkal sehingga hanya tanaman pioner yang mampu tumbuh. Dalam variasi ini penggunaan lahan tersebut diubah dengan hasil model Demplot pengukuran variasi tanaman yang didasarkan dari penelitian Balai Penelitian Kehutanan Surakarta di sub DAS Keduang pada tahun 2009, dimana didapat variasi yang menghasilkan erosi terkecil yaitu variasi tanaman jati, mangga, pete dengan teras gulud dan penguat teras lamtoro. Dari hasil tersebut maka digunakan sebagai Teknologi Reboisasi Terpilih yang akan dikembangkan untuk memprediksi laju erosi di DAS Waduk Wonogiri. Mengingat DAS Waduk Wonogiri terdiri dari enam (6) sub DAS antara lain : Keduang, Tirtomoyo, Wuryantoro, Alang, Bengawan Solo Hulu dan Temon. Maka untuk mengetahui laju erosi yang masuk ke Waduk Wonogiri, harus di analisis semua sub DAS. Hasil analisis laju erosi untuk masing-masing sub DAS seperti Tabel 4 sampai Tabel 8 berikut:

**Tabel 4** Laju erosi sub DAS Keduang

Skenario	Penggunaan Lahan (ha)					Total (m <sup>3</sup> /tahun)
	Sawah	Semak	Hutan	Tegal	Kebun	
1	51.838,06	61.482,14	30.326,67	33.825.48,07	5.031.5,9	3.576.510,84
2	51.838,06	61.482,14	<b>5.237,84</b>	33.825.48,07	5.031.5,9	3.551.422,02
3	51.838,06	61.482,14	30.326,67	33.825.48,07	<b>302,99</b>	3.526.497,93
4	51.838,06	61.482,14	30.326,67	<b>8.924,06</b>	5.031.5,9	202.886,83
5	51.838,06	61.482,14	<b>5.237,84</b>	33.825.48,07	<b>302,99</b>	3.501.409,1
6	51.838,06	61.482,14	<b>5.237,84</b>	<b>8.924,06</b>	5.031.5,9	177.798,00
7	51.838,06	61.482,14	30.326,67	8.924,06	302,99	152.873,91

Penjelasan:

- Angka cetak tebal pada tabel ini adalah analisis laju erosi berdasarkan skenario tataguna lahan dengan reboisasi tanaman terpilih.
- Sawah dan pemukiman / semak, tidak dilakukan reboisasi, yang dapat dilakukan reboisasi adalah lahan tegal, hutan dan kebun.
- Dari beberapa skenario, analisis laju erosi yang paling kecil adalah skenario 7, yaitu lahan tegal dan hutan yang direboisasi.

**Tabel 5** Laju erosi sub DAS Tirtomoyo

Skenario	Penggunaan Lahan (ha)					Total (m <sup>3</sup> /tahun)
	Sawah	Semak	Hutan	Tegal	Kebun	
1	853,33	5.176,63	329,24	2.602.993,71	435.304,07	3.044.656,98
2	853,33	5.176,63	<b>96,03</b>	2.602.993,71	435.304,07	3.044.423,77
3	853,33	5.176,63	329,24	2.602.993,71	<b>1.856,42</b>	2.611.209,33
4	853,33	5.176,63	329,24	<b>6.082,64</b>	435.304,07	447.745,90
5	853,33	5.176,63	<b>96,03</b>	2.602.993,71	<b>1.856,42</b>	2.610.976,12
6	853,33	5.176,63	<b>96,03</b>	<b>6.082,64</b>	435.304,07	447.512,69
7	853,33	5.176,63	329,24	<b>6.082,64</b>	<b>1.856,42</b>	14.298,26

**Tabel 6** Laju erosi sub DAS Wuryantoro

Skenario	Penggunaan Lahan (ha)					Total (m <sup>3</sup> /tahun)
	Sawah	Semak	Hutan	Tegal	Kebun	
1	3.165,51	12.887,39	1.653,93	2.206.406,89	767.189,66	2.991.303,38
2	3.165,51	12.887,39	<b>483,69</b>	2.206.406,89	767.189,66	2.990.133,14
3	3.165,51	12.887,39	1.653,93	2.206.406,89	<b>2.916,79</b>	2.227.030,51
4	3.165,51	12.887,39	1.653,93	<b>4.688,88</b>	767.189,66	789.585,37
5	3.165,51	12.887,39	<b>483,69</b>	2.206.406,89	<b>2.916,79</b>	2.225.860,27
6	3.165,51	12.887,39	<b>483,69</b>	<b>4.688,88</b>	767.189,66	788.415,13
7	3.165,51	12.887,39	1.653,93	<b>4.688,88</b>	<b>2.916,79</b>	25.312,50

**Tabel 7** Laju erosi sub DAS Alang

Skenario	Penggunaan Lahan (ha)					Total (m <sup>3</sup> /tahun)
	Sawah	Semak	Hutan	Tegal	Kebun	
1	1.619,64	2.567,54	341,03	711.891,38	267.421,31	983.840,91
2	1.619,64	2.567,54	<b>118,23</b>	711.891,38	267.421,31	983.618,10
3	1.619,64	2.567,54	341,03	711.891,38	<b>1.072,36</b>	717.491,95
4	1.619,64	2.567,54	341,03	<b>1.663,88</b>	267.421,31	273.613,41
5	1.619,64	2.567,54	<b>118,23</b>	711.891,38	<b>1.072,36</b>	717.269,15
6	1.619,64	2.567,54	<b>118,23</b>	<b>1.663,88</b>	267.421,31	273.390,60
7	1.619,64	2.567,54	341,03	<b>1.663,88</b>	1.072,36	7.264,46

**Tabel 8** Laju erosi sub DAS Bengawan Solo Hulu

Skenario	Penggunaan Lahan (ha)					Total (m <sup>3</sup> /tahun)
	Sawah	Semak	Hutan	Tegal	Kebun	
1	2.144,39	19.255,80	67,17	667.959,12	463.051,12	1.152.477,58
2	2.144,39	19.255,80	<b>23,29</b>	667.959,12	463.051,12	1.152.433,70
3	2.144,39	19.255,80	67,17	667.959,12	<b>1.758,31</b>	691.184,77
4	2.144,39	19.255,80	67,17	<b>1.552,73</b>	463.051,12	486.071,20
5	2.144,39	19.255,80	<b>23,29</b>	667.959,12	<b>1.758,31</b>	691.140,89
6	2.144,39	19.255,80	<b>23,29</b>	<b>1.552,73</b>	463.051,12	486.027,32
7	2.144,39	19.255,80	67,17	<b>1.552,73</b>	<b>1.758,31</b>	24.778,39

**Tabel 9** Laju erosi sub DAS Temon

Skenario	Penggunaan Lahan (ha)					Total (m <sup>3</sup> /tahun)
	Sawah	Semak	Hutan	Tegal	Kebun	
1	235,53	1.146,24	0,00	37.445,24	62.763,04	101.590,04
2	235,53	1.146,24	0,00	37.445,24	62.763,04	101.590,04
3	235,53	1.146,24	0,00	37.445,24	<b>281,94</b>	39.108,94
4	235,53	1.146,24	0,00	<b>103,55</b>	62.763,04	64.248,35
5	235,53	1.146,24	0,00	37.445,24	<b>281,94</b>	39.108,94
6	235,53	1.146,24	0,00	<b>103,55</b>	62.763,04	64.248,35
7	235,53	1.146,24	0,00	<b>103,55</b>	<b>281,94</b>	1.767,26

Skenario

- 1 = Tata guna lahan kondisi asli (aktual)
- 2 = Tata Guna lahan Hutan di ganti dengan reboisasi terpilih
- 3 = Tata Guna lahan Kebun di ganti dengan reboisasi terpilih
- 4 = Tata Guna lahan Tegall di ganti dengan reboisasi terpilih
- 5 = Tata Guna lahan Hutan dan kebun di ganti dengan reboisasi terpilih
- 6 = Tata Guna lahan Hutan dan tegall di ganti dengan reboisasi terpilih
- 7 = Tata Guna lahan kebun dan tegall di ganti dengan reboisasi terpilih

Berdasarkan tabel di atas erosi yang terjadi di sub DAS Keduang sebagian besar adalah termasuk klasifikasi erosi sangat kecil, akan tetapi erosi yang sangat berat terjadi di bagian hulu dari anak sungai Keduang dan juga terjadi tidak jauh dari sungai Keduang/ sungai utama. Kondisi tersebut disebabkan oleh karena daerah tersebut didominasi oleh lereng dengan kemiringan sedang hingga sangat curam, selain itu penggunaan lahan yang diusahakan berupa tegall dengan budidaya tanaman umumnya berupa kacang tanah dan ketela pohon. Pola tanam tersebut sangat tidak sesuai pada daerah miring karena cara panennya dengan cara dicabut, menyebabkan struktur tanah rusak sehingga mudah terkikis oleh air hujan.

Erosi sangat berat yang terjadi disekitar sungai Keduang berpotensi menyumbangkan angkutan tanah ke sungai Keduang sangat besar akibatnya akan menimbulkan sedimentasi di Waduk Wonogiri yang besar pula. Hal ini terjadi karena jarak sungai Keduang dengan Waduk Wonogiri yang tidak begitu jauh sehingga suspensi tanah hasil erosi belum banyak yang mengendap di tepi sungai.

Skenario perpaduan antara lahan hutan dan tegall ini adalah yang efisien. Hal ini disebabkan oleh fungsi hutan didaerah hulu yang berfungsi sebagai pengendali sumber air bagi sub DAS Keduang serta daerah tegall yang kebanyakan berada dilahan miring dan berada di daearah dekat sungai utama. Lahan tegall tersebut sangat butuh perhatian yang serius karena selain berada di sekitar sungai utama juga pola budidaya petani yang kurang tepat.

Skenario perpaduan lahan tegall dan hutan sesuai untuk konservasi sub DAS Keduang karena mampu menekan erosi baik di daerah hulu maupun hilir. Perbaikan di kedua lahan tersebut akan mampu melindungi kelestarian sub DAS Keduang sehingga penurunan laju sedimen di daerah waduk dapat di tekan dan efektifitas Waduk Wonogiri dapat terjaga.

Gambar 6 memperlihatkan bahwa perubahan pengelolaan lahan tegall dan hutan dapat menekan erosi yang sangat berat menjadi sedang hingga sangat kecil.

#### 4 Penurunan Aliran Air Permukaan

Aliran air permukaan merupakan salah satu penyebab terjadinya erosi. Aliran air permukaan dapat mengikis tanah. Semakin besar aliran permukaan maka potensi hilangnya tanah semakin besar. Perhitungan debit aliran permukaan di DAS. Keduang didasarkan pada data pengukuran debit langsung di sub DAS. Bodiran. Pada Sub DAS. tersebut terdapat ARR dan AWLR serta telah dilakukan pengukuran debit secara langsung, didapat nilai koefisien aliran permukaan 0,70. Secara aktual daerah aliran sungai Keduang bila dihitung dengan rumus Rational.

$$(Q = 1/3,6. C.Rt. A)$$

keterangan :

**Q**, debit aliran permukaan ( $m^3/s$ )

**C**, koefisien pengaliran = 0,70

**Rt**, rata-rata intensitas hujan (mm/ jam)

**A**, luas daerah aliran ( $km^2$ )

Analisis debit aliran permukaan menurut rumus Rational sebesar  $1.050,63 m^3/s$ . Besarnya debit tersebut menyumbangkan erosi sebesar  $3.576.458,25 m^3/tahun$ . Besarnya erosi yang dihasilkan kondisi aktual ini menarik perhatian untuk dilakukan tindakan konservasi yaitu dengan tanaman reboisasi berdasarkan penelitian Balai Penelitian Kehutanan Surakarta. Berdasarkan Pada penelitian di Balai Penelitian Kehutanan Surakarta (BPK) dapat diketahui bahwa aliran permukaan di sub DAS Keduang dengan tanaman reboisasi dapat menurunkan debit aliran permukaan. Pengukuran aliran permukaan didasarkan pada lahan hutan dan tegall, hal ini dimaksudkan sebagai tindakan konservasi di daerah hulu dan hilir sehingga degradasi DAS dapat diperbaiki.

Pada skenario tersebut aliran permukaan atau debit yang dihasilkan adalah  $875,28 m^3/s$  atau mengalami penurunan aliran permukaan sebesar 16,6%. Dengan adanya penurunan debit aliran permukaan maka banyak air tertahan dan terinfiltrasi kedalam tanah, sehingga dapat menurunkan laju erosi. Berikut disajikan Laju Erosi dan Aliran Permukaan Seluruh DAS Wonogiri.

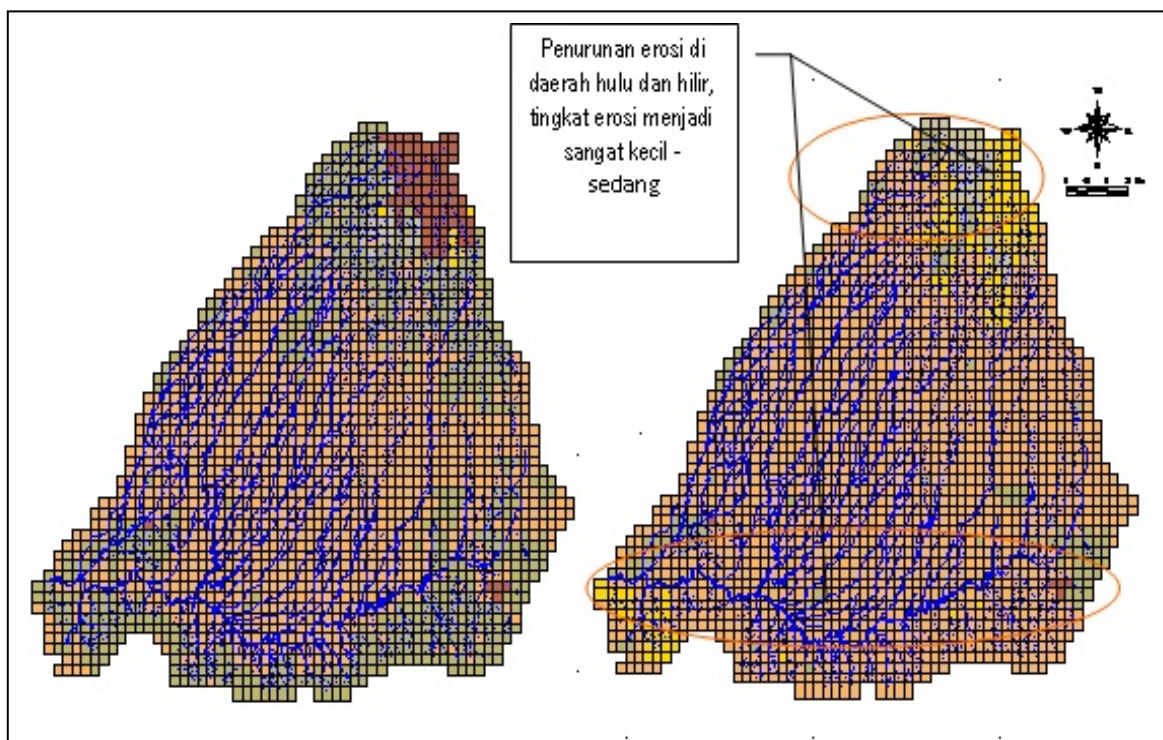
Dari tabel 10 dapat diketahui bahwa dengan adanya skenario perubahan lahan tegall dan hutan di ubah sesuai reboisasi terpilih maka jumlah aliran permukaan yang terjadi di seluruh DAS Wonogiri adalah  $1.989,2 m^3/s$  dan laju erosi sebesar  $2.237.392,09 m^3/tahun$ .



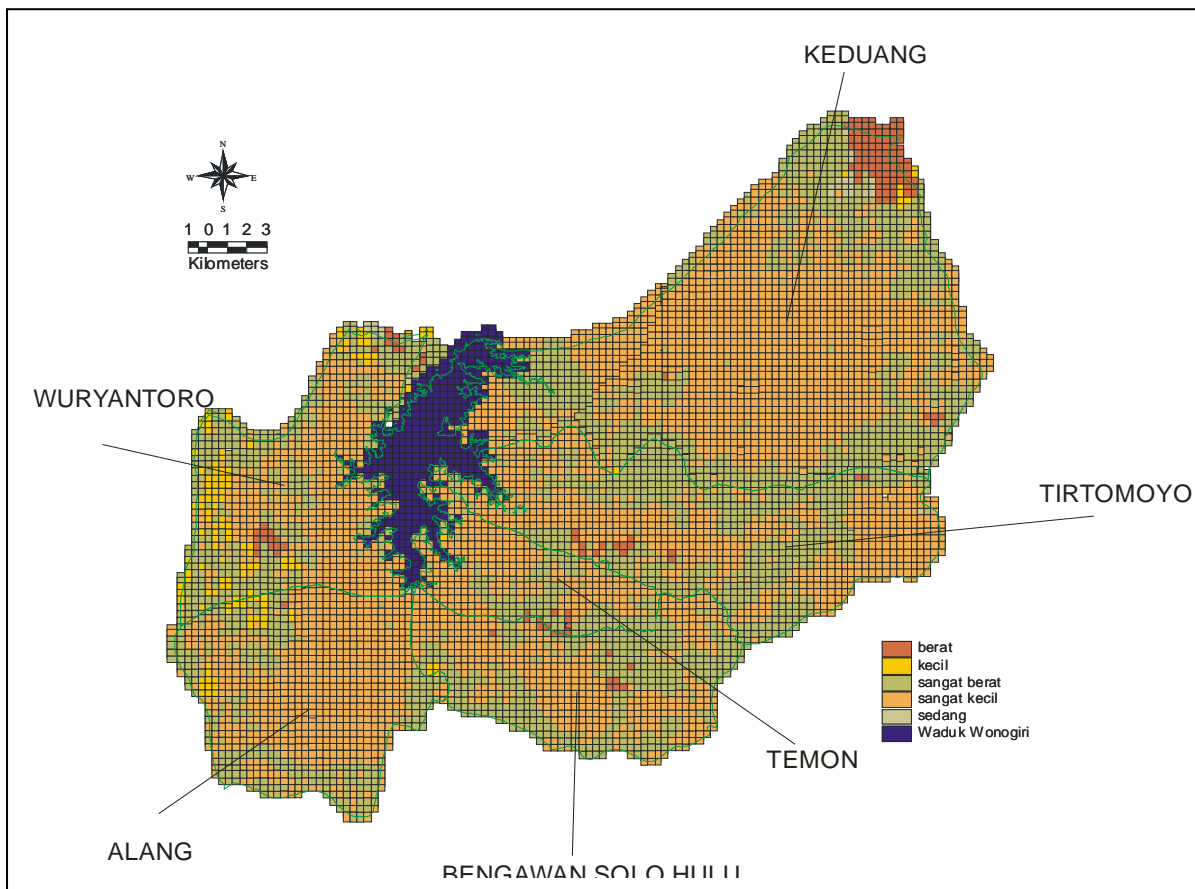
Penurunan aliran permukaan dan laju erosi dan konservasi Waduk Wonogiri, sehingga merupakan indikasi keberhasilan konservasi DAS sediment dalam Waduk Wonogiri dapat di kurangi.

**Tabel 10** Laju Erosi dan Aliran Permukaan Seluruh DAS Wonogiri

No	DAS	Laju Erosi (m <sup>3</sup> /tahun)		Aliran Permukaan* (m <sup>3</sup> /s)	
		Actual	Reboisasi*	Actual	Reboisasi*
1	Keduang	3.576.510,84	177.798,00	1.050,00	875,28
2	Tirtomoyo	3.044.656,98	447.512,69	346,00	288,72
3	Wuryantoro	2.991.303,38	788.415,13	364,00	361,07
4	B. Solo hulu	1.152.477,58	486.027,32	156,00	141,82
5	Alang	983.840,91	273.390,60	305,00	258,04
6	Temon	101.590,04	64.248,35	74,00	64,27
Jumlah		11.850.379,73	2.237.392,09	2.295,00	1.989,20



**Gambar 6** Laju erosi secara potensial dengan faktor Hutan dan tegal di ubah menjadi tanaman jati, mangga, pete dengan teras gulud dan penguat teras lamtoro



**Gambar 7** Peta Erosi di DAS Wonogiri

Dari hasil penelitian ini dipilih reboisasi yang paling optimum yaitu: B4 (tanaman jati, mangga, pete dengan teras gulud dan penguat teras lamtoro).

Efektivitas volume waduk merupakan kapasitas waduk menampung air. Dalam perhitungan efektivitas volume waduk didasarkan pada tumpukan mati (*dead storage sediment*) yang berada di dalam waduk. Semakin banyak sedimen yang berada di dalam waduk maka efektivitas volume waduk semakin berkurang. Endapan sedimen tersebut sangat tergantung pada besarnya *inflow* dan *outflow*. *Inflow* merupakan banyaknya sedimen yang masuk ke dalam waduk yang berasal dari erosi. Sedangkan *outflow* merupakan banyaknya sedimen yang keluar ke aliran arus sungai.

Analisis efektivitas volume Waduk Wonogiri dilakukan dengan mengacu data teknik awal bahwa efektivitas volume Waduk Wonogiri awal adalah 440.000.000 m<sup>3</sup>. Anggaran yang digunakan erosi tahun 2005 – 2010 diambil sama dengan laju erosi rata-rata antara tahun 1993- 2004 sebesar 2.675.000 m<sup>3</sup> / tahun, dan pelepasan sedimen = 41.400 m<sup>3</sup>/tahun. Setelah direboisasi menurut Tabel 10, laju erosi dianggap konstan tiap tahun,

mulai 2010 sampai berikutnya yaitu 2.237.392 m<sup>3</sup>/tahun dan pelepasan sedimen yang melalui Spillway dan intake (tabel 11) sama dengan 414.000 m<sup>3</sup>, sehingga secara rinci volume efektif tiap tahun dapat dilihat pada tabel 12.

Berdasarkan pengukuran laju erosi permukaan dapat diketahui bahwa banyaknya masukan sediment setelah adanya reboisasi terpilih sebesar 2.237.392 m<sup>3</sup>/tahun sehingga diketahui efektivitas volume Waduk wonogiri pada tahun 2015 sebesar 387.332.040 m<sup>3</sup>. atau 88,03 % dari volume awal. Berdasarkan data diatas perlu sekali adanya perbaikan tataguna lahan di DAS Wonogiri sehingga fungsi dari Waduk Wonogiri dapat diperpanjang umurnya.

**Tabel 11** Aliran Sedimen, Sedimentasi di Waduk dan Pelepasan Sedimen selama Tahun 1993 – 2005

Tahun	Aliran Masuk Sedimen (m <sup>3</sup> )		Sedimentasi Di Waduk (m <sup>3</sup> )	Pelepasan Sedimen dengan (m <sup>3</sup> )		
	Total	Hanya dari Keduang		Spillway	Power Plan Intake	Total
1993-1994	4.063.000	1.665.000	3.353.000	223.000	463.000	686.000
1994-1995	3.825.000	1.435.000	3.186.000	192.000	376.000	568.000
1995-1996	3.651.000	1.362.000	3.064.000	155.000	412.000	567.000
1996-1997	1.698.000	579.000	1.520.000	0	156.000	156.000
1997-1998	2.907.000	1.016.000	2.704.000	94.000	100.000	194.000
1998-1999	4.355.000	1.721.000	3.561.000	338.000	365.000	703.000
1999-2000	4.124.000	1.774.000	3.393.000	351.000	327.000	678.000
2000-2001	2.643.000	902.000	2.315.000	70.000	214.000	284.000
2001-2002	3.450.000	1.566.000	2.749.000	317.000	317.000	634.000
2002-2003	2.607.000	769.000	2.324.000	120.000	154.000	274.000
2003-2004	1.765.000	504.000	1.672.000	0	73.000	73.000
2004-2005	2.392.000	811.000	2.250.000	0	140.000	140.000
Total (1993-2005)	37.480.000	14.104.000	32.091.000	1.860.000	3.097.000	4.957.000
Rata-rata Tahunan		1.176.000	2.675.000	155.000	259.000	414.000

Catatan: volume pengendapan dasar, termasuk void

Sumber: Tim Studi JICA

**Tabel 12** Analisis Efektivitas Volume Waduk Wonogiri

Tahun	Laju Sedimen /tahun (m <sup>3</sup> )	Pelepasan Sedimen (m <sup>3</sup> )	Endapan / tahun (m <sup>3</sup> )	Kumulatif endapan (m <sup>3</sup> )	Volume Efektif (m <sup>3</sup> )	Volume Efektif(%)
1993	4.063.000	686.000	3.377.000	3.377.000	436.623.000	99,23
1994	3.825.000	568.000	3.257.000	6.634.000	433.366.000	98,49
1995	3.651.000	567.000	3.084.000	9.718.000	430.282.000	97,79
1996	1.698.000	156.000	1.542.000	11.260.000	428.740.000	97,44
1997	2.907.000	194.000	2.713.000	13.973.000	426.027.000	96,82
1998	4.355.000	703.000	3.652.000	17.625.000	422.375.000	95,99
1999	4.124.000	678.000	3.446.000	21.071.000	418.929.000	95,21
2000	2.643.000	284.000	2.359.000	23.430.000	416.570.000	94,68
2001	3.450.000	634.000	2.816.000	26.246.000	413.754.000	94,04
2002	2.607.000	274.000	2.333.000	28.579.000	411.421.000	93,50
2003	1.765.000	73.000	1.692.000	30.271.000	409.729.000	93,12
2004	2.392.000	140.000	2.252.000	32.523.000	407.477.000	92,61
2005	2.252.000	414.000	1.838.000	34.361.000	405.639.000	92,19
2006	2.252.000	414.000	1.838.000	36.199.000	403.801.000	91,77
2007	2.252.000	414.000	1.838.000	38.037.000	401.963.000	91,36
2008	2.252.000	414.000	1.838.000	39.875.000	400.125.000	90,94
2009	2.252.000	414.000	1.838.000	41.713.000	398.287.000	90,52
2010	2.252.000	414.000	1.838.000	43.551.000	396.449.000	90,10
2011	2.237.392	414.000	1.823.392	45.374.392	394.625.608	89,69
2012	2.237.392	414.000	1.823.392	47.197.784	392.802.216	89,27
2013	2.237.392	414.000	1.823.392	49.021.176	390.978.824	88,86
2014	2.237.392	414.000	1.823.392	50.844.568	389.155.432	88,44
2015	2.237.392	414.000	1.823.392	52.667.960	387.332.040	88,03
2016	2.237.392	414.000	1.823.392	54.491.353	385.508.647	87,62

## KESIMPULAN

Dari tindakan konservasi dengan teknologi tepat guna ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

Berdasarkan hasil penelitian Balai Penelitian Kehutanan Surakarta pada tahun 2009 konservasi yang optimum adalah pola tanaman jati, mangga, pete, dengan teras gulud dan penguat teras lamtoro.

Laju erosi permukaan sebelum dilakukan roboisasi kondisi aktual di DAS Wonogiri adalah 11.850.379,73 m<sup>3</sup>/tahun dan setelah adanya konservasi laju erosi menjadi 2.237.392,09 m<sup>3</sup>/tahun dan aliran permukaan yang dihasilkan 1.989,20 m<sup>3</sup>/s

Perubahan pengelolaan lahan tegal dan hutan yang dikonservasikan menjadi pola tanaman jati, mangga, pete, dengan teras gulud dan penguat teras lamtoro, dapat menekan erosi yang sangat berat menjadi sedang hingga sangat kecil. Pola ini sangat sesuai untuk konservasi DAS Wonogiri karena mampu menekan erosi baik di daerah hulu maupun hilir. Perbaikan di kedua lahan tersebut akan mampu melindungi kelestarian DAS Wonogiri sehingga pengurangan sedimen di daerah waduk dapat ditekan.

Efektivitas volume Waduk wonogiri awal adalah 440.000.000 m<sup>3</sup> dan tahun 2010 adalah sebesar 396.449.000 m<sup>3</sup> dan perkiraan pada tahun 2015 sebesar 387.332.040 m<sup>3</sup> atau 88,03 % dari volume awal.

## REKOMENDASI

- 1 Penelitian Damplot konservasi Kehutanan Surakarta pada tahun 2009 dengan pola tanaman jati, mangga, pete, dengan teras gulud dan penguat teras lamtoro, perlu ditindaklanjuti pengukuran laju sedimen setiap tahun sesuai perkembangan pertumbuhan tanaman.

- 2 Penelitian Damplot konservasi di sub DAS Keduang perlu dikembangkan pada daerah yang bervariasi kemiringan lahan dan jenis tanah, sehingga penelitian Damplot konservasi ini dapat diacu untuk DAS lainnya.
- 3 Hasil teknologi reboisasi yang akan diaplikasikan perlu disosialisai pada masyarakat, sesuai kehendak masyarakat sehingga masyarakat ikut memiliki/melestarikan dan mengerti manfaat adanya reboisasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Balai Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, tahun 1993, "Laporan Kajian Karakteristik Aliran Sungai DAS. Keduang".
- Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Balai Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, tahun 1995, " KajianTeknik Konservasi Tanah Teras dan Pola Tanam di DAS.Keduang".
- Bambang Triatmojo tahun 1990, "Hidrologi Terapan". Jica. tahun 2007, " Studi Penanganan Sedimentasi di Waduk Serbaguna Wonogiri"" Laporan bagian II: Studi Kelayakan
- Jica, tahun 2007, "Work shop ke 3, 14 Februari 2007 .Tim Studi Jica.
- Ministry of Agriculture, 2000, "Universal Soil Loss Equation (USLE)", Ontario.
- Pramono. IB. Nining. W,Joko.W, Purwanto, tahun 2009, "Aliran Permukaan dan Erosi Dari Beberapa Model Hutan Tanaman Terpadu di Sub DAS. Dungwot, DAS. Keduang" Prosiding Ekspose Balai Penelitian Kehutanan Surakarta.