

PENGARUH PERUBAHAN IKLIM TERHADAP SISA UMUR LAYANAN BENDUNGAN BATUJAI

Effect of Climate Change on the Remaining Life Time of Batujai DAM

Wakidi*, Heri Sulistyono**, Yusron Saadi**

* SMK 1 Praya, Jl. Pejanggik No. 08 Praya

** Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl Majapahit 62 Mataram

email : mwakidi89@yahoo.com, h.sulistyono@unram.ac.id, y.saadi@unram.ac.id

Abstrak

Bendungan Batujai terletak di Batujai, Praya Barat, Lombok Tengah, Nusa Tenggara Barat dengan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) 169 km². Mulai beroperasi tahun 1982 untuk menampung kelebihan air di musim hujan, mengairi lahan pertanian 3.350 ha, dan untuk pembangkit listrik tenaga microhydro dengan daya maksimum terpasang sebesar 150 kw. Umur layanan bendungan sangat dipengaruhi oleh tampungan mati, semakin penuh volume tampungan mati, semakin pendek umur layanan bendungan. Penyusutan volume tampungan dipengaruhi oleh laju sedimentasi. Laju sedimentasi dipengaruhi perubahan iklim yaitu temperatur dan curah hujan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui volume sedimentasi Bendungan Batujai tahun 2016, tahun 2032 (umur rencana), serta untuk mengetahui pengaruh perubahan iklim terhadap laju sedimentasi. Menghitung debit air, dengan menggunakan metode Mock dibutuhkan data-data pendukung evapotranspirasi, curah hujan dan banyak hari hujan. Evapotranspirasi dihitung dengan metode Blaney-Criddle dengan menggunakan data temperatur. Dari hasil analisis diperoleh volume sedimentasi Bendungan Batujai tahun 2016 sebesar 1.349.941 m³, tahun 2032 (umur rencana 50 tahun) sebesar 2.387.035 m³. Perubahan iklim sangat signifikan mempengaruhi laju sedimentasi Bendungan Batujai, tahun 1982 sampai dengan tahun 2015 volume sedimen rerata sebesar 41.118 m³ dan pada tahun 2016 sampai dengan tahun 2048 volume sedimen rerata sebesar 68.872 m³.

Kata kunci : Bendungan, Umur layanan, Perubahan iklim, Evapotranspirasi, Debit

PENDAHULUAN

Secara umum permasalahan kekurangan air di Nusa Tenggara Barat diatasi dengan membuat embung dan bendungan. Embung dan bendungan adalah bangunan air yang digunakan untuk menampung dan menyimpan air (Surahman et al., 2005). Volume tampungan bendungan terbagi atas 2 bagian yaitu volume tampungan air dan volume tampungan sedimen. Dimana volume tampungan sedimen menentukan umur operasi bendungan atau dikenal dengan istilah umur guna bendungan. Jika volume tampungan sedimen di suatu embung atau bendungan telah penuh, maka umur operasi bendungan tersebut telah habis. Umur embung atau bendungan direncanakan berdasarkan laju sedimentasi dan volume tampungan sedimen. Sisa umur embung atau bendungan dipengaruhi oleh laju pengisian sedimen pada tampungan sedimen di suatu embung atau bendungan.

Umur bendungan direncanakan sedemikian rupa sehingga bendungan tersebut dapat bermanfaat secara ekonomi. Namun saat beroperasi, sering didapat bahwa laju sedimentasi menjadi lebih cepat dibandingkan dengan laju sedimentasi rencana sehingga dikhawatirkan umur rencana embung atau bendungan tidak dapat tercapai. Laju sedimentasi dimungkinkan dipengaruhi oleh perubahan iklim terhadap peningkatan laju sedimentasi Bendungan Batujai.

Bendungan Batujai terletak di Desa Batujai, Kecamatan Praya Barat, Kabupaten Lombok Tengah, Provinsi Nusa Tenggara Barat dengan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) 169 km².

Bendungan ini mulai beroperasi sejak 1982 untuk menampung kelebihan air pada musim penghujan dan digunakan secara periodik dan terkontrol pada musim kemarau untuk mengairi lahan pertanian Penujak, Setanggor, Darek, Ungga, Ranggagata, dan sekitar Kecamatan Praya Barat Kabupaten Lombok Tengah seluas 3.350 ha, dan untuk pembangkit listrik tenaga *microhydro* dengan daya maksimum terpasang sebesar 150 kw (Raiz, 2013).

Berdasarkan fenomena di atas, maka perlu dilakukan suatu penelitian untuk mengetahui volume sedimen Bendungan Batujai tahun 2016 dan pada tahun 2032 (umur rencana) serta untuk mengetahui pengaruh perubahan iklim terhadap laju sedimentasi pada Bendungan Batujai. Penelitian ini mulai dilaksanakan pada bulan Oktober tahun 2015 dengan mengambil lokasi penelitian di Desa Batujai, Kabupaten Lombok Tengah. Objek penelitian adalah Bendungan Batujai seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Bendungan Batujai

TINJAUAN PUSTAKA

Perubahan iklim adalah perubahan secara permanen karakteristik-karakteristik statistik dari elemen-elemen iklim seperti radiasi matahari, temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban udara, presipitasi, dan tekanan udara untuk periode waktu yang panjang, seperti puluhan sampai jutaan tahun (IPCC, 2007; dan Pryor, 2009). Dalam Pengembangan Sumber Daya Air, perencanaan bangunan air didasarkan pada unsur-unsur iklim, yaitu: curah hujan, suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan radiasi matahari. Unsur-unsur iklim ini berpengaruh terhadap ketersediaan air dan laju sedimentasi (Dingman, 2002; Viessman, 2003; Dalam Pengembangan Sumber Daya Air, perencanaan bangunan air didasarkan pada unsur-unsur iklim, yaitu: curah hujan, suhu udara, kelembaban udara, kecepatan angin, dan radiasi matahari. Unsur-unsur iklim ini berpengaruh terhadap ketersediaan air dan laju sedimentasi (Dingman, 2002; Viessman, 2003; Tallaksen and Van Lanen, 2004; Majone et al., 2012; dan Sulistiyono, 2011).

Hidrologi didefinisikan sebagai ilmu yang mempelajari sistem kejadian air di atas tanah, permukaan tanah, dan di dalam tanah. Definisi tersebut terbatas pada hidrologi rekayasa. Secara luas hidrologi meliputi pula berbagai bentuk air, termasuk transformasi antara keadaan cair, padat, dan gas dalam atmosfer, di atas dan di bawah permukaan tanah. Di dalamnya tercakup pula air laut yang merupakan sumber dan penyimpan air yang mengaktifkan kehidupan di planet bumi ini (SNI, 1989).

Air di muka bumi ini selalu mengalami siklus hidrologi dimana siklus hidrologi merupakan rangkaian proses berpindahnya air permukaan bumi dari suatu tempat ke tempat lainnya hingga kembali ke tempat asalnya. Air naik ke udara dari permukaan laut atau dari daratan melalui evaporasi. Air di atmosfer dalam bentuk uap air atau awan bergerak dalam massa yang besar di atas benua dan dipanaskan oleh radiasi tanah. Panas membuat uap air lebih naik lagi sehingga cukup tinggi/dingin untuk terjadi kondensasi. Uap air berubah jadi embun dan seterusnya jadi hujan atau salju. Curahan (*precipitation*) turun ke bawah, ke daratan atau langsung ke laut. Air yang tiba di daratan kemudian mengalir di atas permukaan sebagai sungai, terus kembali ke laut. Air yang tiba di daratan kemudian mengalir di atas permukaan sebagai sungai, terus kembali ke laut melingkupi siklus air (Anonim, 2011).

Evapotranspirasi merupakan gabungan dari dua kata, evaporasi dan transpirasi (Setiawan et al., 2009). Kedua kata tersebut mempunyai makna yang sangat berbeda. Evaporasi yaitu penguapan air dari permukaan air, tanah dan bentuk permukaan bukan vegetasi lainnya oleh proses fisika. Transpirasi adalah penguapan air dari daun dan cabang tanaman melalui pori-pori daun. Transpirasi umumnya terjadi pada siang hari karena pada malam hari stomata menjadi tertutup. Apabila evaporasi dan transpirasi digabungkan maka disebut evapotranspirasi (Asdak 2010).

Menurut Bappenas (2007), debit air adalah suatu besaran debit pada suatu titik kontrol (titik tinjau) di suatu sungai di mana debit tersebut merupakan gabungan antara limpasan langsung dan aliran dasar. Debit air juga dapat diartikan sebagai debit minimum (terkecil) yang masih dimungkinkan untuk keamanan operasional suatu bangunan air (Kadir 2010). Untuk menentukan besarnya debit air, dapat dihitung dengan beberapa metode yang disesuaikan dengan data yang tersedia. Data yang tersedia dapat berupa seri data debit yang panjang yang dimiliki oleh setiap stasiun pengamatan debit sungai maupun data seri data curah hujan minimal 10 tahun.

Pengukuran tampungan sedimen biasanya tersedia dalam bentuk tersendiri atau berdasarkan waktu tertentu. Bagaimanapun juga, perhitungan laju sedimen seringkali dibutuhkan untuk periode terukur, seperti debit harian atau debit tahunan (Porterfield et al. 1972). Pengukuran tampungan sedimen biasanya tersedia dalam bentuk tersendiri atau berdasarkan waktu tertentu. Bagaimanapun juga, perhitungan laju sedimen seringkali dibutuhkan untuk periode terukur, seperti debit harian atau debit tahunan (Porterfield et al. 1972). Untuk menghitung jumlah tampungan sedimen digunakan persamaan di bawah ini.

$$Q_s = Q_w \times C_s \times k \quad \dots\dots\dots (1)$$

Dengan : Q_s = volume sedimen (m^3/det), Q_w = volume air (m^3/det), C_s = konsentrasi sedimen (miligram/liter), k = koefisien berdasarkan unit pengukuran debit air 0.0864.

Umur guna bendungan adalah masa manfaat bendungan dalam menjalankan fungsinya sampai kapasitas tampungan matinya terisi penuh oleh sedimen. Dalam hal ini untuk memprediksikan

umur guna bendungan berdasarkan pada dua metode yaitu kapasitas tampungan mati (*dead storage*) dan pengendapan sedimen di bendungan (Qohar, 2002).

METODE PENELITIAN

Pengumpulan data sekunder berupa data *echosounding*, data temperatur, data curah hujan dan data debit AWLR. Data *echosounding* berupa data hasil pengukuran yang sudah dilakukan oleh CV. Karya Utama Jaya pada tahun 2005. Sedangkan data temperatur berupa data temperatur setengah bulanan dari tahun 2005 sampai dengan tahun 2015 pada stasiun pengamatan Klimatologi Kediri Lombok Barat, sedangkan data temperatur dari tahun 2016 sampai dengan tahun 2048 berdasarkan data *Global Climate Model*. Data curah hujan berupa data curah hujan setengah bulanan desa Penujak Kecamatan Praya Barat dari tahun 2005 sampai dengan tahun 2015 yang bersumber dari Badan Meteorologi dan Geofisika Stasiun Klimatologi Kediri Nusa Tenggara Barat, sedangkan data curah hujan dari tahun 2016 sampai dengan tahun 2048 yang bersumber dari *Global Climate Model*. Data debit AWLR yang digunakan pada penelitian ini berupa data debit *outflow* bendungan batujai periode tahun 1982 sampai dengan tahun 2015.

Pengumpulan data primer diperoleh dari kegiatan survei lapangan yang dilaksanakan sesuai dengan metode yang telah ditetapkan. Kegiatan survei dilakukan dengan pengukuran tinggi sedimen menggunakan alat *echosounder*.

Perhitungan evapotranspirasi dengan menggunakan metode *Blaney-Criddle* dengan langkah-langkah sebagai berikut yaitu:

1. Menentukan besaran persentase rata-rata jam siang harian (p) berdasarkan letak lintang daerah stasiun pengamatan suhu.
2. Menghitung besaran Eto^*
Besaran Eto^* , diperoleh berdasarkan data suhu rata-rata setengah bulanan (t) dan besaran persentase rata-rata jam siang harian (p) hasil interpolasi.
3. Menentukan angka koreksi (c)
4. Menghitung Evapotranspirasi (Eto)

Nilai evapotranspirasi diperoleh dengan mengalikan nilai (c) dengan nilai Eto^* .

Perhitungan debit menggunakan metode *Mock* dengan langkah – langkah perhitungan sebagai berikut:

1. Menentukan curah hujan setengah bulanan (p) yang ditentukan berdasarkan data curah hujan
2. Menentukan jumlah hari hujan (n) yang ditentukan berdasarkan data curah hujan
3. Menentukan evapotranspirasi potensial (Eto)
4. Menentukan nilai persentase lahan yang terbuka (m)
5. Menentukan nilai E
6. Menentukan nilai Et (Evapotranspirasi terbatas)
7. Hujan efektif (P)
8. Kandungan air tanah (Ss)
9. Kelembaban tanah (Sm)
10. Kelebihan air (Ws)

Kalibrasi dilakukan untuk mencari korelasi dengan membandingkan antara debit perhitungan metode Mock terhadap debit hasil pengukuran di lapangan berupa debit AWLR. Hasil pengukuran debit AWLR yang dimaksud adalah berupa debit *outflow* bendungan Batujai. Adapun debit *outflow* yang digunakan pada penelitian ini berupa data debit air yang keluar untuk keperluan Irigasi, kebutuhan air minum, pompa dan *spillway*. Parameter kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini berupa data debit tahun 2005 sampai dengan tahun 2010.

Verifikasi debit air dimaksudkan untuk menguji keakuratan data atau hasil debit yang diperoleh. Adapun parameter-parameter yang digunakan, nilainya harus seperti dengan nilai parameter kalibrasi awal. Meskipun demikian, nilai korelasi harus mendekati 1. Pada penelitian ini, verifikasi dilakukan dengan menggunakan data debit pengukuran dan debit hasil perhitungan tahun 2011 sampai dengan tahun 2015.

Simulasi dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran debit sedimen pada akhir umur rencana. Pada penelitian ini, simulasi dilakukan dengan menggunakan data perubahan iklim berupa *Global Climate Model* (GCM). Perubahan iklim yang dimaksud adalah berupa data temperatur dan curah hujan yang dimulai dari tahun 2016 sampai dengan tahun 2048. Untuk menghitung debit sedimen digunakan persamaan di bawah ini :

$$Q_s = Q_w \times C_s \times k$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Perhitungan Evapotranspirasi

Pada penelitian ini, penentuan besaran persentase rata-rata jam siang harian (p) berdasarkan letak lintang daerah stasiun pengamatan suhu. Dimana pada daerah pengamatan, nilai (p) pada pada koordinat 116°13'8" BT - 08°38'11,0" LS seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Besaran persentase rata-rata jam siang harian (p)

Bulan	Lintang Utara		Lintang Selatan				
	5	2.5	0	2.5	5	7.5	10
Januari	0.270	0.270	0.270	0.275	0.280	0.285	0.285
Pebruari	0.270	0.270	0.270	0.275	0.280	0.285	0.285
Maret	0.275	0.275	0.275	0.275	0.280	0.285	0.285
April	0.275	0.275	0.275	0.275	0.275	0.270	0.270
Mei	0.280	0.280	0.275	0.270	0.270	0.265	0.260
Juni	0.280	0.280	0.275	0.275	0.270	0.270	0.265
Juli	0.285	0.280	0.275	0.275	0.275	0.270	0.265
Agustus	0.285	0.280	0.275	0.275	0.275	0.270	0.265
September	0.280	0.275	0.275	0.275	0.275	0.280	0.275
Oktober	0.275	0.275	0.270	0.275	0.280	0.285	0.285
Nopember	0.270	0.270	0.270	0.275	0.280	0.285	0.285
Desember	0.270	0.270	0.270	0.275	0.285	0.285	0.290

Sumber: Suhardjono, 1989

Untuk koordinat 08° Lintang Selatan, besaran (p) diperoleh dengan melakukan interpolasi antara koordinat 7.5° sampai dengan 10° Lintang Selatan. Dari interpolasi tersebut diperoleh nilai (p) seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Besaran persentase rata-rata jam siang harian (p) koordinat 8° Lintang Selatan

Bulan	Hasil Interpolasi		
	7,5	10	8
Januari	0.285	0.285	0.285
Pebruari	0.285	0.285	0.285
Maret	0.285	0.285	0.285
April	0.270	0.270	0.270
Mei	0.265	0.260	0.264
Juni	0.270	0.265	0.269
Juli	0.270	0.265	0.269
Agustus	0.270	0.265	0.269
Septemb	0.280	0.275	0.279
Oktober	0.285	0.285	0.285
Nopemb	0.285	0.285	0.285
Desemb	0,285	0,290	0,286

Dari hasil analisis diperoleh nilai evapotranspirasi dari tahun 2005 sampai dengan tahun 2015 seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi perhitungan evapotranspirasi tahun 2005 – 2015

TAHUN	Satuan	Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun		Jul		Aug		Sep		Oct		Nov		Dec	
2005	mm/hari	4.73	4.69	4.68	4.67	4.35	4.34	4.08	4.17	3.75	3.68	3.74	3.78	3.97	3.93	3.95	3.99	4.48	4.54	4.68	4.66	4.89	4.83	4.82	4.82
	mm	70.94	75.00	65.48	65.34	65.19	69.38	61.20	62.59	56.23	58.90	56.14	56.65	59.59	62.83	59.18	63.86	67.15	68.07	70.16	74.50	73.32	72.51	72.28	77.10
2006	mm/hari	4.61	4.60	4.60	4.62	4.33	4.37	4.15	4.16	3.74	3.72	3.70	3.64	3.87	3.88	3.83	3.88	4.36	4.38	4.58	4.70	4.87	4.92	4.89	4.90
	mm	69.20	73.64	64.43	64.64	64.94	69.99	62.29	62.36	56.13	59.58	55.47	54.63	58.04	62.09	57.39	62.12	65.36	65.77	68.72	75.23	73.01	73.86	73.28	78.44
2007	mm/hari	4.67	4.70	4.67	4.59	4.37	4.34	4.09	4.10	3.74	3.74	3.75	3.71	3.84	3.89	3.89	3.92	4.36	4.45	4.66	4.71	4.81	4.83	4.83	4.77
	mm	70.09	75.13	65.41	64.29	65.50	69.45	61.32	61.56	56.04	59.77	56.22	55.59	57.66	62.28	58.40	62.71	65.33	66.80	69.85	75.30	72.18	72.51	72.39	76.27
2008	mm/hari	4.68	4.64	4.65	4.60	4.26	4.31	4.07	4.11	3.70	3.66	3.69	3.64	3.89	3.82	3.90	4.01	4.49	4.50	4.68	4.74	4.77	4.80	4.82	4.84
	mm	70.15	74.27	65.12	64.37	63.94	68.91	61.10	61.71	55.49	58.61	55.41	54.67	58.32	61.17	58.57	64.20	67.35	67.55	70.15	75.81	71.49	72.00	72.32	77.43
2009	mm/hari	4.64	4.68	4.62	4.62	4.36	4.39	4.19	4.19	3.76	3.76	3.78	3.72	3.93	4.00	4.00	4.00	4.48	4.47	4.62	4.73	4.93	4.89	4.91	4.90
	mm	69.62	74.83	64.70	64.69	65.41	70.27	62.81	62.91	56.36	60.10	56.76	55.78	58.89	63.95	60.06	63.96	67.20	67.02	69.24	75.68	73.95	73.33	73.68	78.39
2010	mm/hari	4.70	4.69	4.67	4.71	4.37	4.38	4.16	4.19	3.80	3.79	3.80	3.73	4.03	4.01	4.05	4.07	4.50	4.52	4.67	4.67	4.83	4.86	4.90	4.76
	mm	70.56	74.98	65.43	66.00	65.53	70.09	62.35	62.87	56.99	60.64	56.98	55.99	60.49	64.18	60.75	65.16	67.50	67.82	70.06	74.70	72.39	72.95	73.45	76.10
2011	mm/hari	4.65	4.59	4.61	4.69	4.31	4.36	4.05	4.11	3.74	3.70	3.67	3.63	3.92	3.90	3.90	3.96	4.47	4.48	4.63	4.71	4.79	4.86	4.88	4.85
	mm	69.72	73.48	64.57	65.73	64.72	69.71	60.80	61.58	56.17	59.25	55.04	54.48	58.85	62.32	58.48	63.32	67.08	67.19	69.47	75.39	71.91	72.92	73.26	77.66
2012	mm/hari	4.59	4.64	4.65	4.67	4.36	4.32	4.12	4.17	3.75	3.69	3.73	3.62	3.88	3.87	3.89	3.92	4.41	4.50	4.71	4.73	4.90	4.85	4.78	4.90
	mm	68.91	74.31	65.15	65.43	65.43	69.09	61.83	62.60	56.31	59.11	55.95	54.32	58.15	61.94	58.36	62.71	66.13	67.53	70.59	75.68	73.48	72.68	71.75	78.36
2013	mm/hari	4.66	4.68	4.64	4.65	4.36	4.40	4.16	4.14	3.81	3.74	3.84	3.81	4.01	3.95	3.93	4.00	4.45	4.47	4.62	4.74	4.87	4.82	4.81	4.78
	mm	69.96	74.95	65.00	65.15	65.42	70.41	62.46	62.16	57.14	59.80	57.66	57.16	60.08	63.16	58.91	64.01	66.75	67.07	69.33	75.83	73.01	72.23	72.13	76.44
2014	mm/hari	4.62	4.67	4.68	4.60	4.32	4.36	4.16	4.13	3.82	3.78	3.80	3.72	3.96	3.94	3.98	3.91	4.36	4.48	4.63	4.70	4.89	4.86	4.82	4.86
	mm	69.29	74.74	65.52	64.34	64.75	69.73	62.47	61.96	57.31	60.45	57.06	55.75	59.36	62.99	59.63	62.55	65.36	67.15	69.46	75.17	73.37	72.87	72.35	77.79
2015	mm/hari	4.66	4.68	4.61	4.61	4.31	4.34	4.14	4.14	3.74	3.70	3.76	3.65	3.88	3.90	3.91	3.90	4.38	4.43	4.58	4.73	4.90	4.93	4.87	4.92
	mm	69.88	74.87	64.51	64.47	64.61	69.38	62.05	62.17	56.11	59.26	56.39	54.73	58.21	62.44	58.68	62.37	65.68	66.40	68.76	75.61	73.44	74.02	73.03	78.69

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan Debit Air

Untuk menghitung debit air, pada penelitian ini menggunakan metode Mock. Debit air dipengaruhi oleh nilai aliran permukaan (R_o), luas DAS (CA) dan jumlah aliran dasar (B_f). Pada lokasi penelitian ini, hasil perhitungan nilai Q_w pada Tahun 2005 bulan Januari yaitu sebesar 1.43 m³/det dengan perhitungan sebagai berikut :

$$Q_w = \frac{Ro. CA. 1000}{\text{hari bulan} \cdot 86400} + Bf = \frac{10.90 \times 169 \times 1000}{15 \times 86400} + 0.01 = 1.43 \text{ m}^3/\text{det}$$

Untuk hasil perhitungan debit air dengan metode Mock pada tahun 2005 disajikan pada Tabel 4, sedangkan hasil rekapitulasi perhitungan debit air dengan metode Mock pada tahun 2005 sampai dengan tahun 2015 seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 4. Perhitungan debit air Tahun 2005

No	Uraian	Satuan	Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Agst		Sep		Okt		Nov		Des		
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	
1	Jumlah Hari	hari	15	16	14	14	15	16	15	15	15	16	15	15	15	16	15	16	15	15	15	16	15	15	15	16	
2	Hujan (P)	mm/hm	14	66	140	84	148	36	164	28	0	0	0	24	105	0	15	24	3	14	12	53	0	285	160	196	
3	Jumlah Hari Hujan (n)	hari	4	6	8	6	8	4	9	3	0	0	0	4	5	0	3	3	1	1	1	7	0	5	12	9	
Limited Evaporation																											
4	Potential Evapotranspiration (Ep)	mm/hm	70.94	75.00	65.48	65.34	65.19	69.38	61.20	62.59	56.23	58.90	56.14	56.65	59.59	62.83	59.18	63.86	67.15	68.07	70.16	74.50	73.32	72.51	72.28	77.10	
5	Exposed Surface (m)	(%)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	10.00	20.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	10.00	0.00	0.00	0.00	
6	(m/30) * (-1.0315n+15.316)		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.05	0.10	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	
7	E = (5)^(3)	mm/hm	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.87	3.01	5.73	0.00	0.00	3.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.74	0.00	0.00	
8	Et = Ep - E	mm/hm	70.94	75.00	65.48	65.34	65.19	69.38	61.20	62.59	53.36	55.89	50.40	56.65	59.59	59.62	59.18	63.86	67.15	68.07	70.16	74.50	69.58	72.51	72.28	77.10	
Water Balance																											
9	P - Et	mm/hm	-56.94	-9.00	74.52	18.66	82.81	-33.38	102.80	-34.59	-53.36	-55.89	-50.40	-32.65	45.41	-59.62	-44.18	-39.86	-64.15	-54.07	-58.16	-21.50	-69.58	212.49	87.72	118.90	
10	Soil Storage	mm/hm	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	-33.38	33.38	-34.59	-15.41	0.00	0.00	0.00	45.41	-45.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	0.00	0.00	
11	Soil Moisture	mm/hm	0.00	0.00	50.00	50.00	50.00	16.62	50.00	15.41	0.00	0.00	0.00	0.00	45.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	50.00	50.00	50.00	
12	Water Surplus	mm/hm	0.00	0.00	24.52	18.66	82.81	0.00	69.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	162.49	87.72	118.90	
Run Off & Ground Water Storage																											
13	Infiltration (I)	mm/hm	0.00	0.00	23.29	17.73	78.67	0.00	65.95	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	154.36	83.33	112.95	
14	0.5 (1+k)^t	mm/hm	0.00	0.00	22.13	16.84	74.74	0.00	62.65	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	146.64	79.16	107.31	
15	k^V _{t-1}	mm/hm	98.10	88.29	79.46	91.43	97.44	154.96	139.47	181.91	163.71	147.34	132.61	119.35	107.41	96.67	87.00	78.30	70.47	63.43	57.08	51.38	46.24	41.61	169.43	223.74	
16	Storage Volume	mm/hm	98.10	88.29	101.59	108.27	172.18	154.96	202.12	181.91	163.71	147.34	132.61	119.35	107.41	96.67	87.00	78.30	70.47	63.43	57.08	51.38	46.24	188.26	248.60	331.04	
17	DVn = V _n - V _{n-1}	mm/hm	-10.90	-9.81	13.30	6.68	63.91	-17.22	47.15	-20.21	-18.19	-16.37	-14.73	-13.26	-11.93	-10.74	-9.67	-8.70	-7.83	-7.05	-6.34	-5.71	-5.14	142.02	60.34	82.45	
18	Interflow	mm/hm	10.90	9.81	9.99	11.05	14.76	17.22	18.79	20.21	18.19	16.37	14.73	13.26	11.93	10.74	9.67	8.70	7.83	7.05	6.34	5.71	5.14	12.34	22.99	30.51	
19	Direct Run Off	mm/hm	0.00	0.00	1.23	0.93	4.14	0.00	3.47	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.12	4.39	5.94	
20	Run Off	mm/hm	10.90	9.81	11.22	11.98	18.90	17.22	22.26	20.21	18.19	16.37	14.73	13.26	11.93	10.74	9.67	8.70	7.83	7.05	6.34	5.71	5.14	20.47	27.38	36.45	
21	Base Flow	m ³ /dt	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	
22	Effective Discharge	m ³ /dt	1.43	1.21	1.58	1.68	2.47	2.11	2.91	2.65	2.38	2.01	1.93	1.74	1.57	1.32	1.27	1.07	1.03	0.93	0.84	0.71	0.68	2.68	3.58	4.47	

Sumber : Hasil Perhitungan

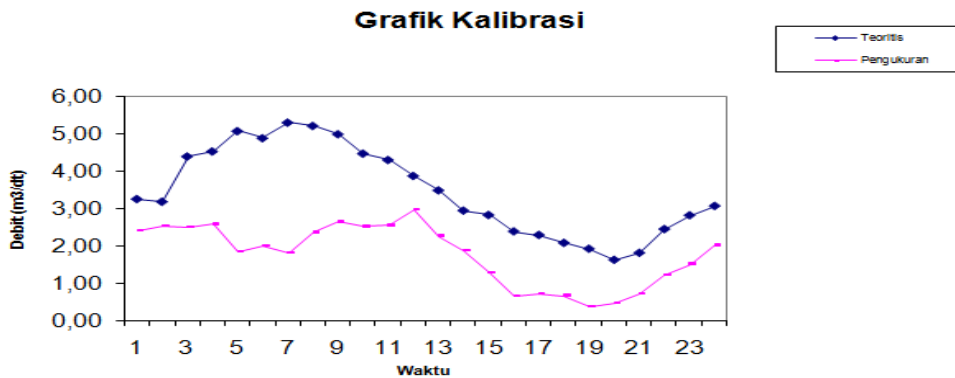
Tabel 5. Rekapitulasi perhitungan debit air tahun 2005– 2015

No	Tahun	Satuan	Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Agst		Sep		Okt		Nov		Des		JUMLAH	RERATA
			I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II				
1	2005	m3/dt	1.431	1.209	1.578	1.684	2.475	2.115	2.913	2.646	2.382	2.011	1.931	1.739	1.566	1.323	1.271	1.074	1.031	0.929	0.837	0.708	0.680	2.679	3.580	4.466	22.129	1.844
2	2006	m3/dt	4.645	4.751	4.911	5.200	5.148	5.146	5.519	5.750	5.320	4.971	4.786	4.308	3.878	3.274	3.143	2.654	2.548	2.294	2.066	1.745	1.675	1.509	1.359	1.489	44.045	3.670
3	2007	m3/dt	1.439	1.216	3.274	2.999	3.137	2.981	3.707	4.330	3.923	3.539	3.404	3.065	2.759	2.330	2.237	1.889	1.814	1.634	1.471	1.243	1.367	1.236	1.765	2.721	29.741	2.478
4	2008	m3/dt	3.816	3.500	5.085	5.755	8.611	9.177	8.860	7.975	7.178	6.058	5.816	5.236	4.713	3.978	3.820	3.224	3.096	2.787	2.509	2.119	3.365	5.842	5.848	5.042	61.705	5.142
5	2009	m3/dt	6.433	5.671	8.379	8.692	7.937	6.713	6.445	5.801	5.222	4.408	4.232	3.810	3.430	2.895	2.780	2.347	2.254	2.029	1.827	1.543	1.482	1.335	1.202	1.016	48.943	4.079
6	2010	m3/dt	1.675	2.659	3.036	2.741	3.022	3.065	4.250	4.653	5.808	5.740	5.533	4.981	4.484	3.785	3.634	3.067	2.945	2.738	2.758	2.341	2.248	2.024	3.093	3.606	41.941	3.495
7	2011	m3/dt	3.604	3.235	3.333	3.001	2.522	2.130	2.576	2.333	3.014	2.566	2.464	2.219	1.998	1.687	1.620	1.368	1.314	1.184	1.066	0.901	1.281	1.165	1.049	1.231	24.431	2.036
8	2012	m3/dt	2.807	3.470	4.111	3.714	3.121	3.808	4.665	4.224	4.543	3.852	3.699	3.330	2.998	2.531	2.430	2.052	1.970	1.774	1.598	1.350	1.296	1.659	1.507	2.126	34.317	2.860
9	2013	m3/dt	3.121	4.234	4.980	6.182	6.084	5.156	4.950	4.456	4.011	4.229	4.107	3.842	3.462	2.923	2.806	2.370	2.275	2.049	1.845	1.558	1.496	1.348	2.704	3.974	42.081	3.507
10	2014	m3/dt	5.871	6.660	8.050	7.312	6.144	5.215	5.007	4.968	4.484	3.785	3.634	3.272	2.945	2.487	2.388	2.016	1.936	1.743	1.570	1.326	1.274	1.147	1.034	3.473	43.870	3.656
11	2015	m3/dt	3.750	3.174	3.979	3.601	3.363	4.917	5.283	5.117	4.663	3.937	3.780	3.403	3.064	2.587	2.484	2.097	2.014	1.813	1.633	1.379	1.325	1.193	1.898	1.669	36.061	3.005
rerata 2005 - 2010			3.240	3.168	4.377	4.512	5.055	4.866	5.282	5.193	4.972	4.455	4.284	3.856	3.472	2.931	2.814	2.376	2.281	2.069	1.911	1.616	1.803	2.437	2.808	3.057		
rerata 2011 - 2015			3.831	4.155	4.891	4.762	4.247	4.245	4.496	4.220	4.143	3.674	3.537	3.213	2.893	2.443	2.346	1.981	1.902	1.713	1.542	1.303	1.334	1.302	1.638	2.495		

Sumber: Hasil Perhitungan

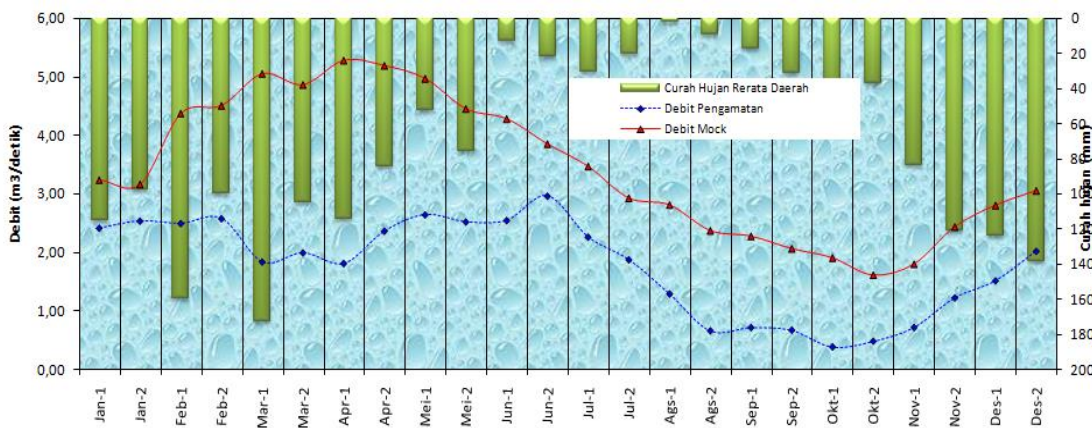
Kalibrasi Perhitungan Debit Air

Setelah perhitungan debit menggunakan metode Mock, selanjutnya dilakukan kalibrasi hasil perhitungan tersebut dengan hasil pengukuran atau observasi di lapangan. Kalibrasi dilakukan dengan merubah parameter infiltrasi, faktor resesi aliran konstan, kelembaban tanah kondisi awal dan kapasitas kelembaban tanah, sehingga menghasilkan nilai korelasi mendekati nilai 1. Berdasarkan hasil kalibrasi yang dilakukan diperoleh nilai korelasi sebesar 0.77. Hasil perhitungan kalibrasi menunjukkan bahwa hasil perhitungan secara teoritis menggunakan metode Mock mendekati nilai hasil pengukuran di lapangan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Kalibrasi Debit Teoritis Dengan Debit Pengukuran Setengah Bulanan

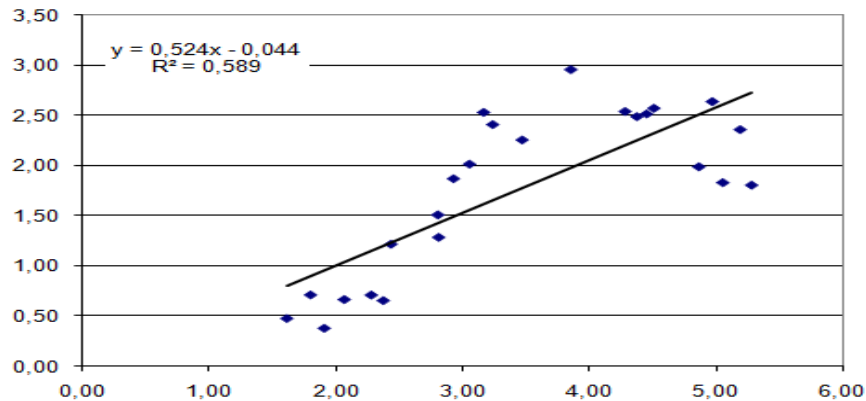
Debit hasil perhitungan dengan debit pengukuran atau AWLR serta curah hujan ada keterkaitan yang sangat erat. Pada musim hujan maka debit air akan semakin besar dan pada musim kemarau debit air akan semakin kecil. Dari hasil perhitungan debit dan pengukuran debit outflow atau AWLR serta curah hujan dibuat grafik pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Kalibrasi Hasil Perhitungan Debit Teoritis, Debit Hasil Pengukuran dan Curah Hujan

Uji Linieritas Hasil Kalibrasi

Uji keakuratan dilakukan dengan melihat hubungan linier antara sebaran debit teoritis dengan debit hasil pengukuran di lapangan. Hubungan linier tersebut akan menghasilkan angka korelasi dan sebuah persamaan garis. Hasil regresi linier tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.

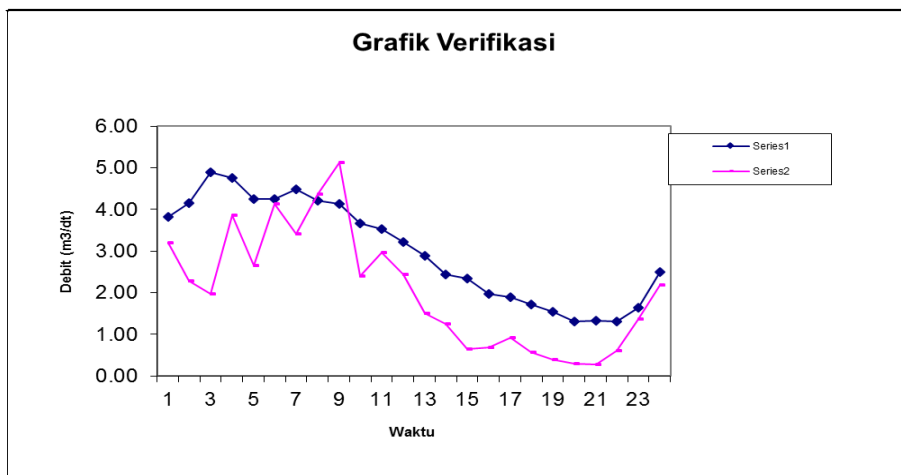


Gambar 4. Hubungan Linier antara Debit Teoritis dengan Debit Hasil Pengukuran

Hasil uji keakuratan yang ditunjukkan pada Gambar 4. di atas menunjukkan bahwa, dari persamaan linier $y = ax$ didapat nilai a sebesar 0.5247. Dengan demikian dapat dikatakan debit Mock dapat digunakan untuk memprediksi sebaran debit dengan akurasi yang baik. Hal ini disebabkan oleh nilai korelasi $R^2 = 0.5893$.

Verifikasi Debit Air

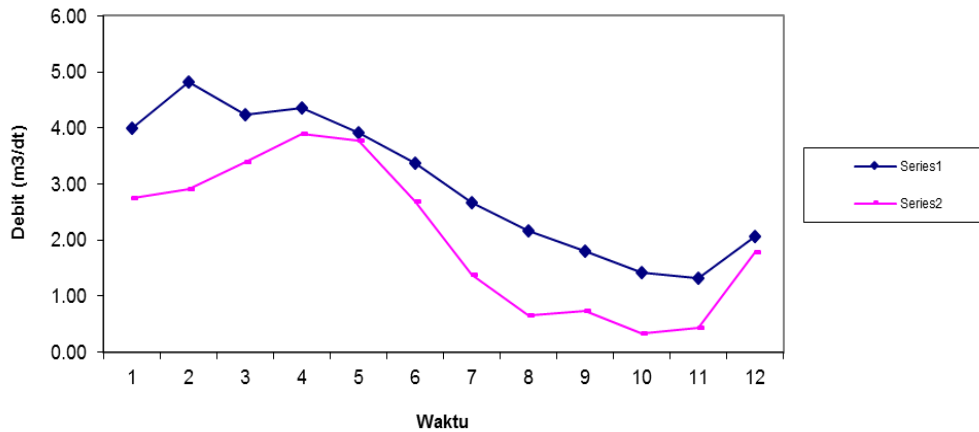
Verifikasi dilakukan dengan membandingkan debit teoritis dengan debit pengukuran tahun 2011 sampai dengan tahun 2015. Verifikasi ini dimaksudkan untuk menguji keakuratan data atau hasil debit yang diperoleh. Dalam penelitian ini hasil verifikasi yang dilakukan diperoleh nilai korelasi 0.848 dan disajikan dalam bentuk grafik. Grafik tersebut menunjukkan bahwa antara debit perhitungan tahun 2011 – tahun 2015 debit pengukuran atau AWLR tahun 2011 – tahun 2015 menyerupai atau hampir sama, jadi debit perhitungan metode Mock valid, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5 di bawah ini:



Gambar 5. Grafik Verifikasi Debit Teoritis Dengan Debit Pengukuran Setengah Bulanan

Debit teoritis setengah bulanan tahun 2011 - tahun 2015 dan debit pengukuran tahun 2011 - tahun 2015 dihitung menjadi satu bulanan. Debit teoritis setengah bulanan tahun 2011 - tahun 2015 dan debit pengukuran tahun 2011 - tahun 2015 disajikan dalam bentuk grafik. Grafik tersebut menunjukkan bahwa antara debit perhitungan tahun 2011- tahun 2015 dan debit pengukuran atau

AWLR tahun 2011 – tahun 2015 menyerupai atau hampir sama, jadi debit perhitungan metode Mock valid, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Verifikasi Debit Teoritis dengan Debit Pengukuran Satu Bulanan

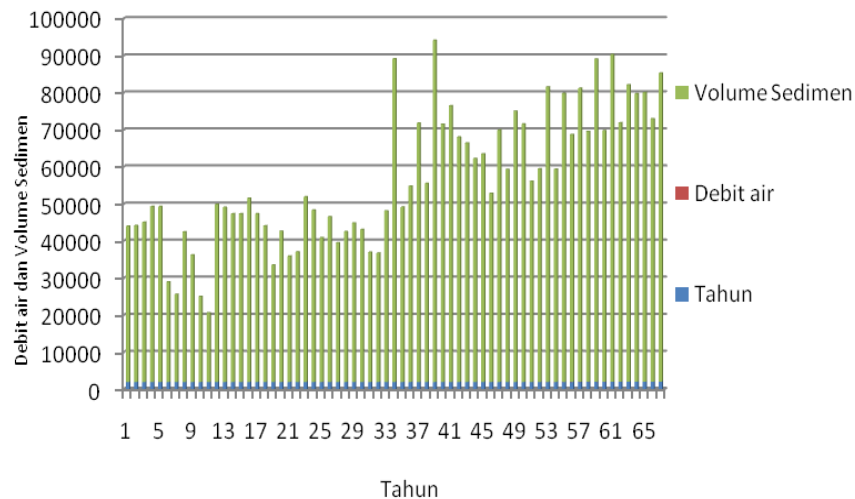
PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan debit air dan debit sedimentasi menunjukkan bahwa pada tahun 2016 jumlah volume sedimentasi Bendungan Batujai sebesar 1.445.129 m³ dan tahun 2032 (umur rencana 50 tahun) volume sedimen Bendungan Batujai sebesar 2.482.222 m³. Hasil tersebut menunjukkan bahwa jumlah volume sedimentasi sudah melampaui jumlah tampungan mati yang direncanakan sebesar 1.400.000 m³, pada tahun 2016 melampaui kapasitas tampungan mati sebesar 45.129 m³ dan pada tahun 2032 melampaui kapasitas tampungan mati sebesar 1.082.222 m³. Dengan volume tampungan mati sudah penuh maka bendungan tersebut sudah tidak berfungsi maksimal.

Berdasarkan analisis perhitungan sedimentasi Bendungan Batujai setelah memperhitungkan volume penggerukan yang dilakukan Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I besar volume sedimen pada tahun 2016 yaitu 1.349.941 m³, pada tahun 2017 volume sedimen sebesar 1.402.731 m³ dan pada tahun 2032 (umur rencana 50 tahun) volume sedimen sebesar 2.387.035 m³. Jadi pada tahun 2017 tampungan mati (*dead storage*) sudah penuh melebihi dari daya tampung sebesar 2.731 m³.

Kalau ditinjau berdasarkan kondisi yang ada di lapangan, Bendungan Batujai sampai saat ini tahun 2016 masih berfungsi dengan maksimal, baik untuk keperluan irigasi maupun untuk suplai kebutuhan air minum. Perawatan yang sudah dilakukan Balai Wilayah Sungai Nusa Tenggara I yaitu penggerukan sedimen Bendungan Batujai dan pembersihan enceng gondok. Kemudian setiap musim kemarau masyarakat membuat batu bata di Bendungan Batujai. Sesuai dengan hasil analisis, bila tanpa memperhitungkan volume sedimentasi penggerukan, tahun 2016 volume tampungan mati (*dead storage*) sedimentasi Bendungan Batujai sudah penuh, tetapi dengan memperhitungkan volume penggerukan baru tahun 2017, volume tampungan mati (*dead storage*) sedimentasi Bendungan. Perubahan debit air dan sedimentasi Bendungan Batujai sejak tahun 1982 sampai dengan 2048 menunjukkan perubahan sedimentasi dengan perubahan naik dari tahun ke tahun seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, dimana pada tahun 1982 sampai tahun 2015 debit air rerata sebesar

1,74 m³/det, maksimal 3,68 m³/det dan minimal 0,79 m³/det. Sedangkan pada tahun 2016 sampai dengan tahun 2048 debit air rerata sebesar 2,91 m³/det, maksimal 3,89 m³/det dan minimal 1,99 m³/det. Sedangkan untuk sedimentasi pada tahun 1982 sampai dengan tahun 2015 volume sedimen rerata sebesar 41,118 m³, maksimal 87,137 m³ dan minimal 18,658 m³/det dan tahun 2016 sampai tahun 2048 volumen sedimen rerata 68,872 m³, maksimal 92,139 m³ dan minimal 47,128 m³.



Gambar 7. Perubahan Debit Air, Volume Sedimen dari Tahun 1982 sampai dengan Tahun 2048

Gambar 7 menunjukkan bahwa volume sedimen Bendungan Batujai dari tahun ke tahun volume sedimen berubah-ubah. Perubahan sedimen tersebut cenderung naik yang dipengaruhi besar kenaikan temperatur, curah hujan tahun 2005 – tahun 2015 data terukur dari BMKG dan besar temperatur, curah hujan tahun 2016 sampai 2048 selalu berubah naik dari tahun ke tahun, sehingga dapat disimpulkan bahwa perubahan iklim sangat mempengaruhi laju sedimentasi Bendungan Batujai.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan debit air dan debit sedimen diperoleh kesimpulan bahwa tanpa memperhitungkan nilai pengerukan, volume sedimentasi pada Tahun 2016 adalah sebesar 1.445.129 m³ sedangkan dengan memperhitungkan nilai pengerukan, volume sedimentasi Bendungan Batujai pada Tahun 2016 sebesar 1.349.941 m³. Adapaun volume sedimentasi Bendungan Batujai Tahun 2032 (umur rencana 50 tahun) tanpa memperhitungkan nilai pengerukan adalah sebesar 2.482.222 m³, sedangkan dengan memperhitungkan nilai pengerukan, volume sedimentasi Bendungan Batujai pada Tahun 2032 (umur rencana 50 tahun) sebesar 2.387.035 m³.

Saran

Supaya Bendungan Batujai dapat berfungsi dengan maksimal, baik untuk keperluan irigasi, suplai kebutuhan air minum dan sebagai tempat wisata disarankan supaya melakukan pengerukan secara berkelanjutan dan membersihkan enceng gondok secara rutin, perlu dilakukan *echosounding* secara berkala untuk mengetahui peningkatan sedimen pada tampungan mati maupun tampungan aktif dan melakukan reboisasi di daerah hulu sungai DAS Bendungan Batujai.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2011, Siklus Hidrologi, <https://www.google.co.id/search?q=siklus+hidrologi+anonim>, Diakses tanggal 21 Juni 2016
- Asdak, C, 2010, Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai, Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Bappenas, BPPN, 2007, Identifikasi Pengelolaan Sumber Daya Air di Pulau Jawa, http://air.bappenas.go.id/main/doc/pdf/prakarsa_sda_jawa/BUKU%20%20BAB%201%20.pdf. [11 Juni 2012]
- Dingman, S. L, 2002, Physical Hydrology, ISBN: 0-13-099695-5, Prentice Hall, USA
- IPCC, 2007, Climate Change 2007, The Synthesis Report and The Physical Science Basis - Summary for Policymakers, IPCC Plenary XXVII, Valencia, Spain
- Kadir, R, 2010, Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro (PLTMH) di Sungai Marimpa Kecamatan Pinembani, Skripsi, Universitas Tadulako, Palu
- Majone, B., C. I. Bovolo, A. Bellin, S. Blenkinsop, and H. J. Fowler, 2012, Modeling the impacts of future climate change on water resources for the Gállego river basin (Spain), *Water Resour. Res.*, 48, W01512, doi:10.1029/2011WR010985
- Porterfield, G., 1972, "Book 3, Chapter C3: Computation of fluvial-sediment discharge", *Techniques of Water-Resources Investigations Report*, U.S. Geological Survey, Reston, a.<http://pubs.er.usgs.gov/pubs/twri/twri03C3>> (Oct. 6, 2005)
- Pryor, S.C, 2009, Understanding Climate Change: Climate Variability, Predictability, and Change in the Midwestern United States, Bloomington, Indiana University Press
- Qohar, A, 2002, Prediksi Umur Layanan Waduk Kedungombo Akibat Sedimen, Tugas Akhir, Purwokerto, Fakultas Teknik Universitas Jenderal Soedirman
- Raiz, F.J, 2013, Bendungan Batujai. Kementerian Pekerjaan Umum, Dirjen Sumber daya Air, Balai Wilayah Sungai NT 1
- SNI, 1989, Tata Cara Perencanaan Hidrologi dan Hidraulik untuk Bangunan di Sungai. BSN : Jakarta
- Setiawan I.B, Saptomo S.K, Arif C, Saleh E, 2009, Irigasi dan Drainase Berwawasan Lingkungan, Bogor : IPB Press
- Sulistiyono, H, 2011, Predicted Regional Hydrologic and Climatic Variables under Climate Change Scenarios using Statistical Downscaling Techniques for Future Water Resource Studies in Lombok, Indonesia, The 64th Canadian Water Resources Association (CWRA) National Conference
- Surahman, A. I. M. Wisnu W dan Sasongko, 2005, Optimalisasi Embung Dalam Pengembangan Usahatani Lahan Kering Di NTB, Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Nusa Tenggara Barat
- Syahbana, A.J. Sugianti, K., 2013, " Pemodelan 2D perubahan tekanan air pori hubungannya dengan Likuifaksi: Studi kasus Kabupaten Bantul ", Daerah Istimewa Yogyakarta, *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, Vol. 4 No. 3 Desember 2013:63–177
- Tallaksen, L.M. and H.A.J. Van Lanen, 2004, *Developments in Water Science* 48, Hydrological Drought: Processes and Estimation Methods for Stream flow and Ground water, ELSEVIER. ISBN: 0-444-51688-3
- Viessman, W. Jr, 2003, *Introduction to Hydrology*, Fifth Edition. ISBN: 0-67-399337-X. Prentice Hall, NJ 07458