

BAB III LANDASAN TEORI

A. Metode MUSLE

Metode MUSLE (*Modify Universal Soil Loss Equation*) adalah modifikasi dari metode USLE (*Soil Loss Equation*), yaitu dengan mengganti faktor erosivitas hujan (R) dengan faktor aliran atau limpasan permukaan (*Run Off*). Metode MUSLE sudah memperhitungkan baik erosi maupun pergerakan sedimen pada DAS berdasarkan kejadian hujan tunggal (*single event*) (wiliams, 1975 ; Simon and Sentruk, 1992 dalam Suripin, 2002 : 84), dengan persamaannya adalah sebagai berikut :

$$SY = R \times K \times LS \times CP \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana :

$$R = a (V_Q \times Q_p)^b \dots\dots\dots (3.2)$$

- Keterangan :
- SY = Jumlah tanah yang tererosi (ton/tahun)
 - R = Aliran permukaan (*runoff*)
 - K = Faktor erodibilitas tanah
 - LS = Faktor kemiringan lereng
 - CP = Faktor penggunaan lahan dan pengolahan tanah
 - V_Q = Volume aliran permukaan (m³)
 - Q_p = Aliran puncak (m³/s)
 - a = 11.8 (konstan)
 - b = 0.56 (konstan)

B. Run Off (R)

Limpasan permukaan (*Surface Run Off/Direct Run Off*) adalah limpasan yang selalu mengalir melalui permukaan tanah (sebelum dan sesudah mencapai saluran). Run off adalah suatu proses dimana hujan tidak mampu ditahan oleh tanah sehingga air hujan akan membawa serta butiran tanah dan menyebabkan

pendangkalan di sungai. Pada saat hujan, sungai yang telah mengalami pendangkalan akan meluap sehingga menyebabkan banjir. Dalam menentukan faktor *run off* data-data yang diperlukan terlebih dahulu adalah sebagai berikut :

1. *Time of concentration* (T_c)

Besarnya nilai T_c (waktu konsentrasi) bisa diketahui setelah nilai L (panjang sungai) dan S (*Slope*) diketahui terlebih dahulu, kemudian besarnya nilai T_c bisa diketahui dengan rumus (Kumar, 2015):

$$T_c = 0.01947L^{0,77} \times S^{-0,385} \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana : T_c = Waktu konsentrasi (menit)
 L = Panjang aliran utama (meter)
 S = Slope ($\Delta H/L$), ΔH yaitu perbedaan elevasi antara titik terjauh dan *outlet* DTA.

2. Aliran puncak (*peak flow*)

Besarnya nilai Q_p (aliran puncak) bisa diketahui setelah mendapat nilai T_p (basin lag) dengan rumus (Kumar, 2015):

$$Q_p = \frac{0.278 \times A \times D}{T_p} \dots\dots\dots (3.4)$$

Dimana : Q_p = *Peak flow* (m^3/s)
 A = Luas (km^2)
 D = Kedalaman hujan atau tinggi hujan (mm/th)
 T_p = $0.67T_c$ (h), dimana T_c adalah waktu konsentrasi (h)

3. Volume Aliran Permukaan

Besarnya nilai V_Q (volume aliran permukaan) bisa diketahui setelah tinggi hujan dan luas DAS (A) di satu sub kawasan diketahui terlebih dahulu, kemudian besarnya nilai V_Q bisa diketahui dengan rumus :

$$V_Q = D \times A \times CP \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana : V_Q = Volume aliran permukaan (m^3)
 D = Kedalaman hujan atau tinggi hujan (mm/th)
 A = Luas (km^2)

CP = Faktor penggunaan dan pengolahan lahan

4. Limpasan Permukaan (*Runoff*)

Setelah diketahui besarnya nilai Q_p dan nilai V_Q , bisa didapatkan nilai R dengan rumus :

$$R = a (V_Q \times Q_p)^b \dots\dots\dots (3.6)$$

Dimana : R = Limpasan permukaan (*runoff*)

V_Q = Volume aliran permukaan (m^3)

Q_p = Aliran puncak (m^3/s)

a = 11.8 (konstan)

b = 0.56 (konstan)

C. Faktor Erodibilitas Tanah (K)

Erodibilitas Tanah adalah tingkat kepekaan suatu jenis tanah terhadap erosi. Kepekaan tanah terhadap erosi (*Erodibilitas*) tanah didefinisikan sebagai mudah tidaknya suatu tanah tererosi. Faktor erodibilitas tanah (K) menunjukkan resistensi partikel tanah terhadap pengelupasan dan transportasi partikel-partikel tanah tersebut oleh adanya energi kinetik air hujan. Besarnya erodibilitas atau resistensi tanah juga ditentukan oleh karakteristik tanah seperti tekstur tanah, stabilitas agregat tanah, kapasitas infiltrasi, kandungan organik dan kimia tanah. Karakteristik tanah tersebut bersifat dinamis (selalu berubah) oleh karenanya karakteristik tanah dapat berubah seiring dengan perubahan waktu dan tata guna lahan atau sistem pertanaman, dengan demikian angka erodibilitas tanah juga akan berubah. Perubahan erodibilitas tanah yang signifikan berlangsung ketika terjadi hujan karena pada waktu tersebut partikel-partikel tanah mengalami perubahan orientasi dan karakteristik bahan kimia dan fisik tanah. Tanah yang mempunyai erodibilitas tinggi akan tererosi lebih cepat dibandingkan dengan tanah yang mempunyai erodibilitas rendah, dengan intensitas hujan yang sama. Jadi, sifat-sifat fisik, kimia dan biologi tanah juga mempengaruhi besarnya erodibilitas tanah. Pengaruh usaha-usaha pengelolaan tanah sukar diukur, meskipun lebih penting dari sifat-sifat tanah seperti tersebut diatas.

Berikut adalah persamaan matematis yang menghubungkan karakteristik tanah dengan tingkat erodibilitas tanah seperti dibawah ini :

$$K = \{ 2,713 \times 10^{-4} (12 - O)M^{1,14} + 3,25(S - 2) + 2,5 \frac{(P-3)}{100} \} \dots\dots (3.7)$$

- Dimana :
- K = Erodibilitas tanah
 - OM = Persen unsur organic
 - S = Kode klasifikasi struktur tanah (*granular, massive, platy, dll*)
 - P = Permeabilitas tanah
 - M = Prosentase ukuran partikel (% debu + pasir sangat halus) \times (100-% liat)

Tabel 3.1. Nilai M Untuk Beberapa Kelas Tekstur Tanah

Kelas Tekstur Tanah	Nilai M	Kelas Tekstur Tanah	Nilai M
Lempung Berat	210	Pasir	3035
Lempung Sedang	750	Pasir Geluhan	1245
Lempung Pasiran	1213	Geluh Berlempung	3770
Lempung Ringan	1685	Geluh Pasiran	4005
Geluh Lempung	2160	Geluh	4390
Pasir Lempung Debuan	2830	Geluh Debuan	6330
Geluh Lempungan	2830	Debu	8245

Sumber: RLKT DAS Citarum, 1987 (Asdak, 2002)

Tabel 3.2. Faktor Erodibilitas Tanah

No.	Jenis Klasifikasi Tanah	K
1.	Latosol	0,31
2.	Regasol	0,12
3.	Lithosol	0,29
4.	Gumosol	0,21
5.	Hydromof abu-abu	0,20

Sumber: Hidrologi dan Pengolaan Daerah Aliran Sungai, 2014

D. Faktor Panjang Kemiringan Lereng (LS)

Pada prakteknya, variabel L dan S dapat disatukan, karena erosi akan bertambah besar dengan bertambah besarnya kemiringan permukaan tanah (lebih banyak percikan air yang membawa butir-butir tanah, limpasan bertambah besar dengan kecepatan yang lebih tinggi), dan dengan bertambah panjangnya kemiringan tanah (lebih banyak limpasan yang menyebabkan lebih besarnya kedalaman aliran permukaan sehingga kecepatannya menjadi lebih tinggi).

Faktor panjang lereng (L) didefinisikan secara matematik sebagai berikut (Schwab et al.,1981) :

$$L = (l / 22,1^m) \dots\dots\dots(3.8)$$

Dimana : l = Panjang kemiringan lereng (meter)

m = Angka eksponen yang dipengaruhi oleh interaksi antara panjang lereng dan kemiringan lereng dan dapat juga oleh karakteristik tanah, tipe vegetasi. Angka eksponen tersebut bervariasi dari 0,3 untuk lereng yang panjang dengan kemiringan lereng kurang dari 0,5 % sampai 0,6 untuk lereng lebih pendek dengan kemiringan lereng lebih dari 10 %. Angka eksponen rata-rata yang umumnya dipakai adalah 0,5.

Faktor kemiringan lereng S didefinisikan secara matematis sebagai berikut:

$$S = (0,43 + 0,30s + 0,04s^2) / 6,61 \dots\dots\dots(3.9)$$

Dimana : s = Kemiringan lereng aktual (%)

Seringkali dalam prakiraan erosi menggunakan persamaan USLE komponen panjang dan kemiringan lereng (L dan S) diintegrasikan menjadi faktor LS dan dihitung dengan rumus :

$$LS = L^{1/2} (0,00138S^2 + 0,00965S + 0,0138) \dots\dots\dots(3.10)$$

Dimana : L = Panjang lereng (m)
 S = Kemiringan lereng (%)

Rumus diatas diperoleh dari percobaan dengan menggunakan plot erosi pada lereng 3 - 18 %, sehingga kurang memadai untuk topografi dengan kemiringan lereng yang terjal. Harper, 1988 (dalam Asdak, 2002) menunjukkan bahwa pada lahan dengan kemiringan lereng lebih besar dari 20 %, pemakaian persamaan 3.10 akan diperoleh hasil yang *over estimate*.

Untuk lahan berlereng terjal disarankan untuk menggunakan rumus berikut ini (Foster and Wischmeier, 1973 dalam Asdak, 2002) :

$$LS = (l / 22)^m C(\cos\alpha)^{1,50} [0,5(\sin\alpha)^{1,25} + (\sin\alpha)^{2,25}] \dots\dots(3.11)$$

Dimana : m = 0,5 untuk lereng 5 % atau lebih
 = 0,4 untuk lereng 3,5 – 4,9 %
 = 0,3 untuk lereng 3,5 %
 C = 34,71
 α = Sudut lereng
 l = Panjang lereng (m)

Faktor ini didekati menggunakan kemiringan lereng. Kriteria kelas lereng dan besarnya nilai LS dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 3.3. Faktor LS Berdasarkan Kemiringan Lereng

No	Kemiringan Lereng (%)	Faktor LS
1	0 - 5	0,25
2	5 - 15	1,20
3	15 - 35	4,25
4	35 - 50	7,50
5	> 50	12,00

Sumber: RLKT (Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah), Buku II, 1986

E. Faktor Tanaman Penutup Lahan dan Pengelolaan (C)

Faktor tanaman penutup lahan dan pengelolaan (C) merupakan faktor yang menunjukkan keseluruhan pengaruh dari faktor vegetasi, seresah dan kondisi permukaan tanah serta pengelolaan lahan terhadap besarnya tanah yang hilang (tererosi). Faktor C yang merupakan salah satu parameter dalam rumus MUSLE saat ini telah dimodifikasi untuk dapat dimanfaatkan dalam menentukan besarnya erosi di daerah berhutan atau lahan dengan dominasi vegetasi berkayu. Sembilan parameter telah ditentukan sebagai faktor yang berpengaruh dalam menentukan besarnya erosi di daerah vegetasi berkayu tersebut. Kesembilan unsur tersebut adalah konsolidasi tanah, sisa-sisa tanaman, tajuk vegetasi, sistem perakaran, efek sisa perakaran dari kegiatan pengelolaan lahan, faktor kontur, gulma, kekasaran permukaan tanah dan rumput-rumputan.

Penentuan yang paling sulit adalah faktor C, karena banyaknya ragam cara bercocok tanam untuk suatu jenis tanaman tertentu dalam lokasi tertentu. Berhubung berbagai lokasi tersebut mempunyai iklim yang berbeda-beda, dengan berbagai ragam cara bercocok tanam, maka menentukan faktor C guna diterapkan pada suatu lahan tertentu, diperlukan banyak data. Besarnya nilai C tidak selalu sama dalam waktu satu tahun (Asdak, 2002).

Besar nilai C pada penelitian ini diambil dengan melakukan perhitungan prosentase luas dari tiap jenis pengelolaan tanaman. Nilai C yang diambil adalah nilai C rata-rata dari berbagai jenis pengelolaan tanaman dalam satu grid, dikaitkan dengan prosentase luasannya. Adapun bentuk matematis dari perhitungan nilai C rata-rata tiap grid adalah sebagai berikut :

$$C \text{ grid } I = \frac{\sum_{i=1}^n (A_i \times C_i)}{\sum_{i=1}^n A_i} \dots\dots\dots (3.12)$$

Suatu grid yang memiliki tataguna lahan yang cenderung homogen, maka nilai C dari vegetasi yang dominan tersebut akan diambil sebagai nilai C rata-rata.

Tabel 3.4. Nilai C Untuk Jenis dan Pengelolaan Tanaman

No.	Jenis Tanaman/Tataguna Lahan	Nilai C
1.	Tanaman Rumput	0,290
2.	Tanaman Kacang Jogo	1,161
3.	Tanaman Gandum	0,242
4.	Tanaman Ubi Kayu	0,363
5.	Tanaman Kedelai	0,399
6.	Tanaman Serai Wangi	0,434
7.	Tanaman Padi Lahan Kering	0,560
8.	Tanaman Padi Lahan Basah	0,010
9.	Tanaman Jagung	0,637
10.	Tanaman Jahe, Cabe	0,900
11.	Tanaman Kentang Ditanam Searah Lereng	1,000
12.	Tanaman Kentang Ditanam Searah Kontur	0,350
13.	Pola Tanam Tumpang Gilir + Mulsa Jerami (6 ton/ha/th)	0,079
14.	Pola Tanam Berurutan + Mulsa Sisa Tanam	0,347
15.	Pola Tanam Berurutan	0,398
16.	Pola Tanam Tumpang Gilir + Mulsa Sisa Tanam	0,357
17.	Kebun Campuran	0,200
18.	Ladang Berpindah	0,400
19.	Tanah Kosong Diolah	1,000
20.	Tanah Kosong Tidak Diolah	0,950
21.	Hutan Tidak Terganggu	0,001
22.	Semak Tidak Terganggu	0,010
23.	Alang-Alang Permanen	0,020
24.	Alang-Alang Dibakar	0,700
25.	Sengon Disertai Semak	0,012
26.	Sengon Tidak Disertai Semak dan Tanpa Seresah	1,000
27.	Pohon Tanpa Semak	0,320

Sumber: Abdurachman, 1984 (dalam Asdak, 2002)

F. Faktor Tindakan Konservasi Praktis Oleh Manusia (P)

Pengaruh aktivitas pengelolaan dan konservasi tanah (P) terhadap besarnya erosi dianggap berbeda dari pengaruh yang ditimbulkan oleh aktivitas pengelolaan tanaman (C), sehingga dalam rumus MUSLE kedua variable tersebut dipisahkan. Faktor P adalah nisbah antara tanah tererosi rata-rata dari lahan yang mendapat perlakuan konservasi tertentu terhadap tanah tererosi rata-rata dari lahan yang diolah tanpa tindakan konservasi, dengan catatan faktor-faktor penyebab sedimentasi yang lain diasumsikan tidak berubah. Nilai dasar $P = 1$ yang diberikan untuk lahan tanpa tindakan konservasi.

Dengan banyaknya variabel, maka tidaklah mudah memecahkannya dengan cara kuantitatif, kecuali jika terdapat banyak data. Rumus tersebut mempunyai dua buah kegunaan yaitu :

1. Meramalkan kehilangan tanah.

Jika medannya diketahui, cara pengelolaannya diketahui, maka kehilangan tanahnya dapat diramalkan dari pola hujan tertentu yang tercurah selama waktu tertentu (biasanya diambil curah hujan tahunan). Kehilangan tersebut merupakan nilai yang diperkirakan (*expected value*), bukannya kehilangan yang bakal terjadi, dan tidak merupakan nilai kehilangan yang bakal terjadi, misalnya tahun berikutnya, karena intensitas curah hujannya tidak dapat ditentukan sebelum terjadi.

2. Memilih cara bertani.

Dalam penggunaan rumus tersebut, nilai A dipilih sebesar nilai yang dipandang dapat diterima, karena menghentikan erosi sama sekali tidaklah mungkin. Beberapa faktor seperti R, K, dan S untuk medan tertentu tidak dapat segera diubah. Untuk faktor-faktor lainnya mungkin dapat dilakukan dengan memilih cara bertani, sedemikian rupa sehingga misalnya kalau C diberi nilai yang tinggi, maka P harus diperkecil.

Seerti cara penentuan nilai C diatas, penentuan nilai P tiap grid juga diambil dengan melakukan perhitungan prosentase luasan dari tiap jenis konservasi tanah/pengendalian erosi. Nilai P yang diambil adalah nilai P rata-rata atau nilai P yang dominan jika jenis konservasi tanah cenderung homogen dalam satu grid.

Tabel 3.5. Faktor Pengelolaan dan Konservasi Tanah di Jawa

No.	Teknik Konservasi Tanah	Nilai P
1.	Teras Bangku :	
	a) Baik	0,20
	b) Jelek	0,35
2.	Teras Bangku : Jagung - Ubi Kayu/Kedelai	0,06
3.	Teras Bangku : Sorghum – Sorghum	0,02
4.	Teras Tradisional	0,40
5.	Teras Gulud : Padi – Jagung	0,01
6.	Teras Gulud : Ketela Pohon	0,06
7.	Teras Gulud : Jagung – Kacang + Mulsa Sisa Tanaman	0,01
8.	Teras Gulud : Kacang Kedelai	0,11
9.	Tanaman Dalam Kontur :	
	a) Kemiringan 0 – 8 %	0,50
	b) Kemiringan 9 – 20 %	0,75
	c) Kemiringan > 20	0,90
10.	Tanaman Dalam Jalur–Jalur : Jagung – Kacang Tanah + Mulsa	0,05
11.	Mulsa Limbah Jerami :	
	a) 6 ton/ha/tahun	0,30
	b) 3 ton/ha/tahun	0,50
	c) 1 ton/ha/tahun	0,80
12.	Tanaman Perkebunan :	
	a) Disertai Penutup Tanah Rapat	0,10
	b) Disertai Penutup Tanah Sedang	0,50
13.	Padang Rumput :	
	a) Baik	0,04
	b) Jelek	0,40

Sumber: Abdurachman, 1984 (dalam Asdak, 2002)

G. Faktor Penggunaan Lahan dan Pengolahan Tanah (CP)

Faktor CP didekati dengan penggunaan lahan, dan ditimbang terhadap luas tiap satuan medan. Kriteria penggunaan lahan dan besarnya nilai CP dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 3.6. Faktor Penggunaan Lahan dan Pengolahan Tanah (CP)

No	Penggunaan Lahan	Faktor CP
1.	Air Tawar	0
2.	Belukar/Semak	0,30
3.	Gedung	0
4.	Hutan	0,03
5.	Kebun	0,40
6.	Pemukiman	0
7.	Rawa	0
8.	Rumput	0,07
9.	Sawah Irigasi	0,05
10.	Sawah Tadah Hujan	0,05
11.	Tegalan	0,75

Sumber: RLKT (Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah), Buku II, 1986

Dengan menggunakan analisis perhitungan diatas maka kriteria erosi dapat diketahui tingkat bahaya erosi yang terjadi didaerah studi.

Tabel 3.7. Kriteria Erosi

No	Erosi (ton/ha/th)	Kelas	Kriteria
1.	0 - 20	I. Sangat Rendah	Sangat Baik
2.	20 - 50	II. Rendah	Baik
3.	50 - 250	III. Sedang	Sedang
4.	250 - 1000	IV. Tinggi	Jelek
5.	> 1000	V. Sangat Tinggi	Sangat Jelek

Sumber: RLKT (Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah), Buku II, 1986