

**KAJIAN PENINGKATAN BENDUNGAN BENANGA
DI KOTA SAMARINDA PROPINSI KALIMANTAN TIMUR**

¹⁾Purwanto

¹⁾Teknik Sipil Universitas 17 Agustus 1945 Samarinda

E-mail : poerck69@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan dokumen perencanaan teknis yang dilengkapi gambar perencanaan/desain peningkatan bendungan Benanga. Penelitian dilaksanakan di kawasan bendungan Benanga, Kota Samarinda selama 3 bulan. Kegiatan penelitian yang dilakukan antara lain : (1) pengumpulan data sekunder, survai lapangan, pemeriksaan bendungan, analisis hidrologi, investigasi geofisik, dan perencanaan teknis peningkatan konstruksi bendungan. Hasil penelitian/kajian menunjukkan bahwa : (1) secara fisik kondisi tubuh bendungan Benanga masih dalam kondisi relatif baik, namun pada pelimpah darurat (tambahan) didapati kerusakan konstruksi pada dinding pelimpah sebelah kanan, yaitu terjadi retakan, (2) hasil analisis perubahan tampungan berdasarkan potensi sedimentasi masuk bendungan maka dalam waktu kurang lebih 11 tahun bendungan Benanga akan terpenuhi sedimen (s/d elevasi +7,2), (3) penelusuran banjir bendungan Benanga lewat pelimpah dengan debit banjir kala ulang 100 tahunan didapat debit keluar sebesar 367,72 m³/dt dari puncak debit banjir masuk sebesar 631,90 m³/dt. Sementara untuk puncak debit ½ PMF masuk sebesar 682,32 m³/dt didapat debit keluar bendungan sebesar 400,03 m³/dt; (4) untuk membantu mengurangi beban sedimen yang mengendap di bendungan pada desain peningkatan konstruksi bendungan Benanga juga dilengkapi dengan pintu penguras pada sisi kiri pelimpah darurat sebanyak 2 buah pintu dengan lebar 1,25 m, dan (5) bendungan Benanga juga dilengkapi dengan instrumentasi dasar keamanan bendungan (Basic Dam Safety Facility/BDSF) berupa 6 buah piezometer (4 buah pada pondasi dan 2 buah di tubuh bendungan), 4 buah patok geser vertikal, 8 buah patok geser horizontal dan alat ukur debit rembesan berupa “V Notch”, sementara untuk mengetahui tinggi muka air di bendungan, pada dinding pelimpah dilengkapi dengan peilscale.

Kata Kunci : Bendungan Benanga

ABSTRACT

The purpose of the study was to obtain a technical planning document that was completed with planning or design enhancement of the Benanga Dam. The study was conducted in the area of Benanga Dam, Kota Samarinda for 3 months. The research activities included : (1) secondary data collection, field surveys, dam inspection. Hydrological analysis, geophysical investigations, and technical planning to improve dam construction. The results of the study showed that : (1) physically the condition of the Benanga Dam was still in a relatively good condition, but in the emergency spillway (additional) found construction damage to the right spillway wall, i.e., cracks occurred, (2) results of the analysis of changes in reservoirs based on the sedimentation potential of entering the Benanga Dam for approximately 11 years will be filled with sediment (up to +7.2 elevation), (3)

tracing the flood of Benanga Dam through an overflow with a flood discharge of 100 years return period obtained an outflow of 367,72 m³/sec from the peak of the incoming flood discharge is 631,90 m³/sec. While for the incoming ½ PMF peak of 682,32 m³/sec, the discharge out of the dam in the design of construction improvement of Benanga Dam also equipped with a drainage door on the left side of the emergency spill as much as 2 doors with a width of 1,25 m, and (5) Benanga Dam also equipped with basic instrumentation Dam safety (Basic Dam Safety Facility) in the form of 6 piezometers (4 pieces on the foundation and 2 pieces on the body of the Dam), 4 vertical; sliding stakes, 8 horizontal sliding stakes and a “V notch” seepage discharge measuring instrument, while to find out the water level in the dam, the overflow wall is equipped with peilscale.

Keywords : Benanga Dam

PENDAHULUAN

Pembangunan bendungan di Indonesia mempunyai manfaat yang sangat besar bagi manusia juga menyimpan potensi bahaya yang sangat besar, dimana bila bendungan tersebut mengalami kegagalan konstruksi dapat mengakibatkan bencana yang sangat besar di daerah hilir bahkan sampai menimbulkan korban jiwa .

Dalam kegiatan pembangunan dan pengelolaan bendungan di Indonesia pemerintah melalui Peraturan Pemerintah No. 37 Tahun 2010 Tentang Bendungan. Dengan ditetapkannya PP 37 Tahun 2010 tersebut diharapkan, mulai dari perencanaan bendungan sampai dengan pengelolaan bendungan akan memenuhi prosedur dan syarat teknis pembangunan dan pengelolaan bendungan, sehingga bendungan akan berfungsi sebagaimana yang diharapkan dan aman dalam pemanfaatannya.

Bendungan Benanga merupakan salah satu bendungan yang ada di Wilayah Kota Samarinda yang masuk dalam pengelolaan Balai Wilayah Sungai Kalimantan III. Bendungan Benanga saat ini berfungsi sebagai bendungan penyedia air baku untuk irigasi dan air bersih, disamping itu secara tidak langsung juga berfungsi sebagai bendungan pengendali banjir di sub DAS Karangmumus. Bendungan Benanga dibangun kurang lebih pada tahun 1978 yang pada awalnya merupakan bendung irigasi sederhana, namun pada perkembangannya menjadi bendungan multiguna. Pada bulan Juli 1998, Bendungan Benanga mengalami keruntuhan akibat terjadi rekahan pada tubuh bendungan dan terjadi piping pada rekahan tersebut. Sampai dengan tahun 2013 perbaikan konstruksi bendungan Benanga telah beberapa kali dilakukan. Kegiatan rekonstruksi pelimpah utama dan bangunan penunjangnya merupakan kegiatan peningkatan konstruksi bendungan yang dilaksanakan pada tahun 2013.

Saat ini di daerah tangkapan air bendungan Benanga sudah banyak mengalami perubahan dalam pemanfaatan ruang, dibandingkan saat bendungan Benanga dibangun. Perubahan kondisi daerah aliran sungai secara langsung akan mempengaruhi perubahan kondisi hidrologi di daerah tangkapan air. Bendungan Benanga membendung sungai Karangmumus, luas DAS Karangmumus pada lokasi bendungan Benanga kurang lebih 194,5 Km². Luas DAS ini merupakan 2/3

dari luas DAS Karangmumus secara keseluruhan yaitu 320 Km². Perubahan kondisi hidrologi di hulu bendungan Benanga akan berpengaruh besar pada perubahan limpasan permukaan di DAS Karangmumus. Keberadaan bendungan Benanga diharapkan tetap mampu mengakomodir peningkatan limpasan hujan dan laju erosi yang terjadi. Untuk dapat mengakomodir perubahan tersebut konstruksi bendungan Benanga yang ada saat ini harus ditinjau ulang, hal ini disebabkan umur bendungan yang sudah 36 tahun (1978 s/d 2014) dan telah terjadi pengurangan volume tampungan waduk Benanga, sementara ancaman limpasan melalui tubuh bendungan masih selalu mengancam.

Tujuan penelitian adalah untuk mendapatkan dokumen perencanaan teknis yang dilengkapi gambar perencanaan/desain peningkatan bendungan Benanga dan spesifikasi teknis peningkatan bendungan Benanga.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di kawasan bendungan Benanga, Kota Samarinda selama 3 bulan. Kegiatan penelitian yang dilakukan antara lain : (1) pengumpulan data sekunder berupa dokumen hasil kajian, peta-peta, data hujan/iklim/debit dan data sekunder lainnya, (2) survai lapangan dan pemeriksaan bendungan meliputi tubuh bendungan, spillway dan bangunan penunjang lainnya secara visual, (3) analisis hidrologi yaitu kajian karakteristik DAS Karangmumus di hulu bendungan Benanga, analisis hujan rencana dan banjir rencana, analisis laju sedimentasi dan analisis kapasitas tampungan waduk; (3) pengukuran topografi; dan (4) investigasi geofisik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Umum

Bendungan Benanga direncanakan sebagai bendungan multiguna antara lain berfungsi sebagai bangunan pengendali banjir kota Samarinda khususnya banjir yang berasal dari daerah hulu dengan luas daerah tangkapan air yang harus dikendalikan sebesar ± 194,5 Km². Air yang keluar dari bendungan Benanga, baik itu pelimpah utama maupun pelimpah darurat sedapat mungkin mempunyai kala ulang maksimum 50 tahunan, sehingga kapasitas sungai Karangmumus masih memungkinkan untuk menampung banjir dengan kala ulang tersebut. Selain sebagai bangunan pengendali banjir, peningkatan bendungan Benanga juga diharapkan dapat meningkatkan pasokan air untuk kebutuhan irigasi saat ini yang mempunyai luas daerah irigasi ± 350 Ha. Berdasarkan hasil simulasi penyediaan air untuk daerah irigasi, masih dimungkinkan dengan kondisi saat ini kurang lebih 420 Ha. Selain untuk penyedia air baku untuk irigasi, potensi air bendungan Benanga dapat digunakan untuk suplai air baku untuk air bersih sebesar 210 l/detik.

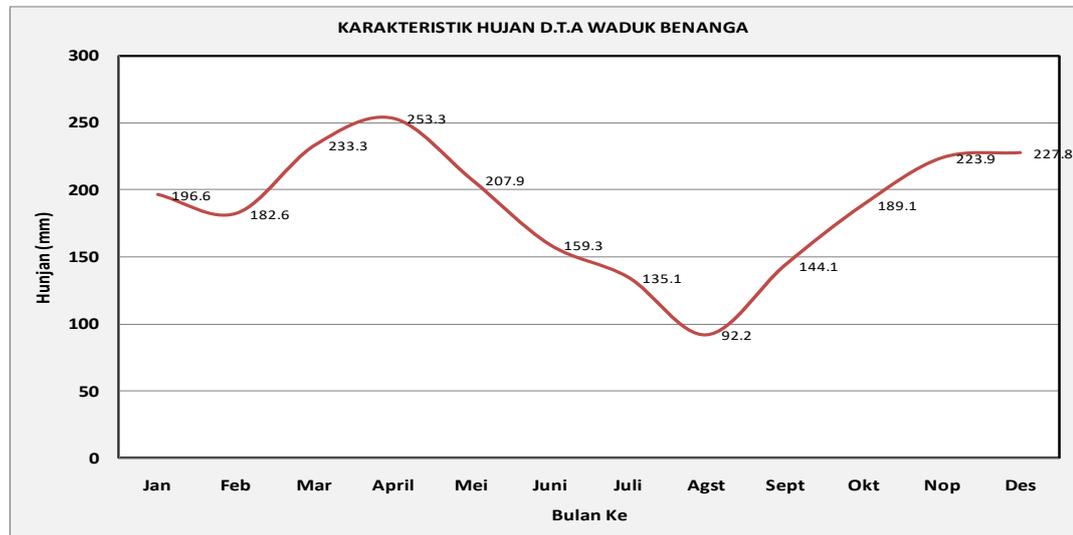
Kajian peningkatan bendungan Benanga yang dilakukan saat ini difokuskan pada peningkatan konstruksi bendungan agar aman terhadap limpasan permukaan. Dengan semakin tertatanya bangunan/bentuk fisik baik sarana maupun prasarana

bendungan Benanga maka kondisi ini akan dapat menciptakan obyek wisata baru di kota Samarinda khususnya dan Kalimantan Timur umumnya.

Analisa Curah Hujan

1. Stasiun Hujan dan Data Hujan

Di Kawasan DAS Karangmumus terdapat fasilitas hidroklimatologi khususnya di daerah tangkapan air bendungan Benanga ada 3 stasiun pencatat hujan yang dikelola oleh BWS Kalimantan III Kalimantan Timur, yaitu stasiun pencatat hujan Tanah Merah, Sei Siring dan Stasiun Pampang. Untuk data analisis hidrologi digunakan data mulai tahun 2000 sampai dengan tahun 2013. Berdasarkan data hujan di 3 stasiun yang merupakan stasiun pencatat hujan terdekat dengan bendungan Benanga, rerata hujan tahunan sebesar 2.245,10 mm. Hujan bulanan terbesar terjadi pada bulan April 2000 sebesar 459 mm sedangkan hujan harian tertinggi yang pernah terjadi di daerah tangkapan bendungan Benanga sebesar 135 mm (stasiun sei siring), terjadi pada bulan Desember tahun 2001. Karakteristik hujan stasiun daerah tangkapan air bendungan Benanga secara grafis seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Karakteristik Hujan D.TA Waduk Benanga

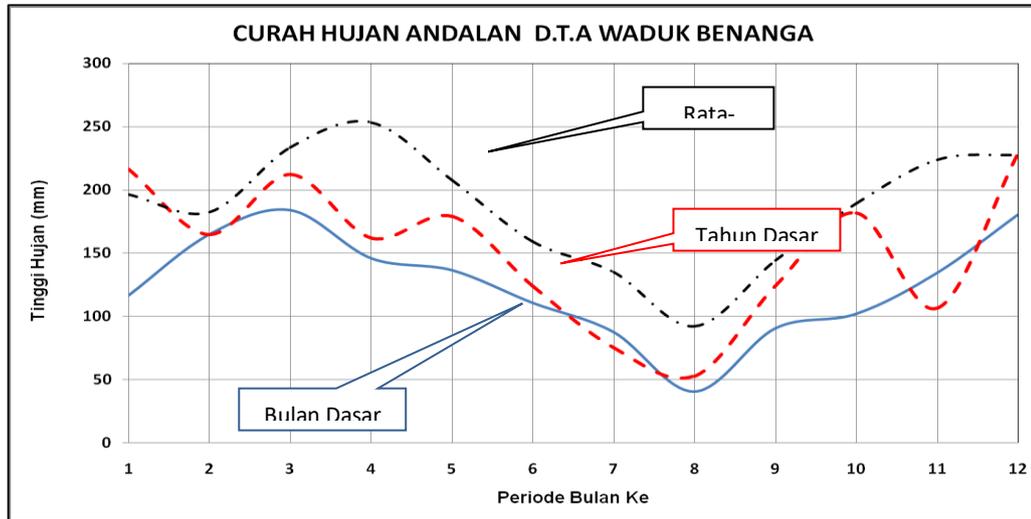
2. Pengisian data hujan yang hilang

Pengisian data hujan yang hilang dilakukan untuk melengkapi data hujan yang tidak tercatat di 3 stasiun pencatatan manual. Pengisian data hujan ini berkaitan dengan analisis hujan andalan untuk analisis debit andalan. Sebagai data pembandingan digunakan data dari stasiun Temindung. Metode yang digunakan dalam pengisian data hilang ini adalah metode perbandingan, yaitu membandingkan antara rerata hujan tahunan stasiun bersangkutan dibandingkan rerata hujan tahunan stasiun Temindung dikalikan dengan rerata hujan bulanan Stasiun Temindung untuk bulan yang bersesuaian.

3. Curah hujan andalan

Untuk menentukan hujan andalan ada beberapa metode yang dapat digunakan, salah satu metode yang banyak dipakai dalam perencanaan bangunan air adalah dengan metode tahun dasar perencanaan. Data hasil analisis hujan andalan dengan dua metode (tahun dasar dan bulan dasar), hasil analisis dengan bulan dasar lebih

logis dan realistis dengan karakteristik hujan yang ada di daerah tangkapan air bendungan Benanga disajikan pada Gambar 2. Penggunaan bulan dasar rencana juga dilakukan dengan mencermati dan membandingkan fluktuasi dari grafik curah hujan andalan antara metode tahun dasar dan bulan dasar. Untuk selanjutnya dalam analisis debit andalan akan digunakan hujan andalan dengan metode bulan dasar.



Gambar 2. Karakteristik Hujan Andalan DAS Karangmumus Atas

3. Curah hujan rencana

Hujan rencana adalah hujan yang berpeluang terjadi dengan frekuensi kejadian yang telah ditentukan. Untuk menentukan hujan rencana dilakukan analisa frekuensi terhadap data hujan harian maksimum 3 stasiun daerah tangkapan air bendungan Benanga. Metode analisis frekuensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah distribusi frekuensi Gumbell dan Log Pearson Tipe III. Hasil analisis frekuensi data hujan harian maksimum stasiun daerah tangkapan air bendungan Benangan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hujan Rencana Stasiun Temindung

Kala Ulang Tahun	Log Pearson III (mm)	Gumbell (mm)
2	93.90	88.86
5	111.36	111.78
10	120.26	126.95
25	129.39	146.13
50	135.04	160.35
100	139.91	174.47
1000	152.47	221.12

Berdasarkan hasil uji statistik dalam penggunaan metode analisa frekuensi dari beberapa metode yang dilakukan uji statistik ternyata hanya metode Log Perason tipe III yang dapat digunakan.

4. Curah Hujan Maksimum Boleh Jadi

Dalam penelitian ini studi detail desain bendungan Benanga analisis hujan PMP dilakukan dengan metode Hersfield. Dari hasil analisis tersebut ternyata hujan PMP yang telah terkoreksi sangat besar mendekati 404 mm (stasiun Temindung). Dari hasil analisis frekuensi dengan metode Log Person III dan analisis hujan maksimum boleh jadi dari masing-masing stasiun hujan yang ada dan juga berdasarkan metode Theisen dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan hasil yang telah ditabelkan diputuskan untuk menggunakan Hujan Maksimum Boleh Jadi dari Stasiun Temindung yang merupakan nilai tengah dari beberapa nilai hujan maksimum boleh jadi masing-masing stasiun.

Tabel 2. Hujan Rencana Dengan Berbagai Kala Ulang

T	THEISEN	TNH MERAH	PAMPANG	SEI SIRING	TEMINDUNG
2	65.8	88.7	85.3	97.6	93.9
5	82.1	115.7	92.8	121.0	111.4
10	88.5	127.2	95.7	129.8	120.3
25	93.7	136.8	98.1	136.6	129.4
50	96.2	141.7	99.4	139.6	135.0
100	97.8	145.1	100.3	141.6	139.9
1000	100.4	150.9	101.0	144.4	152.5
PMP	319.4	499.3	223.6	463.4	404.0
1/2 PMP	159.7	249.6	111.8	231.7	202.0

5. Distribusi Hujan

Distribusi hujan akan menentukan pola hidrograf dan besarnya puncak hidrograf yang akan terjadi. Berdasarkan kriteria perencanaan bendungan yang ada, disarankan untuk melakukan beberapa perhitungan distribusi hujan dengan lama waktu hujan (durasi hujan) 6 jam, 12 jam, 24 jam, 48 jam dan 72 Jam. Durasi hujan ini tentunya harus disesuaikan dengan lokasi dimana kajian dilakukan. Berdasarkan karakteristik durasi hujan yang ada dilokasi kajian maka potensi hujan akan terjadi dalam kurun waktu 6 – 12 Jam. Berdasarkan karakteristik tersebut maka dalam penelitian ini akan ditinjau distribusi hujan untuk durasi hujan selama 6 jam dan 12 jam (Tabel 3 dan 4) :

Tabel 3. Distribusi Hujan Dengan Durasi 12 Jam

Distribusi hujan untuk durasi 12 jam												
Durasi hujan (jam)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Distribusi Hujan (%)	44	60	68	75	82	88	90	92	94	96	98	100
Intensitas (%)	44	16	8	7	7	6	2	2	2	2	2	2

Tabel 4. Distribusi Hujan Dengan Durasi 6 Jam

Distribusi hujan untuk durasi 6 jam						
Durasi hujan (jam)	1	2	3	4	5	6
Distribusi Hujan (%)	60	75	88	92	96	100
Intensitas (%)	60	15	13	4	4	4

A. Analisis Debit Andalan

Sampai dengan saat ini pengukuran debit di DTA bendungan Benanga secara periodik tidak dilakukan, sehingga untuk memprediksi potensi air di DTA bendungan Benanga digunakan metode NRECA. Hasil analisis dengan metode NRECA, dengan curah hujan andalan R_{80} metode bulan dasar memberikan nilai minimum debit andalan 80 % sebesar $0.60 \text{ m}^3/\text{det}$ yang terjadi pada bulan September periode satu, dan debit maksimum sebesar $4,85 \text{ m}^3/\text{det}$ terjadi pada bulan Pebruari periode satu. Besarnya debit rerata sebesar $2.39 \text{ m}^3/\text{dett}$. Rangkuman hasil analisa debit andalan seperti pada tabel di bawah. Sedang Hasil transformasi data hujan menjadi debit disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Debit Andalan ½ Bulanan Masuk Waduk Benanga

Jan-1	Jan-1	Feb-1	Feb-2	Mrt-1	Mrt-2	Apr-1	Apr-2	Mei-1	Mei-2	Jun-1	Jun2
0,75	2,61	4,85	2,00	2,77	4,73	4,10	3,87	4,22	2,60	2,17	2,60

Jul-1	Jul-2	Ags-1	Ags-2	Sep-1	Sep-2	Okt-1	Okt-2	Nop-1	Nop-2	Des-1	Des-2
1,16	2,26	0,94	0,71	0,60	2,24	1,34	1,12	0,69	3,38	1,00	4,66

(Debit dalam m^3/dt)

Analisis Debit Banjir Rencana

1. Karakteristik DAS Karangmumus

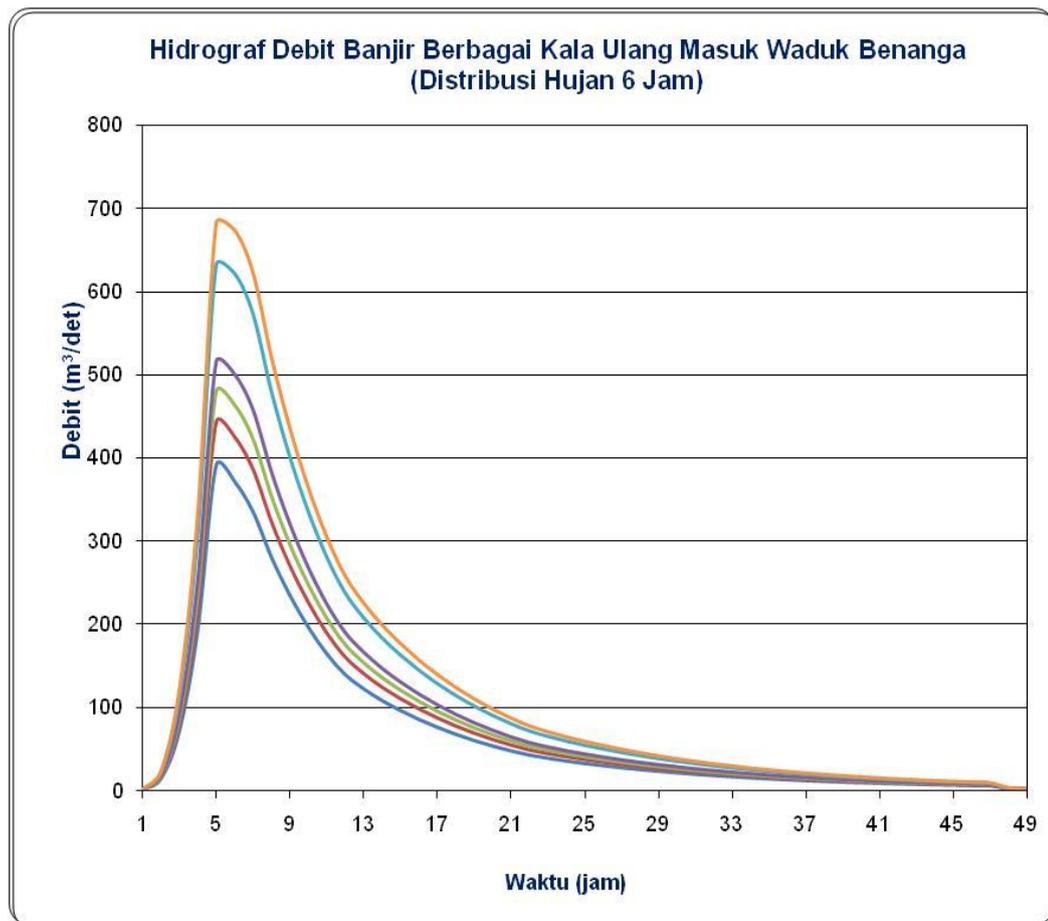
Daerah tangkapan air (DTA) bendungan Benanga cukup besar yaitu $194,5 \text{ Km}^2$, untuk mendapatkan gambaran tentang potensi banjir DTA tersebut dalam penelitian ini akan dilakukan pembagian DTA menjadi sub-sub DTA yang lebih kecil. Dasar pembagian DTA ini dengan menggunakan peta Topografi skala 1 : 50.000 yang dikeluarkan oleh Jawatan Topografi. Salah satu parameter penting dalam melakukan analisis banjir adalah adanya koefisien pengaliran. Dalam penelitian ini koefisien pengaliran didapat dengan jalan melakukan interpretasi dari peta topografi skala 1 : 50.000 dan juga dari peta tataguna lahan yang dikeluarkan oleh Pemerintah Kota Samarinda. Dari peta tataguna lahan diketahui jenis peruntukan lahan dan luas lahan. Dengan mengetahui luas lahan dan jenis penutup lahan (*land coverage*) akan diketahui nilai koefisien pengaliran daerah yang ditinjau. Selain itu dengan menggunakan peta topografi 1 : 50.000 tersebut juga diketahui karakteristik DAS yang lainnya seperti panjang sungai, bentuk DAS dan sub-sub DAS dan sebagainya. Hal ini berkaitan dengan kebutuhan data dalam analisis hidrologi dan hidrolika khususnya untuk penelusuran banjir lewat palung sungai dan juga untuk menentukan parameter penyusunan hidrograf satuan sintesis metode Nakayasu dan ITB.

2. Hidrograf satuan

Untuk memprediksi karakteristik hidrograf masuk waduk Benanga digunakan hidrograf satuan sintetis metode Nakayasu dan ITB.

3. Debit Banjir Rencana

Dalam penelitian debit banjir rencana ditentukan berdasarkan data hujan rencana, hal ini disebabkan data pencatatan banjir maksimum tahunan tidak pernah dilakukan. Debit banjir rencana ditinjau untuk berbagai kala ulang antara lain kala ulang 5, 10, 20, 50 tahunan, 100 tahunan, 1000 tahunan dan $\frac{1}{2}$ banjir maksimum boleh jadi ($\frac{1}{2}$ PMF). Dari hasil analisis hidrograf satuan sintetis akan didapat bentuk hidrograf pada Sub DAS bersangkutan, selanjutnya berdasarkan data hujan rencana yang telah dikurangi dengan kehilangan hujan di DTA terutama akibat infiltrasi maka akan didapat hujan efektif. Dari hujan efektif ini kemudian dilakukan pendistribusian sesuai dengan distribusi hujan yang telah ditentukan yaitu distribusi hujan selama 6 jam dan 12 jam, selanjutnya dari nilai hujan jam-jaman tersebut dengan mengalikan dengan hidrograf satuan akan didapat hidrograf banjir rencana sesuai dengan kala ulang hujan rencana. Ringkasan hasil perhitungan debit banjir rencana masuk bendungan Benanga dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Perhitungan Debit Banjir Rencana Masuk Bendungan Benanga

Tabel 6. Rekap Hidrograf Banjir Keluar Bendungan dengan Berbagai Kala Ulang (Durasi Hujan 6 Jam)

t	Qt	10	25	50	100	1000	1/2 PMF
jam	m3/det						
0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
1,00	0,25	14,90	16,48	17,60	18,71	22,28	23,83
2,00	1,32	71,95	80,69	86,95	93,06	112,90	121,48
3,00	3,50	193,56	218,19	235,82	253,04	308,92	333,08
4,00	6,91	391,42	442,76	479,52	515,40	631,90	682,26
5,00	5,77	371,86	425,17	463,32	500,57	621,51	673,79
6,00	4,83	335,55	386,26	422,56	458,00	573,05	622,79
7,00	4,03	280,85	323,24	353,59	383,22	479,40	520,99
8,00	3,37	235,12	270,56	295,93	320,70	401,11	435,88
9,00	2,82	196,89	226,52	247,73	268,44	335,66	364,72
10,00	2,36	164,93	189,70	207,43	224,74	280,94	305,24
11,00	2,01	140,00	160,93	175,91	190,53	238,01	258,54
12,00	1,78	122,94	141,14	154,17	166,89	208,19	226,04
13,00	1,58	108,79	124,81	136,28	147,48	183,82	199,54
14,00	1,40	96,77	110,99	121,17	131,10	163,36	177,30
15,00	1,24	86,11	98,72	107,75	116,57	145,20	157,57
16,00	1,10	76,64	87,84	95,85	103,68	129,08	140,06
17,00	0,98	68,24	78,17	85,29	92,23	114,77	124,52
18,00	0,87	60,78	69,60	75,91	82,08	102,08	110,73
19,00	0,77	54,17	61,99	67,59	73,06	90,82	98,49
20,00	0,68	48,29	55,24	60,21	65,06	80,82	87,63
21,00	0,61	43,28	49,47	53,90	58,22	72,26	78,33
22,00	0,56	39,51	45,11	49,12	53,03	65,74	71,23
23,00	0,51	36,21	41,30	44,95	48,52	60,08	65,08
24,00	0,47	33,28	37,94	41,27	44,53	55,11	59,68
25,00	0,43	30,60	34,86	37,91	40,89	50,56	54,74
26,00	0,39	28,15	32,04	34,83	37,56	46,40	50,22
27,00	0,36	25,91	29,47	32,02	34,51	42,59	46,09
28,00	0,33	23,86	27,12	29,45	31,73	39,12	42,31
29,00	0,30	21,99	24,97	27,10	29,18	35,94	38,86
30,00	0,27	20,27	23,00	24,95	26,85	33,03	35,70
31,00	0,25	18,71	21,20	22,98	24,72	30,37	32,81
32,00	0,23	17,28	19,55	21,18	22,78	27,94	30,18
33,00	0,21	15,97	18,05	19,54	21,00	25,72	27,76
34,00	0,19	14,77	16,68	18,04	19,37	23,69	25,55
35,00	0,17	13,68	15,42	16,66	17,88	21,83	23,54
36,00	0,16	12,68	14,27	15,41	16,52	20,13	21,69
37,00	0,15	11,76	13,22	14,26	15,28	18,58	20,00
38,00	0,13	10,93	12,26	13,21	14,14	17,16	18,46
39,00	0,12	10,16	11,38	12,25	13,10	15,86	17,05
40,00	0,11	9,46	10,57	11,37	12,15	14,67	15,76
41,00	0,10	8,82	9,84	10,57	11,28	13,59	14,58
42,00	0,09	8,24	9,17	9,83	10,48	12,59	13,51
43,00	0,09	7,70	8,55	9,16	9,76	11,69	12,52
44,00	0,08	7,22	7,99	8,55	9,09	10,86	11,62
45,00	0,07	6,77	7,48	7,99	8,49	10,10	10,79
46,00	0,07	6,36	7,01	7,48	7,93	9,40	10,04
47,00	0,00	2,85	3,00	3,09	3,17	3,17	4,17
48,00	0,00	2,37	2,43	2,48	2,51	2,51	2,97
Maksimum		391,42	442,76	479,52	515,40	631,90	682,26

Tabel 7. Rekap Hidrograf Banjir Keluar Bendungan Dengan Berbagai Kala Ulang (Durasi Hujan 12 Jam)

t	Qt	10	25	50	100	1000	1/2 PMF
jam	m3/det						
0,00	0,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
1,00	0,25	10,50	11,59	12,38	13,14	15,63	16,70
2,00	1,32	49,01	55,23	59,69	64,05	78,18	84,28
3,00	3,50	132,19	150,09	162,91	175,42	216,04	233,61
4,00	6,91	266,86	304,67	331,80	358,29	444,27	481,45
5,00	5,77	258,96	300,67	330,91	360,43	456,28	497,72
6,00	4,83	219,35	259,74	289,82	319,27	415,03	456,42
7,00	4,03	183,71	220,68	249,66	278,38	372,40	413,05
8,00	3,37	153,91	186,87	213,49	240,60	330,71	369,67
9,00	2,82	129,00	156,55	178,81	202,75	284,59	319,97
10,00	2,36	108,17	131,20	149,81	169,83	238,25	267,83
11,00	2,01	91,94	111,35	127,01	143,85	201,39	226,27
12,00	1,78	80,98	97,72	111,18	125,62	174,89	196,19
13,00	1,58	72,04	86,65	98,35	110,85	153,44	171,85
14,00	1,40	64,16	77,00	87,25	98,15	135,22	151,25
15,00	1,24	57,16	68,52	77,55	87,13	119,63	133,68
16,00	1,10	50,95	61,03	69,05	77,52	106,22	118,63
17,00	0,98	45,44	54,39	61,50	69,02	94,49	105,50
18,00	0,87	40,55	48,49	54,81	61,48	84,08	93,85
19,00	0,77	36,21	43,26	48,86	54,78	74,84	83,51
20,00	0,68	32,36	38,61	43,59	48,84	66,64	74,34
21,00	0,61	29,07	34,64	39,06	43,74	59,57	66,42
22,00	0,56	26,62	31,63	35,62	39,82	54,05	60,20
23,00	0,51	24,50	29,05	32,66	36,46	49,31	54,87
24,00	0,47	22,57	26,71	29,99	33,44	45,08	50,12
25,00	0,43	20,81	24,59	27,58	30,71	41,30	45,88
26,00	0,39	19,20	22,65	25,39	28,25	37,90	42,08
27,00	0,36	17,72	20,89	23,38	26,00	34,83	38,65
28,00	0,33	16,38	19,27	21,55	23,94	32,02	35,51
29,00	0,30	15,15	17,79	19,88	22,06	29,44	32,64
30,00	0,27	14,02	16,44	18,34	20,34	27,09	30,01
31,00	0,25	12,99	15,20	16,94	18,77	24,94	27,61
32,00	0,23	12,05	14,07	15,66	17,34	22,98	25,42
33,00	0,21	11,19	13,03	14,49	16,02	21,18	23,41
34,00	0,19	10,40	12,09	13,42	14,82	19,54	21,58
35,00	0,17	9,68	11,22	12,44	13,72	18,04	19,90
36,00	0,16	9,02	10,43	11,55	12,72	16,66	18,37
37,00	0,15	8,42	9,71	10,73	11,80	15,41	16,96
38,00	0,13	7,87	9,05	9,98	10,96	14,26	15,68
39,00	0,12	7,37	8,45	9,30	10,19	13,21	14,51
40,00	0,11	6,91	7,90	8,67	9,49	12,25	13,44
41,00	0,10	6,49	7,39	8,10	8,85	11,37	12,46
42,00	0,09	6,10	6,93	7,58	8,26	10,57	11,56
43,00	0,09	5,75	6,51	7,10	7,73	9,83	10,74
44,00	0,08	5,43	6,12	6,66	7,24	9,16	9,99
45,00	0,07	5,14	5,77	6,27	6,79	8,55	9,31
46,00	0,07	4,87	5,44	5,90	6,38	7,99	8,68
Maksimum		266,86	304,67	331,80	360,43	456,28	497,72

Analisis Keseimbangan Air

1. Kebutuhan air irigasi

Kebutuhan air tanaman di sawah ditentukan sejumlah faktor yaitu : penyiapan lahan, penggunaan konsumtif, perkolasi, penggantian lapisan air dan curah hujan efektif. Perhitungan kebutuhan air irigasi pada daerah persawahan dapat diperoleh dengan persamaan berikut :

- Untuk padi $NFR = ET_c + P + Re + WLR$
- Untuk Palawija $NFR = ET_c - Re$

Keterangan : NFR =Kebutuhan air irigasi di sawah; ET_c = Penggunaan konsumtif; P = perkolasi; Re = curah hujan efektif dan WLR = penggantian lapisan air.

2. Efisiensi irigasi

Efisiensi irigasi adalah perbandingan antara debit air irigasi yang sampai dilahan pertanian dengan debit air irigasi yang keluar dari pintu pengambilan yang dinyatakan dalam prosen. Perbedaan ini disebabkan adanya penguapan, kebocoran, dan rembesan. Besarnya efisiensi irigasi total daerah irigasi Benanga ditentukan sebesar 65 %.Sebagai contoh, analisis kebutuhan air untuk irigasi dengan pola tata tanam alternatif 3 Padi I - Padi II - Palawija yang diterapkan dengan awal tanam bulan Desember periode pertama dengan lama pengolahan lahan selama 1 bulan diperoleh nilai unit kebutuhan air irigasi maksimum sebesar 1,94 l/det/Ha yang terjadi pada bulan November periode pertama.

Analisis Ketersediaan Air Di Bendungan Benanga

Analisis ketersediaan air yang didefinisikan sebagai debit andalan, dihitung dengan cara mentransformasikan data hujan menjadi data debit. Hal ini mengingat tidak tersediaanya data debit di sungai Karangmumus. Berkaitan dengan rencana ketersediaan air untuk berbagai keperluan, maka untuk debit andalan dengan probabilitas 80 % diambil untuk perancangan irigasi dan 90 % untuk perancangan kebutuhan air baku.

1. Bangunan pengambilan

Bangunan pengambilan direncanakan berupa saluran tertutup yang dilengkapi pintu tegak (*sluice gate*).. Besarnya debit yang dapat dialirkan melalui pintu pengambilan dihitung dengan rumus :

$$Q = Cd . b . a . \sqrt{2 . g . H}$$

Keterangan : Cd = koefisien debit, b = lebar pintu, a = tinggi bukaan pintu dan H = kedalaman air di hulu pintu

Untuk menghitung debit yang dapat dialirkan pada bangunan pengambilan dengan kondisi aliran bebas menggunakan persamaan :

$$Q = Cd . b . \frac{2}{3} H . \sqrt{2 / 3 . g . H}$$

Pintu Pengambilan direncanakan agar dapat mengalirkan debit kebutuhan air irigasi sebesar 1.94 l/det/Ha. Pintu pengambilan irigasi yang ada saat ini masih akan digunakan dalam sistem penyediaan air baku untuk irigasi. Daerah layanan irigasi di hilir bendungan Benanga yang ada saat ini kurang lebih 350 Ha.

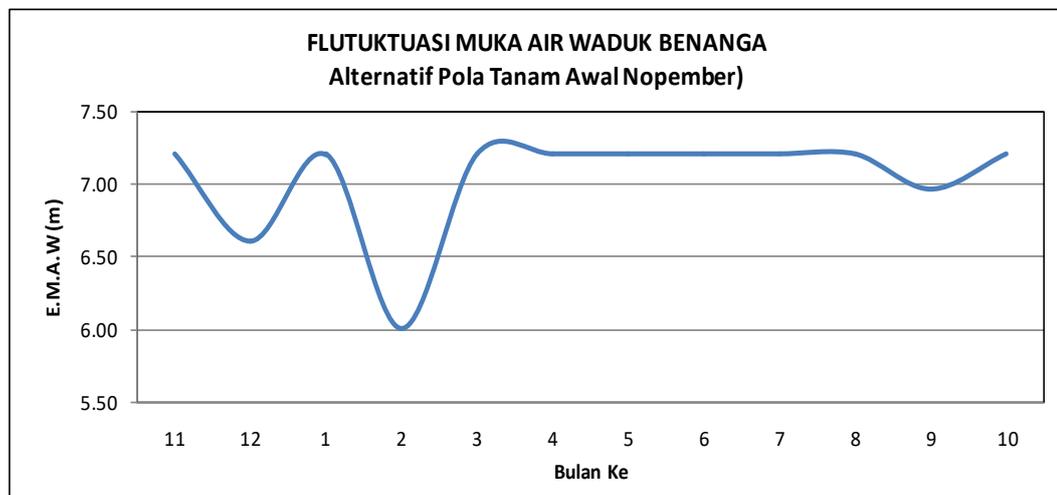
2. Analisis keseimbangan air di bendungan Benanga

Keseimbangan air di waduk dihitung dengan persamaan

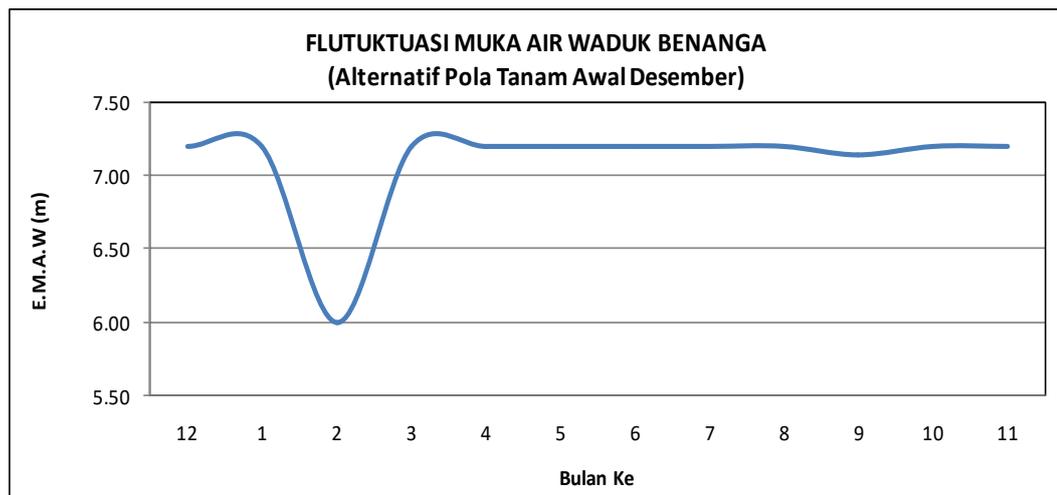
$$S_{t+1} = S_t + It + Rt - Et - Ot - Qst$$

Keterangan : S_{t+1} =Tampungan air pada periode ke t+1; S_t =Tampungan air pada periode ke t; It=Inflow ke waduk pada periode ke t; Rt=Curah hujan yang masuk ke dalam tampungan waduk periode t; Et=Kehilangan air akibat evaporasi diwaduk pada periode t; Ot=Outflow waduk pada periode t; dan Qst =Spillout waduk periode t

Simulasi dimulai dengan asumsi pada saat waduk penuh dan berakhir juga pada saat bendungan dalam kondisi penuh kembali. Dari hasil simulasi bendungan Benanga dengan kebutuhan air irigasi dengan pola tata tanam alternatif yang diberikan, dengan patokan kebutuhan air penggelontoran sebesar 0,50 m³/det (debit minimum) dan kebutuhan air domestik sebesar 0,21 m³/det, serta luas daerah irigasi rencana sebesar 350 Ha, maka pola tata tanam alternatif 3 memberikan hasil simulasi waduk yang terbaik dengan tanpa periode gagal dalam operasinya. Dan dari simulasi waduk tersebut menghasilkan elevasi terendah muka air waduk pada elevasi + 6,06. Pada elevasi tersebut kebutuhan air irigasi sebesar 1,332 l/det/Ha. Dengan luas daerah irigasi hilir Bendungan Benanga sebesar 410 Ha, maka kebutuhan air irigasi pada saat kondisi muka air terendah, di pintu pengambilan sebesar 0,547 m³/dt dan kebutuhan air baku untuk air bersih sebesar 210 lt/dt.



Gambar 4. Hasil Perhitungan Flutukuasi Muka Air Waduk Benanga (Alternatif Pola Tanam Awal November)



Gambar 5. Hasil Perhitungan Flutukuasi Muka Air Waduk Benanga (Alternatif Pola Tanam Awal Desember)

3. Sedimentasi

Perkiraan laju sedimentasi dalam studi ini akan bermanfaat terutama untuk mengetahui tingkat sedimentasi di bendungan Benanga dan juga perkiraan erosi di daerah hulu Bendungan Benanga. Oleh karena keterbatasan data tersebut, maka informasi ini diperoleh dengan menggunakan persamaan empirik yang sesuai. Sebagai masukan dalam analisis ini adalah berupa data karakteristik fisik DPS dan kuantitas curah hujan. Metode pendekatan yang digunakan dalam analisis ini adalah "*SMITH and WEISHCMER*", yang persamaan umumnya dapat diuraikan sebagai berikut : $S-pot = E-Akt * SDR$.

Perhitungan erosi dilakukan untuk tiap tataguna lahan dalam suatu Sub DAS. Sedangkan perhitungan SDR dilakukan untuk tiap Sub DAS, dan laju sedimentasi DAS Karangmumus sampai Bendungan Benanga merupakan penjumlahan laju sedimentasi dari seluruh Sub DAS Karangmumus sampai dengan Bendungan Benanga. Hasil perhitungan sedimentasi di DAS Karangmumus sampai dengan Bendungan Benanga dengan luas DAS 194,5 Km² sebesar 0,299 mm/th atau sebesar 55.220,22 m³/tahun atau 99.369,93 ton /tahun.

Analisis pengendapan sedimen di bendungan dilakukan dengan metode Reduction Area (Bordlan and Miller, 1958). Metode ini menyatakan bahwa distribusi endapan sedimen tergantung pada beberapa faktor yaitu : bentuk waduk dan kepadatan endapan sedimen. Bentuk bendunganbenanga tergolong bentuk Tipe II dengan asumsi harga $m = 2,55$; Sedangkan kepadatan sedimen yang dipengaruhi oleh lamanya proses pengendapan dan tipe operasi waduk. Kepadatan sedimen dihitung dengan terlebih dahulu menghitung kepadatan awal dan faktor K yang bergantung pada tipe operasi waduk dan prosentase gradasi butiran. Diasumsi gradasi butiran sedimen yang masuk waduk Benanga terdiri atas lempung 10 %, lanau 20 %, dan pasir 70 %. Tipe operasi waduk benanga adalah tipe 1, dimana sedimen selalu terendam atau hampir terendam. Sebagai contoh perhitungan kepadatan sedimen selama 10 tahun

$$\begin{aligned} W 1 &= 416 \times (0,1) + 1120 \times (0,2) + 1550 \times (0,7) \\ W 1 &= 1.350,60 \text{ kg/m}^3 \\ K &= 0 \times (0,1) + 91 (0,2) + 256 (0,7) = 197,4 \\ W T &= 1350,6 + 0,4343 (197,4) (10/9) (\ln 10^{-1}) \\ W T &= 1.560,4 \text{ kg/m}^3 = 1,5604 \text{ ton/m}^3 \end{aligned}$$

Untuk memprediksi efisiensi pengendapan digunakan metode Brune, jumlah sedimen yang mengendap di waduk adalah sedimen yang masuk dikalikan efisiensi pengendapan. Bendungan Benanga pada awalnya difungsikan sebagai bendung irigasi, sehingga tidak didesain untuk bendungan yang mempunyai tampungan mati. Namun demikian untuk memprediksi tingkat pengendapan sedimen di waduk Benanga efisiensi pengendapan diasumsi sebesar 70 %, hal ini didasarkan kondisi waduk saat ini yang sudah dipenuhi tumbuhan air, sehingga tumbuhan ini akan akan mempercepat pengendapan sedimen yang masuk waduk.

Sedimen yang mengendap di waduk Benanga dihitung dengan pendekatan pengurangan kapasitas bendungan (Reservoir Capacity Reduction). Berdasarkan analisis erosi di sub DAS Karangmumus Atas yang merupakan daerah tangkapan air waduk Benanga didapat nilai potensi sedimen yang masuk bendungan

Benanga, sedimen tersebut diasumsi sebagai sedimen layang yang masuk bendungan Benanga melalui beberapa anak sungai Karangmumus ke bendungan Benanga. Sementara untuk menghitung volume total potensi sedimen yang masuk waduk perlu ditambahkan potensi sedimen dasar (bed load). Karena tidak pernah didapat data sedimen dasar di DAS Karangmumus maka diasumsi besar sedimen dasar yang masuk bendungan Benanga sebesar 25% dari sedimen layang.

Dengan mengasumsi koefisien tangkapan sedimen di bendungan sebesar 70% dan berat jenis material sedimen berdasarkan perhitungan sebesar 1,5604 ton/m³ maka sedimen yang akan masuk ke bendungan Benanga dapat dihitung. Berdasarkan asumsi bahwa waduk benanga akan terpenuhi seluruh kapasitasnya atau elevasi akhir sedimen di bendungan pada elevasi +7,20 maka berdasarkan hasil perhitungan menunjukkan lama waktu yang diperlukan kurang lebih 11,11 tahun.

Perubahan volume atau penghilangan volume bendungan ini akan mempengaruhi tingkat reduksi banjir di bendungan Benanga dan secara langsung akan mempengaruhi keberadaan bendungan saat ini. Reduksi bendungan akan semakin kecil dan ancaman/bahaya limpasan di atas puncak bendungan akan semakin besar.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan yaitu sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil inspeksi terhadap bendungan Benanga, secara fisik kondisi tubuh bendungan Benanga masih dalam kondisi relatif baik, namun pada pelimpah darurat (tambahan) didapat kerusakan konstruksi pada dinding pelimpah sebelah kanan, yaitu terjadi retakan.
2. Analisis potensi sedimen yang masuk didapatkan nilai sebesar 0,345 mm/th dengan luas daerah tangkapan air bendungan Benanga 194,5 Km², maka produksi sedimen yang masuk bendungan Benanga sebesar 63,699 m³/tahun.
3. Hasil analisis perubahan tampungan berdasarkan potensi sedimentasi masuk bendungan dengan metode pengurangan kapasitas tampungan (*Reservoir Capacity Reduction*) maka dalam waktu kurang lebih 11 tahun bendungan Benanga akan terpenuhi sedimen (s/d elevasi +7,2).
4. Penelusuran banjir bendungan Benanga lewat pelimpah dengan debit banjir kala ulang 1000 tahunan didapat debit keluar sebesar 367,72 m³/dt dari puncak debit banjir masuk sebesar 631,90 m³/dt. Sementara untuk puncak debit ½ PMF masuk sebesar 682,32 m³/dt didapat debit keluar bendungan sebesar 400,03 m³/dt.
5. Untuk membantu mengurangi beban sedimen yang mengendap di bendungan pada desain peningkatan konstruksi bendungan Benanga juga dilengkapi dengan pintu penguras pada sisi kiri pelimpah darurat sebanyak 2 buah pintu dengan lebar 1,25 m.
6. Bendungan Benanga juga dilengkapi dengan instrumentasi dasar keamanan bendungan (Basic Dam Safety Facility/BDSF) berupa 6 buah piezometer (4 buah pada pondasi dan 2 buah di tubuh bendungan), 4 buah patok geser vertikal, 8 buah patok geser horizontal dan alat ukur debit rembesan berupa

“V Notch”, sementara untuk mengetahui tinggi muka air di bendungan, pada dinding pelimpah dilengkapi dengan peilscale.

Saran-saran

Berdasarkan hasil penelitian terhadap bendungan khususnya dan daerah tangkapan air bendungan Benanga dikemukakan beberapa saran yaitu :

1. Mencermati saat ini kondisi bendungan Benanga sebagian besar sudah tertutup tumbuhan air dan potensi sedimentasi yang cukup besar dari daerah hulu, maka perlu dilakukan pengerukan.
2. Perubahan pemanfaatan lahan di hulu bendungan Benanga cukup nyata, terutama terkait dengan pembukaan lahan dan penambangan batu bara, terkait dengan pengelolaan bendungan Benanga disarankan kepada Pengelola bendungan untuk berkoordinasi dengan Pemerintah Kota Samarinda untuk mengendalikan peningkatan laju limpasan air termasuk laju sedimentasi akibat semakin terbukanya lahan.
3. Kegiatan peningkatan konstruksi bendungan Benanga memerlukan lahan baik di hilir bendungan maupun di sisi sebelah kanan pelimpah darurat saat ini. Terkait dengan hal ini maka pembebasan lahan dan pemukiman di hilir bendungan Benanga harus dilakukan untuk penataan bendungan dan memberu ruang pelaksanaan kegiatan fisik nantinya.
4. Untuk mengurangi beban limpasan banjir dan sedimen masuk bendungan Benanga, disarankan tindak lanjut terhadap masterplan pengendalian banjir DAS Karangmumus dengan mengembangkan beberapa bendungan di hulu bendungan Benanga dapat direalisasi. Sesuai Masterplan Pengendalian Banjir DAS Karangmumus terdapat 4 lokasi potensial bendungan di hulu bendungan Benanga.
5. Berdasarkan analisa hidrologi yang dilakukan waktu datang puncak banjir masuk bendungan Benanga dengan puncak banjir keluar waduk terdapat selisih 5 jam. Mencermati kondisi tampungan, perubahan tataguna lahan DAS Karangmumus serta ancaman banjir di daerah hilir bendungan (Kota Samarinda), disarankan dilakukan pemasangan sistem peringatan dini di DAS Karangmumus dengan memasang beberapa stasiun hidrologi, di hulu bendungan, pada bendungan dan di hilir bendungan Benanga.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1989. Standar Metode Perhitungan Debit Banjir. Departemen Pekerjaan Umum, Payasan LPMB, Bandung.
- Asdak, C, 1995, Hidrologi dan Pengolahan Daerah Aliran Sungai. Gajah Mmada University Press, Yogyakarta
- Ida, 2013. Analisis Kapasitas Saluran Drainase Sekunder dan Penanganan Banjir di Jalan Gatot Subroto Denpasar. Jurnal Ilmiah Elektronik Infrastruktur Teknik Sipil Volume 2 April 2013.
- Ikhsan, M, 2005. Perencanaan Sistem Drainase Pada Sungai Buntung Kabupaten Sidoarjo. Jurnal Neutron Vol. 5 No. 1 Februari 2005.
- Miharja, N., 2013. Analisis Kerawanan dan Pengurangan Risiko Banjir di Kalimantan Barat Berbasis Sistem Informasi Geografi. Jurnal Teknik Sipil UNTAN, Volume 13 Nomor 2.

- Putra, A., 2014. Analisis Curah Hujan Rencana Untuk Penentuan Debit Maksimum pada Wilayah Pertambangan, Bandung.
- Riman, 2012. Evaluasi Kapasitas Tampung Sungai di Daerah Aliran Sungai Dalam Upaya Pengendalian Daya Rusak. Widy Teknik Vol 20 No. 2 ISSN 1411-0660:49-55.
- Siswoko, 2007. Masalah Banjir dan Upaya Mengatasinya. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta..
- Soewarno, 1995a. Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data. Nova, Bandung.
- Soewarno, 1995b. Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisis Data. Jilid 2, Nova Bandung.
- Subarkah, I., 1980. Hidrologi Untuk Perencanaan Bangunan Air. Penerbit Idea Darma, Bandung.
- Suroso, 2006. Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Ddebit Banjir Aliran Sungai Banjaran. Jurnal Teknik Sipil Volume 3 No. 2 Juli 2006.
- Sukirno, 2013. Kajian Kerawanan Banjir DAS Wawar. Seminar Nasional Sains dan Teknologi V, Lampung.