

BAB IV ANALISA PERHITUNGAN

4.1. Analisa Hidrologi

Sub DAS Sumber Brantas secara administratif terletak pada wilayah Kota Batu, Kota Malang, dan Kabupaten Malang. Luas wilayah Sub DAS Sumber Brantas adalah 43.529,25 ha. Sungai utamanya yaitu Sungai Brantas yang memiliki panjang alur sungai 49,124 km.

Pada studi ini data hujan yang diperlukan adalah data hujan dari stasiun klimatologi yang berpengaruh atau berada dalam wilayah Sub DAS Sumber Brantas. Data hujan yang dipergunakan adalah data hujan harian maksimum selama 10 tahun (antara tahun 1999 sampai 2008) yang diperoleh dari Badan Pengelolaan DAS Brantas Stasiun Malang. Pada studi ini menggunakan data hujan dari empat stasiun, dua stasiun dari Kota Batu yaitu Stasiun Temas dan Stasiun Tinjumoyo, sedangkan dua stasiun diambil dari wilayah Kota Malang yaitu Stasiun Kedungkandang dan Stasiun Sukun.

4.1.1. Curah Hujan Rerata Daerah

Metode yang digunakan untuk menghitung curah hujan rata-rata daerah adalah dengan cara rata-rata aljabar. Perhitungan cara rata-rata aljabar adalah sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)$$

Dengan R_1, R_2, R_3, R_n adalah besarnya curah hujan yang tercatat pada stasiun curah hujan 1, 2, 3, . . . n dan n adalah banyaknya stasiun curah hujan.

Misalnya pada tahun 1999, curah hujan harian maksimum yang tercatat pada Stasiun Temas, Tinjumoyo, Kedungkandang, dan Sukun masing-masing adalah 64 mm, 93 mm, 92 mm, dan 88 mm. Metode perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{1}{4} (64 + 93 + 92 + 88)$$

$$\bar{R} = 84,25 \text{ mm}$$

Adapun hasil perhitungan selanjutnya tersaji pada tabel 4.1

Tabel 4.1. Curah hujan rerata daerah

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)				Jumlah	Curah Hujan Rata-rata (mm)
	Temas	Tinjumoyo	Kedungkandang	Sukun		
1999	64,00	93,00	92,00	88,00	337,00	84,25
2000	119,00	70,00	64,00	87,00	340,00	85,00
2001	57,00	56,00	96,00	108,00	317,00	79,25
2002	70,00	93,00	102,00	100,00	365,00	91,25
2003	73,00	68,00	87,00	112,00	340,00	85,00
2004	73,00	83,00	111,00	98,00	365,00	91,25
2005	63,00	62,00	199,00	114,00	438,00	109,50
2006	80,00	85,00	108,00	98,00	371,00	92,75
2007	65,00	89,00	85,00	176,00	415,00	103,75
2008	69,00	51,00	57,00	130,00	307,00	76,75

Sumber : Perhitungan

4.1.2. Curah Hujan Rancangan

Dari perhitungan curah hujan rata-rata daerah, selanjutnya dihitung curah hujan rancangan dengan menggunakan metode Log Pearson III. Tahapan perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Curah hujan rata-rata daerah diubah dalam bentuk logaritma.

$$X_i = 84,25 \text{ mm maka } \text{Log } X_i = 1,925570$$

2. Menghitung logaritma rata-rata.

$$\overline{\text{Log}X} = \frac{\sum \text{Log}X_i}{n}$$

$$\overline{\text{Log}X} = \frac{19,511667}{10}$$

$$\overline{\text{Log}X} = 1,951167$$

3. Menghitung simpangan baku.

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X})^2}{n-1}}$$

$$S_i = \sqrt{\frac{0,021105}{10-1}}$$

$$S_i = 0,048425$$

4. Menghitung Koefisien kemiringan/kepengcengan.

$$C_s = \frac{n \cdot \sum (\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X})^3}{(n-1)(n-2)S_i^3}$$

$$C_s = \frac{10 \times (0,000497)}{(0-1)(0-2)(0,048425)^3}$$

$$C_s = 0,608291$$

5. Menghitung logaritma hujan rancangan dengan kala ulang tertentu (misalnya untuk kala ulang 2 tahun).

$$\text{Log}X_T = \overline{\text{Log}X} + G.S_i$$

$$\text{Log}X_T = 1,951167 + (0,100409)(0,048425)$$

$$\text{Log}X_T = 1,946304$$

6. Menghitung antilog X_T

$$\text{Log}X_T = 1,946304$$

Maka X_T adalah antilog 1,946304, diperoleh nilai $X_T = 88,369910$

Tahapan perhitungan selengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.2 dan 4.3.

Tabel 4.2. Perhitungan parameter statistik Log Pearson III

No.	Tahun	X_i (mm/hari)	Log X_i	$(\text{Log } X_i - \text{Log } X)^2$	$(\text{Log } X_i - \text{Log } X)^3$
1	1999	84,25	1,925570	0,000655	-0,000017
2	2000	85,00	1,929419	0,000473	-0,000010
3	2001	79,25	1,898999	0,002721	-0,000142
4	2002	91,25	1,960233	0,000082	0,000001
5	2003	85,00	1,929419	0,000473	-0,000010
6	2004	91,25	1,960233	0,000082	0,000001
7	2005	109,50	2,039414	0,007788	0,000687
8	2006	92,75	1,967314	0,000261	0,000004
9	2007	103,75	2,015988	0,004202	0,000272
10	2008	76,75	1,885078	0,004368	-0,000289
jumlah		898,75	19,511667	0,021105	0,000497
rerata Log X_i		(Log X)	1,951167		
koefisien asimetri		(C_s)	0,608291		
standart deviasi		(s)	0,048425		

Sumber: Perhitungan

Tabel 4.3. Perhitungan curah hujan rancangan

No.	Kala Ulang (T) (tahun)	Peluang (%)	Koefisien asimetri (Cs)	Standart deviasi (s)	Faktor frekuensi (G)	Log Q (Log X + G.s)	Q (antilog Q)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	2	50	0.608	0.048	-0.100	1.946	88.370
2	5	20	0.608	0.048	0.799	1.990	97.694
3	10	10	0.608	0.048	1.328	2.015	103.632
4	25	4	0.608	0.048	1.941	2.045	110.962
5	50	2	0.608	0.048	2.363	2.066	116.304
6	100	1	0.608	0.048	2.761	2.085	121.578
7	200	0.5	0.608	0.048	3.140	2.103	126.823
8	1000	0.1	0.608	0.048	3.972	2.144	139.159

Sumber : Perhitungan

Keterangan:

- (1) = nomor
- (2) = kala ulang (tahun)
- (3) = probabilitas (%)
- (4) = koefisien asimetris
- (5) = standart deviasi
- (6) = faktor frekuensi G dari tabel distribusi Log Pearson III
- (7) = $\overline{\text{Log}X} + [(6).(5)]$
- (8) = antilog (7)

4.1.3. Koefisien pengaliran

Koefisien pengaliran (*runoff coefficient*) adalah perbandingan antara jumlah air hujan yang mengalir atau melimpas di atas permukaan tanah (*surface runoff*) dengan jumlah air hujan yang jatuh dari atmosfer. Nilai koefisien pengaliran berkisar antara 0 sampai dengan 1 dan bergantung dari kondisi dan karakteristik suatu daerah. Berdasarkan tabel koefisien pengaliran (tabel 2.1) pada Bab II, maka dalam studi ini ditetapkan nilai koefisien pengaliran sebesar 0,80.

4.1.4. Distribusi hujan jam-jaman model Mononobe

Berikut adalah tahapan perhitungan intensitas curah hujan metode Mononobe dengan diasumsikan hujan terpusat maksimum adalah 6 jam dalam sehari.

1. Rerata hujan sampai jam ke-1.

$$R_T = \frac{R_{24}}{t} \cdot \left(\frac{t}{T}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$R_T = \frac{1}{6} \left(\frac{6}{1} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$$R_T = 0,551$$

2. Prosentase hujan pada jam ke-1.

$$R_T = r \cdot R_T - (t-1) \cdot R_{(t-1)}$$

$$R_T = (1,0 \cdot 0,551) - (0)$$

$$R_T = 55,065 \%$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.4.

Tabel 4.4. Distribusi hujan jam-jaman untuk hujan harian durasi waktu hujan 6 jam

No.	Interval waktu (jam)	Jam ke-t	Rerata hujan sampai jam ke-t	Prosentase hujan pada jam ke-t
1	0,0 - 1,0	1	0,551	55,065 %
2	1,0 - 2,0	2	0,347	14,297 %
3	2,0 - 3,0	3	0,265	10,027 %
4	3,0 - 4,0	4	0,218	7,981 %
5	4,0 - 5,0	5	0,188	6,739 %
6	5,0 - 6,0	6	0,167	5,891 %
Jumlah				100,000 %

Sumber : Perhitungan

Berdasarkan prosentase kejadian hujan terpusat di atas, maka dilakukan distribusi hujan pada setiap jam kejadian hujan tersebut terhadap hujan efektif 1 hari (R_{24}). Untuk tahapan perhitungan hujan netto jam-jaman adalah sebagai berikut:

1. Hujan rancangan dengan kala ulang 2 tahun (R_{10}) adalah 88,370 mm
2. Koefisien pengaliran (c) adalah 0,80
3. Hujan efektif (R_n)

$$R_n = c \cdot R = 0,80 \times 88,370 = 70,696 \text{ mm}$$

4. Untuk distribusi hujan jam ke-1 dengan rasio 55,065 %

$$R_{1,0} = 55,065 \% \times 70,696 = 38,929 \text{ mm}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Perhitungan hujan netto jam-jaman

Kala ulang	Tahun	2	5	10	25	50	100	200	1000
Hujan rancangan	(mm/hari)	88,370	97,694	103,632	110,962	116,304	121,578	126,823	139,159
Koef. Pengaliran		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80
Hujan netto (R efektif)	(mm/hari)	70,696	78,155	82,906	88,770	93,043	97,262	101,459	111,327
Jam ke-t	prosentase hujan pada jam ke-t	Hujan netto jam-jaman (mm/jam)							
		2 tahun	5 tahun	10 tahun	25 tahun	50 tahun	100 tahun	200 tahun	1000 tahun
1	55,065 %	38,929	43,036	45,652	48,881	51,234	53,557	55,868	61,302
2	14,297 %	10,107	11,173	11,853	12,691	13,302	13,905	14,505	15,916
3	10,027 %	7,089	7,836	8,313	8,901	9,329	9,752	10,173	11,163
4	7,981 %	5,643	6,238	6,617	7,085	7,426	7,763	8,098	8,886
5	6,739 %	4,765	5,267	5,587	5,983	6,271	6,555	6,838	7,503
6	5,891 %	4,164	4,604	4,884	5,229	5,481	5,729	5,977	6,558
Hujan netto (efektif)	(mm/hari)	70,696	78,155	82,906	88,770	93,043	97,262	101,459	111,327

Sumber : Perhitungan

4.1.5. Hidrograf satuan sintetik Nakayasu

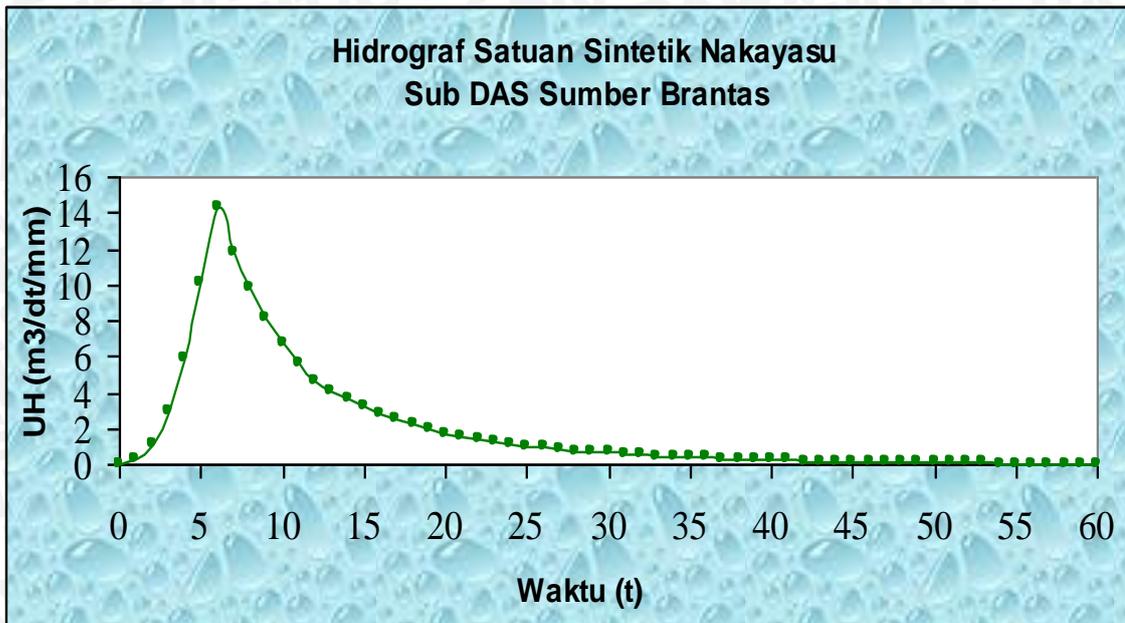
Untuk mendapatkan banjir rancangan, terlebih dahulu dibuat hidrograf banjir pada sungai yang bersangkutan. Pada studi ini perhitungan hidrograf satuan dihitung secara teoritis dengan rumus hidrograf satuan sintetik metode nakayasu. Berikut ini merupakan tahapan perhitungan hidrograf satuan sintetik metode nakayasu:

1. Luas DAS = 43.529,25 km²
2. Panjang sungai utama = 49,124 km
3. Hujan netto (efektif), R_0 = 1,0 mm
4. Parameter hidrograf (α) = 2,0
5. Time leg, t_g (sungai dengan panjang alur >15 km)
 - $T_g = 0,4 + 0,058 \times L = 0,4 + 0,058 \times 49,124 = 3,249$
 - $T_r = (0,5 \text{ sd } 1,0) \times T_g = 1 \times 3,249 = 3,249$
 - $T_p = T_g + 0,8 \times T_r = 3,249 + 0,8 \times 3,249 = 5,849$
6. $T_{0,3} = \alpha \times T_g = 2 \times 3,249 = 6,498$
7. $0,5 \cdot T_{0,3} = 0,5 \times 6,498 = 3,249$
8. $1,5 \cdot T_{0,3} = 1,5 \times 6,498 = 9,748$
9. $2 \cdot T_{0,3} = 2 \times 6,498 = 12,997$
10. $T_p + T_{0,3} = 5,849 + 6,498 = 12,347$
11. $T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3} = 5,849 + 6,498 + 9,748 = 22,095$
13. $Q_p = \frac{AxR_0}{(0,6 \times (0,3T_p + T_{0,3}))}$

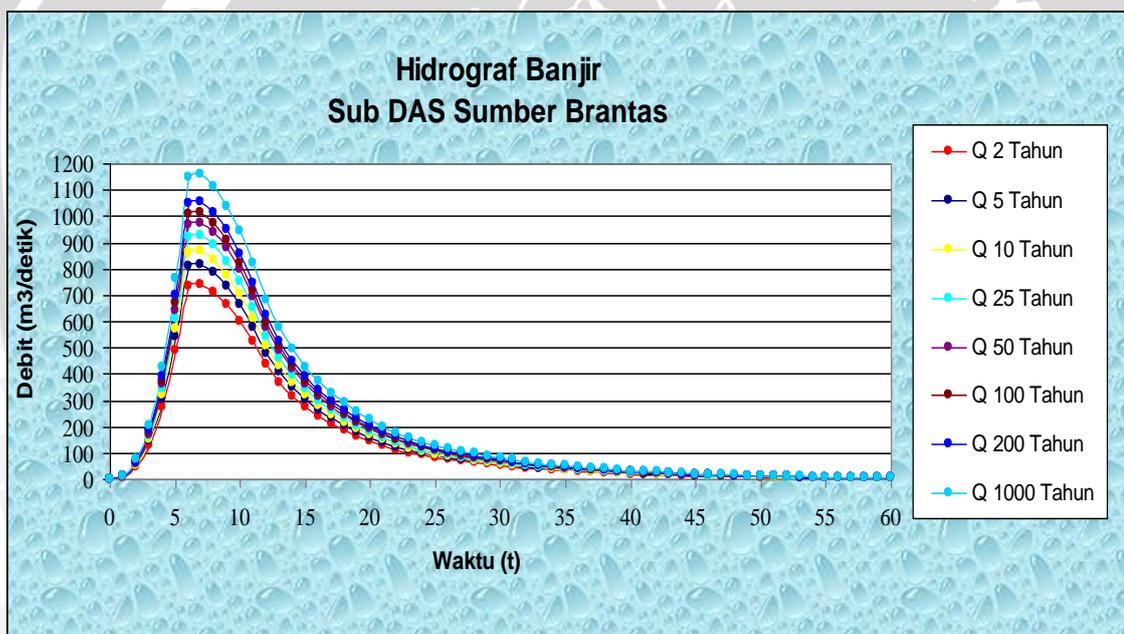
$$Q_p = \frac{435,3 \times 1,0}{(0,6 \times (0,3 \times 5,849 + 6,498))}$$

$$Q_p = 14,6511 \text{ m}^3/\text{dt}/\text{mm}$$

Grafik dari hasil perhitungan hidrograf satuan sintetik nakayasu dapat dilihat pada gambar 4.1, sedangkan hasil perhitungan hidrograf banjir tersaji pada gambar 4.2. Debit banjir rancangan yang diambil untuk analisis selanjutnya adalah Q_{25} karena tujuan akhir pada analisa studi ini tidak merencanakan suatu bangunan konstruksi sebagai solusi penanganan erosi untuk pengelolaan dan perbaikan Sub DAS Sumber Brantas. Metode yang dipakai nantinya adalah teknik konservasi tanah, sehingga debit banjir rancangan cukup memakai Q_{25} .



Gambar 4.1. Hidrograf satuan sintetik nakayasu Sub DAS Sumber Brantas



Gambar 4.2. Hidrograf banjir Sub DAS Sumber Brantas

4.2. Pendugaan Laju Erosi

Erosi adalah pengikisan lapisan tanah yang disertai terangkutnya bagian tanah itu. Banyak faktor yang menyebabkan terjadinya erosi, namun pada kajian studi ini dibatasi pada erosi yang disebabkan oleh aktivitas air hujan, termasuk air limpasan permukaan. Perhitungan laju erosi menggunakan persamaan *USLE* yang dikembangkan oleh Wischmeir dan Smith (1978). Persamaan *USLE* menunjukkan bahwa laju erosi dipengaruhi oleh faktor-faktor yang berkaitan dengan curah hujan, jenis tanah, panjang

dan kemiringan lereng, sistem tanam, dan tindakan konservasi tanah dan air yang diterapkan di daerah kajian.

4.2.1. Erosivitas Hujan (R)

Erosivitas hujan adalah kemampuan hujan untuk menimbulkan erosi. Nilai erosiivitas hujan dihitung setiap unit lahan. Metode perhitungannya menggunakan metode Bols sebagai berikut:

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

dengan:

EI = erosivitas hujan rata-rata bulanan

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 dalam kurun waktu satu tahun (cm)

Adapun perhitungan nilai erosivitas hujan dengan menggunakan metode Bols adalah sebagai berikut:

Diketahui data curah hujan di Stasiun Temas (Kota Batu) pada bulan Januari dalam kurun waktu 10 tahun (1999-2008) adalah sebagai berikut:

Tabel 4.6. Contoh data curah hujan Stasiun Temas (Kota Batu)

No.	Bulan		Tahun										Rata-rata
			1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
1	Januari	Ch	304	119	337	289	268	315	246	293	197	184	255,2
		Hh	20	11	23	22	17	20	19	21	15	20	18,8
		Hm	45	25	45	50	56	46	58	43	61	45	47,4

Sumber: BP DAS Brantas Malang

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

$$EI_{30} = 6,12 (255,2)^{1,21} (18,8)^{-0,47} (47,4)^{0,53}$$

$$EI_{30} = 177,1 \text{ mm}$$

Perhitungan selanjutnya untuk masing-masing stasiun hujan tersaji pada tabel 4.7.

Tabel 4.7. Nilai erosivitas tiap stasiun hujan pada Sub DAS Sumber Brantas

No.	Nama Stasiun	Erosivitas tiap bulan												EI
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sep	Okt	Nov	Des	
1.	Temas	177,1	191,0	172,4	75,0	30,6	10,9	18,4	2,1	39,9	74,6	131,4	174,5	1.097,9
2.	Tinjumoyo	246,1	243,9	162,6	97,2	42,8	25,6	24,0	5,9	9,7	56,0	171,0	180,1	1.265,1
3.	Kedungkandang	246,8	280,0	251,7	118,4	27,8	24,0	9,3	10,3	18,9	100,1	181,9	354,3	1.623,6
4.	Sukun	302,0	373,0	438,7	129,1	67,7	60,7	11,4	7,7	0,0	64,2	398,4	498,7	2.351,5

Sumber: Perhitungan

4.2.2. Erodibilitas Tanah (*K*)

Erodibilitas tanah adalah kemudahan tanah untuk tererosi. Secara umum nilai indeks erodibilitas tanah pada Sub DAS Sumber Brantas disajikan dalam tabel 4.8.

Tabel 4.8. Sebaran nilai erodibilitas tanah

Kelas	Jenis Tanah	Luas (Ha)	Prosentase (%)
Sangat rendah	kompleks aluvial kelabu	19.478,34	44,75 %
Rendah	regosol coklat kekuningan	5.865,44	13,47 %
Agak tinggi	regosol coklat	13.098,95	30,09 %
Tinggi	latosol coklat	5.086,53	11,69 %
Jumlah		43.529,25	100,00 %

Sumber : Analisis data

Dalam tabel 4.8 di atas terlihat bahwa jenis tanah dengan prosentase terbesar adalah kompleks aluvial kelabu (kelas sangat rendah). Namun jenis tanah regosol coklat menduduki prosentase kedua. Pada umumnya sifat dari regosol coklat memiliki struktur tanah yang gembur dan bertekstur tanah kasar termasuk pasir berlempung. Tanah seperti ini mudah lepas atau mudah tererosi oleh adanya limpasan air. Hal inilah yang membahayakan kelestarian Sub DAS Sumber Brantas.

Untuk nilai erodibilitas tanah berdasarkan luas unit lahan diperoleh dari hasil penelitian BP DAS Brantas dapat dilihat pada lampiran tabel 4.

4.2.3. Faktor Panjang Lereng dan Kemiringan Lereng (*L* dan *S*)

Faktor indeks topografi *L* dan *S*, masing-masing mewakili pengaruh panjang lereng dan kemiringan lereng terhadap besarnya erosi. Data factor panjang lereng dan kemiringan lereng didapat dari BP DAS Brantas, Malang.

Nilai koefisien *L* dan *S* berdasarkan luas unit lahan dapat dilihat pada lampiran tabel 5.

4.2.4. Faktor Pengelolaan Tanaman dan Konservasi Lahan (*C* dan *P*)

Faktor pengelolaan tanaman (*C*) merupakan perbandingan antara erosi tanah dari lahan yang diusahakan terhadap erosi dari lahan yang tidak diusahakan, tetapi selalu diolah. Sedangkan faktor konservasi lahan (*P*) merupakan perbandingan antara jumlah tanah tererosi pada keadaan lahan yang diterapkan tindakan konservasi tanah dengan jumlah tanah yang tererosi pada lahan yang ditanami menurut pola penanaman searah kemiringan lereng.

Pada analisa studi ini menggunakan data koefisien *C* dan *P* yang diperoleh dari BP DAS Brantas, Malang. Tabel koefisien *C* dan *P* untuk setiap unit lahan dapat dilihat pada lampiran tabel 6.

4.2.5. Perhitungan Pendugaan Laju Erosi

Berdasarkan data-data dan hasil perhitungan faktor-faktor yang mempengaruhi erosi, dapat dihitung besarnya laju erosi. Dalam studi ini, perhitungan pendugaan laju erosi menggunakan metode *USLE*.

Contoh perhitungan laju erosi:

Unit lahan = V4-III-Ap (perkebunan)

$R = 1.265,10$

$K = 0,10$

$LS = 0,89$

$C = 0,32$

$P = 0,10$

$A = R \times K \times LS \times C \times P$

$A = 1.265,10 \times 0,10 \times 0,89 \times 0,32 \times 0,10$

$A = 3,603 \text{ ton/ha/thn}$

Perhitungan selanjutnya untuk setiap unit lahan dapat dilihat pada lampiran tabel 7 sampai tabel 10.

Berdasarkan hasil perhitungan erosi pada setiap unit lahan, dapat diketahui nilai erosi pada setiap penggunaan lahan, yaitu:

pemukiman = 701,270 ton/ha/tahun

hutan = 77.685,524 ton/ha/tahun

tegalan/sawah = 1.419,976 ton/ha/tahun

perkebunan = 1.423,055 ton/ha/tahun

Sedangkan jumlah total erosi yang terjadi pada Sub DAS Sumber Brantas sebesar 81.229,825 ton/ha/tahun (sebelum konservasi).

4.2.6. Analisa Tingkat Bahaya Erosi

Berdasarkan ketentuan dari BP DAS Brantas, kelas bahaya erosi berdasarkan laju erosinya menurut interval berikut:

<15 ton/ha/tahun : sangat ringan

15 – 60 ton/ha/tahun : ringan

60 -180 ton/ha/tahun : sedang

180 – 480 ton/ha/tahun : berat

>480 ton/ha/tahun : sangat berat

Maka dengan laju erosi sebesar 3,127 ton/ha/tahun, unit lahan tersebut termasuk dalam kelas bahaya erosi “sangat ringan”. Penentuan tingkat bahaya erosi (TBE) untuk

setiap unit lahan pada Sub DAS Sumber Brantas dapat dilihat pada lampiran tabel 7 sampai tabel 10.

4.2.7. Analisa Laju Erosi yang Diperbolehkan

Perhitungan laju erosi yang diperbolehkan digunakan untuk menentukan prioritas unit lahan yang akan dikonservasi. Dalam studi ini penentuan besar nilai erosi yang diperbolehkan menggunakan metode Hammer.

Contoh perhitungan:

Unit lahan = V4 – III – Pk (pemukiman)

DE = 950 mm

D_{\min} = 900 mm

T = 400 tahun

SF = 2,5 mm/tahun

Jadi,

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

$$Edp = \frac{950 - 900}{400} + 2,5$$

$$Edp = 2,625 \text{ mm/tahun} = 37,643 \text{ ton/ha/tahun}$$

Perhitungan erosi yang diperbolehkan (Edp) selanjutnya untuk setiap unit lahan pada Sub DAS Sumber Brantas dapat dilihat pada lampiran tabel 11 sampai tabel 14.

4.3. Konservasi Lahan

4.3.1. Penentuan Unit Lahan yang Perlu Diadakan Konservasi

Dari hasil perhitungan erosi di atas dapat diketahui bahwa unit lahan yang bermasalah terhadap batas toleransi erosi yang diperbolehkan (nilai erosi pada unit lahan lebih besar dari nilai erosi yang diperbolehkan).

Contoh perhitungan:

Unit lahan = V4 – III – Pk (pemukiman)

Edp = 37,643 ton/ha/tahun

Erosi = 0,992 ton/ha/tahun

Karena nilai $Edp >$ erosi, sehingga pada unit lahan tersebut tidak perlu diadakan tindakan konservasi.

Unit lahan = V4 – III – H (hutan)

Edp = 26,554 ton/ha/tahun

Erosi = 43,007 ton/ha/tahun

Karena nilai $E_{dp} < \text{erosi}$, sehingga pada unit lahan tersebut perlu diadakan tindakan konservasi.

Untuk unit lahan yang bermasalah dengan batas toleransi erosi yang diperbolehkan (perlu diadakan tindakan konservasi) dapat dilihat pada lampiran tabel 15.

4.3.2. Tindakan Konservasi

Tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi laju erosi pada unit lahan yang bermasalah dengan batas toleransi erosi yang diperbolehkan adalah dengan melakukan pengelolaan konservasi tanah. Pengelolaan yang dapat dilakukan untuk mengurangi laju erosi adalah dengan melakukan pengelolaan tanah pada tanah dengan kemiringan lereng yang terjal, yaitu dengan memodifikasi lereng dengan bentuk teras-teras gulud serta menutup tanah dengan mulsa sisa tanaman. Dengan metode tersebut maka dapat mengubah nilai koefisien pengolahan lahan (P) menjadi 0,01.

Contoh perhitungan:

Unit lahan = $V4 - III - H$ (hutan)

E_{dp} = 26,554 ton/ha/tahun

Erosi = 43,007 ton/ha/tahun

Dengan mengubah nilai P didapat:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

$$A = 1265,10 \cdot 0,10 \cdot 2,27 \cdot 0,50 \cdot 0,01$$

$$A = 1,436 \text{ ton/ha/tahun (} E_{dp} > \text{Erosi)}$$

Perhitungan selanjutnya untuk setiap unit lahan yang perlu diadakan konservasi pada Sub DAS Sumber Brantas dapat dilihat pada lampiran tabel 16.

Dari hasil perhitungan diperoleh besar nilai erosi pada Sub DAS Sumber Brantas setelah diadakan konservasi sebesar 13.007,103 ton/ha/tahun, sehingga dengan metode konservasi yang diterapkan pada Sub DAS Sumber Brantas, besar erosi dapat berkurang sebesar 68.222,722 ton/ha/tahun.

4.4. Perumusan Model Matematika

Untuk mencegah dan mengendalikan kerusakan lingkungan yang semakin meningkat karena pada Sub DAS Sumber Brantas banyak sekali terdapat unit lahan yang tidak sesuai dengan pola tata ruang, maka diperlukan pengelolaan yang baik, terpadu, dan terencana. Salah satu carta penanggulangannya ialah dengan melakukan pengaturan tata guna lahan yang tepat. Dengan mengoptimasi DAS melalui model

optimasi diharapkan dapat ditetapkan tata guna lahan yang ideal, dan mempunyai keandalan tata guna sesuai dengan peruntukannya, serta melestarikan DAS tersebut.

Dalam analisis ini dipergunakan program linier. Keistimewaan metode ini dapat menyelesaikan masalah program linier dengan kendala-kendala atau batasan-batasan yang bertanda: kurang dari atau sama dengan (\leq), sama dengan ($=$), lebih dari atau sama dengan (\geq). Berdasarkan hasil pengolahan data sebelumnya, dapat dirumuskan model matematikanya sebagai berikut:

4.4.1. Fungsi Kendala (Fungsi Syarat)

1. Kendala debit

a) Kendala 1

- $X_1 = 5.999,07$
- $X_2 = 8.485,51$
- $X_3 = 18.904,45$
- $X_4 = 10.140,22$
- $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 43.529,25$
- $0,108 X_1 + 0,157 X_2 + 0,049 X_3 + 0,091 X_4 \geq 52,46$

b) Kendala 2

- $X_1 = 5.999,07$
- $X_2 = 17.937,73$
- $X_3 = 9.452,23$
- $X_4 = 10.140,22$
- $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 43.529,25$
- $0,108 X_1 + 0,157 X_2 + 0,049 X_3 + 0,091 X_4 \geq 52,46$

2. Kendala erosi

a) Kendala 1

- $X_1 = 5.999,07$
- $X_2 = 8.485,51$
- $X_3 = 18.904,45$
- $X_4 = 10.140,22$
- $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 43.529,25$
- $9.757,97 X_1 + 1.341,94 X_2 + 1.268,92 X_3 + 638,27 X_4 \geq 566.189.445,61$

b) Kendala 2

- $X_1 = 5.999,07$

- $X_2 = 17.937,73$
- $X_3 = 9.452,23$
- $X_4 = 10.140,22$
- $X_1 + X_2 + X_3 + X_4 = 43.529,25$
- $9.757,97 X_1 + 1.341,94 X_2 + 1.268,92 X_3 + 638,27 X_4 \geq 566.189.445,61$

Keterangan:

1. X_1 = luas hutan

X_2 = luas perkebunan

X_3 = luas sawah/tegalan

X_4 = luas pemukiman

2. Rumus-rumus fungsi kendala

a. Kendala debit

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

dimana:

$$q_1 = \text{debit akibat 1 ha } X_1 \text{ (m}^3\text{/dtk/ha)}$$

$$Q = \text{debit limpasan rata-rata (m}^3\text{/dtk)}$$

b. Kendala erosi

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

dimana:

$$e_1 = \text{erosi dari } X_1 \text{ (ton/ha/thn)}$$

$$E = \text{erosi per tahun (ton/ha)}$$

c. Dalam mengkombinasikan penggunaan lahan diharapkan hasil sebagai berikut:

- Tersedianya luas hutan 70 % dari luas DAS.
- Tersedianya luas pemukiman seluas sekarang
- Tersedianya luas sawah seluas seperti yang ada sekarang atau 50 % dari luas sekarang.

4.4.2. Fungsi Sasaran

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

$$Z = 0,108 X_1 + 0,157 X_2 + 0,049 X_3 + 0,091 X_4$$

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

$$Z = 9.757,97 X_1 + 1.341,94 X_2 + 1.268,92 X_3 + 638,27 X_4$$

4.4.3. Hasil Optimasi

Penyelesaian model optimasi pada studi ini menggunakan bantuan program *solver* pada *microsoft office excel 2003*, dan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.9. Hasil optimasi debit limpasan alternatif 1

Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Debit limpasan (m ³ /dtk)
X1 (hutan)	5.999,07	3.820,717
X2 (perkebunan)	8.485,51	
X3 (tegalan/sawah)	18.904,45	
X4 (pemukiman)	10.140,22	

Sumber: Analisis dan perhitungan

Tabel 4.10. Hasil optimasi debit limpasan alternatif 2

Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Debit limpasan (m ³ /dtk)
X1 (hutan)	5.999,07	4.832,105
X2 (perkebunan)	17.937,73	
X3 (tegalan/sawah)	9.452,23	
X4 (pemukiman)	10.140,22	

Sumber: Analisis dan perhitungan

Tabel 4.11. Hasil optimasi erosi alternatif 1

Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Erosi (ton/tahun)
X1 (hutan)	5.999,07	6.739.851
X2 (perkebunan)	8.485,51	
X3 (tegalan/sawah)	18.904,45	
X4 (pemukiman)	10.140,22	

Sumber: Analisis dan perhitungan

Tabel 4.12. Hasil optimasi erosi alternatif 2

Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Erosi (ton/tahun)
X1 (hutan)	5.999,07	6.739.851
X2 (perkebunan)	17.937,73	
X3 (tegalan/sawah)	9.452,23	
X4 (pemukiman)	10.140,22	

Sumber: Analisis dan perhitungan

4.4.4. Pembahasan Hasil Optimasi

Dari hasil optimasi di atas diperoleh dua alternatif hasil optimasi debit limpasan dan erosi sebagai berikut:

Tabel 4.13. Alternatif hasil optimasi debit limpasan dan erosi

Kondisi	Penggunaan Lahan	Luas (ha)	Debit Limpasan (m ³ /dtk)	Erosi (ton/tahun)
Eksisting	Hutan	8.570,10	4.702,516	56.189.445,61
	Perkebunan	5.914,49		
	Tegalan/sawah	18.904,45		
	Pemukiman	10140,22		
Alternatif 1	Hutan	5.999,07	3.820,717	6.739.851,00
	Perkebunan	8.485,51		
	Tegalan/sawah	18.904,45		
	Pemukiman	10.140,22		
Alternatif 2	Hutan	5.999,07	4.832,105	6.739.851,00
	Perkebunan	17.937,73		
	Tegalan/sawah	9.452,23		
	Pemukiman	10.140,22		

Sumber: Analisis dan perhitungan

Hasil optimasi dengan menggunakan bantuan program *solver* pada *microsoft office excel 2003* menunjukkan terjadi perubahan yang signifikan terhadap terjadinya erosi pada Sub DAS Sumber Brantas. Luas penggunaan lahan yang didapatkan adalah luasan lahan optimal yang dapat mengurangi besarnya erosi.

Dari kedua alternatif di atas, kombinasi debit limpasan dan erosi optimal adalah alternatif 1. Dengan mempertimbangkan mata pencaharian penduduk terbesar adalah dari sektor kegiatan pertanian, serta luas hutan telah direncanakan 70% dari eksisting.

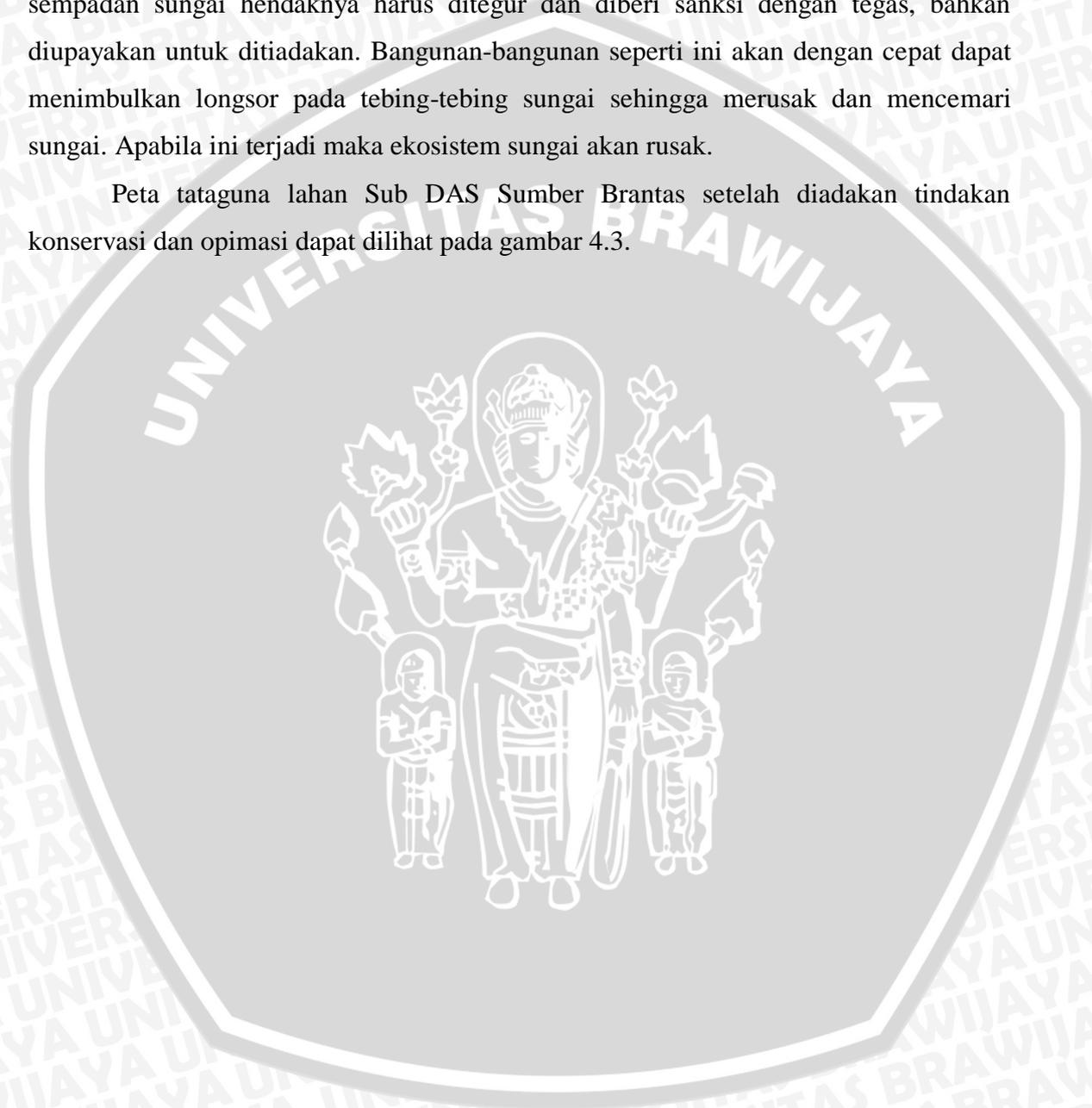
Setelah dioptimasi, maka selanjutnya unit lahan pada Sub DAS Sumber Brantas akan diadakan perombakan sesuai dengan hasil perhitungan konservasi dan hasil optimasi. Luasan hutan direncanakan 70% dari luas eksisting. 30% dari luasan hutan akan digunakan untuk unit lahan perkebunan. Luasan tegalan/sawah dan pemukiman secara otomatis tidak mengalami perubahan dari luas eksisting.

Pemilihan lokasi-lokasi yang mengalami perubahan harus dilakukan dengan cermat dan tepat agar tujuan konservasi lahan dapat berjalan dengan baik. Hutan pada kawasan hulu tidak boleh dibuka untuk kegiatan perkebunan karena untuk menghambat erosi dan limpasan permukaan. Namun pada kawasan lereng-lereng terjal, terutama pada lereng-lereng yang berbatasan langsung dengan sungai harus dibuat teras karena teras dapat bermanfaat untuk mengurangi kecepatan aliran permukaan sehingga daya kikis terhadap tanah dan erosi diperkecil, memperbesar peresapan air ke dalam tanah dan menampung dan mengendalikan kecepatan dan arah aliran permukaan menuju ke tempat yang lebih rendah secara aman.

Usaha-usaha perkebunan hendaknya dipilih lokasi yang strategis serta tetap memperhatikan konservasi lahan. Lokasi yang cocok adalah dekat dengan pemukiman dan kota. Pengembangan komoditi lahan perkebunan haruslah ditujukan untuk komoditi yang bernilai ekonomi tinggi, tetapi harus tetap efektif untuk menahan erosi.

Pemukiman-pemukiman liar serta pemukiman yang tidak memperhatikan aturan sempadan sungai hendaknya harus ditegur dan diberi sanksi dengan tegas, bahkan diupayakan untuk ditiadakan. Bangunan-bangunan seperti ini akan dengan cepat dapat menimbulkan longsor pada tebing-tebing sungai sehingga merusak dan mencemari sungai. Apabila ini terjadi maka ekosistem sungai akan rusak.

Peta tataguna lahan Sub DAS Sumber Brantas setelah diadakan tindakan konservasi dan opimasi dapat dilihat pada gambar 4.3.



GBR 4.3.

