

**EFEKTIFITAS BESAR VOLUME TAMPUNGAN
WADUK DELINGAN, KARANGANYAR TERHADAP
BESAR LAJU VOLUME SEDIMENTASI**

Agus Setyawan¹, Tri Prandono²

^{1,2}Universitas Surakarta, Jl. Raya Palur Ngringo Km. 5, Kota Surakarta, Jawa Tengah 57773

Email : tri.prandono@gmail.com

ABSTRAK

Pada saat ini banyak sekali daerah-daerah irigasi yang telah dibuat dengan biaya tinggi menjadi kurang efektif dikarenakan perkembangan kota yang sangat pesat, disamping memang sudah cukup tuanya umur daerah irigasi tersebut. Salah satu bangunan irigasi yang ada di kabupaten Karanganyar yang sudah berumur hampir 100 tahun adalah waduk Delingan. Hal tersebut tentunya akan sangat berpengaruh terhadap efektifitas sistem irigasi yang telah ada terutama terhadap bahaya yang berupa endapan sedimen pada waduk. Penelitian ini bertujuan secara khusus mencoba meneliti kestabilan besar volume waduk Delingan terhadap besar laju sedimen. Metode penelitian ini dengan mengambil data langsung dari saluran berupa data primer yaitu debit air yang masuk ke waduk, luas dan kedalaman waduk, kemiringan dasar waduk, contoh sedimen dasar maupun melayang sampai dengan konsentrasi sedimennya dan didukung data sekunder berupa gambar purna laksana dan data-data waduk. Dari perpaduan dua data tersebut dianalisis kestabilan waduk dengan persamaan Peter Mayer Muller (MPM) dan Einstein untuk angkutan sedimen dasar serta persamaan Kalinske dan Leopold Maddock untuk angkutan sedimen melayang

Hasil pengujian berdasarkan hasil analisis perhitungan secara umum waduk Delingan ini cenderung tidak stabil, yaitu menurut teori dari Peter Mayer Muller (MPM) dan Einstein yang digunakan menganalisis sedimen dasar waduk Delingan ini relatif terjadi sedimen. Demikian juga berdasarkan hasil analisis perhitungan teori Kalinske dan Leopold Maddock untuk menganalisa besaran sedimen melayang secara umum menurut kedua teori tersebut relatif terjadi ketidakstabilan berupa sedimentasi.

Kata Kunci : Sedimen melayang, Sedimen dasar, Volume waduk.

PENDAHULUAN

Air merupakan salah satu unsur yang sangat penting dan di butuhkan oleh semua makhluk hidup. Di Jawa Tengah utamanya Kabupaten Karanganyar terdapat beberapa waduk diantaranya adalah Bendungan Delingan yang dimanfaatkan masyarakat jika musim kemarau tiba yang menyebabkan mengeringnya sejumlah mata air dan diperparah dijadikan sumber air pabrik gula Tasikmadu untuk kegiatan industri. Secara umum kondisi bendungan Delingan yang mensuplai jaringan Daerah Irigasi Delingan yang dari tahun ke tahun semakin memburuk yang disebabkan oleh cukup tuanya umur jaringan dan diperparah oleh perubahan tata guna lahan yang seharusnya untuk pertanian

banyak diubah menjadi lahan industri dan pemukiman. Hal tersebut dikhawatirkan akan mengurangi tingkat pelayanan maupun umur pelayanan yang telah direncanakan.

Penelitian ini bertujuan antara lain,

1. Mengembangkan dan mendukung penelitian yang pernah dilakukan oleh penulis pada masa lalu.
2. Menganalisa berapa besar volume sedimen yang masuk ke bendungan Delingan apakah masih mampu menahan terhadap bahaya endapan / agradasi.

Beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan obyek sedimen di bendungan dengan berbagai permasalahan dan sudut pandang seperti diuraikan di bawah ini, Pingit BA, (2006) melakukan penelitian

berjudul Pengendalian Sedimen Dalam Bendungan Dengan Pipa Hisap Terapung, yaitu melakukan penelitian pengendalian volume sedimen pada bendungan dengan memanfaatkan metode pengendalian dengan pipa hisap terapung. Dian WP. (2012) melakukan penelitian dengan judul Dampak Sedimentasi Bendungan Soedirman Terhadap Kehidupan Ekonomi Masyarakat yaitu meneliti pengaruh besarnya volume sedimen yang masuk ke bendung yang dikaitkan dengan kehidupan ekonomi masyarakat sekitar. Anton TA. (2015), yang melakukan penelitian berjudul Analisa Volume Sedimen Waduk Wonogiri Di Muara Sungai Keduang. Yaitu melakukan penelitian mengetahui jumlah sedimen yang terbawa masuk ke Waduk Wonogiri oleh Sungai Keduang. Holong OT, (2016) melakukan penelitian dengan judul Analisis Sedimentasi Di *Check Dam Study Kasus : Sungai Air Anak dan Sungai Talang Bandung Kabupaten Lampung Barat*, yaitu melakukan penelitian dengan mengukur besar sedimen Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu model prediksi parametrik dengan pendekatan *Universal Soil Loss Equation (USLE)*

Batasan masalah pada penelitian ini dilakukan dengan obyek penelitian hanya dibatasi pada obyek penelitian di bendungan Delingan saja dengan asumsi pembatasan perhitungan sebagai berikut :

1. Stabilitas saluran diperhitungkan dari bahaya terhadap endapan sedimen atau agradasi.
2. Stabilitas bendungan ini memperhitungkan baik itu sedimen melayang (*suspended load*) maupun dari sedimen dasar (*bed load*) serta dari sedimen totalnya.
3. Metode perhitungan untuk besar sedimen dasar (*bed load*) menggunakan teori persamaan Meyer Peter and Muller (MPM) dan Einstein, sedang untuk menghitung besar sedimen melayang (*suspended load*) menggunakan teori persamaan Kalinske dan teori Leopold Maddock.
4. Kajian perhitungan ini ditekankan pada dua kondisi yaitu data debit, kedalaman saluran dan kemiringan saluran aktual (dari data primer pengukuran langsung di

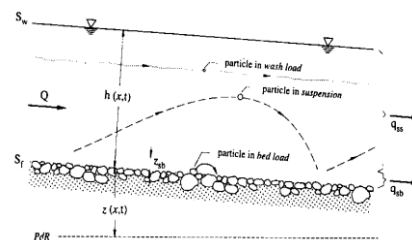
lapangan) serta data debit, kedalaman saluran dan kemiringan saluran menggunakan data sekunder .

TINJAUAN PUSTAKA

Secara umum sedimen yang ada dalam aliran sungai berdasarkan pengelompokannya dapat dibedakan menjadi 2 golongan besar yaitu

1. *Suspended load* adalah jenis yang tersuspensi oleh turbulensi aliran sehingga dia tidak berada di dasar sungai. *Suspended load* ini adalah transpor sedimen yang tersuspensi oleh gaya grafitasi dan yang diimbangi gaya angkat yang terjadi pada turbulensi aliran.
2. *Bed load* adalah jenis yang secara tetap berada di dasar sungai dan terangkut dengan cara menggelinding, menggeser, melompat. Secara umum konfigurasi pergerakan sedimen ini membentuk konfigurasi dasar seperti *dunes, ripple* dan lainnya.

Adapun secara ilustrasinya pergerakan sedimen ini dapat dilihat pada gambar berikut,

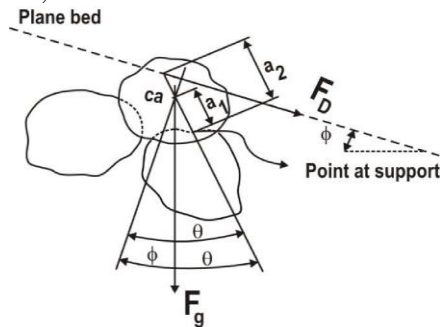


Gambar. 1 Ilustrasi pergerakan sedimen

Kondisi kritis sedimen adalah sebuah kondisi di mana gaya-gaya aliran / gaya hidrodinamik yang bekerja pada sebuah partikel sedimen mencapai nilai tertentu yaitu apabila gaya aliran tersebut ditambah sedikit saja maka akan mengakibatkan partikel buiran tersebut mulai bergerak. Parameter aliran pada kondisi kritis (tegangan geser dasar, τ_0 , dan kecepatan aliran, U , mencapai nilai kritis awal gerak).

- Bila gaya-gaya aliran berada di bawah nilai kritisnya, maka butir tidak bergerak; dasar saluran dikatakan sebagai *rigid bed*.
- Bila gaya aliran melebihi nilai kritisnya, butir bergerak; dasar saluran dikatakan sebagai dsaar bergerak (*movable bed, erodible bed*).

Adapun gaya-gaya yang bekerja pada sebuah partikel sedimen non kohesif dalam sebuah aliran air dapat dicermati pada gambar 2. berikut,



Gambar 2 Gaya yang bekerja pada sebuah partikel

Adapun teori-teori tentang persamaan angkutan sedimen dasar ini disampaikan oleh beberapa ahli antara lain menurut perkembangannya,

1. Teori Persamaan Mayer Peter and Muller /MPM (1948).

Pada tahun berikutnya setelah Kalinske menurunkan persamaan dasar angkutan sedimen dasar munculah dua orang ilmuwan yang lebih menyempurnakan lagi persamaan dasar angkutan sedimen dengan menggunakan range data yang lebih besar yang di kenal dengan persamaan Mayer Peter and Muller atau MPM.

Dengan memperhitungkan faktor gesekan dan dukungan pengukuran data yang lebih besar Mayer Peter dan Muller menurunkan rumusnya sebagai berikut,

$$\frac{Q_s}{Q} \left(\frac{k_s}{k_r} \right)^{3/2} \cdot R \cdot I = 0,047 \left(\frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w} \right) \cdot d_{50} + 0,25 \left(\frac{1}{g} \right)^{1/3} \cdot (T'_b)^{2/3}$$

Di mana,

$\frac{Q_s}{Q} = \frac{R}{h}$: factor koreksi berkaitan dengan tampang saluran.

$\left(\frac{k_s}{k_r} \right)^{3/2} = \mu$: ripple factor.

R : Jari-jari hidraulik, $R \approx h$, bila h (kedalaman saluran) < 5% × b (lebar saluran).

I : slope/kemiringan dasar saluran.

d_{50} : diameter rata-rata butiran.

γ_w : berat jenis air (t/m³).

γ_s : berat jenis sedimen (t/m³).

g : percepatan gravitasi (m/s²).

T'_b : berat sedimen padat dalam air persatuan lebar persatuan waktu (T/m.s).

2. Teori Persamaan Einstein (1950).

Pada dua persamaan yang telah di bahas di atas adalah merupakan persamaan-persamaan yang diperoleh secara empirik, di mana parameter yang digunakan dalam persamaan diperoleh dengan intuition atau *trial and error*. Pada pembahasan berikutnya akan disampaikan persamaan yang diperoleh dengan pendekatan analisis dimensi.

Einstein mendekati persamaan angkutan sedimen dasar dengan teori statistik meski pada awalnya masih belum memperhitungkan pengaruh konfigurasi dasar saluran dan baru pada tahun 1950 menyempurnakan persamaannya dengan memasukan pengaruh konfigurasi dasar. Adapun menurut teori Einstein besar angkutan sedimen dasar didekati dengan persamaan sebagai berikut,

$$T_b = \varphi \cdot \rho_s \cdot g^{3/2} \cdot \Delta^{1/2} d_{35}^{3/2}$$

Di mana T_b : angkutan sedimen dasar (bed load), dalam N/m.s atau m³/s, ton/s.

φ : intensitas angkutan butiran, sebagai fungsi Einstein yang berhubungan dengan intensitas tegangan geser ψ , yang dapat diperoleh dari grafik fungsi Einstein. Sedang nilai ψ adalah,

$$\psi = \frac{\Delta d_{35}}{\mu R I}$$

ρ_s : Rapat massa sedimen kg/m³

g : percepatan gravitasi, dalam m/s².

Δ : Rapat massa relative.

d_{35} : Diameter butiran yang lolos ayakan 35%.

R : Jari-jari hidrolis

I : Kemiringan slope.

μ : Ripple faktor.

Berbeda dengan teori dari Muller Peter and Mayer, Einstein dalam mendefinisikan nilai Ripple faktor menggunakan persamaan berikut ini,

$$\mu = \left(\frac{C}{C_{d90}} \right)^{3/2}$$

Di mana,

C = Koefisien Chezy total (kekasaran butiran + bentuk).

$$= 18 \log \frac{12.R}{k}$$

R = Jari-jari hidroulis.

K = Koefisien kekasaran.

C_{d90} = Koefisien Chezy karena kekasaran. Adapun teori-teori tentang persamaan angkutan sedimen melayang atau *suspended load* ini disampaikan oleh beberapa ahli (digunakan sebagai dasar persamaan perhitungan penelitian ini) antara lain yang diurutkan berdasarkan waktu penelitiannya adalah sebagai berikut,

1. Teori Persamaan Lane dan Kalinske (1941).

Lane dan Kalinske menurunkan persamaan dengan dasar hubungan antara pergerakan sedimen dengan gradien konsentrasi dengan persamaannya sebagai berikut,

$$q_s = q C_a P_L \exp \left(\frac{15 w_o a}{D \cdot u_*} \right)$$

Di mana,

q_s : angkutan sedimen melayang (lb/s/ft)

q : debit persatuan lebar aliran (ft³/s)/ft

u_* : kecepatan aliran geser (ft/s)

C_a : konsentrasi sedimen (°/00)

w_o : kecepatan jatuh (in/s)

a : Ketebalan muatan dasar (inc)

d_{65} : diameter lolos saringan 65 %.

D : kedalaman aliran (in)

P_L : merupakan fungsi dari $\frac{w_o}{u_*}$

dan kekasaran relatif $\frac{n}{D^{1/16}}$

2. Teori persamaan Leopold Maddock (1953).

Hubungan antara angkutan sedimen melayang (Suspensi) atau C_s dengan debit aliran sungai yang lewat atau Q_w oleh Leopold Maddock dinyatakan dengan suatu grafik hubungan logaritmik atau kurva ukur sedimen

(*Sediment rating curve*) seperti pada grafik 2.12. dibawah ini. Adapun grafik tersebut bisa juga dinyatakan dengan persamaan matematika sebagai berikut,

$$Q_s = 0,0864 C_s Q_w$$

Di mana,

Q_s = Angkutan sedimen suspensi (Ton/hari).

C_s = Konsentrasi sedimen (mg/lt).

Q_w = Debit aliran sungai (m³/dt).

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan langsung pada lokasi bendungan Delingan yaitu dengan cara mengamati secara langsung dan mengambil jenis sampel tanah endapan pada tiga titik lokasi yang berbeda yaitu pada titik hulu, titik ujung bendung dan satu lagi pada titik ujung bendung yang berlainan.

Dari ketiga sampel tersebut masing-masing terdiri dari dua sampel berbeda yaitu sampel material sedimen dasar yang berupa tanah endapan dan sampel material sedimen melayang yang berupa air yang diambil di ketiga titik sampel tersebut.

Sampel-sampel tersebut digolongkan dalam pengumpulan data primer sedangkan data sekunder dikumpulkan dari sumber-sumber lainnya misalnya literatur tentang transpor sedimen dan bendungan, data lain dari dinas terkait seperti besar debit, kemiringan dasar bendungan dan gambar purna yang ada di Balai Wilayah Bengawan Solo

Alat dan bahan yang dibutuhkan pada penelitian ini meliputi beberapa peralatan yang diperlukan sebagai pendukung dalam pengambilan data baik di lapangan maupun di laboratorium yang diperlukan baik untuk mengukur maupun menimbang. Penelitian akan dilaksanakan dengan urutan rencana sesuai alir yang ditunjukkan pada gambar di bawah,

Untuk data primer kegiatan yang dilakukan adalah mengambil sampel material langsung di lapangan, yaitu mengambil sampel sedimen dasar atau *Bed Load* dan sedimen melayang atau *Suspended load* pada 5 (Lima) buah titik sampel yaitu,

1. Titik daerah hulu bendung yang berada pada koordinat 7° 35' 14.07" S dan 110° 59' 27.50" E.

2. Titik ujung bendung 1 yang berada pada koordinat $7^{\circ} 35' 47.63''$ S dan $110^{\circ} 59' 35.75''$ E.
3. Titik ujung bendung 2 yang berada pada koordinat $7^{\circ} 35' 31.86''$ S dan $110^{\circ} 59' 09.30''$ E.

Pengambilan data di atas berdasarkan pada titik-titik yang dianggap dapat mewakili kondisi secara keseluruhan dari bendungan yaitu satu sampel dari daerah hulu / saat air masuk ke dalam bendungan, satu titik di daerah hilir / ujung bendung 1, dan satu lagi adalah daerah hilir 2 / ujung bendung 2.

Dari 3 titik sampel sebagai stasiun uji materialnya, maka diambil sampel untuk melakukan uji besar sedimen terangkut baik dari angkutan sedimen dasarnya maupun besar angkutan sedimen melayangnya

Adapun pengumpulan data sekunder adalah mengambil data pada instansi terkait yaitu di Sub din pengairan pemda Karanganyar berupa gambar situasi waduk potongan gambar bendung dan detailing lainnya serta besaran debit rata-rata bendungan.

Dari kedua data di atas kemudian dilanjutkan dengan langkah selanjutnya yaitu memasukan sampel baik dari sedimen dasar / *bad load* maupun sedimen melayang / *suspended load* ke laboratorium untuk dilakukan pengujian guna mendapatkan variabel-variabel nilai antara lain grafik gradasi butiran, berat jenis agregat, konsentrasi sedimen pada sampel air.

Langkah selanjutnya melakukan analisa perhitungan dengan berdasarkan pada data dari laboratorium dan menggabungkan dengan data pendukung dari data sekunder untuk mendapatkan besar sedimen yang terangkut

Adapun data yang telah dikumpulkan kemudian dibuatkan tabel dengan hasil adalah sebagai berikut,

Tabel 1. Data sedimen dasar Waduk Delingan

No	Data	Lokasi Pengambilan Sampel		
		Titik 1	Titik 2	Titik 3
1	Lebar Dasar Waduk/R (m)	860	860	860
2	Kemiringan Dasar Waduk/I	$1,54 \times 10^{-3}$	$1,54 \times 10^{-3}$	$1,54 \times 10^{-3}$
3	Kedalaman Pengambilan Sampel/h (m)	1,10	1,25	1,30
4	Komposisi Butiran Dasar			
	a. d35	0,230	0,600	0,195
	b. d50	0,570	1,085	0,445
	c. d65	0,700	1,820	0,640
5	d. d90	1,950	5,700	3,745
	Rapat Massa ρ_s	2,630	2,630	2,630
6	ρ_w	1,000	1,000	1,000
	Rapat Massa Relatif	1,63	1,63	1,63

Sumber : Hasil Survey

Tabel 2. Data sedimen melayang Waduk Delingan

No	Data	Lokasi Pengambilan Sampel		
		Titik 1	Titik 2	Titik 3
1	Kedalaman Pengambilan Sampel	80 cm	60 cm	75 cm
2	Konsentrasi Sedimen (gr/l)	0,0161	0,1579	0,0323
3	Berat Volume (kg/m^3)	0,0100	0,0900	0,0200
4	Berat Jenis butiran dlm Air (kg/m^3)	0,61419	0,56379	0,61588
5	Kemiringan Dasar Waduk	$1,54 \times 10^{-3}$	$1,54 \times 10^{-3}$	$1,54 \times 10^{-3}$

Sumber : Hasil Survey

HASIL PEMBAHASAN

Adapun hasil perhitungan analisis total sedimen dengan mendasarkan perhitungan besar sedimen dasar (*bed load*) menggunakan teori persamaan Meyer Peter and Muller (MPM) dan Einstein, sedang untuk menghitung besar sedimen melayang (*suspended load*) menggunakan teori persamaan Kalinske dan teori Leopold Maddock. sebagai berikut,

Tabel 3. Hasil analisa perhitungan sedimen dasar Waduk Delingan.

NO	DATA	LOKASI PENGAMBILAN		
		HULU	HILIR 1	HILIR 2
I	Besarnya Angkutan Sedimen Dasar (<i>Bed Load</i>)			
1	Metode Einstein	0.0942	0.0823	0.0657
2	Metode MPM	0.0098	0.0089	0.0037

Tabel 4. Hasil analisa perhitungan sedimen melayang Waduk Delingan.

NO	DATA	LOKASI PENGAMBILAN		
		HULU	HILIR 1	HILIR 2
II	Besarnya Angkutan Sedimen Melayang (<i>Suspended Load</i>)			
1	Metode lane Kalinske	0.0010	0.0008	0.0007
2	Metode Leopold Maddock	0.0035	0.0033	0.0023

Tabel 5. Hasil analisa perhitungan total sedimen Waduk Delingan.

NO	DATA	LOKASI PENGAMBILAN		
		HULU	HILIR 1	HILIR 2
III	Besarnya Angkutan Sedimen Total (<i>Total Load</i>)			
1	Metode Einstein – Kalinske	0.0952	0.0831	0.0644
2	Metode MPM – Leopold M.	0.0133	0.0122	0.0060

PENUTUP

Adapun kesimpulan yang bisa ditarik dari penelitian sebagai berikut,

1. Mendasarkan analisis pada data eksisting riel di lapangan baik itu geometris saluran maupun data sedimennya menunjukkan bahwa kecenderungan adanya ketidakstabilan endapan.
2. Mendasarkan analisis pada data geometris sesuai gambar purna laksana dan data sedimenmya eksisting riel di lapangan menunjukkan kecenderungan adanya ketidakstabilan endapan.
3. Setelah membandingkan hasil analisis perhitungan dengan kedua metode perhitungan di atas ternyata semua mempunyai kecenderungan ketidakstabilan yang sama yaitu adanya ketidakstabilan berupa pengendapan partikel atau sedimentasi waduk.

Adapun saran-saran yang bisa diberikan antara lain adalah sebagai berikut :

1. Untuk memperpanjang masa guna sistem bendungan tetaplah harus dilakukan pemeliharaan berkala pada bendungan tersebut mengingat lokasi bendungan yang saat ini berada di daerah pemukiman penduduk.
2. Untuk mengurangi tingkat kesalahan dalam perhitungan analisis dikarenakan terbatasnya kemampuan fisik manusia, maka penulis menyarankan untuk dapat dibuat sebuah *software* yang bisa

- mengubah sebuah grafik ke dalam sebuah program komputer.
3. Khusus untuk analisis perhitungan sedimen melayang dapat penulis sarankan agar grafik-grafik yang ada yang mendasarkan pada perhitungan dengan satuan imperial / Inggris agar dapat digantikan grafik-grafik dengan dasar perhitungan satuan standar internasional (SI) sehingga dalam sebuah perhitungan besar total sedimen tidak terjadi dua buah analisis perhitungan dengan dua buah satuan yang berbeda yang akan mengurangi tingkat keakurasian perhitungan.
 4. Perlunya sebuah usaha penelitian baru yang disepakati sebagai sebuah perhitungan nilai angkutan sedimen yang bisa mendekati nilai angkutan sedimen riil di lapangan, mengingat dari beberapa teori nilai angkutan sedimen ternyata tidak menghasilkan jumlah nilai angkutan sedimen yang sama.
- DAFTAR PUSTAKA**
- Abdurachman, A., Abuyamin, S., dan Kurnia, U., 1984. *Pengelolaan Tanah dan Tanaman Untuk Usaha Konservasi*. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Arsyad, S. 2000. *Konservasi Tanah dan Air*. Pembrit. IPB/IPB Pros. Cetakanke tiga. Dargama, Bogor.
- Asdak, C., (2002), *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Asdak, Chay. 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yokyakarta: Gajah mada University Press.
- Boyce, R., 1975. *Sediment Routing and Sediment Delivery Ratios. In Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources*, USDA
- Direktorat Jendral Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan. 1998. *Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai*. Departemen Kehutanan RI. Jakarta.
- Mutreja, K.N., 1986. *Applied Hydrology*. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. New Delhi.
- Sri Harto, 2000. *Hidrologi Teori Masalah penyelesaian*. Nafiri, Jakarta.
- Suripin. 2002. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Triatmodjo, Bambang.2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.
- Wischmeier, W. H., and Smith, D.D.,1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses–A Guide To Conservation Planning*. U.S Department of Agriculture, Agriculture Handbook No.537.
- Yuliana, Silvya.2008.*Kajian Ulang Hidrologi*. Buku Ajar Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.
- Abdurachman, A., Abuyamin, S., dan Kurnia, U., 1984. *Pengelolaan Tanah dan Tanaman Untuk Usaha Konservasi*. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Arsyad, S. 2000. *Konservasi Tanah dan Air*. Pembrit. IPB/IPB Pros. Cetakanke tiga. Dargama, Bogor.
- Asdak, C., (2002), *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Asdak, Chay. 2007. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yokyakarta: Gajah mada University Press.
- Boyce, R., 1975. *Sediment Routing and Sediment Delivery Ratios. In Present and Prospective Technology for Predicting Sediment Yield and Sources*, USDA
- Direktorat Jendral Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan. 1998. *Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai*. Departemen Kehutanan RI. Jakarta.
- Mutreja, K.N., 1986. *Applied Hydrology*. Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited. New Delhi.
- Sri Harto, 2000. *Hidrologi Teori Masalah penyelesaian*. Nafiri, Jakarta.
- Suripin. 2002. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Yogyakarta: Penerbit Andi.

Triatmodjo, Bambang.2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset, Yogyakarta.

Wischmeier, W. H., and Smith, D.D.,1978. *Predicting Rainfall Erosion Losses–A Guide To Conservation Planning*. U.S

Department of Agriculture, Agriculture Handbook No.537.

Yuliana, Silvya.2008.*Kajian Ulang Hidrologi*. Buku Ajar Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Jakarta.