

PEMODELAN SEDIMENTASI PADA TAMPUNGAN BENDUNG TIBUN KABUPATEN KAMPAR

Bambang Sujatmoko, Mudjiatko dan Mathias Robianto

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya, Km 12,5 Simpang Baru, Pekanbaru 28293

email : b_sujatmoko@yahoo.com

ABSTRAK

Pemodelan sedimentasi pada suatu tampungan bendung diperlukan untuk mengetahui pergerakan sedimen yang terjadi dan berapa besar perubahan dasarnya. Untuk memudahkan proses pemodelan dapat digunakan bantuan teknologi yaitu dengan menggunakan *software Surface-water Modelling System*. Program ini dapat memodelkan arus dan sedimentasi dalam tampungan bendung, dimana hasil pemodelan dari program ini berguna untuk mengetahui pola aliran dan distribusi kecepatan aliran serta distribusi sedimen yang terjadi pada tampungan bendung. Penelitian ini bertujuan untuk memperlihatkan pergerakan arus dan sedimen pada tampungan bendung Tibun dengan menggunakan *software Surface-water Modelling System*. Pada pemodelan ini, data topografi, debit banjir, dan elevasi muka air diolah dengan menggunakan *Resources Management Associates-2* dan *Geometri File Generation* yang menghasilkan bentuk aliran yang terjadi dan *SED2D* mengolah parameter-parameter sedimen dengan hasil berupa pergerakan sedimen yang terjadi pada tampungan bendung. Hasil pemodelan sedimentasi pada tampungan bendung Tibun, menunjukkan bahwa kecepatan aliran yang terjadi pada tampungan bendung sangat kecil nilainya. Kecepatan aliran pada periode ulang 10 tahun lebih besar nilainya dibandingkan periode ulang 5 tahun pada titik dan lokasi yang sama. Sebaliknya, perubahan dasar tampungan pada periode ulang 10 tahun lebih kecil nilainya dibandingkan dengan periode ulang 5 tahun pada titik dan lokasi yang sama.

Kata Kunci : pemodelan sedimentasi, tampungan bendung, pola aliran, perubahan dasar

ABSTRACT

Sedimentation modelling in a weir reservoir is needed to study sediment movements and bed changes. To ease the modelling process, Surface-water Modelling System (SMS) software can be used. The program is capable of modelling the velocity currents and sedimentation distributions of weir reservoirs. The purpose of this research is to show the current movements and sediments of Tibun Weir Reservoir. Topography data, flood discharges, and elevation of surface water were processed using Resources Management Associates-2 (RMA-2) and Geometry File Generation modules, to produce current patterns. SED2D module was used to generate sediment movements. The results showed that current velocities of the Weir were very low. The current velocities of a 10 year-period was greater than in 5 year-period at the same objective points. On the contrary, the reservoir bed changes in 10 year-period was less than in 5 year-period.

Keywords: sedimentation modelling, weir reservoir, current pattern, bed change

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Bendung Tibun dibangun pemerintah untuk menaikkan elevasi muka air Sungai Tibun. Tampungan Bendung Tibun ini digunakan masyarakat sebagai persediaan air dalam memenuhi kebutuhan air irigasi pertanian. Sumber air utama tampungan bendung Tibun ini berasal dari sungai Tibun. Tampungan bendung Tibun memiliki bentuk topografi dengan elevasi yang

berbeda-beda. Hal ini mengakibatkan distribusi kecepatan pada tampungan bendung menjadi tidak merata. Akibat bentuk topografi dan distribusi kecepatan yang tidak merata menyebabkan beragam pola aliran yang terjadi di tampungan bendung Tibun. Distribusi kecepatan yang tidak merata pada tampungan bendung Tibun mengakibatkan penyebaran distribusi sedimen pada tampungan bendung juga tidak merata. Hal ini sangat berpengaruh terhadap perubahan morfologi pada tampungan bendung Tibun.

Sedimentasi yang terjadi pada tampungan bendung Tibun dapat menyebabkan berkurangnya efisiensi umur tampungan bendung. Sedimentasi yang terjadi harus ditanggulangi, sehingga diperlukan metode-metode untuk mengetahui besar distribusi kecepatan aliran dan distribusi sedimen pada tampungan bendung Tibun, agar pengendalian umur tampungan bendung menjadi efisien (Gunawan, 2008).

Untuk mengetahui pola aliran dan distribusi kecepatan aliran, serta distribusi sedimen yang masuk ke dalam tampungan bendung Tibun, diperlukan cara untuk memperkirakan hal tersebut dengan bantuan perangkat lunak komputer (*software*). Salah satu *software* yang dapat membantu dalam penelitian ini yaitu SMS (*Surface water Modelling System*). Program ini dapat dipakai untuk proses simulasi pola aliran dan distribusi kecepatan aliran dengan menggunakan RMA-2 dan simulasi distribusi sedimen dengan menggunakan SED2D (Anonim, 2003).

Tujuan dan Manfaat

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Menganalisa besar curah hujan.
2. Mengetahui besar debit banjir rencana dengan metode Nakayasu
3. Mengetahui pola aliran dan distribusi kecepatan aliran dengan menggunakan RMA-2
4. Mengetahui pengaruh distribusi sedimen terhadap perubahan morfologi tampungan bendung dengan menggunakan SED2D.

Manfaat dari penelitian ini yaitu dapat digunakan sebagai acuan untuk membantu pemerintah Kabupaten Kampar, dalam memprediksi sedimen yang masuk ke dalam tampungan Bendung Tibun.

Tinjauan Pustaka

Analisis Curah Hujan. Untuk menentukan jenis metode yang akan digunakan pada perhitungan curah hujan, maka dilakukan analisa parameter statistik. Parameter statistik yang dihitung disini yaitu (Suripin, 2004):

1. Rata-rata : $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ (1)

2. Simpangan Baku : $S = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right]^{\frac{1}{2}}$ (2)

3. Koefisien Variansi : $C_v = \frac{S}{\bar{x}}$ (3)

4. Asimetri (skewness) : $C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$ (4)

5. Kurtosis : $C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4}$ (5)

dengan : \bar{x} adalah rata-rata data hujan, n adalah jumlah pengamatan, S adalah simpangan baku, C_v adalah koefisien variansi, C_s adalah koefisien asimetri (*skewness*), C_k adalah koefisien kurtosis. Selanjutnya untuk masing-masing distribusi syarat dan cirinya ditampilkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Statistik Untuk Menentukan Jenis Distribusi (Triatmodjo, 2008)

No	Distribusi	Persyaratan
1	Normal	$C_s \cong 0,0$ $C_k \cong 3,0$
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Gumbel	$C_s \cong 1,14$ $C_k \cong 5,4$
4	Log Person III	jika tidak menunjukkan sifat dari ketiga distribusi di atas

Metode Nakayasu. Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Nakayasu dikembangkan berdasar beberapa sungai di Jepang (Sri Harto, 2000). Bentuk HSS Nakayasu diberikan oleh persamaan berikut ini.

$Q_p = \frac{1}{3.6} \left(\frac{A Re}{0.3T_p + T_{0.3}} \right)$ (6)

$T_p = T_g + 0.8T_r$ (7)

$T_g = 0.4 + 0.058L$ untuk $L > 15$ km (8)

$T_g = 0.21L^{0.7}$ untuk $L < 15$ km (9)

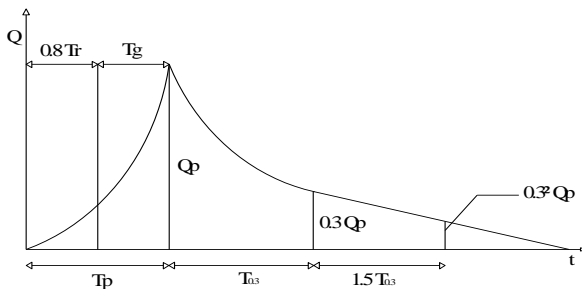
$T_{0.3} = \alpha T_g$ (10)

dengan Q_p adalah debit puncak banjir (m^3/dtk), A adalah luas DAS (km^2), Re adalah curah hujan efektif (mm), T_p adalah waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf banjir (jam), $T_{0.3}$ adalah waktu dari puncak banjir sampai 0.3 kali debit puncak banjir (jam), T_g adalah waktu konsentrasi, T_r adalah satuan waktu dari curah hujan = $(0.5 - 1.0) \cdot T_g$ (jam), α adalah koefisien karakteristik DAS (1.5 - 3.0), L adalah panjang sungai utama (km)

Konfigurasi Dasar Tampungan Bendung

Konfigurasi dasar tampungan merupakan fungsi kecepatan arus pada aliran yang makin bertambah kuat. Adapun klasifikasi dari konfigurasi dasar adalah sebagai berikut (Mardjikoeno, 1988).

1. *Plane bed* (Dasar rata)
2. *Ripple* (Dasar bergelombang)
3. *Dunes* (Sisi sebelah hulu lebih landai dan sisi sebelah hilir lebih curam, bentuk kurang teratur dan asimetrik, kekasaran bertambah, erosi pada sisi sebelah hulu dan endapan di bagian bawah sisi sebelah hilir)
4. *Sheet flow* (Transisi, $Fr \approx 1$, kekasaran sangat berkurang)
5. *Anti Dunes* ($Fr > 1$, aliran tidak stabil, bentuk gelombang pasir agak simetrik, endapan terjadi pada sisi hulu, dan erosi pada sisi hilir)



Gambar 1. Hidrograf satuan Sintetis Nakayasu (Triatmodjo, 2008)

METODE DAN BAHAN

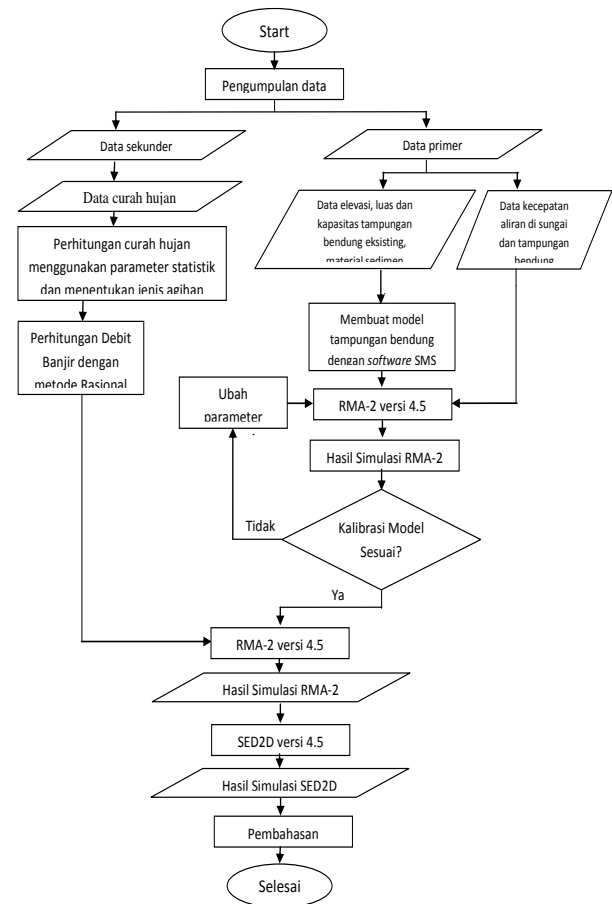
Bahan Penelitian

Bahan penelitian berupa data yang terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer didapat dengan pengukuran kedalaman tampungan bendung untuk mendapatkan kontur tampungan bendung berupa data topografi, data sedimen dan data debit sungai, sedangkan data sekunder didapat dari dinas terkait di Kabupaten Kampar, data yang digunakan berupa data hidrologi dari tahun 2001 s.d. 2010.

Bagan Alir Penelitian. Tahap-tahap yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam bagan alir penelitian pada Gambar 2.

Pada tahap pengolahan data, data yang sudah dikumpulkan, selanjutnya dianalisa dan perhitungan data. Pada tahap analisa data dilakukan sesuai dengan kebutuhan seperti : (a) Analisa curah hujan menggunakan metode seri parsial dengan cara mengurutkan data hujan dari yang terbesar hingga terkecil. Setelah itu dilakukan analisa parameter statistik untuk mengetahui jenis agihan yang digunakan untuk menghitung besar hujan dengan periode ulang tertentu; (b) Analisis debit banjir rencana dihitung dengan menggunakan metode Nakayasu; (c) Simulasi pola aliran untuk mengetahui pola aliran dan distribusi kecepatan aliran dalam tampungan bendung dengan menggunakan RMA2; (d) Simulasi distribusi

sedimen untuk mengetahui distribusi sedimen di dalam tampungan bendung dengan menggunakan SED2D (Gunawan, 2008; Anonim, 2003).



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Curah Hujan

Perhitungan curah hujan dengan metode seri parsial dilakukan dengan mengurutkan data-data hujan dari yang terbesar hingga terkecil. Dalam seri parsial dibatasi jumlah data tidak melebihi dari lima kali panjang tahun data (Sri Harto BR, 2000). Untuk itu, dalam penelitian ini diambil sebanyak 50 data terbesar. Hasil pengolahan data dengan seri parsial dapat dilihat pada Tabel 2.

Jenis agihan yang digunakan dari hasil perhitungan parameter statistik curah hujan yaitu metode Log Pearson III. Data curah hujan yang ada dihitung lebih lanjut untuk mengetahui besar curah hujan dengan periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun.

Perhitungan Debit Banjir rencana

Hasil yang diperoleh dari perhitungan analisa curah hujan dengan metode Log Pearson III, akan digunakan pada perhitungan debit banjir. Dalam

simulasi ini, debit yang akan digunakan yaitu debit pada periode ulang 5 tahun dan 10 tahun. Untuk perhitungan debit, digunakan analisa Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu.

Tabel 2. Data curah hujan harian tahun 2001-2010 dengan seri parsial

Tahun	Curah hujan stasiun (mm)	Tahun	Curah hujan stasiun (mm)
2001	141	2005	70
2001	99	2006	144
2001	91	2006	99.5
2001	86	2006	97
2001	67	2006	75
2001	66	2006	74
2002	91	2006	73
2002	75.5	2007	94
2002	74	2007	92
2002	71	2007	92
2003	113	2007	75
2003	90	2007	72
2003	87	2008	90
2003	83	2008	69
2003	75	2008	67
2003	74	2009	117
2004	87	2009	104
2004	87	2009	95
2004	81	2009	92
2004	76	2009	69
2005	100	2010	137
2005	97.5	2010	94
2005	91	2010	85
2005	86	2010	83
2005	78.5	2010	79

Tabel 3. Rekapitulasi perhitungan curah hujan dengan Log Pearson III

Periode ulang	Curah hujan (mm)
2	84.109
5	99.725
10	110.900
25	125.959
50	137.816
100	150.230

Simulasi Pola Aliran

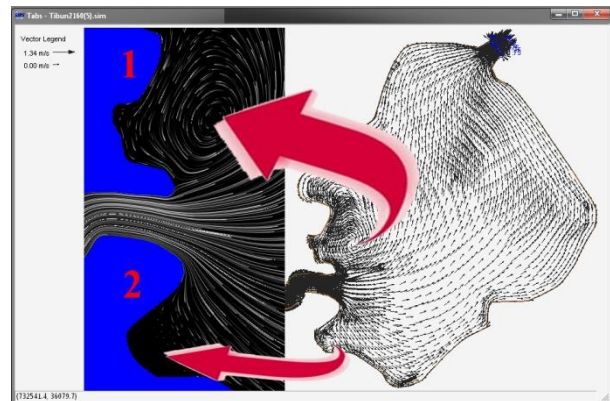
Data yang digunakan baik berupa data topografi, debit, dan elevasi muka air diolah langsung oleh

modul RMA2 dengan menggunakan persamaan konservasi massa dan persamaan konservasi momentum yang diintegrasikan terhadap kedalaman.

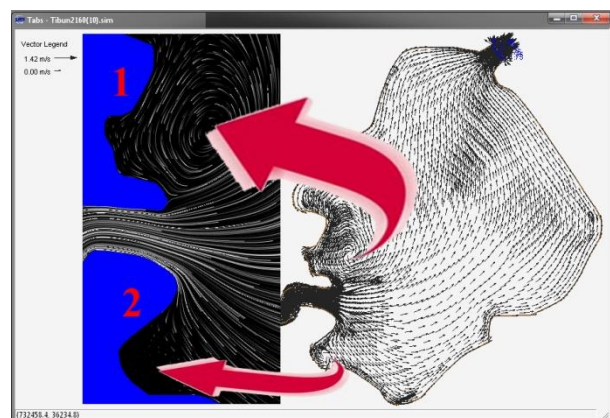
Tabel 4. Rekapitulasi perhitungan debit banjir rencana

Periode ulang (Tahun)	Debit (m ³ /dtk)
5	37.691
10	41.786

Pola Aliran. Pola aliran yang dihasilkan dari simulasi menggunakan RMA2 pada periode ulang 5 tahun dan 10 tahun selama 3 (tiga) bulan, dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 3. Hasil running RMA2 terhadap pola aliran pada periode ulang 5 tahun selama 3 bulan.



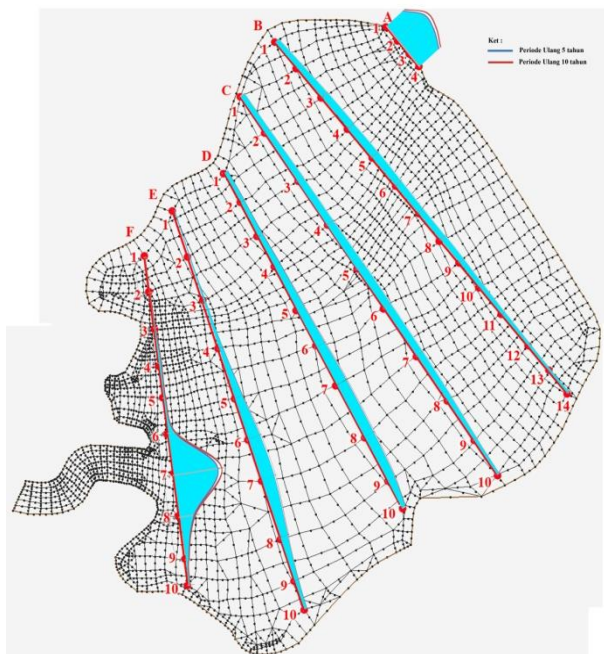
Gambar 4. Hasil running RMA2 terhadap pola aliran pada periode ulang 10 tahun selama 3 bulan.

Kecepatan Aliran. Kecepatan aliran yang dihasilkan pada titik tinjauan untuk periode ulang 5 tahun dan 10 tahun selama 3 bulan, dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil perhitungan kecepatan aliran periode ulang 5 dan 10 tahun

Titik	Kecepatan aliran (m/d)											
	A		B		C		D		E		F	
	5 tahun	10 tahun	5 tahun	10 tahun	5 tahun	10 tahun	5 tahun	10 tahun	5 tahun	10 tahun	5 tahun	10 tahun
1	0.19	0.209	0.04	0.044	0.044	0.047	0.033	0.035	0.006	0.006	0.001	0.001
2	0.312	0.341	0.049	0.053	0.046	0.049	0.035	0.037	0.007	0.008	0.002	0.002
3	0.296	0.324	0.061	0.066	0.058	0.063	0.042	0.045	0.016	0.017	0.009	0.011
4	0.226	0.248	0.067	0.073	0.064	0.070	0.053	0.057	0.032	0.034	0.019	0.022
5	-	-	0.07	0.077	0.073	0.079	0.068	0.074	0.068	0.073	0.014	0.017
6	-	-	0.063	0.07	0.066	0.073	0.08	0.088	0.106	0.116	0.058	0.063
7	-	-	0.055	0.061	0.060	0.067	0.093	0.102	0.113	0.125	0.393	0.427
8	-	-	0.052	0.058	0.045	0.050	0.089	0.099	0.065	0.072	0.128	0.139
9	-	-	0.047	0.052	0.027	0.030	0.069	0.077	0.033	0.036	0.025	0.028
10	-	-	0.038	0.043	0.019	0.021	0.034	0.037	0.021	0.023	0.012	0.013
11	-	-	0.031	0.034	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	0.022	0.024	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	0.018	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	0.018	0.02	-	-	-	-	-	-	-	-

Berdasarkan Tabel 5 dapat digambarkan distribusi kecepatan aliran yang dihasilkan pada titik tinjauan seperti yang terlihat pada Gambar 5 berikut:



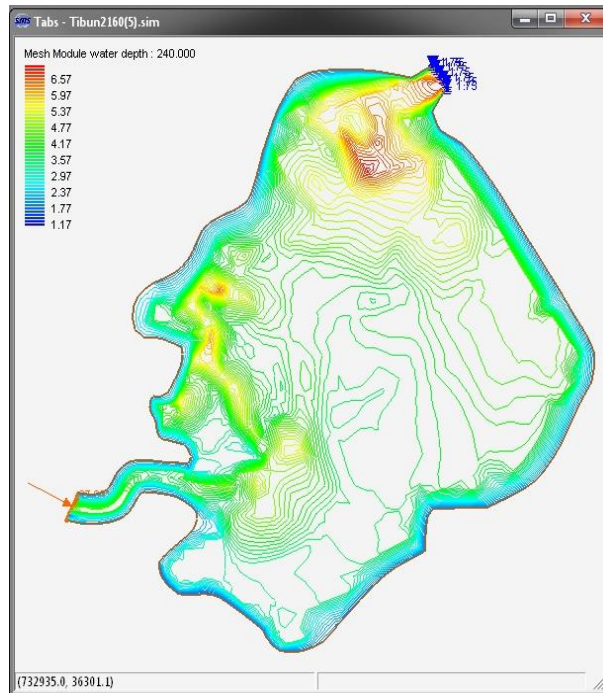
Gambar 5. Distribusi kecepatan aliran pada titik tinjauan

Simulasi Distribusi Sedimen

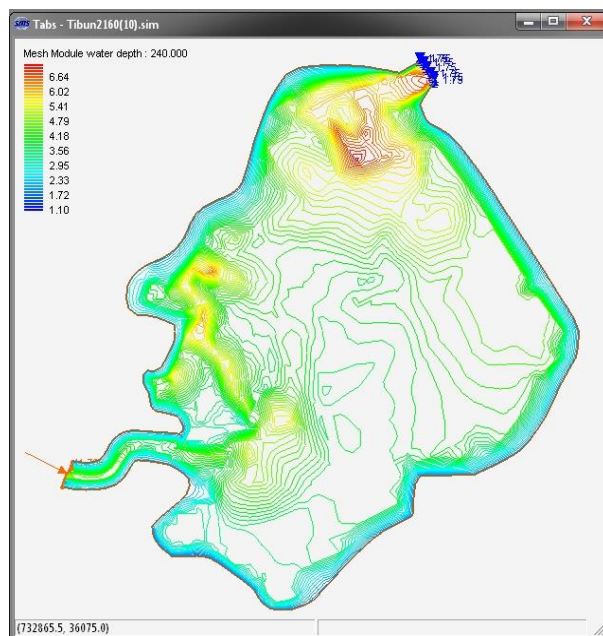
Kedalaman Tampungan. Hasil dari simulasi sedimen menggunakan SED2D berpengaruh terhadap kedalaman dari tampungan bendung Tibun. Kontur kedalaman yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 6.

Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan perbandingan kedalaman tampungan bendung pada periode ulang 5 dan 10 tahun. Berdasarkan gambar tersebut, pada periode ulang 5 tahun, diperoleh kedalaman maksimum sebesar 6,57 m dan kedalaman minimum sebesar 1,17 m. Sedangkan pada periode ulang 10 tahun, diperoleh kedalaman maksimum sebesar 6,64 m dan kedalaman

minimum sebesar 1,10 m. Dari keseluruhan hasil tersebut, periode ulang 10 tahun memiliki nilai kedalaman tampungan yang lebih besar.



Gambar 6. Kontur kedalaman tampungan bendung dengan debit periode ulang 5 (lima) tahun selama 3 (tiga) bulan



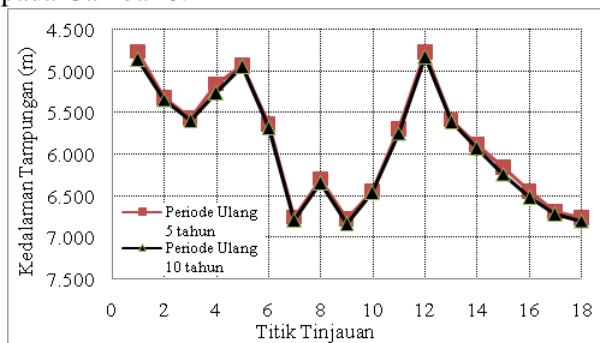
Gambar 7. Kontur kedalaman tampungan bendung dengan debit periode ulang 10 (sepuluh) tahun selama 3 (tiga) bulan

Hasil dari perhitungan kedalaman tampungan pada masing-masing periode ulang selama 3 (tiga) bulan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Kedalaman Tampungan bendung

Titik	Kedalaman Tampungan Bendung (m)	
	Periode Ulang 5 tahun	Periode Ulang 10 tahun
1	4.763	4.852
2	5.314	5.342
3	5.564	5.592
4	5.154	5.263
5	4.924	4.942
6	5.633	5.682
7	6.754	6.792
8	6.294	6.342
9	6.774	6.832
10	6.434	6.462
11	5.694	5.742
12	4.771	4.829
13	5.584	5.611
14	5.881	5.928
15	6.157	6.233
16	6.446	6.512
17	6.685	6.720
18	6.764	6.794

Hasil perhitungan pada Tabel 6 dapat digambarkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Kedalaman tampungan bendung pada periode ulang 5 tahun dan 10 tahun.

Perubahan Dasar Tampungan (Bed Change).

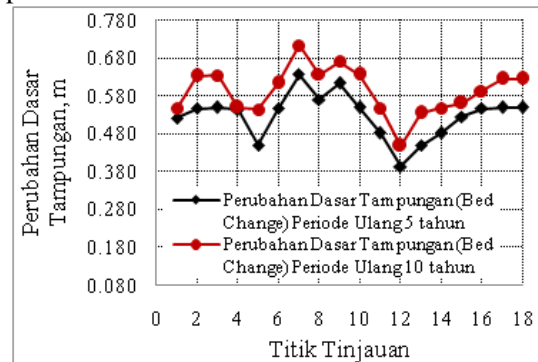
Hasil dari perhitungan perubahan dasar tampungan selama 3 (tiga) bulan pada periode ulang 5 dan 10 tahun dapat dilihat pada Tabel 7.

Gambar 9 menunjukkan perbandingan perubahan dasar tampungan selama 3 (tiga) bulan pada periode ulang 5 dan 10 tahun. Dari hasil analisis diperoleh perubahan dasar tampungan terbesar selama 3 (tiga) bulan berada pada periode ulang 5 tahun. Di mana dari titik yang ditinjau perubahan dasar tampungan terbesar pada periode ulang 5 tahun bernilai 0,637 m dan pada periode ulang 10 tahun sebesar 0,713 m.

Tabel 7. Perubahan Dasar Tampungan (Bed Change)

Titik	Perubahan Dasar Tampungan (Bed Change)	
	Periode Ulang 5 tahun	Periode Ulang 10 tahun
1	0.522	0.547
2	0.547	0.632
3	0.549	0.634
4	0.544	0.549
5	0.451	0.545
6	0.547	0.614
7	0.637	0.713
8	0.571	0.637
9	0.614	0.671
10	0.550	0.636
11	0.482	0.548
12	0.393	0.448
13	0.449	0.535
14	0.482	0.548
15	0.525	0.561
16	0.547	0.593
17	0.549	0.625
18	0.549	0.625

Hasil perhitungan pada Tabel 7 dapat digambarkan pada Gambar 9 berikut.

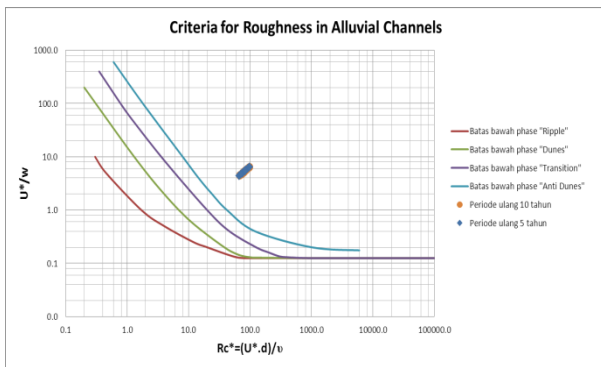


Gambar 9. Perubahan dasar tampungan (Bed Change) pada periode ulang 5 dan 10 tahun selama 3 (tiga) bulan

Konfigurasi Dasar Tampungan Bendung

Hasil konfigurasi dasar tampungan bendung pada titik-titik tinjauan yang diperoleh menggunakan grafik S4, dapat dilihat pada Gambar 10.

Gambar 10, menunjukkan konfigurasi dasar tampungan bendung yang dihasilkan pada titik-titik tinjauan. Konfigurasi dasar yang dihasilkan pada titik-titik tinjauan pada periode ulang 5 dan 10 tahun dapat dilihat pada Tabel 8.



Gambar 10. Konfigurasi dasar pada titik tinjauan

Tabel 8. Konfigurasi dasar pada titik tinjauan

Titik	Konfigurasi dasar	
	5 tahun	10 tahun
1	Anti Dunes	Anti Dunes
2	Anti Dunes	Anti Dunes
3	Anti Dunes	Anti Dunes
4	Anti Dunes	Anti Dunes
5	Anti Dunes	Anti Dunes
6	Anti Dunes	Anti Dunes
7	Anti Dunes	Anti Dunes
8	Anti Dunes	Anti Dunes
9	Anti Dunes	Anti Dunes
10	Anti Dunes	Anti Dunes
11	Anti Dunes	Anti Dunes
12	Anti Dunes	Anti Dunes
13	Anti Dunes	Anti Dunes
14	Anti Dunes	Anti Dunes
15	Anti Dunes	Anti Dunes

Berdasarkan Tabel 8 dapat dilihat bahwa konfigurasi dasar tampungan bendung yang dihasilkan dari masing-masing titik tinjauan tergolong ke dalam fase "Anti Dunes". Dalam hal ini kecepatan bertambah besar sehingga $Fr > 1$, maka aliran menjadi tidak stabil.

KESIMPULAN

Dari analisa dan simulasi pola aliran dan sedimentasi pada tampungan bendung Tibun, dihasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan curah hujan dengan metode Log Pearson III untuk periode ulang 5 tahun yaitu sebesar 99,725 mm dan untuk periode ulang 10 tahun yaitu sebesar 110,900 mm.
2. Debit banjir rencana yang diperoleh dengan menggunakan metode Nakayasu untuk periode ulang 5 tahun yaitu sebesar 37,691 m3/d dan

3. Pola aliran yang dihasilkan dari simulasi selama 3 bulan pada periode ulang 5 dan 10 tahun tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Pada masing-masing periode ulang menghasilkan 2 putaran air yang berada pada daerah hulu tampungan bendung. Kecepatan aliran yang dihasilkan pada periode ulang 10 tahun lebih besar dari periode ulang 5 tahun yaitu sebesar 0,393 m/d dan pada periode ulang 10 tahun yaitu sebesar 0,427 m/d.
4. Perubahan dasar tampungan bendung selama 3 bulan pada periode ulang 5 tahun lebih besar dari pada periode ulang 10 tahun. Berdasarkan titik-titik tinjauan, perubahan dasar tampungan terbesar yaitu sebesar 0,637 m untuk periode ulang 5 tahun, dan 0,713 m untuk periode ulang 10 tahun.
5. Konfigurasi dasar pada titik-titik tinjauan yang dihasilkan menggunakan grafik S4 tergolong ke dalam phase "Anti Dunes".

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2003. *User's Manual Surface water Modelling System, version 8.1*, Environmental Modeling Research Laboratory, Brigham Young University.

Gunawan, M.T., 2008. *Pemodelan Sedimentasi Waduk Bili-Bili dengan Software SMS*. Jurnal Al-Jibra, Vol. IX, No. 29, Agustus, hal. 65-73

Harto BR, Sri., 2000. *Hidrologi*. Yogyakarta: Nafiri Offset.

Mardjikoeno, 1988. *Transportasi Sedimen*. Yogyakarta: Biro Penerbit Keluarga Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Suripin, 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta. Andi Offset.

Sosrodarsono, Suyono, 2006. *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: PT Pradnya Paramita

Triatmojo, B, 2008. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.