

ANALISIS REVETMENT SEBAGAI PERLINDUNGAN TEBING SUNGAI BATANG LEMBANG DALAM UPAYA PENGENDALIAN BANJIR KOTA SOLOK

Syofyan.Z

Dosen Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Padang

ABSTRAK

Kota Solok sebagai sebuah kota yang tengah berkembang dimana terdapat sebuah sungai alam yang melintas ditengahnya yang tidak luput dari banjir di setiap tahunnya. Sungai yang berada di Kota Solok ini adalah sungai Batang Lembang. Berdasarkan hasil analisis, luas DAS sungai ini adalah 344.5367 KM². Salah satu permasalahan yang harus ditangani adalah perlindungan tebing sungai Batang Lembang dengan revetment sebagai upaya pengendalian banjir di Kota Solok. Terdapat 3 stasiun hujan yang dipakai dalam perencanaan hidrologi yaitu stasiun Sumani, stasiun Sukarami dan stasiun Danau di Bawah. Perhitungan debit maksimum yang di pakai dalam perencanaan ini adalah dengan metode Rasional, metode Hasper dan Metode HSS Nakayasu. Debit yang dipakai adalah metode HSS Nakayasu Q₂₅ tahun dengan pertimbangan untuk perhitungan flood routing menggunakan parameter waktu yaitu dalam hitungan tiap jam. Lebar rata-rata existing sungai adalah 40 m. Perencanaan lebar sungai pada analisis ini adalah 45 m dan kemiringan lereng revetment adalah 1:1. Struktur revetment dibagi setiap segment sepanjang 20 meter. Perlindungan tebing dibuat dari pasangan batu tebal 45 cm dan tinggi tanggul 2,5 m. Pondasi revetment direncanakan dengan pondasi tiang pancang beton dengan diameter 400 mm dan kedalaman 8 meter. Setelah dilakukan perhitungan analisis revetment perlindungan tebing sungai Batang Lembang aman terhadap kelongsoran tanah dan stabil terhadap berbagai gaya yang bekerja pada bangunan tersebut.

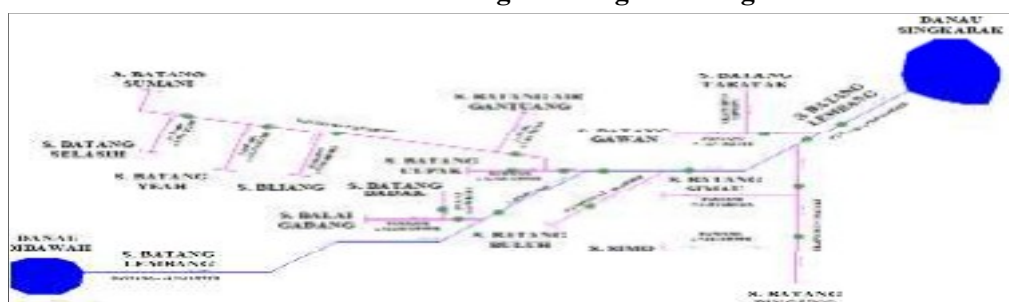
Kata kunci: Debit banjir, Perlindungan tebing, Struktur revetment.

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Kota Solok merupakan salah satu kota dari 7 (tujuh) kota yang terdapat di wilayah administrasi Provinsi Sumatera Barat. Secara geografis posisi Kota Solok terletak pada 0° 44' 28"- 0° 49' 12" LS dan 100° 32' 42"-100° 41' 12" BT dengan luas wilayah 57,64 km² atau setara dengan 5.764 Ha atau 0,14 % dari luas wilayah Provinsi Sumatera Barat (BPS: Kota Solok Dalam Angka 2015). Kota Solok di lewati oleh sungai-sungai yang mengalir dari hulu Danau Dibawah menuju Sungai Batang Taratak, Sungai Batang Gawan (3.125 m), Sungai Batang Binguang (2.650 m), Sungai Batang Lembang (9.155 m) dan bermuara di Danau Singkarak. Kota Solok sebagai sebuah kota yang tengah berkembang dimana terdapat sebuah sungai alam yang melintas ditengahnya yang tidak luput dari banjir di setiap tahunnya. Luapan banjir Batang Lembang membanjiri daerah perumahan dan persawahan yang berada di bantaran sungai dan daerah sekitar sungai. Batang Lembang merupakan sungai yang terpanjang di Kota Solok yang bagian hulunya terdapat Danau Dibawah dan bagian hilirnya adalah Danau Singkarak. Bagian hilir Batang Lembang merupakan muara dari anak-anak sungai disekitarnya seperti Sungai Batang Taratak, Sungai Batang Binguang dan Sungai Batang Gawan dan lain-lain seperti pada gambar berikut ini:

Gambar 1. Skema Aliran Sungai Batang Lembang



Batang Lembang merupakan sungai yang mempunyai Pola Dendritik dan bentuk Daerah Pengaliran Sungai (DPS) berbentuk paralel. Pola Dendritik seperti ini banyak dijumpai di daerah dengan komposisi batuan yang sejenis. Bentuk paralel mempunyai corak dimana dua buah jalur daerah pengaliran bersatu pada bagian hilir sehingga banjir akan terjadi di bagian hilir titik pertemuan jalur sungai tersebut. Terdapat beberapa kawasan yang rawan banjir yang disebabkan oleh luapan Sungai Batang Lembang seperti Kelurahan Koto Panjang, IX Korong, Aro IV Korong dan sebagian Kelurahan Tanah Garam. Tinggi muka air banjir di kawasan tersebut mencapai 1 meter dan pernah mencapai 3,5 meter.

Hingga saat ini kota Solok merupakan kota langganan banjir tiap tahunnya. Dengan demikian bencana banjir tahunan merupakan permasalahan yang serius dan harus segera ditangani dengan seksama dan memperhatikan aspek-aspek yang berkaitan. Salah satu permasalahan yang harus ditangani adalah perlindungan tebing sungai Batang Lembang sebagai upaya pengendalian banjir di Kota Solok. Berikut merupakan hasil dokumentasi eksisting sungai Batang Lembang di Kota Solok.

Gambar 2. Keadaan Tebing Sungai Batang Lembang Di Kota Solok



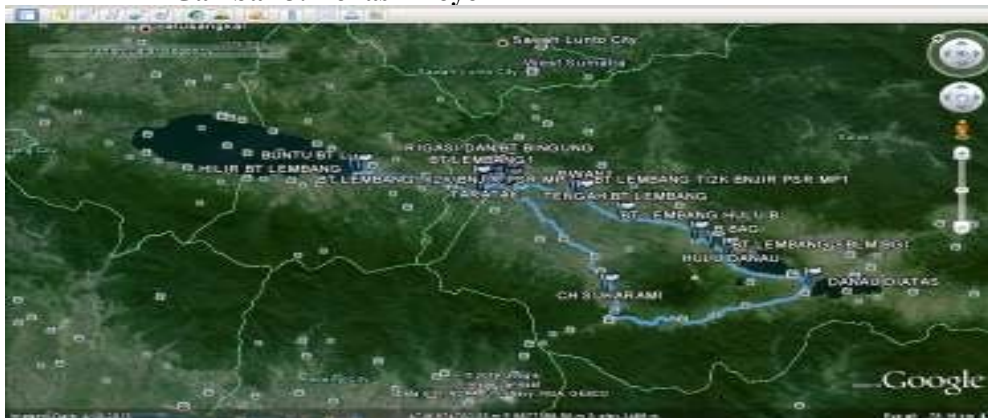
Sumber: Dokumentasi Lapangan

METODOLOGI PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Lokasi penelitian Proyek Akhir ini berada pada sungai Batang Lembang di Kota Solok. Secara geografis posisi Kota Solok terletak pada $0^{\circ} 44' 28'' - 0^{\circ} 49' 12''$ LS dan $100^{\circ} 32' 42'' - 100^{\circ} 41' 12''$ BT dengan luas wilayah 57,64 km² atau setara dengan 5.764 Ha atau 0,14 % dari luas wilayah Provinsi Sumatera Barat (BPS: Kota Solok Dalam Angka 2015).

Gambar 3. Lokasi Proyek Akhir



Sumber: Google Eart

Prosedur Penelitian

1. Studi Literatur

Kajian ini diambil dari publikasi hasil penelitian, peraturan- peraturan yang berlaku, Jurnal dan buku-buku yang berkaitan.

2. Metode Pengelolaan Data

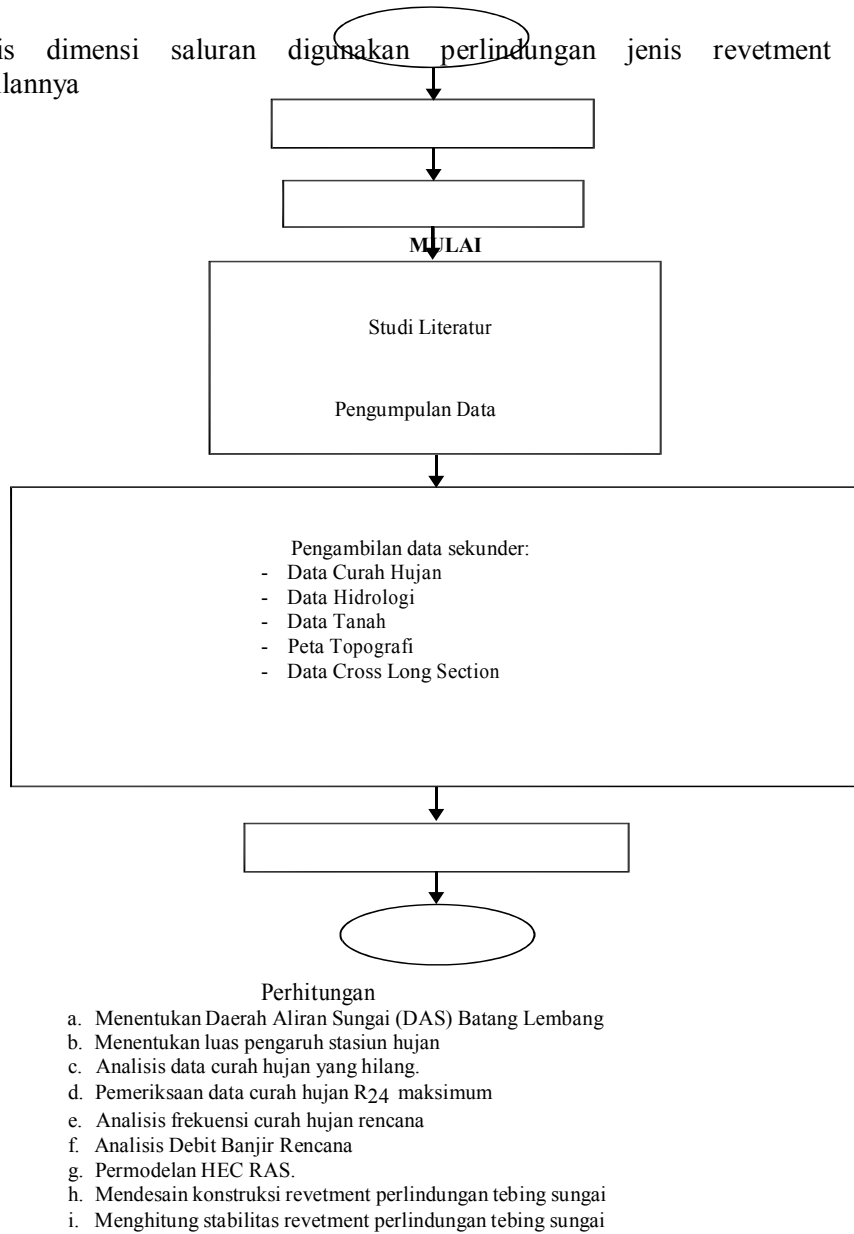
Setelah semua informasi dan data yang dibutuhkan telah dikumpulkan, maka pada tahap selanjutnya data yang telah ada diolah menggunakan metode perhitungan yang telah dibahas pada kajian pustaka. Metode perhitungan harus relevan dengan data yang dibutuhkan sehingga hasil dari perhitungan data akan mendapatkan kesimpulan serta tujuan rumusan dari masalah yang akan diangkat.

3. Analisis Data

Analisis data yang digunakan dalam perhitungan ini adalah sebagai berikut:

1. Mencari DAS Sungai Batang Lembang
DAS Sungai Batang Lembang dibuat dengan Aplikasi Autocad dari acuan peta rupa bumi skala 1:50.000.
2. Analisis curah hujan maksimum harian rata-rata
Analisis curah hujan maksimum harian rata-rata dilakukan dengan menggunakan metode *Thiessen*. Cara ini memperhitungkan luas daerah yang diwakili oleh stasiun yang bersangkutan untuk digunakan sebagai koefisien dalam menghitung hujan maksimum harian rata-rata daerah. Analisis curah hujan maksimum harian rata-rata.
3. Uji kelayakan data
Data curah hujan harian maksimum tahunan (R₂₄ Maks) dari setiap stasiun hujan, sebelum digunakan untuk analisis hidrologi perlu dilakukan pemeriksaan/uji untuk mengetahui kelayakan data. Adapun pemeriksaan data yang dilakukan adalah :
 - a. Pemeriksaan adanya *outlier*
 - b. Uji Konsistensi Metode Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS)
4. Analisis frekuensi curah hujan rencana
Analisis frekuensi curah hujan rencana dilakukan dengan menggunakan beberapa distribusi probabilitas yang banyak digunakan dalam Hidrologi, yaitu :
 - a. Distribusi Log Normal
 - b. Distribusi Log Pearson III
 - c. Distribusi Gumbel
5. Analisis Debit Banjir Rencana
Untuk keperluan perencanaan bangunan air diperlukan data debit banjir rencana. Karena tidak didapatkan data debit banjir di lokasi daerah studi, maka debit banjir rencana dihitung secara empiris menggunakan data hujan rencana. Analisis debit banjir rencana dilakukan dengan menggunakan metoda yang sesuai, tergantung dari ketersediaan data serta kecocokan untuk digunakan pada daerah studi, serta memberikan hidrograf banjir yang hasilnya sesuai dengan kondisi lapangan (secara hidraulik memberikan hasil yang wajar dan dapat diterima). Metode untuk mendapatkan debit banjir rencana dapat menggunakan beberapa metode sebagai berikut :
 - a. Metode Hasper
 - b. Metoda Rasional
 - c. Metode Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu
6. Analisis Hidrolika
Analisis hidrolika dilakukan permodelan sungai Batang Lembang dengan tool aplikasi HEC-RAS yang merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai.
7. Analisis dimensi saluran

Analisis dimensi saluran digunakan perlindungan jenis revetment dan dihitung kestabilannya



Gambar 4. Diagram Metode Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Penentuan Daerah Aliran Sungai dan Luas Pengaruh Stasiun Hujan (DAS)

Stasiun yang digunakan pada lokasi DAS Sungai Batang Lembang yaitu Sta. Sumani, Sta. Sukarami dan Sta. Danau di Bawah. Penentuan luas pengaruh stasiun hujan dengan menggunakan Metode Thiessen karena kondisi topografi memenuhi syarat. Dari tiga stasiun tersebut masing-masing dihubungkan untuk memperoleh luas daerah pengaruh dari tiap stasiun. Di dapat luasan masing-masing stasiun, maka bisa mencari koefisien theissen

Tabel 1. Luas Pengaruh Terhadap Das

No	Stasiun	Area (Km ²)	% Faktor
			Pemberat (C _i)
1	Sumani	1.5536	0.45%
2	Sukarami	313.8845	91.10%
3	Danau di Bawah	29.0985	8.45%
Total Luas		344.5367	100.00%

Sumber : Perhitungan

Analisis Curah Hujan Wilayah

Apabila data-data curah hujan maksimum tahunan layak digunakan setelah dilakukan pengujian kelayakan data Outlier-Inlier dan uji RAPS, Analisis ini dimaksudkan untuk mengetahui curah hujan rata-rata yang terjadi pada daerah tangkapan (*catchment area*) tersebut, yaitu dengan menganalisis data curah hujan maksimum yang didapat dari Stasiun Sumani, Stasiun Sukarami dan Stasiun Danau di Bawah. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah Metode Thiessen. Hasil perhitungan dapat dilihat pada tabel 2

Tabel. 2. Hasil Analisis Curah Hujan Harian Maksimum Rata-Rata

No.	Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum Rata-rata
1	2015	38.87
2	2014	133.53
3	2013	61.43
4	2012	120.58
5	2011	63.10
6	2010	97.21
7	2009	99.25
8	2008	129.22
9	2007	120.24
10	2006	56.26
11	2005	49.10
12	2004	44.15
13	2003	52.91
14	2002	127.15
15	2001	59.16
16	2000	64.76
17	1999	33.96
18	1998	60.05
19	1997	45.58
20	1996	51.25
21	1995	66.21
22	1994	70.43
23	1993	93.35

24	1992	92.33
25	1991	74.31
26	1990	88.44
27	1989	95.66
28	1988	115.45
29	1987	103.44

(Sumber : Perhitungan)

Analisis Frekuensi Curah Hujan

Untuk mempekirakan besarnya debit banjir dengan kala ulang tertentu, ada beberapa jenis distribusi statistik yang dapat dipakai untuk menentukan besarnya curah hujan rencana. Analisis frekuensi curah hujan rencana dilakukan dengan menggunakan beberapa distribusi probabilitas yang banyak digunakan dalam Hidrologi, yaitu :

- Distribusi Log Normal
- Distribusi Gumbel
- Distribusi Log Pearson III.

Untuk menentukan metode yang sesuai, maka terlebih dahulu harus dihitung besarnya parameter statistik yaitu koefisien kemencengan atau skewness (Cs) dan koefisien kepuncakan atau kurtosis (Ck).

Analisis awal untuk memilih distribusi frekuensi yang cocok dengan data hujan dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebaran yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 3. :

Tabel. 3. Hasil Perhitungan Distribusi dan Pemilihan Jenis Sebaran

No	Jenis Sebaran	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Sebaran Normal	Cs = 0 Ck = 3	1.25 0.06	Tidak memenuhi
2	Sebaran Log Normal	Cs = 1.137 Ck = 3Cv	-0.143 0.143 = 0.27	Tidak memenuhi
3	Sebaran Gumbel	Cs = 1.1396 Ck = 5.4002	1.247 0.060	Tidak memenuhi
4	Sebaran Log Pearson III	Cs ≠ 0	-0.143	Memenuhi

Dari keempat metode yang digunakan di atas yang paling mendekati adalah distribusi Log Pearson III. Dari jenis distribusi yang telah memenuhi syarat tersebut perlu diuji kecocokan distribusinya dengan beberapa metode. Hasil uji kecocokan ini menunjukkan distribusinya dapat diterima atau tidak.

Pengujian Kesesuaian Distribusi

Untuk mengetahui apakah data tersebut benar sesuai dengan jenis sebaran yang dipilih maka perlu dilakukan pengujian. Menguji kebenaran suatu distribusi data curah hujan, maka metode yang digunakan yaitu metode chi kuadrat dan metode Smirnov Kolmogorov.

A. Uji Chi Kuadrat

Tabel 4. Hasil Perhitungan Uji Chi Kuadrat Terhadap Distribusi Log Pearson III

No	Kemungkinan	EF	OF	(Of - Ef) ²	(Of - Ef) ² Ef
1	1.407 ≤ X ≤ 1.527	4.833	1	14.6944	3.040

2	1.527	≤	X	≥	1.647	4.833	4	3.36111	0.695
3	1.647	≤	X	≥	1.766	4.833	9	0.69444	0.144
4	1.766	≤	X	≥	1.886	4.833	4	10.0278	2.075
5	1.886	≤	X	≥	2.006	4.833	4	1.36111	0.282
6	2.006	≤	X	≥	2.126	4.833	7	4.69444	0.971
						Jumlah X²	=	6.236	
Analisa						X²	6.236	<	9.488

Data dapat diterima

B. Uji Smirnov Kolmogorov

Uji keselarasan Smirnov Kolmogorov, sering juga disebut uji keselarasan non parametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Smirnov Kolmogorov Terhadap Distribusi Log Pearson III

No	Tahun	Xi (mm)	Rangking (m)	Xi terurut (mm)	P	P(x<)	F(t)	Yt	P'(x)	P'(x<)	D
					m/(n+1)	1 - P(x)	(x - Xr) /sd	Yn + (F(t)*Sn)	1-e^-e^- Yt	1-P'(x)	P(x<)-P'(x)
1	2015	1.590	1	1.407	0.047	0.953	(2.67)	(2.43)	1.0000	0.000	-0.953
2	2014	2.126	2	1.551	0.052	0.948	(1.83)	(1.49)	0.9880	0.012	-0.936
3	2013	1.788	3	1.590	0.053	0.947	(1.60)	(1.24)	0.9679	0.032	-0.915
4	2012	2.081	4	1.645	0.055	0.945	(1.27)	(0.88)	0.9092	0.091	-0.854
5	2011	1.800	5	1.691	0.056	0.944	(1.00)	(0.57)	0.8307	0.169	-0.774
6	2010	1.988	6	1.710	0.057	0.943	(0.89)	(0.45)	0.7926	0.207	-0.736
7	2009	1.997	7	1.724	0.057	0.943	(0.81)	(0.36)	0.7625	0.238	-0.705
8	2008	2.111	8	1.750	0.058	0.942	(0.65)	(0.19)	0.7014	0.299	-0.643
9	2007	2.080	9	1.772	0.059	0.941	(0.53)	(0.05)	0.6494	0.351	-0.590
10	2006	1.750	10	1.778	0.059	0.941	(0.49)	(0.01)	0.6340	0.366	-0.575
11	2005	1.691	11	1.788	0.060	0.940	(0.43)	0.06	0.6102	0.390	-0.551
12	2004	1.645	12	1.800	0.060	0.940	(0.36)	0.14	0.5825	0.418	-0.522
13	2003	1.724	13	1.811	0.060	0.940	(0.29)	0.21	0.5558	0.444	-0.495
14	2002	2.104	14	1.821	0.061	0.939	(0.24)	0.27	0.5334	0.467	-0.473
15	2001	1.772	15	1.848	0.062	0.938	(0.08)	0.45	0.4727	0.527	-0.411
16	2000	1.811	16	1.871	0.062	0.938	0.06	0.60	0.4231	0.577	-0.361
17	1999	1.531	17	1.945	0.065	0.935	0.49	1.08	0.2875	0.712	-0.223
18	1998	1.778	18	1.965	0.066	0.934	0.61	1.21	0.2573	0.743	-0.192
19	1997	1.659	19	1.970	0.066	0.934	0.64	1.24	0.2505	0.749	-0.185
20	1996	1.710	20	1.981	0.066	0.934	0.70	1.31	0.2360	0.764	-0.170
21	1995	1.821	21	1.988	0.066	0.934	0.74	1.36	0.2267	0.773	-0.160
22	1994	1.848	22	1.997	0.067	0.933	0.80	1.42	0.2154	0.785	-0.149
23	1993	1.970	23	2.013	0.067	0.933	0.89	1.53	0.1954	0.805	-0.128
24	1992	1.965	24	2.062	0.069	0.931	1.18	1.84	0.1462	0.854	-0.078
25	1991	1.871	25	2.080	0.069	0.931	1.29	1.96	0.1315	0.869	-0.062
26	1990	1.945	26	2.081	0.069	0.931	1.29	1.97	0.1305	0.870	-0.061
27	1989	1.981	27	2.104	0.070	0.930	1.43	2.12	0.1134	0.887	-0.043
28	1988	2.062	28	2.111	0.070	0.930	1.47	2.16	0.1086	0.891	-0.038
29	1987	2.013	29	2.126	0.071	0.929	1.55	2.26	0.0995	0.901	-0.029

Jumlah	53.981			Analisa	Dmax	-0.029
Rata-rata	1.86143				Do	0.246
					D max < Do	
					Data Dapat Diterima	

Dari hasil perhitungan nilai $D_{maks} < D_o$ ($-0.029 < 0.246$) maka untuk menghitung curah hujan rencana dapat menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III.

Distribusi Curah Hujan Rencana

Analisis curah hujan rencana ini bertujuan untuk mengetahui besarnya curah hujan maksimum dalam periode ulang tertentu yang nantinya dipergunakan untuk perhitungan debit banjir rencana. Distribusi yang dipakai yaitu distribusi Log Pearson Tipe III.

Tabel 6. Perhitungan Curah Hujan Rencana Metode Log Pearson Tipe III

T (tahun)	I/T (%)	Log X	K	K.Sx	Log R (mm)	R (mm)
2	50	1.8694	0.0239	0.0041	1.8735	74.7272
5	20	1.8694	0.8477	0.1442	2.0136	103.1806
10	10	1.8694	1.2648	0.2151	2.0845	121.4904
25	4	1.8694	1.7005	0.2892	2.1586	144.0928
50	2	1.8694	1.9763	0.3361	2.2056	160.5296
100	1	1.8694	2.2202	0.3776	2.2470	176.6142

Sumber : Perhitungan

Perhitungan Debit Banjir Rencana

Metode Hasper

Metode ini dapat digunakan dengan syarat luas DAS > 300 Km² (Suyono Sosrodarsono Kensaku Takeda, 1977).

Data :

Luas DAS (A) = 344.5365 Km²

Panjang sungai (L) = 51 Km

Kemiringan sungai (i) = 0.0001

Hasil perhitungan debit banjir rencana dengan metode hasper dapat dilihat pada tabel 7:

Tabel 7. Perhitungan Debit Banjir Dengan Metode Hasper

T	A (Km ²)	t (jam)	α	β 1/(1/ β)	Rt (mm/jam)	q (mm ³ /det/km ²)	Q (m ³ /det)
2	344.5367	0.147	1.490	0.400	9.553	18.104	3719.915
5	344.5367	0.147	1.490	0.400	13.190	24.997	5136.324
10	344.5367	0.147	1.490	0.400	15.531	29.433	6047.784
25	344.5367	0.147	1.490	0.400	18.420	34.909	7172.930
50	344.5367	0.147	1.490	0.400	20.522	38.891	7991.154
100	344.5367	0.147	1.490	0.400	22.578	42.788	8791.842

(Sumber : Perhitungan)

Metode Rasional

Metode Ini Dapat Digunakan Dengan Syarat Luas Das < 300 Km²

Luas DAS (A) = 344.5367 Km²

Panjang sungai (L) = 51 Km

Kemiringan sungai (i) = 0.0001

Hasil perhitungan debit banjir rencana dengan metode Rasional dapat dilihat pada tabel 8:

Tabel 8. Perhitungan Debit Banjir Dengan Metode Rasional

Periode Ulang	A	Rt	L	C	tc	I	Q
	Km ²	mm	Km		jam	mm/jam	m ³ /det
2	344.5367	74.727	51	0.65	0.2530	64.8615	4034.905
5	344.5367	103.181	51	0.65	0.2530	89.5584	5571.251
10	344.5367	121.490	51	0.65	0.2530	105.4509	6559.890
25	344.5367	144.093	51	0.65	0.2530	125.0692	7780.309
50	344.5367	160.530	51	0.65	0.2530	139.3360	8667.819
100	344.5367	176.614	51	0.65	0.2530	153.2971	9536.306

(Sumber : Perhitungan)

Metode Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

HSS Nakayasu Distribusi Hujan Jam-Jaman

Untuk kajian ini dipilih distribusi 6 jam yang didefinisikan dengan cara Mononobe. Prosentase distribusi hujan yang terjadi dihitung dengan rumus Mononobe sebagai berikut (Sosrodarsono, 2006).

- 1.) Sebaran hujan jam-jaman (RT)

$$RT = \frac{R24}{T} \times (T/t)^{2/3}$$

Dimana :

RT = intensitas hujan satuan untuk jam ke-t (mm/jam)

T = lamanya hujan dalam sehari, diambil 6 jam

t = waktu jam ke-n

R24 = curah hujan maksimum dalam 24 jam

- 2.) Nisbah hujan jam-jaman (RT)

$$RT = T \times RT - (T - 1) \cdot (RT - 1)$$

Dimana :

RT-1 = rt sebelumnya

RT = intensitas curah hujan pada jam ke-t (mm/jam)

- 3.) Hujan efektif (Re)

$$Re = Rt \times Rn$$

$$Rn = C \cdot R$$

Dimana :

C = Koefisien Pengaliran (0.65)

R = Hujan rancangan periode ulang

Tabel 9. Intensitas Hujan Satuan Untuk Jam Ke n

T (jam)	RT (R24)
1	0.693
2	0.437
3	0.333
4	0.275
5	0.237
6	0.210

Tabel 10. Distribusi Hujan Satuan

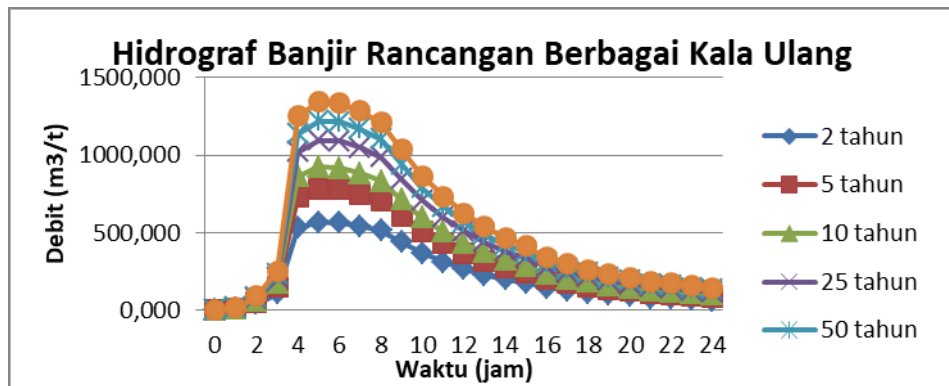
T (jam)	Rt (%)
1	0.693
2	0.180
3	0.126
4	0.101
5	0.085
6	0.074
Total	1.260

Tabel 11. Distribusi Hujan Netto Jam-Jaman

t (jam)	(m ³ /det)	Curah hujan netto jam-jaman					
		2.00	5.00	10.00	25.00	50.00	100.00
0	0.000	3.380	3.380	3.380	3.380	3.380	3.380
1	0.203	10.223	12.829	14.506	16.576	18.081	19.554
2	1.072	41.278	55.708	64.994	76.457	84.793	92.951
3	2.838	109.595	150.037	176.062	208.189	231.551	254.413
4	14.699	530.833	731.668	860.905	1020.442	1136.459	1249.990
5	12.286	569.344	784.843	923.517	1094.701	1219.190	1341.010
6	10.270	566.101	780.364	918.243	1088.447	1212.222	1333.344
7	8.584	545.277	751.612	884.389	1048.294	1167.489	1284.129
8	7.176	514.233	708.747	833.917	988.433	1100.799	1210.757
9	4.987	440.826	607.390	714.574	846.886	943.106	1037.263
10	4.425	368.828	507.978	597.521	708.057	788.440	867.100
11	3.927	312.562	430.287	506.044	599.560	667.568	734.117
12	3.484	267.255	367.728	432.383	512.196	570.238	627.035
13	3.092	230.237	316.617	372.202	440.818	490.717	539.547
14	2.744	199.702	274.454	322.557	381.938	425.121	467.378
15	2.435	177.587	243.918	286.603	339.294	377.613	415.110
16	1.797	145.727	199.928	234.806	277.861	309.171	339.811
17	1.643	128.140	175.645	206.214	243.950	271.392	298.246
18	1.502	113.768	155.800	182.847	216.236	240.517	264.277
19	1.373	101.603	139.002	163.069	192.778	214.383	235.524
20	1.256	91.145	124.562	146.067	172.612	191.917	210.808
21	1.148	82.073	112.036	131.318	155.120	172.429	189.367
22	1.049	75.326	102.721	120.349	142.110	157.935	173.421
23	0.960	69.158	94.204	110.321	130.216	144.684	158.843
24	0.877	63.518	86.417	101.152	119.342	132.570	145.514

(Sumber : Perhitungan)

Gambar 6. Hidrograf Banjir Rancangan Berbagai Kala Ulang



Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 12. Rekapitulasi Perhitungan Debit Banjir Rencana

Periode Ulang	Debit (m3/t)		
	Metode Hasper	Metode Rasional	Metode HSS Nakayasu
2	3719.915	4034.905	569.344
5	5136.324	5571.251	784.843
10	6047.784	6559.890	923.517
25	7172.930	7780.309	1094.701
50	7991.154	8667.819	1219.190
100	8791.842	9536.306	1341.010

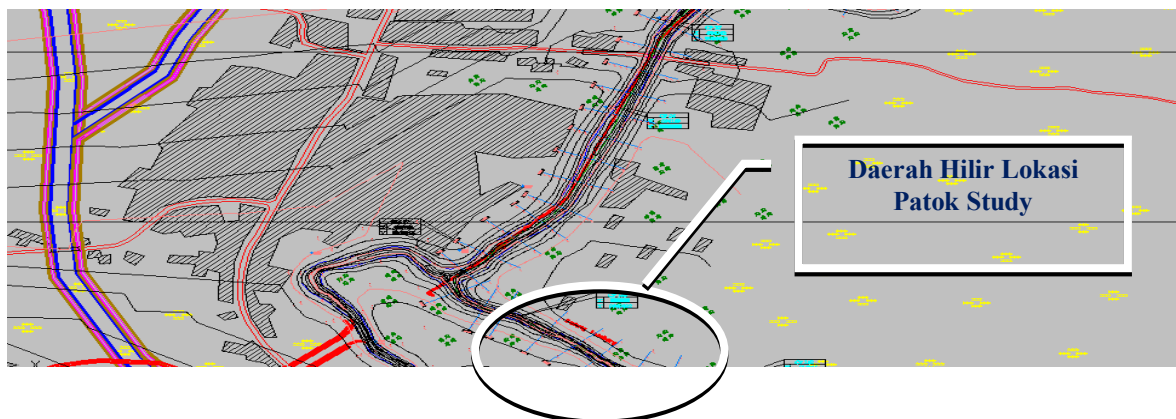
(Sumber : Perhitungan)

Berdasarkan hasil perhitungan debit dengan metode yang berbeda, maka dapat diketahui bahwa terjadi perbedaan hasil perhitungan dari ketiga metode tersebut. Menurut KP 02 Standar Perencanaan Irigasi Untuk Bangunan Penahan Tebing menggunakan periode ulang 25 tahun. Berdasarkan pertimbangan keamanan dan efisiensi serta ketidakpastian besarnya debit yang terjadi di daerah tersebut, maka antara metode Hasper, Rasional, dan HSS Nakayasu dipakai metode HSS Nakayasu dengan pertimbangan untuk perhitungan *flood routing* menggunakan parameter waktu yaitu dalam hitungan tiap jam.

Analisis Hidrolika

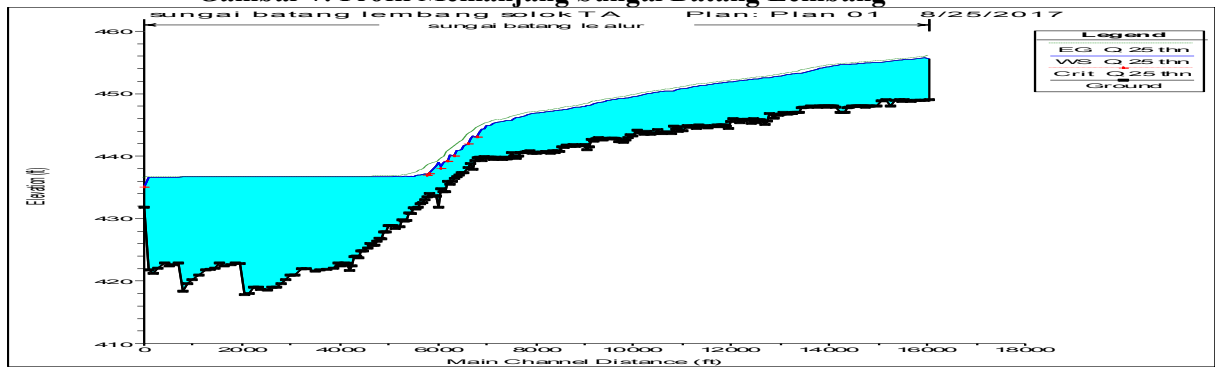
Patok yang di analisis adalah dari hulu batang lembang sampai ke P-248. Gambar di bawah ini adalah bentuk daerah hilir lokasi patok study.

Gambar 6. Lokasi Patok Analisis Penampang



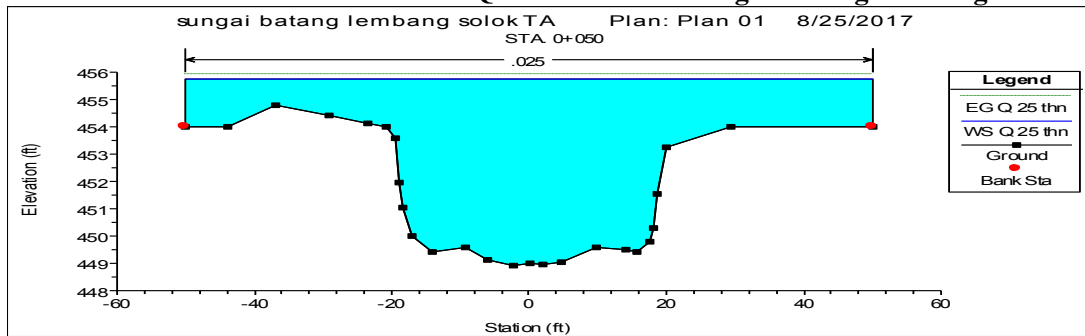
Permodelan dengan HEC RAS

Gambar 7. Profil Memanjang Sungai Batang Lembang



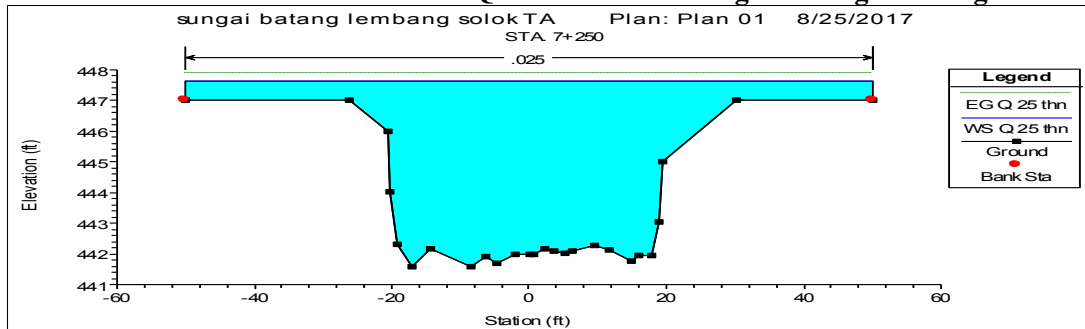
Sumber: Hasil analisis

Gambar 8. Cross Section Q-25 daerahhuluSungai BatangLembang



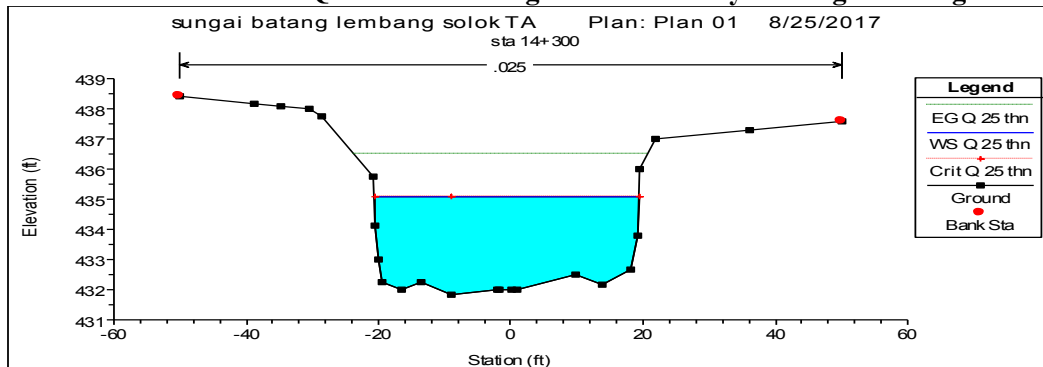
Sumber: Hasil analisis

Gambar 9. Cross Section Q-25 daerahhuluSungai BatangLembang



Sumber: Hasil analisis

Gambar 10. Cross Section Q-25 Daerah Tengah Lokasi Study di Sungai BatangLembang



Sumber: Hasil analisis

Gambar 11. Cross Section Q-25 Daerah Hilir Lokasi Study di Sungai Batang Lembang

Analisis hidrolika dilakukan permodelan sungai Batang Lembang dengan tool aplikasi HEC-RAS yang merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai. Berdasarkan hasil analisis tersebut, pada debit banjir 25 tahun terdapat titik-titik lokasi sungai yang kapasitas penampangannya tidak cukup untuk menampung kapasitas air sungai sehingga menyebabkan banjir di sisi kiri dan kanan sungai.

Analisa dimensi saluran

Berdasarkan hasil permodelan hecrass, pada saat debit banjir 25 tahun penampang sungai Batang Lembang sudah meluap. Panjang sungai Batang Lembang yang dianalisa adalah 14,3 km dan lebar rata-rata sungai adalah 40 m. Oleh karena itu perlu direncanakan permodelan revetment untuk peninggian dan perkuatan tebing sungai sehingga debit maksimum 25 tahun dapat ditampung oleh dimensi sungai.

- **Perencanaan dimensi sungai dengan rumus manning**

Berdasarkan perhitungan sebelumnya, ketinggian air di hitung dengan aplikasi HEC RAS. Untuk mengecek keakuratan aplikasi tersebut maka penulis membandingkan dengan hasil perhitungan manual dengan rumus manning.

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = A \cdot \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}}$$

$$1094,701 = (45h + 1 \cdot h^2) \times \left(\frac{(45h + 1h^2)}{45 + 2h\sqrt{1 + 1^2}} \right)^{\frac{2}{3}} \times 0,566$$

Dilakukan dengan cara coba-coba, maka nilai h di dapat sebagai berikut:

Tabel. 13. Hasil perhitungan ketinggian air

h	45h + h ²	45 + 2,828 h	A/B	D	Q
	A	B	C		A . C . D
5	250	59.14	4.227257	0.566	598.1569
6	306	61.968	4.938033	0.566	855.2475
7	364	64.796	5.617631	0.566	1157.367
6.804	352.4936	64.2426396	5.486911	0.566	1094.701

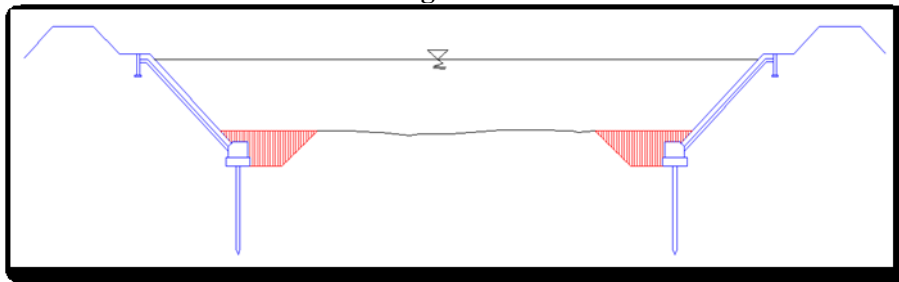
Sumber: perhitungan

Penampang sungai dengan lebar 45 meter ketinggian air yang di dapat dari perhitungan menggunakan aplikasi HEC RAS adalah 6,55 meter, sedangkan menggunakan rumus manning 6,8 meter. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa, aplikasi HEC RAS dapat kita pakai dalam perencanaan penampang sungai.

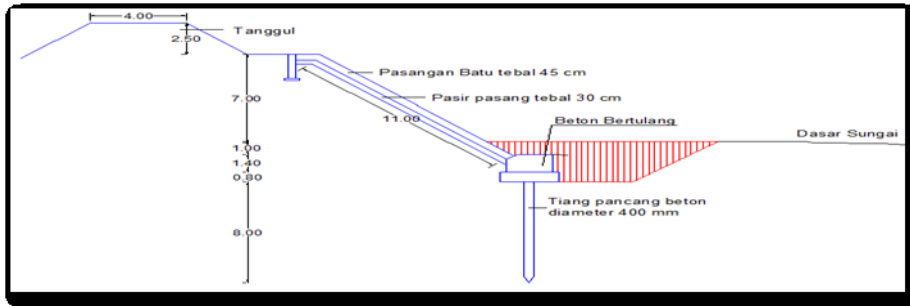
Desain Konstruksi Revetment

Desain revetment yang digunakan adalah pasangan batu dengan diameter 300 mm. kemiringan lereng revetment digunakan adalah 1:1. Struktur revetment dibagi setiap segmen sepanjang 20 meter.

Gambar 12. Desain melintang konstruksi revetment



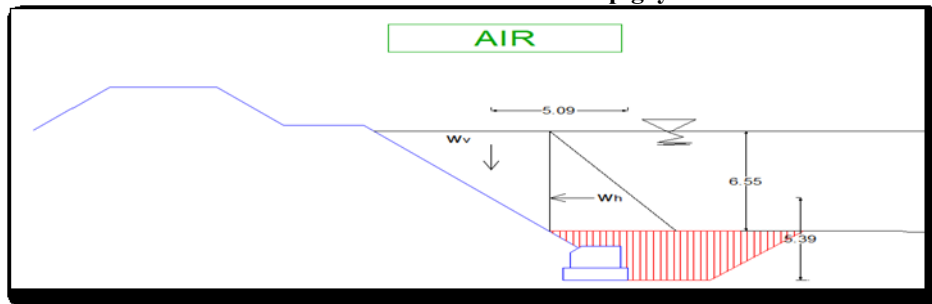
Gambar 13. Detail konstruksi revetment



Stabilitas Revetment

- Kontrol kestabilan revetment terhadap gaya hidrostatis

Gambar 14. Stabilitas revetment terhadap gaya hidrostatis

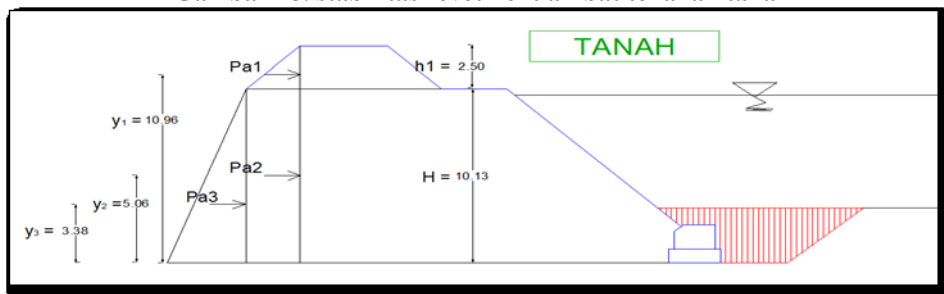


$$w_v = w_h = \frac{1}{2} \gamma_{air} \times h^2 = \frac{1}{2} \times 1 \times 6,55^2 = 21,451 \text{ ton/m}$$

Beban air arah vertical = $w_v \times L = 21,451 \times 5,09 = 109,186 \text{ ton}$ (vertikal)
 Beban airarah horizontal = $w_h \times L = 21,451 \times 5,39 = 115,621 \text{ ton}$(horizontal)

- Kontrol kestabilan revetment terhadap gaya akibat tekanan tanah

Gambar 15. stabilitas revetment akibat tekanan tanah



$$Pa_1 = \gamma \cdot h_1 \cdot \left(\frac{1 - \sin \alpha}{1 + \sin \alpha} \right) \cdot \frac{h_1}{2} = 1,7352 \times 2,5 \cdot \left(\frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} \right) \times \frac{2,5}{2} = 1,807 \text{ ton/m}$$

$$Pa_2 = \gamma \cdot h_1 \cdot \left(\frac{1 - \sin \alpha}{1 + \sin \alpha} \right) \cdot H = 1,7352 \times 2,5 \cdot \left(\frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} \right) \times 10,13 = 14,648 \text{ ton/m}$$

$$Pa_3 = \gamma \cdot H \left(\frac{1 - \sin \alpha}{1 + \sin \alpha} \right) \cdot \frac{H}{2} = 1,7352 \times 10,13 \left(\frac{1 - \sin 30}{1 + \sin 30} \right) \times \frac{10,13}{2} = 29,677 \text{ ton/m}$$

$$\text{Beban tanah} = Pa_1 \cdot y_1 + Pa_2 \cdot y_2 + Pa_3 \cdot y_3$$

$$= (1,807 \times 10,96) + (14,648 \times 5,06) + (29,677 \times 3,38) = 194,529 \text{ ton}$$

$$\Sigma H = \text{beban tanah} - \text{beban air}$$

$$= 194,529 - 115,621 = 78,908 \text{ ton}$$

$$\Sigma V = \text{beban bangunan} + \text{beban air}$$

$$= 70,725 + 109,186 = 179,911 \text{ ton}$$

- Control kelongsoran dengan:

$$f = 0,6$$

$$s = 1,25$$

Maka

$$\frac{\Sigma H}{\Sigma V} < \frac{f}{s} = \frac{78,908}{179,911} < \frac{0,6}{1,25} = 0,439 < 0,48 \dots\dots\dots (\text{ok})$$

- Control geser

$$\Sigma H \leq \frac{f \cdot \Sigma V + C \cdot A}{s}$$

$$78,908 \leq \frac{0,6 \times 179,911 + 22 \times 4,49}{1,25} = 78,908 \leq \frac{107,947 + 98,78}{1,25} = 78,908 \leq 165,382 \dots\dots (\text{ok})$$

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Analisis hidrolika dilakukan dengan tool aplikasi HEC-RAS yang merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai. Berdasarkan hasil analisis tersebut, pada debit banjir 25 tahun terdapat titik-titik lokasi sungai yang kapasitas penampangnya tidak cukup untuk menampung kapasitas air sungai sehingga menyebabkan banjir di sisi kiri dan kanan sungai. Sehingga dilakukan perencanaan revetment sebagai perlindungan tebing sungai Batang Lembang dalam upaya pengendalian banjir Kota Solok.
2. Lebar rata-rata existing sungai adalah 40 m. Perencanaan lebar sungai pada analisis ini adalah 44 m dan kemiringan lereng revetment adalah 1:1. Struktur revetment dibagi setiap segment sepanjang 20 meter. Perlindungan tebing dibuat dari pasangan batu tebal 45 cm dan tinggi tanggul 2,5 m. Pondasi revetment direncanakan dengan pondasi tiang pancang beton dengan diameter 400 mm dan kedalaman 8 meter. setelah dilakukan perhitungan analisis revetment perlindungan tebing sungai Batang Lembang aman terhadap kelongsoran tanah dan stabil terhadap berbagai gaya yang bekerja pada bangunan tersebut.

Saran

1. Dalam mendukung upaya pengendalian banjir di Sungai Batang Lembang, kiranya perlu disertai upaya perlindungan dan penataan kawasan sungai oleh pemerintah dan aparat setempat sehingga tidak terjadi penyempitan badan sungai.
2. Perlunya studi lanjut untuk penanggulangan banjir di DAS Sungai Batang Lembang dengan cara nonstructural yang dapat dilakukan dengan perbaikan tataguna lahan di daerah bagian hulu.
3. Proyek Akhir ini dapat dijadikan pedoman bagi peneliti selanjutnya yang merencanakan revetment perlindungan tebing sungai di suatu daerah.

DAFTAR PUSTAKA

1. Christady, Hari.2012. *Mekanika Tanah 1*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
2. Christady, Hari.2014. *Mekanika Tanah 2*. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
3. Harto, Sri. 1993. *Analisis Hidrologi*. Gramedia, Jakarta
4. KP-02 .1986. *Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama*.
5. Permatasari, Azizah. 2015. *Studi Perencanaan Tanggul dan Dinding Penahan untuk Pengendalian Banjir di Sungai Cileungsi Kabupaten Bogor Jawa Barat*. Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
6. Sosrodarsono, Takeda.1976. *hidrologi untuk pengairan*.