

# **Studi Optimasi Pengelolaan dan Pengembangan Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Lesti Kabupaten Malang**

**Dr. Ir. Lily Montarcih L., MSc.**  
**Dr. Ir. Aniek Masrevaniah, Dipl. HE.**  
**Eka Agus Subiyantoro**

**Abstraksi:** Kerusakan lingkungan yang semakin luas akibat kerusakan lahan yang signifikan telah menyebabkan penurunan daya dukung Daerah Aliran Sungai (DAS) terhadap terjadinya bahaya erosi dan banjir. Mengingat hal tersebut, akan semakin terasa perlunya pengembangan dan pengelolaan DAS secara optimal. Dan Sub DAS Lesti bagian hilir yang meliputi kecamatan Sumbermanjingwetan, Turen, Wajak, Bululawang, Gondanglegi, Pagelaran, Gedangan, Bantur dan Pagak merupakan salah satu DAS yang memiliki permasalahan di atas. Oleh karena itu perlu adanya optimasi penggunaan lahan untuk mendapatkan besar debit dan erosi yang optimal. Pada studi ini dilakukan analisa hidrologi dan erosi menggunakan metode USLE masing-masing guna mendapatkan nilai debit limpasan dan laju erosi pada Sub DAS Lesti sebagai data eksisting. Dari nilai tersebut dibuat perumusan model matematika berupa kendala/batasan dan fungsi sasaran dengan variabel hutan, perkebunan, sawah/tegalan dan pemukiman. Pada optimasi ini digunakan bantuan program solver pada Microsoft Excel 2007. Hasil analisis optimasi dengan bantuan program solver pada Microsoft Excel 2007, diperoleh penggunaan lahan serta debit limpasan dan erosi optimal. Penggunaan lahan optimal dari analisis tersebut dibuat kendala/batasan baru guna mendapatkan kombinasi debit limpasan dan erosi optimal. Dengan 4 macam alternatif, dari keempat alternatif di tersebut kombinasi debit dan erosi optimal yang didasarkan pada kondisi sosial dan budaya masyarakat adalah alternatif 2 dengan nilai masing-masing sebesar 351,43 m<sup>3</sup>/dt dan 7.549.695,54 ton/thn.

**Kata kunci:** daerah aliran sungai, debit limpasan, erosi, optimasi

**Abstract:** The widespread of environmental degradation caused by significant land degradation has caused a decrease in supporting capacity of watershed (DAS) on the occurrence of erosion and flood hazard. Reviewing this, an optimal development and management of watershed is urgently needed. And Lesti sub-watershed in downstream area covering Sumbermanjingwetan, Turen, Wajak, Bululawang, Gondanglegi, Pagelaran, Gedangan, Bantur, and Pagak district is considered as a watershed which is experiencing the problem. Therefore, an optimal optimization in the land usage for obtaining discharge and erosion is needed. An analysis of hydrology and erosion using USLE method to obtain the respective value of discharge and erosion rate in Lesti sub-watershed as the existing data is conducted in this study. From these values, the formulation of mathematical model in the form of obstacles/limitation and objective functions with forest, rice field, plantation, and settlement is constructed. In this optimization, the aid from a solver program in Microsoft Excel 2007 is used. From the result of optimizing analysis with the aid from the program solver in Microsoft Excel 2007, the optimal land usage, the rate of runoff and erosion is obtained. New obstacles and limitation is made from the analysis to obtain an optimal combination of runoff rate and erosion. From the 4 alternatives variation, the combination of optimal discharge and erosion which based on the social and culture of the society two alternatives with their respective values of 351.43 m<sup>3</sup>/sec and 7,549,695.54 tons / year.

**Keywords:** watershed, runoff, erosion, optimization

## **I. PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Latar belakang studi ini adalah adanya beberapa permasalahan sebagai berikut:

1. Bertambahnya populasi penduduk, sehingga memaksa tanah untuk berproduksi secara maksimum.
2. Semakin intensifnya pengolahan lahan secara buruk oleh manusia.
3. Terjadinya kerusakan lahan yang dapat menimbulkan bahaya erosi.
4. Terancamnya kelestarian DAS akibat bahaya erosi yang melampaui batas.

### **1.2 Identifikasi Masalah**

Dari beberapa masalah di atas dapat diambil beberapa identifikasi masalah dari studi ini antara lain:

1. Kerusakan lingkungan yang semakin luas akibat kerusakan hutan dan lahan yang signifikan telah menyebabkan penurunan daya dukung Daerah Aliran Sungai (DAS) terhadap terjadinya bahaya erosi. Mengingat hal tersebut, akan semakin terasa perlunya pengembangan dan pengelolaan DAS secara optimal.
2. Kombinasi pemanfaatan tata guna lahan terhadap nilai erosi dan limpasan permukaan lahan dapat dibuat suatu sistem yang paling berhubungan, kemudian dapat ditentukan model matematikanya. Model tersebut dapat menunjukkan dan mengukur secara konsisten dampak baru suatu kebijaksanaan tata guna lahan terhadap tingkat erosi dan limpasan permukaan.

### **1.3 Batasan Masalah**

Agar permasalahan-permasalahan di atas dapat dibahas secara benar dan tidak

jauh menyimpang dari permasalahan yang telah ditentukan, maka dalam studi ini diperlukan suatu pembatasan masalah sebagai berikut:

1. Daerah/lokasi studi adalah Sub DAS Lesti bagian hilir yang meliputi kecamatan Sumbermanjingwetan, Turen, Wajak, Bululawang, Gondanglegi, Pagelaran, Gedangan, Bantur dan Pagak.
2. Analisa hidrologi digunakan untuk menentukan debit limpasan.
3. Metode USLE digunakan untuk pendugaan laju erosi.
4. Pembahasan dalam kajian ini dititikberatkan pada model matematika program linier yang akan dipergunakan untuk memperoleh penggunaan lahan optimal dengan menggunakan program *solver* pada *Microsoft Excel 2007*.
5. Data yang digunakan bersumber dari Balai Pengelolaan DAS Brantas stasiun Malang.
6. Tidak membahas masalah AMDAL.
7. Tidak membahas masalah konstruksi.
8. Tidak membahas masalah analisa biaya (ekonomi).
9. Tidak membahas masalah sosial dan budaya masyarakat.

### **1.4 Rumusan Masalah**

Berdasarkan identifikasi dan batasan masalah di atas dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapakah besar debit limpasan pada Sub DAS Lesti?
2. Apakah dengan menerapkan metode dan teknik konservasi tanah mampu meminimalisir erosi lahan menjadi lebih kecil dari Edp Sub DAS Lesti?
3. Berapakah besar debit limpasan dan erosi optimal setelah dilakukan optimasi penggunaan lahan?

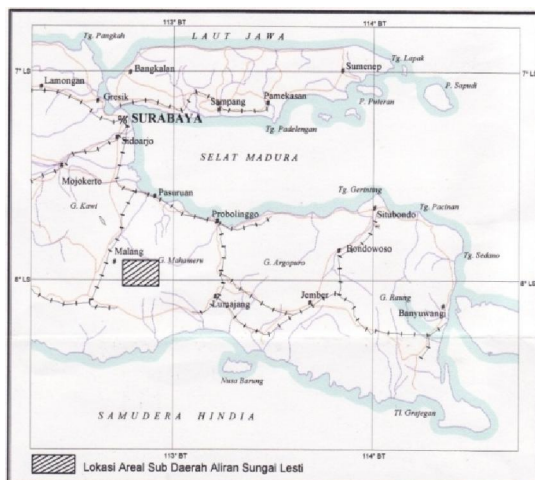
### **1.5 Maksud dan Tujuan Studi**

Maksud dari kajian studi ini untuk mengoptimasi DAS melalui model optimasi dengan menggunakan pemodelan matematika program linier yang tepat untuk Sub DAS Lesti, sehingga dapat ditetapkan tata guna lahan yang ideal dan mempunyai keandalan tata guna sesuai dengan peruntukannya, serta melestarikan DAS tersebut.

Tujuan yang dicapai adalah sebagai bahan masukan dan pertimbangan bagi semua pihak yang berwenang dalam pengelolaan dan pengembangan Sub DAS Lesti.

### 1.6 Lokasi Studi

Secara geografis Sub DAS Lesti berbentuk memanjang terletak diantara 8° 02' 50" - 8° 12' 10" Lintang Selatan dan 112° 42' 58" sampai 112° 56' 21" Bujur Timur dan memiliki luas daerah 18.043 Ha. Secara administratif masuk dalam wilayah Daerah Kabupaten Malang. Sub DAS Lesti bagian Hilir ini berada di 9 kecamatan di Kabupaten Malang antara lain: Sumbermanjingwetan, Turen, Wajak, Bululawang, Gondanglegi, Pagelaran, Gedangan, Bantur dan Pagak. Untuk lebih jelasnya peta lokasi studi dapat dilihat pada **Gambar 1 dan Gambar 2**.



**Gambar 1.** Lokasi Sub DAS Lesti



**Gambar 2.** Sub DAS Lesti

## II. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah dalam pengerjaan studi adalah sebagai berikut:

### 1. Pengolahan data hidrologi:

a. Analisis data hujan yaitu rerata curah hujan bulanan daerah dengan metode Rata-rata Aritmatik.

$$d = \frac{(d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n)}{n}$$

Dengan :

d = tinggi curah hujan rata-rata

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$  = tinggi curah hujan pada pos penakar

b. Analisis curah hujan rancangan dengan menggunakan metode Log Pearson Type III dengan kala ulang yang direncanakan.

c. Analisis debit limpasan permukaan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) dengan metode Nakayasu.

Nakayasu dari Jepang, telah menyelidiki hidrograf satuan pada beberapa sungai di Jepang. Ia membuat rumus hidrograf satuan sintetik dari hasil penyelidikannya sbb:

$$Q_p = \frac{C A R_0}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})}$$

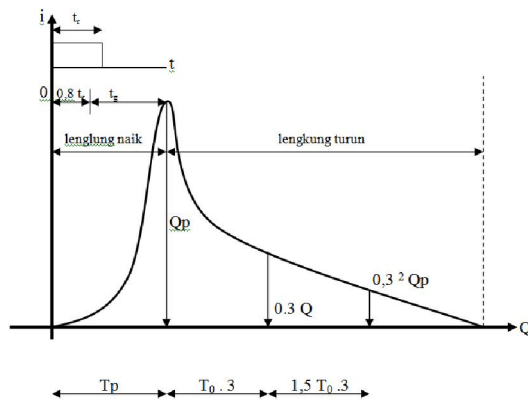
Dengan :

$Q_p$  = Debit puncak banjir ( $m^3/dt$ )

$R_0$  = Hujan satuan (mm)

$T_p$  = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai dengan puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$  = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak



**Gambar 3.** Model hidrograf nakayasu

$$Q_a = Q_p \left( \frac{t}{T_p} \right)^{2,4}$$

dengan:

$Q_a$  = Limpasan sebelum menca-pai debit puncak ( $m^3/dt$ )

$t$  = Waktu ( jam )

$$Q_d > 0,3 Q_p : Q_d = Q_p = 0,3 \frac{t - T_p}{T_{0,3}}$$

$$0,3 Q_p > Q_d > 0,3 Q_p : Q_d = 0,3 \frac{t - T_p + 0,5 T_{0,3}}{1,5 T_{0,3}}$$

$$0,3^2 Q_p > Q_d : Q_d = Q_p = 0,3 \frac{t - T_p + 0,5 T_{0,3}}{2 T_{0,3}}$$

Tenggang waktu untuk  $T = t_g + 0,8 t_r$

$$L < 15 \text{ km} \quad t = 0,21 L^{0,7}$$

$$L > 15 \text{ km} \quad t = 0,4 + 0,058 L$$

$L$  = panjang alur sungai (km)

$t_g$  = waktu konsentrasi (jam)

$t_r = 0,5 t_g$  sampai  $t_g$

$$T_{0,3} = \alpha t_g$$

Untuk

- Daerah pengairan  $\alpha = 2$
- Bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat  $\alpha = 1,5$
- Bagian naik hidrograf yang cepat dan bagian menurun yang lambat  $\alpha = 3$

2. Perhitungan laju erosi dengan menggunakan metode USLE. yang meliputi:

a. Analisis indeks erosivitas hujan. Menggunakan metode Bols dengan rumus sebagai berikut:

$$EI_{30} = 6,12 (Ch)^{1,21} (Hh)^{-0,47} (Hm)^{0,53}$$

Dimana:

$EI_{30}$  = erosivitas hujan rata-rata tahunan

$Ch$  = curah hujan rata-rata tahunan (cm)

$Hh$  = jumlah hari hujan rata-rata per tahun (hari)

$Hm$  = curah hujan maksimum rata-rata dalam 24 jam per bulan untuk kurun waktu satu tahun (cm)

- Analisis indeks erodibilitas tanah.
- Analisis faktor panjang lereng dan kemiringan lereng.
- Analisis faktor pengelolaan tanaman dan konservasi tanah.
- Analisis nilai laju erosi. Menggunakan metode USLE dengan rumus sebagai berikut:

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

$R$  = Erosivitas Hujan

$K$  = Erodibilitas Tanah

$LS$  = Panjang Lereng dan Kemiringan Lereng

C = Faktor Pengelolaan Tanaman

P = Konservasi Tanah

- f. Perhitungan besar erosi yang diperbolehkan (Edp).

Menggunakan metode Hammer dengan rumus sebagai berikut:

$$Edp = \frac{DE - D_{min}}{T} + SF$$

dimana:

Edp = Laju erosi yang masih dapat ditoleransi (mm/thn)

DE = Kedalaman akar efektif (mm)

D<sub>min</sub> = Kedalaman tanah minimum yang diperlukan untuk perkembangan perakaran suatu jenis tanaman (mm)

T = Umur guna sumberdaya tanah (400 tahun)

SF = Laju pembentukan tanah 2,5 mm/thn (menurut Sarwono, 2003).

3. *Pemodelan matematika program linier dengan menggunakan program solver pada Microsoft Excel 2007, untuk memperoleh luasan penggunaan lahan yang optimal.*

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Analisa Hidrologi

1. Analisa curah hujan rerata daerah dengan metode rata-rata aritmatik diperoleh hasil sebagai berikut:

**Tabel 1.** Curah Hujan Rerata Daerah

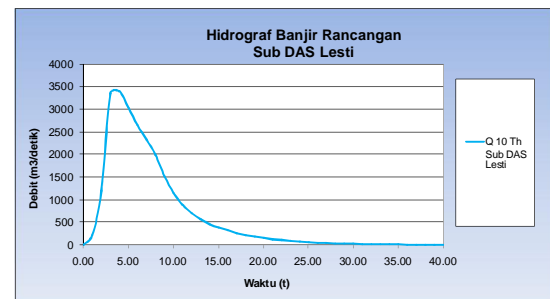
Tahun	Curah Hujan Maks (mm/hari)
1998	678,00
1999	418,75
2000	568,75
2001	516,75
2002	524,50
2003	667,75
2004	608,00
2005	691,25
2006	510,00
2007	562,00
1998	678,00
1999	418,75
2000	568,75
2001	516,75

2. Analisa curah hujan rancangan dengan metode Log Pearson III diperoleh hasil sebagai berikut:

**Tabel 2.** Perhitungan Curah Hujan Rancangan Metode Log Pearson Type III

No.	Kala Ulang (T) (tahun)	P (%)	X <sub>T</sub> (mm/hari)
[1]	[2]	[3]	[9]
1	1,01	99,0099	373,39
2	2	50	575,79
3	5	20	649,93
4	10	10	687,67
5	25	4	726,60
6	100	1	772,24
7	1000	0,1	828,23

3. Analisa debit limpasan dengan metode HSS Nakayasu, diperoleh besar debit 3.397,85 m<sup>3</sup>/dt.



**Gambar 4.** Hidrograf Banjir Rancangan Sub DAS Lesti

#### 3.2 Analisa Erosi Metode USLE

Analisa erosi dengan metode USLE pada Sub DAS Lesti sebelum konservasi diperoleh sebesar 7.697,572 ton/ha/thn = 138.887.296.80 ton/thn. Sedangkan setelah konservasi dengan melakukan pengelolaan konservasi tanah, Pengolahan yang dapat dilakukan untuk mengurangi laju erosi adalah dengan melakukan penanaman jagung dan kacang dengan penutup tanah mulsa sisa tanaman. Sehingga koefisien pengolahan lahan (P) berubah menjadi 0,01, diperoleh erosi sebesar 1.389,242 ton/ha/thn = 25.066.088,69 ton/thn.

### 3.3 Optimasi dengan Program Linier

Optimasi program linier menggunakan bantuan program solver pada Microsoft Excel 2007, dengan ketentuan sebagai berikut:

1.  $X_1$  = luas hutan (ha)  
 $X_2$  = luas perkebunan (ha)  
 $X_3$  = luas tegalan/sawah (ha)  
 $X_4$  = luas pemukiman (ha)
2. Rumus-rumus Kendala (fungsi syarat)

a. Kendala debit

$$q_1 X_1 + q_2 X_2 + q_3 X_3 + q_4 X_4 \geq Q$$

dimana:

$q_1$  = debit akibat 1 Ha  $X_1$  ( $m^3/dt/ha$ )  
 $Q$  = debit limpasan rata-rata Sub DAS Lesti ( $m^3/dt$ )

b. Kendala erosi

$$e_1 X_1 + e_2 X_2 + e_3 X_3 + e_4 X_4 \geq E$$

dimana:

$e_1$  = erosi  $X_1$  (ton/ha/thn)  
 $E$  = erosi per tahun Sub DAS Lesti (ton/thn)

c. Dalam pengkombinasian penggunaan lahan diharapkan hasil sebagai berikut:

- Tersedianya luas hutan sekurang-kurangnya 30% dari luas hutan eksisting.
  - Tersedianya luas pemukiman seperti luas eksisting.
  - Tersedianya luas tegalan seluas eksisting atau dengan luas sekurang-kurangnya 50% dari luas eksisting.
- Pengkombinasian di atas diperoleh berdasarkan penelitian sebelumnya.

Dengan fungsi sasaran sebagai berikut:

1. Meminimumkan debit limpasan dengan mencari kombinasi penggunaan lahan pada tingkat tertentu.

Meminimumkan:

$$Z = 0,206 X_1 + 0,025 X_2 + 0,008 X_3 + 0,017 X_4$$

2. Meminimumkan erosi dengan mencari kombinasi penggunaan lahan yang menghasilkan nilai erosi yang lebih kecil dari nilai erosi eksisting.

Meminimumkan:

$$Z = 64,22 X_1 + 334,15 X_2 + 497,70 X_3 + 493,17 X_4$$

Sehingga diperoleh hasil optimasi dengan beberapa alternatif penggunaan lahan sebagai berikut:

**Tabel 3.** Alternatif hasil optimasi debit limpasan dan erosi

Kondisi	Penggunaan Lahan	Luas (Ha)	Q Limpasan ( $m^3/dt$ )	Erosi (ton/thn)
Eksisting	X1	391,00	3.397,82	25.066.088,69
	X2	3.251,00		
	X3	9.551,00		
	X4	4.850,00		
Alternatif 1	X1	117,30	273,21	8.330.694,90
	X2	3.524,70		
	X3	9.551,00		
	X4	4.850,00		
Alternatif 2	X1	117,30	351,43	7.549.695,54
	X2	8.300,20		
	X3	4.775,50		
	X4	4.850,00		
Alternatif 3	X1	2.108,13	687,36	7.268.691,59
	X2	4.741,68		
	X3	6.343,19		
	X4	4.850,00		
Alternatif 4	X1	2.921,38	860,76	6.792.786,17
	X2	5.496,12		
	X3	4.775,50		
	X4	4.850,00		

Dari keempat alternatif di atas kombinasi debit dan erosi optimal yang didasarkan pada kondisi sosial dan budaya masyarakat adalah alternatif 2. Dengan mempertimbangkan mata pencaharian penduduk sekitar yang 75,94% tergantung pada sektor pertanian, karena pada alternatif 2 luas tegalan/sawah dan perkebunan cukup besar yaitu mencapai 13.075,5 Ha. Serta luas tegalan/sawah yang berkurang 50% karena menurut data awal penggunaan lahan Tegalan/Sawah menyumbang erosi terbesar. Sehingga dapat mengurangi besarnya debit dan erosi tanpa merombak kehidupan sosial masya-

rakat di sekitarnya dan nantinya studi ini dapat digunakan sebagai acuan pihak terkait untuk pengelolaan Sub DAS Lesti dengan pertimbangan situasi dan kondisi DAS saat itu.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 5.1. Kesimpulan

Dari keseluruhan analisis yang dilakukan dalam studi ini, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis hidrologi Sub DAS Lesti, diperoleh nilai debit limpasan sebesar 3.397,8 m<sup>3</sup>/dt.
2. Besarnya erosi di Sub DAS Lesti dengan metode USLE dihitung tiap unit lahan dengan mempertimbangkan komponen-komponen USLE yang terdapat dalam Sub DAS Lesti adalah sebesar 7.697,85 ton/ha/thn = 138.887.296,80 ton/thn dan digolongkan pada tingkat erosi sangat berat. Namun dengan metode dan teknik konservasi tanah yaitu dengan penanaman jagung dan kacang dengan penutup tanah rapat atau mulsa tanaman, dengan nilai konservasi tanah 0,01. Sehingga diperoleh nilai erosi setelah konservasi sebesar 1.389,242 ton/ha/th = 25.066.088,89 ton/thn. Sehingga erosi pada Sub DAS Lesti dapat diminimalisir.
3. Dengan cara mengoptimasi tata guna lahan pada Sub DAS Lesti, dengan 4 alternatif nilai debit limpasan dan erosi, dari keempat alternatif di tersebut kombinasi debit dan erosi optimal yang didasarkan pada kondisi sosial dan budaya masyarakat adalah alternatif 2 dengan nilai masing-masing sebesar 351,43 m<sup>3</sup>/dt dan 7.549.695,54 ton/thn. Jika didasarkan pada tata ruang yang baik penggunaan lahan adalah alternatif 4 ma-

sing-masing sebesar 860,76 m<sup>3</sup>/dt dan 6.792.786,17 ton/thn.

##### 5.2. Saran

Dari kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang dilakukan, maka saran berikut diberikan sebagai bahan pertimbangan bagi studi yang lebih baik, antara lain :

1. Tidak terdapat satu pola penggunaan lahan pun yang dapat menurunkan nilai erosi mencapai erosi yang diperbolehkan (Edp), oleh karena itu perlu diberikan perhatian khusus pada pemilihan teknik dan metode konservasi tanah.
2. Kurang adanya inventarisasi terhadap studi-studi terdahulu sehingga sulitnya memperoleh data yang berhubungan dengan obyek yang diteliti. Hal ini merupakan hambatan terbesar bagi peneliti saat ini. Sebaiknya terdapat inventarisasi tersendiri terhadap penelitian yang pernah dilakukan, agar dapat digunakan sebagai literatur bagi penelitian sekarang demi kelancaran dan pendekatan terhadap kebenaran serta sesuai dari target yang diharapkan.

#### V. DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, Chay. 2004. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Asri, Marwan & Widayat, Wahyu. 1986. *Linear Programming*. Yogyakarta: BPFE Yogyakarta.
- Bisri, Mohammad. 2009. *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Malang: CV. Asrosi.
- Departemen Kehutanan. 2003. *Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi lahan dan Konservasi Tanah Sub DAS Lesti (buku*

- I). Surabaya: Balai Pengelolaan Daerah aliaran Sungai Brantas.
- Departemen Kehutanan. 2003. *Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi lahan dan Konservasi Tanah Sub DAS Lesti (buku II)*. Surabaya: Balai Pengelolaan Daerah aliaran Sungai Brantas.
- Departemen Kehutanan. 2003. *Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi lahan dan Konservasi Tanah Sub DAS Lesti (buku III)*. Surabaya: Balai Pengelolaan Daerah aliaran Sungai Brantas.
- Hardiyatmo, Hary Christady. 2006. *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardjowigeno, Sarwono. 2003. *Ilmu Tanah*. Jakarta: Akademika Pressindo.
- Kustamar. 2008. *Konsep, Strategi dan Contoh Pemodelan Hidrologi Daerah Aliran Sungai*. Malang: Universitas Negeri Malang.
- Linsley, Ray K. 1996. *Hidrologi untuk Insinyur*. Jakarta: Erlangga.
- Lubis, Kemala Sari & Rauf, Abdul. 2003. *Indeks Bahaya Erosi Pada Beberapa Penggunaan Lahan Inceptol Desa Telagah Kecamatan Sei Bingei Kabupaten Langkat*. Sumut: USU Digital Library.
- Montarcih, Lily & Soetopo, Widandi. 2009. *Pengantar Manajemen Teknik Sumber Daya Air*. Malang: CV. Citra Malang.
- Montarcih, Lily & Soetopo, Widandi. 2009. *Manajemen Air Lanjut*. Malang: CV. Citra Malang.
- Montarcih, Lily. 2009. *Hidrologi TSA 1*. Malang: CV. Citra Malang.
- Montarcih, Lily. 2009. *Hidrologi TSA 2*. Malang: CV. Citra Malang.
- Mulyanto, H. R. 2006. *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Soemarto, C. D. 1999. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Sosrodarsono, Suyono & Takeda, Kensaku. 1978. *Hidrologi Untuk Pengairan*. Jakarta: Paramita.
- Sunaryo, Trie M. dkk. 2005. *Pengelolaan Sumber Daya Air*. Malang: Bayu Media.
- Utomo, Wani Hadi. 1994. *Erosi dan Konservasi Tanah*. Malang: Penerbit IKIP.