

## BAB 4 SUMBER EROSI DAN HASIL SEDIMEN (*SEDIMENT YIELD*) DARI DAS WONOGIRI

### 4.1 Sumber Erosi dari Endapan Sedimen di Waduk Wonogiri

Hampir semua endapan sedimen yang telah masuk ke dalam Waduk Wonogiri merupakan konsekuensi dari erosi permukaan lahan akibat hujan lebat di DAS dan kemudian terangkut oleh semua anak-anak sungai. Sedimen mengalir ke hilir melalui alur-alur saluran selama beberapa periode. Terdapat hubungan yang erat antara erosi di DAS dan sedimentasi di waduk.

Dalam studi ini, sumber erosi dari endapan sedimen di waduk Wonogiri digolongkan berdasarkan lokasi erosi. Lokasi erosi yang dapat dilihat meliputi; i) erosi tanah dari permukaan lahan (*land surface*), ii) erosi jurang (*gully erosion*), iii) erosi tebing sungai (*river bank erosion*), iv) longsor (*landslide/slope failure*) dan v) erosi tebing jalan (*slope erosion of road side*). Erosi tanah dari permukaan lahan biasanya terjadi akibat erosi permukaan (*sheet erosion*) pada lahan, termasuk areal pertanian, tegalan, pekarangan dan hutan. Erosi permukaan didefinisikan sebagai percikan dan angkutan partikel tanah akibat pukulan hujan dan aliran dangkal sebelum masuk saluran. Erosi permukaan biasanya paling dominan pada permukaan lahan yang telah gundul, gembur, seperti lahan pakan ternak dan lahan yang ditanami. Dengan melihat penggunaan lahan yang intensif saat ini pada lahan pertanian kering di seluruh DAS Wonogiri, maka erosi tanah dari permukaan lahan merupakan produsen sedimen yang paling dominan di DAS Wonogiri.



Endapan Sedimen pada jembatan lama pada lengan waduk di Sungai Alang



Endapan Sedimen Berupa Lanau/Lempung di dalam Waduk

Total erosi di dalam wilayah DAS merupakan jumlah dari semua jenis erosi tersebut di atas. Laju erosi dinyatakan sebagai masa tanah yang berpindah per satuan waktu, misalnya 50 ton/km<sup>2</sup>/tahun atau 50 ton/ha/tahun. Laju erosi per tahun disebut laju erosi tahunan (*annual erosion rate*). Laju erosi dapat pula dinyatakan sebagai laju penggundulan permukaan bumi, diukur dalam kedalaman tanah per satuan waktu, misalnya 2 mm/tahun. Laju penggundulan per tahun kemudian disebut laju penggundulan tahunan.

Hasil sedimen (*sediment yield*) didefinisikan sebagai jumlah sedimen yang tererosi dan terangkut oleh sungai pada lokasi-lokasi tertentu. Hasil sedimen menunjukkan jumlah total sedimen *fluvial* yang terangkut oleh anak-anak sungai dalam DAS menuju suatu titik pengukuran, misalnya dalam sebuah waduk. Hasil sedimen per tahun disebut dengan "*annual sediment yield*". Karena sedimen hasil erosi banyak yang mengendap sebelum meninggalkan DAS, maka hasil sedimen selalu lebih kecil dari, dan sering sangat lebih kecil dari laju erosi di dalam DAS. Sedimen yang berasal dari sumber erosi dengan lokasi yang jauh biasanya akan terendapkan kembali sebelum mencapai *outlet* DAS. Hubungan antara laju erosi dan hasil sedimen disebut "*sediment delivery ratio (SDR)*". Dalam Studi ini, hasil sedimen dari DAS

Wonogiri di waduk Wonogiri ditetapkan berdasarkan tipe erosi dengan persamaan:

$$S_y = A \times SDR1 + G_l \times SDR2 + R_b \times SDR3 + L_s \times SDR4 + R_s \times SDR5$$

dengan,

S <sub>y</sub> :	Hasil sedimen dari DAS
A:	Erosi tanah dari permukaan lahan
SDR1-5:	SDR untuk masing-masing sumber erosi
G <sub>l</sub> :	Erosi jurang
R <sub>b</sub> :	Erosi tebing sungai
L <sub>s</sub> :	Longsoran
R <sub>s</sub> :	Erosi tebing jalan

Pada umumnya, sedimen dari erosi tebing sungai, longsoran dan tebing jalan, yang cenderung langsung terangkut ke sungai, memiliki *delivery ratio* lebih tinggi dibanding erosi permukaan lahan. *Delivery ratio* erosi tebing sungai, longsoran, jurang, dan tebing jalan dianggap 100%. Pada umumnya, SDR tidak dapat diukur langsung sebagai total erosi DAS. Dalam Studi ini, SDR DAS Wonogiri dan anak-anak sungai diperoleh dengan mengekstrapolasi volume sedimentasi yang diukur langsung di dalam waduk Wonogiri

Estimasi awal hasil sedimen tahunan untuk semua tipe erosi dilakukan dalam Studi ini. Erosi dari tebing sungai, longsoran tebing, jurang dan tebing jalan diestimasi berdasarkan investigasi lapangan. Erosi-erosi tersebut tersebar luas di DAS Wonogiri.

## 4.2 Hasil Sedimen dari Erosi Jurang dan Longsoran

### 4.2.1 Erosi Jurang

#### (1) Proses Erosi

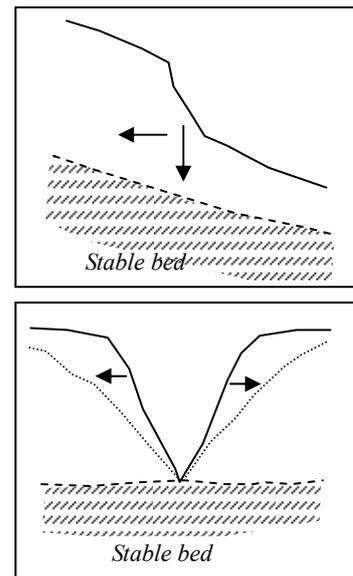
Erosi jurang merupakan proses lanjut dari erosi alur (*rill erosion*) yang permukaan salurannya telah tererosi hingga mencapai kondisi yang tidak 'halus' lagi. Jurang yang aktif ditandai dengan cekungan yang curam atau tegak akibat erosi. Jurang umumnya semakin dalam dan lebar melalui proses berikut.

#### Erosi Jurang Besar

Erosi jurang akan bergerak ke atas dan berlanjut hingga mencapai dasar saluran yang stabil. Jika dasar saluran belum stabil, terus menerus jurang akan menjadi lebih dalam.

#### Erosi Lateral

Erosi jurang terjadi ketika tanah tererosi oleh pusat aliran permukaan, dan diawali dengan pembesaran alur, ketika aliran terkonsentrasi oleh adanya bangunan seperti, jalan kecil, jalan, parit/saluran, atau ketika aliran permukaan membesar akibat perubahan tata guna lahan di *upstream*. Foto di bawah ini menunjukkan tipikal jurang di DAS Keduang; mengalirkan air dari saluran-saluran yang sempit yang menyebabkan erosi jurang di beberapa kasus.

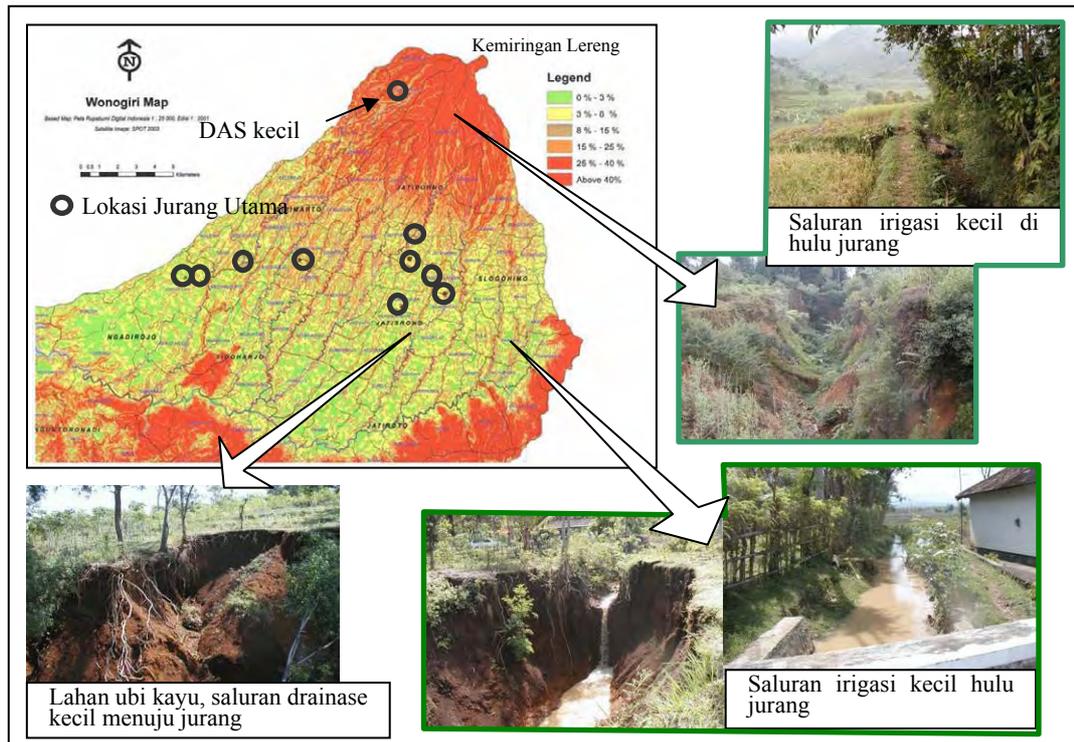




Jurang besar di wilayah Keduang



Jurang besar di wilayah Keduang



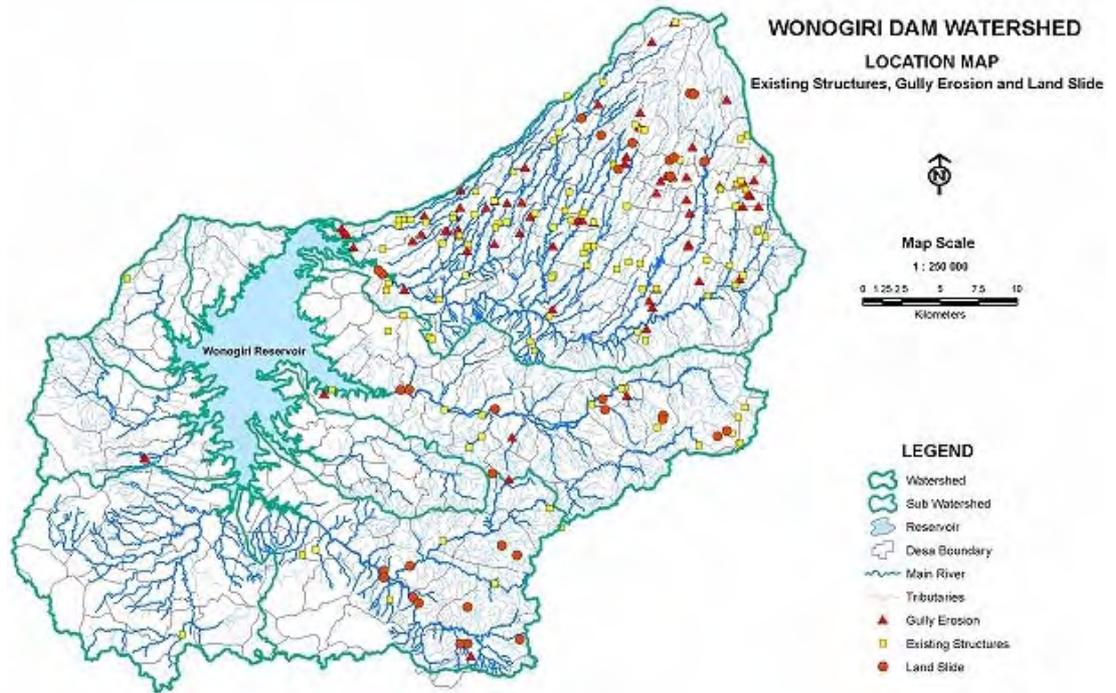
Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 4.2.1 Tipikal Jurang di DAS Keduang

## (2) Penyelidikan

Seluruh lokasi jurang di DAS Wonogiri diselidiki. Keseluruhan terdapat 71 lokasi jurang yang teridentifikasi. Peta lokasi jurang saat ini ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Berikut merupakan ringkasan penyelidikan:

- i) Jurang banyak terdapat di DAS Keduang, meskipun hampir semuanya termasuk jurang sangat kecil (tinggi kurang dari 2-3 m) dan mungkin dapat diabaikan. Jurang terbesar di DAS ini mempunyai tinggi 5-8 m, lebar 15-20 m dan panjang 200 m.
- ii) Di wilayah Keduang, sebagian besar jurang terletak pada lereng gunung dengan kemiringan kurang dari 15% yang membentuk zona transisi dari teras berkemiringan landai atau tanah lapangan dan lapisan tanah erusif setebal 5-8 m yang berkemiringan curam. Meskipun kemiringan merupakan salah satu faktor penting pada erosi jurang, lahan dataran tinggi di sini tertutup oleh hutan yang relatif padat dan jurang berukuran besar tidak terdapat di wilayah ini.
- iii) Beberapa jurang terdapat di wilayah sungai Tirtomoyo dan Solo Hulu.



Sumber: Tim Studi JICA

**Gambar 4.2.2 Peta Lokasi Jurang, Longsoran dan Bangunan Penahan Sedimen**

(3) Bangunan Penahan Sedimen Saat Ini (*Existing*)

Terdapat banyak bangunan penahan sedimen seperti *sabo dam*, *check dam*, *gully plug* (skala kecil, menengah dan besar), *gully head structures* dan waduk penangkap pasir berukuran kecil. Peta lokasinya ditunjukkan dalam Gambar 4.2.2 di atas.



**Gully Plug besar di Wilayah Keduang**



**Gully Plug besar di Wilayah Keduang**



**Check Dam di wilayah Alang**



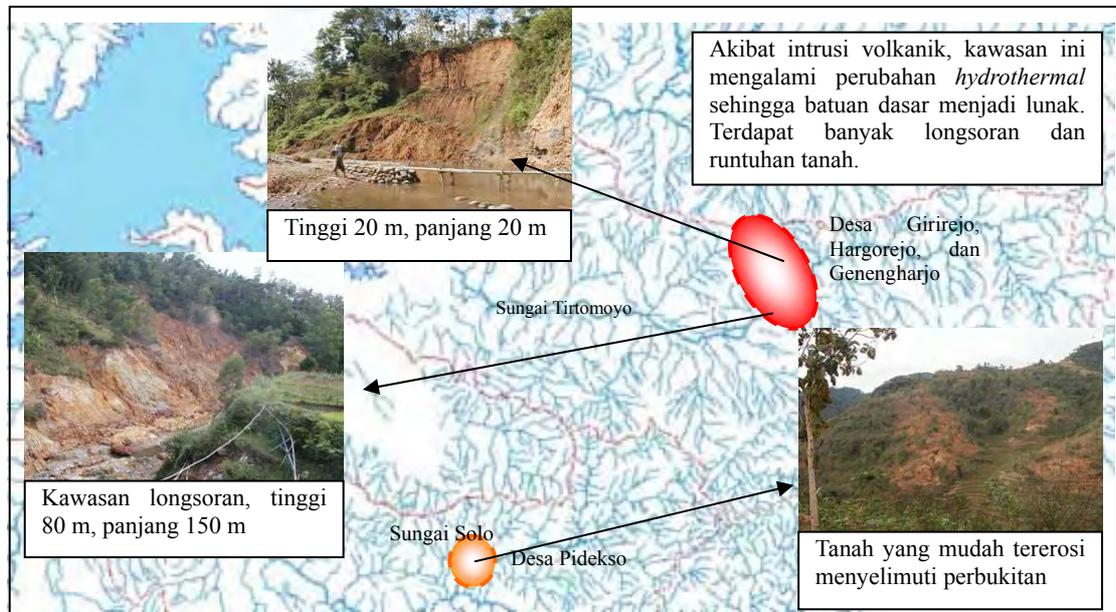
**Small Gully Plug di wilayah Keduang**

4.2.2 Longsoran (*Landslides*)

Longsoran merupakan sumber sedimen di DAS yang sulit dihitung karena kejadiannya

tidak menentu dan biasanya merupakan akibat dari kejadian yang ekstrim. Terdapat 25 lokasi longsor yang teridentifikasi. Peta lokasi longsor ditunjukkan pada Gambar 4.2.2 di atas

Di wilayah sungai Tirtomoyo, longsor berukuran besar terdapat di Desa Girirejo, Hargorejo dan Genengharjo seperti ditunjukkan di bawah ini. Wilayah dengan potensi longsor yang tinggi keberadaannya terbatas karena perubahan *hydrothermal* akibat intrusi vulkanik.



Sumber: Tim Studi JICA

**Gambar 4.2.3 Longsor Tanah di DAS Tirtomoyo dan Bengawan Solo Hulu**

#### 4.2.3 Perkiraan Awal Hasil Sedimen Erosi Jurang dan Longsor

Jumlah erosi dari jurang dan longsor yang ada di DAS Wonogiri nampak relatif kecil berdasarkan hasil investigasi lapangan. Tabel di bawah ini menyajikan ringkasan perkiraan produksi volume sedimen dari jurang dan longsor saat ini.

**Tabel 4.2.1 Perkiraan Volume Produksi Sedimen dari Erosi Jurang dan Longsor Berdasarkan Penyelidikan Lapangan Saat Ini**

Sistem Sungai	Erosi Jurang		Longsor	
	Jumlah Titik	Volume Total (m <sup>3</sup> )	Jumlah Titik	Volume Total (m <sup>3</sup> )
Keduang	65	84,626	12	2,026
Tirtomoyo	2	108	8	7,950
Temon	1	30	0	0
Solo	1	270	5	302
Alang	2	9,000	0	0
Lain-lain	0	0	0	0
TOTAL	71	94,034	25	10,278

Sumber: Tim Studi JICA

Total volume erosi dari jurang dan longsor diperkirakan sekitar 94,000 m<sup>3</sup>. Seperti ditunjukkan di atas, berdasarkan lokasi dan volume erosi, lebih dari 90% jurang terdapat di DAS Keduang yang tersebar di lereng gunung dengan kemiringan sedang hingga curam dengan tipe tanah *Latosol* tersebar luas. *Latosol* mudah tererosi oleh aliran sungai. Menurut penduduk setempat, terdapat jurang-jurang yang telah berubah menjadi jurang

skala besar dalam 4 tahun dan skala kecil dalam 1-2 tahun. Dengan demikian, secara kasar dapat di perkirakan bahwa erosi jurang sekitar 30,000 m<sup>3</sup> terjadi setiap tahun di seluruh DAS Wonogiri. Studi ini menganggap bahwa erosi tahunan dari jurang-jurang adalah sekitar 50,000 m<sup>3</sup> dengan pertimbangan masih terdapat jurang-jurang kecil yang belum teridentifikasi oleh investigasi lapangan saat ini. Perkiraan jumlah erosi tersebar di setiap DAS proporsional terhadap perkiraan volume produksi sedimen masing-masing.

Pada longsor, investigasi lapangan mendapatkan 25 lokasi longsor dengan total volume erosi diestimasi sekitar 10,300 m<sup>3</sup>. Meskipun sedikit longsor masih aktif, tetapi secara keseluruhan jumlahnya sedikit. Jumlah lokasi longsor terbanyak ada di Sub DAS Keduang, tetapi termasuk berskala kecil. Sebaliknya, longsor skala besar terdapat di DAS Tirtomoyo. Foto-foto berikut menunjukkan perbandingan longsor terbesar pada waktu yang berbeda di sungai Tirtomoyo, yang diambil pada bulan Agustus 2001 dan November 2005. Nampak bahwa longsor tersebut menjadi stabil karena vegetasinya pulih kembali. Berdasarkan asumsi volume erosi total dari penyelidikan lapangan dan menganggap longsor skala kecil akan terus terjadi, studi ini memperkirakan erosi total tahunan di seluruh DAS Wonogiri sekitar 10,300 m<sup>3</sup>.



**Perbandingan Longsor Terbesar pada Waktu yang Berbeda di Sungai Tirtomoyo**

Rangkuman erosi total tahunan dari jurang dan longsor dari masing-masing DAS adalah sebagai berikut

**Tabel 4.2.2 Perkiraan Total Erosi Tahunan dari Erosi Jurang dan Longsor**

Sistem Sungai	Erosi Jurang (m <sup>3</sup> )	Longsor (m <sup>3</sup> )
Keduang	46,300	2,000
Tirtomoyo	60	8,000
Temon	20	0
Solo	150	300
Alang	5,000	0
Lain-lainnya	0	0
<b>Total</b>	<b>51,530</b>	<b>10,300</b>

Sumber: Tim Studi JICA

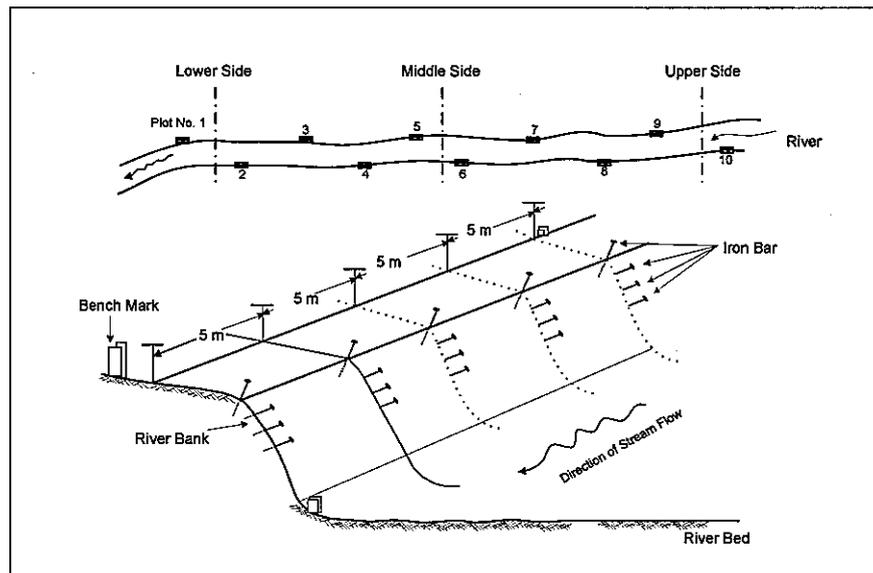
### 4.3 Hasil Sedimen dari Erosi Tebing Sungai

#### 4.3.1 Laju Erosi Tebing Sungai Tahunan Rata-rata

Erosi tebing sungai dan saluran biasanya terjadi sepanjang dasar saluran dan tebing sungai. Hampir tidak terdapat bangunan perlindungan tebing di sebagian besar anak-anak sungai di DAS Wonogiri. Hanya terdapat beberapa pasangan batu untuk melindungi abutment jembatan. Erosi tebing yang aktif mudah diamati pada banyak tempat sepanjang anak-anak sungai, di mana tebing sungai hampir vertikal dan akar-akar pohon yang sudah kelihatan serta umumnya hanya terdapat sedikit tanaman di tebing. Sebagian besar

material dasar sungai adalah pasir dan batu. Material kasar ini terangkut dan terendapkan dari *upstream* ke *downstream*. Material yang sangat halus (*wash loads* seperti lempung dan lanau) juga terangkut dengan pasir masuk ke waduk Wonogiri tanpa mengendap di dasar sungai. Erosi tebing sungai diamati dalam Studi ini.

Hasil sedimen akibat erosi tebing ditunjukkan dengan laju erosi per *unit area* atau panjang sungai. Laju erosi tebing dikaji oleh BP2TPDAS<sup>1</sup> (*Watershed Management Technology Center of Surakarta, Ministry of Forestry*) pada sungai Keduang dan Tirtomoyo pada tahun 1995. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh perlindungan tebing sungai sepanjang 10 km dan perlindungan tebing jalan sepanjang 80 km yang telah dibuat dalam *Upper Solo Watershed Management Protection Project by IBRD* dari tahun 1988/89 - 1994/95. Metode pengukuran laju erosi yang digunakan adalah metode pengamatan dengan *iron bar* yang dipasang pada beberapa lokasi tebing sungai terpilih. Pengamatan dilakukan selama musim hujan dari tanggal 20 Desember, 1994 sampai 20 February, 1995 pada 20 lokasi sepanjang sungai Keduang dan Tirtomoyo. Sebanyak 500 *iron bar* dipasang. Tipikal pengaturan *iron bar* di tebing sungai digambarkan di bawah ini.



Sumber: BP2TPDAS (*Watershed Management Technology Center of Surakarta*)

Gambar 4.3.1 Pengaturan *Iron Bar* untuk Pengukuran Erosi Tebing Sungai

Hasil pengukuran menunjukkan laju erosi tahunan dari tebing sungai per meter panjang sungai adalah  $1.13 \text{ m}^3/\text{m}$  untuk sungai Keduang dan  $2.30 \text{ m}^3/\text{m}$  untuk sungai Tirtomoyo. Rata-rata dari kedua sungai adalah  $1.72 \text{ m}^3/\text{m}$ . BP2TPDAS merekomendasikan laju erosi ini sebagai laju erosi tahunan, meskipun periode pengamatan hanya selama dua bulan dalam musim penghujan. Studi ini menetapkan laju erosi tahunan rata-rata sebesar  $3.44 \text{ m}^3/\text{m}$ , yang dua kali lebih besar dengan pertimbangan periode musim hujan dan kecenderungan peningkatan laju tahunan.

#### 4.3.2 Penyelidikan Lapangan pada Erosi Tebing Sungai yang Sudah Eksis

Penyelidikan lokasi erosi tebing sungai saat ini dilakukan di 4 sungai utama. Lokasi erosi tebing sungai sepanjang sungai yang teramati saat ini beserta foto-fotonya ditunjukkan di

<sup>1</sup> Kajian Penilaian Laju Erosi Tebing Sungai dan Erosi Tebing Jalan di DTA Waduk Wonogiri, Journal Volume II No.2, 1995 (*Study on Streambank Erosion and Roadside Erosion Rate Assessment at the Wonogiri Dam Catchment Area*)

Gambar 4.3.2. Nampak bahwa lokasi tersebut tersebar luas diseluruh DAS Wonogiri. Erosi tebing terus terjadi terutama pada i) belokan sungai dari alur utama ii) pertemuan dengan anak sungai kecil, dan iii) sebelah hilir tebing dari bangunan-bangunan sungai seperti jembatan dan intake irigasi.

Sebagian besar erosi tebing yang aktif terdapat di sungai Alang yang mengalir melalui bantaran sungai besar di wilayah hilir. Sepanjang bantaran sungai terdapat banyak anak-anak sungai kecil dan saluran drainase yang menggerus kaki tebing. Sebagian besar endapan di bantaran nampak mudah tererosi oleh banjir-banjir kecil. Erosi pada kaki tebing akan menyebabkan longsor tebing skala besar.

Tebing anak-anak sungai kecil di wilayah pegunungan terdiri dari gabungan batuan dan pasir (nilai-N 30 - 50) atau tersingkap oleh batuan keras (*hard rocks*). Total volume erosi tebing ini relatif lebih kecil dari alur utamanya.

Gambar 4.3.3 di bawah ini menunjukkan perbandingan distribusi butiran material tebing sungai, yang diambil dari anak-anak sungai besar pada tahun 2004, dengan endapan sediment di waduk Wonogiri. Meskipun distribusi butiran tebing sungai di DAS bervariasi dari satu lokasi ke lokasi lain, tipikal erosi tebing biasanya terjadi pada tebing yang terdiri dari material halus dan lembut. Mengingat butiran dengan diameter 0.50 mm, yang merupakan butiran paling besar dari dalam waduk, dapat terbawa masuk ke dalam waduk, sekitar 75% material hasil erosi tebing sungai akan terbawa masuk ke waduk.



**Sungai Alang**



**Sungai Alang**



**Sungai Keduang**



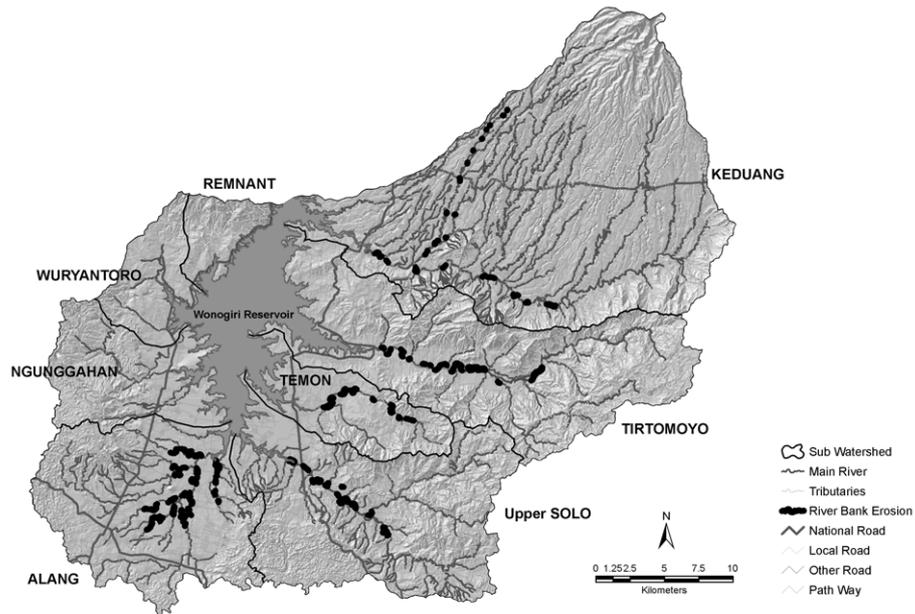
**Sungai Bengawan Solo Hulu**



**Sungai Bengawan Solo Hulu**

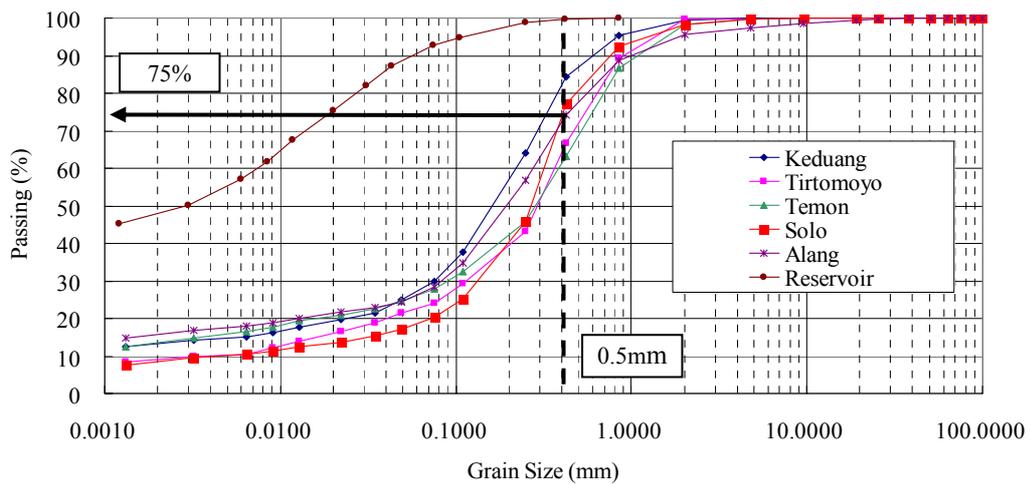


**Sungai Temon**



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 4.3.2 Peta Lokasi Erosi Tebing Sungai



Sumber: Tim Studi JICA

Gambar 4.3.3 Distribusi Butiran Material Tebing Sungai

#### 4.3.3 Perkiraan Awal Hasil Sedimen dari Erosi Tebing Sungai Saat Ini (*Existing*)

Tebing sungai yang tererosi diidentifikasi sepanjang 25.860 m. Perkalian besaran ini dengan laju erosi dari hasil uji lapangan oleh BP2TPDAS menghasilkan estimasi jumlah erosi dari tebing sungai seperti diringkas dalam tabel berikut.

Tabel 4.3.1 Perkiraan Erosi Total dari Tebing Sungai

Sistem Sungai	Erosi Tebing Sungai		
	Lokasi (titik)	Panjang Total (m)	Volume Total (m <sup>3</sup> )
Keduang	15	1,940	6,670
Tirutomoyo	29	3,920	13,480
Temon	16	2,250	7,740
Solo	22	2,190	7,530
Alang	42	13,210	45,440
Lain-lain	12	2,350	8,080
<b>TOTAL</b>	<b>136</b>	<b>25,860</b>	<b>88,940</b>

Sumber: Tim Studi JICA

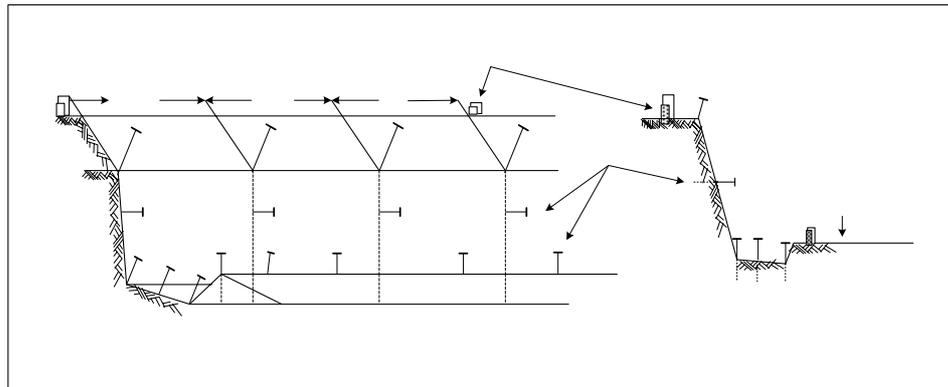
Dari tabel di atas, sifat-sifat erosi tebing sungai dapat dijelaskan sebagai berikut:

- i) Erosi tebing sungai terjadi sepanjang alur utama dari anak-anak sungai yang besar. Panjang total erosi tebing adalah 25.860 m dan volume erosi total dari tebing sungai mencapai 88.940 m<sup>3</sup>.
- ii) Sebagian besar erosi tebing yang aktif masih berlanjut di sungai Alang dan volume erosinya lebih dari setengah volume total dari seluruh DAS Wonogiri.
- iii) Di wilayah lain, erosi tebing sungai relatif kecil.

#### 4.4 Hasil Sedimen dari Erosi Tebing Jalan

##### 4.4.1 Laju Tahunan Erosi Tebing Jalan Rata-rata

Seperti telah disebutkan di sub-bab terdahulu, laju erosi dari erosi tebing jalan saat ini juga dilaporkan dalam laporan studi BP2TPDAS. Metode pengamatan yang digunakan sama dengan erosi tebing sungai yaitu dengan *iron bars*. Periode pengamatan juga sama. Jumlah pengamatan adalah 30 lokasi di DAS Keduang, Tirtomoyo dan Solo Hulu. Total 720 *iron bar* dipasang dengan tipikal pengaturan seperti dalam gambar di bawah. Penyelidikan ini menyimpulkan bahwa laju erosi tahunan dari tebing jalan per meter panjang jalan adalah 0,039 m<sup>3</sup>/m untuk Solo Hulu, 0.128 m<sup>3</sup>/m untuk Keduang dan 0.133 m<sup>3</sup>/m untuk Tirtomoyo. Rata-rata ketiga basin adalah 0.10 m<sup>3</sup>/m. Dalam Studi ini, laju erosi tahunan rata-rata ditetapkan 0.20 m<sup>3</sup>/m, dua kali dari laju erosi tahunan rata-rata dengan pertimbangan lamanya periode musim hujan dan kecenderungan peningkatan laju tahunan.



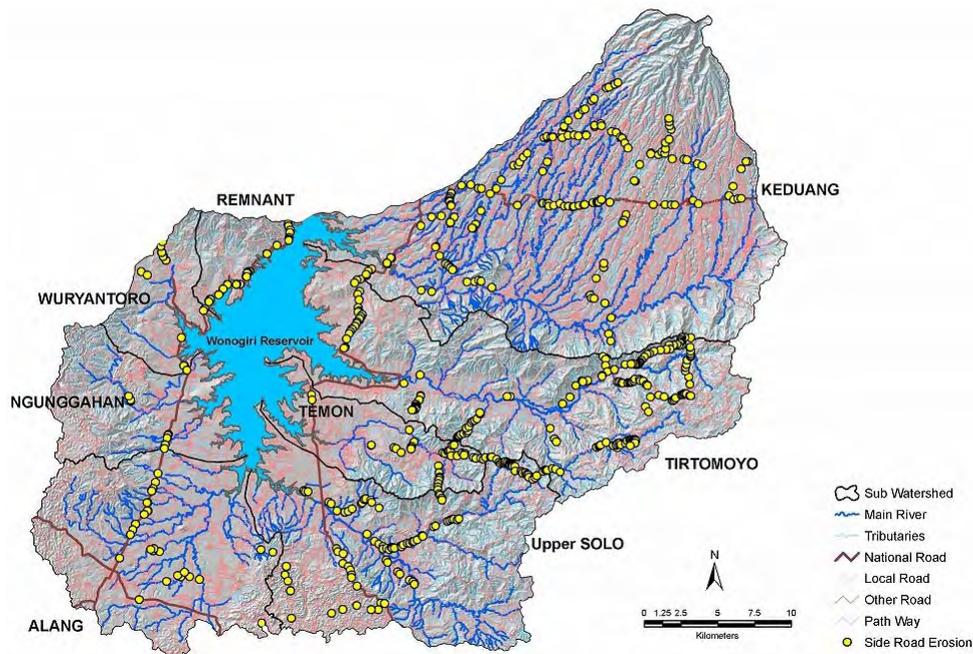
Sumber: BP2TPDAS (*Watershed Management Technology Center of Surakarta*)

**Gambar 4.4.1 Pengaturan *Iron Bar* untuk Pengukuran Erosi Sisi Tebing Jalan**

##### 4.4.2 Penyelidikan Lapangan Lokasi Erosi Tebing Jalan yang Sudah Eksis

Penyelidikan lokasi erosi tebing jalan saat ini dilakukan pada jaringan jalan besar dan jalan lokal di seluruh DAS Wonogiri. Lokasi dan foto dapat dilihat pada Gambar 4.4.2.

Erosi tebing jalan tersebar di seluruh DAS, khususnya pada lereng lebih curam. di daerah jalan dengan penampang galian. Meskipun erosi permukaan (*sheet erosion*) dominan terjadi pada erosi tebing jalan, longsor tebing terjadi di beberapa tempat. Bangunan perlindungan dari pasangan batu biasanya dibuat pada tebing jalan di kawasan perkotaan. Untuk perlindungan terhadap erosi, tebing jalan yang landai ditanami rumput. Bagian jalan yang mendapat perlindungan terhadap erosi tidak dimasukkan dalam estimasi erosi.



Sumber: Tim Studi JICA

**Gambar 4.4.2** Peta Lokasi Erosi Sisi Tebing Jalan

4.4.3 Perkiraan Awal Hasil Sedimen dari Erosi Sisi Tebing Jalan

Perkiraan volume erosi dari erosi sisi tebing jalan ditunjukkan pada Tabel 4.4.1.

**Tabel 4.4.1** Perkiraan Erosi Total dari Erosi Sisi Tebing Jalan

Sistem Sungai	Erosi Tebing Jalan		
	Lokasi	Panjang Total (m)	Volume Total (m <sup>3</sup> )
Keduang	160	12,595	2,519
Tirtomoyo	192	8,466	1,693
Temon	46	2,055	411
Solo	113	6,817	1,363

Sistem Sungai	Erosi Tebing Jalan		
	Lokasi	Panjang Total (m)	Volume Total (m <sup>3</sup> )
Alang	33	2,515	503
Lain-lain	40	4,020	804
<b>TOTAL</b>	<b>584</b>	<b>36,468</b>	<b>7,294</b>

Sumber: Tim Studi JICA

Tabel di atas menunjukkan bahwa erosi tebing jalan adalah sebagai berikut:

- i) Panjang total erosi sisi tebing jalan 36.500 m dan volume total erosi diperkirakan sekitar 7.300 m<sup>3</sup> dengan laju erosi 0,20 m<sup>3</sup>/m.
- ii) Meskipun erosi tebing jalan nampak sangat aktif, total volume erosi lebih kecil dari tebing sungai karena laju erosi lebih rendah.
- iii) Diperkirakan erosi wilayah sungai proporsional dengan wilayah DAS.
- iv) Di DAS Alang, erosi sisi tebing jalan relatif lebih kecil karena wilayah hilir hanya sedikit yang memiliki jalan yang bertebing.

#### 4.5 Hasil Sedimen dari Erosi Tanah pada Permukaan Lahan

##### 4.5.1 Erosi Tanah Saat Ini di Lahan Pertanian

Seperti diuraikan dalam sub-bab 4.5.2 nanti, erosi tanah disebabkan oleh lima faktor i) hujan, ii) sifat-sifat tanah, iii) kondisi topografi (panjang dan kemiringan lereng), iv) kondisi penutup lahan dan pengelolaan lahan, serta v) kondisi kegiatan pendukung terhadap pencegahan erosi tanah.

Hujan tahunan rata-rata di DAS Wonogiri bervariasi antara 1,500 mm hingga 2,800 mm. Terdapat kecenderungan bahwa hujan tahunan meningkat pada kawasan yang lebih tinggi. Hujan tidak dapat diduga. Hubungan antara hujan tahunan rata-rata (atau hujan bulanan) dan erosi tanah relatif tinggi. Intensitas hujan di wilayah DAS sangat tinggi. Menurut data hujan jam-jaman, sebagian besar hujan lebat terjadi selama hanya 30 menit. Dengan demikian, energi kinetik hujan dan intensitas hujan tinggi.

Terdapat empat macam tanah yaitu Mediteran, Latosols, Grumusol dan Lithosol. Kecuali Lithosols, ketiga macam tanah yang lain (kira-kira 80% dari total DAS Wonogiri) mudah tererosi oleh air.

DAS Wonogiri terdiri dari lahan-lahan curam dan dibelah oleh anak-anak sungai kecil di dalam DAS. Gambaran kemiringan wilayah di sub-basin ditunjukkan di bawah ini:

**Tabel 4.5.1 Kemiringan Lahan di Sub-DAS-Sub-DAS Wonogiri**

Nama Sub DAS	Proporsi% Klas Kemiringan Lereng				
	Kemiringan Lereng (%)				
	0-3	3-8	8-15	15-25	> 25
Keduang	21	26	20	11	22
Tirtomoyo	13	9	10	15	53
Temon	33	19	14	10	24
Solo Hulu	21	11	12	16	40
Alang	44	17	12	10	17
Ngunggahan	32	13	14	15	26
Wuryantoro	26	27	21	12	14
Keseluruhan sub DAS	24	18	15	13	30

Sumber: Tim Studi JICA

Lahan dengan kemiringan lebih dari 25% terdapat pada 30% dari total DAS, khususnya di Tirtomoyo dan Solo Hulu.

Pada tata guna lahan saat ini, 63% dari total DAS merupakan lahan pertanian yang terdiri

dari 24% sawah dan 39% tegalan. Pertanian lahan kering dengan ketela pohon banyak dijumpai di pekarangan rumah. Lahan tegalan meluas hingga puncak wilayah pegunungan yang curam. Sebaliknya, wilayah hutan sangat kecil di DAS ini. Wilayah hutan Negara kurang dari 1% dan wilayah kebun/perkebunan hanya 10%. Dengan demikian, wilayah hutan ini tidak cukup berperan dalam pelestarian tanah dan air.

Pola tanam tahunan yang ada di DAS sebagai berikut:

**Tabel 4.5.2 Pola Tanam Tahunan**

Tataguna Lahan	Pola Tanam Tahunan
Sawah (air irigasi mencukupi)	Air irigasi mencukupi 1 padi + 2 padi
Sawah (air irigasi tidak mencukupi)	1 padi + polowijo
Tegalan	1 Polowijo + 2 polowijo

Sumber: Tim Studi JICA

Dengan intensitas tanaman polowijo ke 2 di tegalan saat ini sekitar 40%.

Sejumlah teras bangku terdapat di lahan tegalan. *The Upper Solo (Wonogiri) Watershed Protection Project* dilaksanakan pada tahun 1988/89-1994/95 oleh Departemen Kehutanan dengan bantuan Bank Dunia. Dalam proyek ini, 22,000 ha teras bangku dibuat di tegalan, yaitu setara dengan 50% total lahan tegalan. Saat ini sebagian teras bangku tersebut mengalami kerusakan. Namun, teras di persawahan terpelihara dengan baik

Berdasarkan hasil survei lapangan dan analisis sumber utama erosi tanah dari lahan pertanian, disimpulkan bahwa sumber erosi tanah dijelaskan sebagai berikut:

- i) Sumber erosi tanah adalah lahan tegalan tanpa teras yang meluas hingga wilayah pegunungan yang curam (kemiringan di atas 10%) di kawasan hulu Keduang, Tirtomoyo, Solo Hulu, Alang dan Ngunggungahan. Kerusakan lahan teras bangku merupakan satu dari faktor penting dalam percepatan erosi tanah.
- ii) Erosi tanah di pekarangan rumah: luas total pekarangan sekitar 22% dari total DAS. Banyak pekarangan yang digunakan sebagai tegalan tanpa teras, terutama untuk tanaman ketela pohon. Di wilayah sungai Keduang, banyak sungai mengalir dari utara ke selatan dan memotong lahan. Pekarangan rumah terletak di belakang dimana kedua sisinya biasanya diapit oleh sungai-sungai. Kemiringan kawasan pemukiman adalah curam, banyak yang lebih dari 20%. Terdapat banyak akar-akar pepohonan dikawasan pemukiman menonjol keluar akibat erosi tanah
- iii) Intensitas musim tanam kedua (dari pertengahan Februari hingga akhir Mei) di lahan tegalan sekitar 40%. Sisa (60%) wilayah menjadi lahan terbuka. Hujan yang lebih besar masih terjadi di musim tanam dan erosi tanah akan terjadi.



- iv) Sekitar 50% total tegalan dilengkapi dengan teras bangku, meskipun 80% dari total teras dalam kondisi buruk karena tidak ada/cukup pemeliharaan. Sisa lahan mempunyai teras

tradisional, teras gulud (*ridge terrace*), tidak berteras dan teras campuran gulud dan tanpa teras. Sebagian besar lahan tegalan merambah hingga bagian atas wilayah perbukitan di daerah hulu sungai-sungai utama DAS Wonogiri. Lahan tegalan ini tidak dilengkapi dengan teras bangku, dengan demikian dianggap sebagai wilayah paling kritis dan berpotensi dalam memproduksi hasil sedimen. Sebagian besar tegalan hanya dilengkapi dengan teras tradisional, gulud, tidak berteras dan teras campuran. Beberapa teras dengan kondisi tidak layak mengakibatkan terjadinya percepatan erosi tanah di wilayah kritis ini.



#### 4.5.2 Perkiraan Kehilangan Tanah dari Permukaan Lahan

##### (1) Umum

Erosi tanah dari permukaan lahan di DAS Wonogiri di analisis dengan *Universal Soil Loss Equation (USLE)*, metode yang banyak digunakan di seluruh dunia untuk memprediksi laju erosi permukaan dalam jangka panjang dari lahan atau satuan ukuran lahan dengan pola pengelolaan yang berbeda. USLE<sup>2</sup> dikembangkan berdasarkan ribuan data plot-tahunan dari percobaan-percobaan yang pada awalnya diterapkan di kawasan tengah dan timur United States, USLE telah dikembangkan dan diterapkan secara luas. Untuk memperkirakan produksi material sedimen tahunan dipergunakan SIG dengan perangkat lunak ArcGIS Arc View V.9.1. Peta Erosivitas Curah Hujan dibuat dengan menggunakan Indek Erosivitas Hujan, Tingkat Erodibilitas Tanah dengan Peta Tanah, Tingkat Kemiringan dan Panjang Lereng dengan Peta Topografi, Peta Pengelolaan Tanaman dan Peta Cara Pengendalian Erosi dengan kondisi teras yang telah dibuat dan masing-masing peta ini dimasukkan ke dalam sistem SIG dalam bentuk lapis-lapis data. Peta-peta tersebut dikonversi menjadi bentuk format raster/grid berukuran 20 m x 20 m.

##### (2) Persamaan USLE

USLE merupakan persamaan empiris tipe multiple-regression, mencakup parameter yang berpengaruh dalam erosi:

$$A = R \times K \times L \times S \times C \times P$$

dengan,

A: Rata-rata kehilangan tanah tahunan

R: Faktor Erosivitas Curah Hujan

K: Faktor Erodibilitas tanah

L: Faktor Panjang Lereng

S: Faktor Kemiringan Lereng

C: Faktor Pengelolaan Tanaman

P: Faktor Cara Pengendalian Erosi

##### (3) Faktor Erosivitas Curah Hujan (R)

Faktor Erosivitas Curah Hujan diperoleh dengan mempergunakan Indek Erosivitas Hujan (RE). RE dihitung dengan mengikuti rumus (formula) dari Departemen Kehutanan Indonesia.

$$Re = 2.21 \times \sum_{i=1}^{12} R_i^{1.36}$$

<sup>2</sup> Gregory L. Morris, dan Jiahua Fan, 1997, "Reservoir Sedimentation Handbook", Hal. 6.23-6.25

dengan,

- Re : Indek Erosivitas Hujan
- Ri : Curah Hujan Bulanan (cm)
- i : Bulan (Januari s/d Desember)

Data Curah Hujan Bulanan selama 24 tahun (dari 1982 s/d 2004) berasal dari 15 stasiun Curah Hujan di dalam dan sekitar DTA Waduk Wonogiri. Faktor Erosivitas Curah Hujan (R) dihitung dan ditunjukkan berikut.

**Tabel 4.5.3 Indeks dan Faktor Erosivitas Curah Hujan Re dan R**

Indeks Erosivitas Curah Hujan (Re)	Faktor Erosivitas Curah Hujan (R)
1,000-1,100	1,050
1,100-1,200	1,150
1,200-1,300	1,250
1,300-1,400	1,350
1,400-1,500	1,450
1,500-1,600	1,550
1,600-1,700	1,650
1,700-1,800	1,750
1,800-1,900	1,850
1,900-2,000	1,950
2,100-2,200	2,150
2,200-2,300	2,250
2,300-2,400	2,350
2,500-2,600	2,550

Sumber: Tim Studi JICA

(4) Faktor Erodibilitas Tanah (K)

Untuk menentukan nilai K tanah di DAS Wonogiri, diagnosa profil tanah, analisis distribusi partikel tanah, pengukuran laju di dasar intake dilakukan (dijelaskan secara rinci dalam Lampiran No. 9). Nilai K ditentukan berdasarkan hasil analisis dan monograph nilai K untuk USLE. Nilai perhitungan “K” ditunjukkan di bawah ini.

**Tabel 4.5.4 Faktor Erodibilitas Tanah K**

Jenis Tanah	Faktor Erodibilitas Tanah (K)
Mediterranean	0.31
Grumusol	0.48
Latosol	0.32
Lithosol	0.015*

\* Angka-angka ini diambil dari Laporan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Tangkapan Waduk Serbaguna Wonogiri Buku II Lampiran Teknik

Sumber: Tim Studi JICA

(5) Faktor Topografi (LS)

Faktor topografi (LS) dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$LS = \sqrt{\lambda/22.1} \cdot (65.41 \sin^2 \theta + 4.56 \sin \theta + 0.065)$$

dengan,

- LS : Faktor topografi
- $\lambda$  : Panjang lereng
- $\theta$  : Kemiringan lereng

Dalam hitungan studi ini, panjang lereng ( $\lambda$ ) ditentukan sebagai berikut. Panjang lereng

teras diklasikan menjadi 5 klas berdasarkan survei kondisi teras saat ini.

**Tabel 4.5.5 Panjang Lereng berdasarkan Kelas Tataguna Lahan**

Tataguna lahan	Panjang Lereng (m) / Kemiringan (%)
(1) Tegalan, sawah, kebun buah dan perkebunan, pertanian lahan kering di kawasan pemukiman rumah	
a) klas-1	8 m / 0-8%
b) klas-2	8 m / 8-15%
c) klas-3	4 m / 15-25%
d) klas-4	3m / 25-40%
e) klas-5	2m / di atas 40%
(2) Lain-lainnya	50 m

Sumber: Tim Studi JICA

Sudut kemiringan lereng ( $\theta$ ) dihitung berdasarkan kontur peta rupabumi Bakosurtanal. Lahan tegalan dengan kemiringan lahan di atas 50%, kemiringannya disamakan 50%.

(6) Faktor Penutupan dan Pengelolaan (C)

Faktor Penutupan dan Pengelolaan “C” secara umum ditentukan dengan merujuk Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departmen Pertanian 1990 dan diagram pada Laporan Rencana Teknik Lapangan (1985) ditunjukkan dalam tabel berikut.

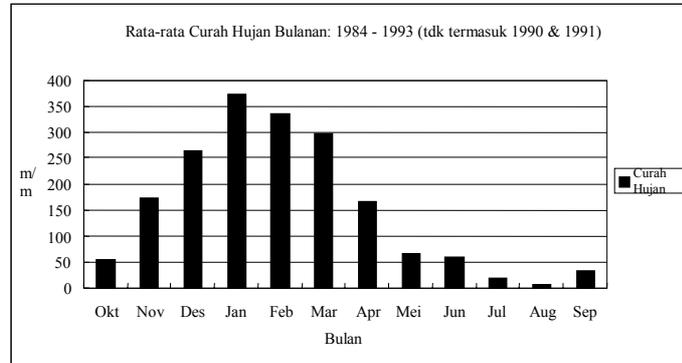
**Tabel 4.5.6 Faktor Tutupan dan Pengelolaan C**

Tata Guna Lahan	Faktor Tutupan dan Pengelolaan (C)
Sawah	0.05
Kawasan pemukiman rumah	0.10
Kawasan pemukiman rumah dengan kondisi tanah tegalan	0.70
Tegalan	
1-MT-I: faktor tanaman campuran jagung dan ketela tahunan rata-rata	0.60
2-MT-II: faktor tanaman campuran kacang-kacangan dan ketela tahunan rata-rata	0.45
3-MT-III: faktor tanaman campuran kacang-kacangan dan ketela tahunan rata-rata	1.00
Padang rumput / semak	0.02
Hutan	0.01
Kebun buah / Perkebunan	0.30
Lahan terbuka	1.00
Air	0.00

Sumber: Tim Studi JICA

Di Wonogiri, lahan pertanian kering banyak ditanami tanaman semusim. Intensitas tanaman di lahan kering terdiri atas musim tanam pertama (MT I) 100%, musim tanam kedua (MT II) 40% dan musim tanam ketiga (MT III) 1% sebagai berikut.

Musim Tanam	Musim Tanam I			Musim Tanam II					Musim Tanam III				
Bulan	Okt.	Nov.	Des.	Jan.	Feb.	Mar.	April	Mei	Juni	Juli	Agus	Sep.	Keterangan
Tipe Pola Tanam													Palawija: - Jagung - Padi Gogo - Kacang
	Intensitas 100%			Intensitas 40%					Intensitas 1%				



Sumber: Tim Studi JICA

**Gambar 4.5.1** Tipikal Jadwal Tanam dan Curah Hujan Bulanan Rata-rata di DAS Wonogiri

Seperti grafik diatas, intensitas tanaman pada MT II adalah 40% dan sisa 60% menjadi bero (tidak dimanfaatkan) mulai bulan Februari s/d Mei ketika hujan lebat masih terjadi, yang mengakibatkan erosi tanah serius. Untuk memperoleh nilai faktor tanaman secara akurat, maka seluruh faktor pengelolaan dan penutupan lahan kering dihitung dengan menggunakan persamaan yang memakai data intensitas tanaman pada tingkat kecamatan:

$$C = (C_i \times R_i + C_{ii} \times R_{ii} + C_{iii} \times R_{iii} + \dots + C_{iix} \times R_{iix}) / R_{i-iix}$$

dengan,

C : Faktor pengelolaan/penutupan selama 1-tahun

C<sub>i</sub> : Rata-rata tahunan faktor tanaman bagi kombinasi ubi kayu dan jagung serta kombinasi ubi kayu dan kacang-kacangan

R<sub>i</sub> : Faktor erosititas curah hujan bulanan bulan ke i

R<sub>i-iix</sub> : Faktor erosititas curah hujan tahunan (akumulasi Jan. s/d Des.)

Faktor pengelolaan dan penutupan (C) untuk tegalan berubah berdasarkan intensitas tanaman di areal Kecamatan yang bersangkutan.

(7) Faktor Praktek Bercocok-tanam (P)

Faktor pendukung bercocok tanam (P) bagi penggolongan penggunaan tanah yang dipergunakan untuk penyusunan Peta Penggunaan Tanah dalam DTA Waduk Wonogiri, terutama ditentukan oleh referensi data dan informasi dari diagram parameter C, dalam Laporan Rencana Teknik Lapangan (1985) dan Risalah Lokakarya Pemantapan Perencanaan Konservasi Tanah dan Evaluasi Tingkat Erosi; Proyek Penelitian Penyelamatan Hutan, Tanah dan Air, Februari 1990, sebagai berikut:

**Tabel 4.5.7 Faktor Praktek Bercocok Tanam P**

Praktek Pengendalian Erosi	Nilai Faktor P
Tanpa upaya konservasi tanah	0.80
Teras gulud	
Campuran (teras gulud dan tanpa teras)	
Teras bangku tradisional	0.50
Teras bangku pada lahan tegalan:	
(1) Baik	0.04
(2) Sedang	0.20
(3) Cukup hingga jelek	0.40
Teras pada sawah irigasi	0.02
Kebun buah/Perkebunan	0.40
Tegalan di kawasan pemukiman	0.65
Hutan negara	1.00
Kawasan pemukiman perumahan	1.00
Padang rumput	1.00

Sumber: Tim Studi JICA

(8) Kehilangan Tanah Tahunan Rata-rata dari Permukaan Lahan

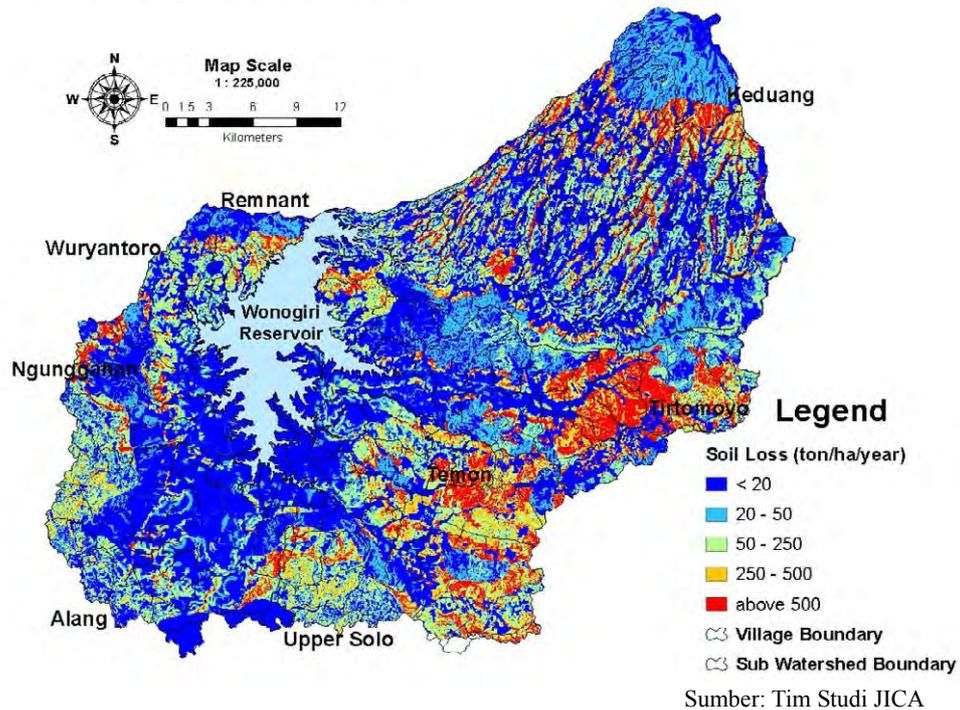
Kehilangan tanah tahunan rata-rata di DAS Wonogiri yang dihitung menggunakan USLE dengan kondisi tersebut di atas menghasilkan 17.3 juta ton/tahun di seluruh DAS Wonogiri. Kehilangan tanah tahunan rata-rata di masing-masing sub-DAS sebagai berikut.

**Tabel 4.5.8 Kehilangan Tanah Tahunan Rata-rata per Ha di Sub-DAS-sub-DAS Wonogiri**

Tataguna Lahan	Sub-DAS								
	Keduang	Tirtomoyo	Temon	Solo Hulu	Alang	Ngunggahan	Wuryantoro	Remnant	Total (1,000 t)
1) Sawah	12	3	0	1	1	1	0	0	18
2) Kawasan pemukiman									
- Halaman rumah	961	450	39	211	42	27	18	12	1,761
- Tegal di pemukiman	1,797	732	136	588	245	128	108	58	3,792
3) Tegalan	1,726	2,911	660	2,403	521	438	197	264	9,120
4) Kebun buah / Kebun	363	235	52	298	31	25	35	31	1,071
5) Hutan	11	0	0	0	0	0	1	2	14
6) Hutan negara									
- Hutan	4	8	0	0	0	0	0	4	16
- Penggunaan lainnya	234	440	85	299	210	52	1	33	1,454
7) Lain-lainnya	4	7	1	7	6	6	0	1	34
<b>Total</b>	<b>5,112</b>	<b>4,786</b>	<b>974</b>	<b>3,808</b>	<b>1,057</b>	<b>777</b>	<b>360</b>	<b>405</b>	<b>17,279</b>
DTA (km <sup>2</sup> )	421	231	63	206	169	82	44	28	1,244
<b>Kehilangan Tanah Tahunan Rata-rata/ha (ton/ha/tahun)</b>	<b>121</b>	<b>208</b>	<b>156</b>	<b>185</b>	<b>62</b>	<b>94</b>	<b>82</b>	<b>146</b>	<b>139 (rerata di DAS)</b>

Sumber: Hasil Survei JICA

Kehilangan tanah tahunan rata-rata dari Sub DAS Keduang adalah yang terbesar, kemudian Tirtomoyo, Solo Hulu dan Alang. Kehilangan tanah tahunan rata-rata dari lima sub-DAS kecil, kurang dari 1.000.000 ton/tahun. Nilai tertinggi di Keduang karena luas DAS nya yang terbesar meskipun kehilangan tanah per ha relatif rendah. Meskipun wilayah Tirtomoyo dan Solo Hulu adalah setengah dari luas Keduang, tetapi nilai kehilangan tanah/tahun lebih tinggi sesuai dengan nilai kehilangan tanah/ha yang lebih tinggi. Kehilangan tanah di seluruh DAS Wonogiri ditunjukkan di Gambar 4.5.2.



**Gambar 4.5.2 Kehilangan Tanah Tahunan Rata-rata per Hektar di DAS Wonogiri**

Seperti disebutkan dalam Sub-bab 4.1, banyak sediment hasil erosi tanah yang terendapkan kembali sebelum masuk waduk Wonogiri. Hasil sedimen dari DAS Wonogiri (ke waduk Wonogiri) dikira-kira menggunakan nisbah pengiriman sedimen (*sediment delivery ratio*). Proses estimasi Hasil sedimen dari semua sumber erosi menjadi endapan sedimen di waduk Wonogiri dijelaskan dalam bab berikut.

#### 4.6 Hasil Sedimen Tahunan ke Waduk Wonogiri

##### 4.6.1 Hasil Sedimen Tahunan dari Erosi Jurang, Longsor, Tebing Sungai, dan Sisi Tebing Jalan

Meskipun berat jenis material sedimen dari jurang, longsor, tebing sungai dan tebing jalan adalah  $2,65 \text{ ton/m}^3$ , *bulk density* nya biasanya 1.2 sampai  $1.8 \text{ ton/m}^3$  karena termasuk butiran padat dan hampa. Sebaliknya, rata-rata *bulk density* sedimen waduk Wonogiri adalah  $1.064 \text{ ton/m}^3$ . Dalam Studi ini, *bulk density* dari sumber material diasumsi sebesar  $1.6 \text{ ton/m}^3$  dengan *void ratio* 40%.

Ringkasan perkiraan hasil sedimen sebagai berikut.

**Tabel 4.6.1 Hasil Sedimen Tahunan di Waduk Wonogiri berdasarkan Sumbernya**

Sistem Sungai	Erosi Jurang	Longsor	Tebing Sungai	Sisi Tebing Jalan	Erosi Permukaan	Total Hasil Sedimen Tahunan dari DAS
	( $\text{m}^3$ )	( $\text{m}^3$ )	( $\text{m}^3$ )	( $\text{m}^3$ )	( $\text{m}^3$ )	( $\text{m}^3$ )
Keduang	67.880	2.930	9.780	3.690	1.134.300	1.218.580
Tirtomoyo	90	11.730	19.760	2.480	469.700	503.760
Temon	30	0	11.350	600	61000	72.980
Solo	220	440	11.040	1.990	591.300	604.990
Alang	7.330	0	66.620	730	326.600	401.280
Lain-lainnya	0	0	11.850	1.170	363.900	376.920
<b>TOTAL</b>	<b>75.550</b>	<b>15.100</b>	<b>130.400</b>	<b>10.660</b>	<b>2.946.800</b>	<b>3.178.510</b>

Sumber: Tim Studi JICA