

PERILAKU DAN KEAMANAN BENDUNGAN MANGGAR, KALIMANTAN TIMUR

Carlina Soetjiono

Pusat Litbang Sumber Daya Air
Jl. Ir. H. Juanda 193, Bandung, Indonesia
E-mail: carlina_soetjiono@yahoo.co.id

Diterima: 8 Juli 2010; Disetujui: 10 Oktober 2010

ABSTRAK

Gabungan hasil inspeksi lapangan, pemantauan instrumen dari tahun 2004 sampai tahun 2007, dan analisis stabilitas bendungan akibat pengaruh gempa. Dari hasil evaluasi penelitian ini diperoleh indeks risiko total (IR_{tot}) = 20,18 dan nilai keamanan bendungan (N_{aman}) = 76,80, yang menunjukkan bahwa Bendungan Manggar dalam klasifikasi memuaskan. Hasil analisis stabilitasnya menunjukkan bahwa lereng udik dan hilir stabil, baik untuk kondisi beban normal maupun untuk beban tidak normal (pengaruh gempa). Berarti Bendungan Manggar secara umum tidak memerlukan kegiatan perbaikan, baik untuk investigasi maupun desain dan konstruksi.

Kata kunci: *Inspeksi lapangan, evaluasi instrumen, stabilitas lereng, bendungan urugan, keamanan bendungan.*

ABSTRACT

A safety evaluation of the Manggar dam in East Kalimantan has been carried out based on a combination of field inspection, instrument evaluation from 2004 to 2007 and a slope stability analysis during the research program of the year 2008. The results of the evaluation are then presented in the form of total risk index (IR_{tot}) and dam safety value (N_{aman}). The Manggar dam has a total risk index (IR_{tot}) of 20,18 and a dam safety value (N_{aman}) of 76,80, which meant that the dam was in a satisfied condition. The stability analysis presents that the upstream and down stream of dam was stable in a normal condition as well as in an abnormal (flood and earthquake) condition, so that there is no needs for further action of improvement of investigation as well as design and construction of the dam.

Keywords: *Field inspection, instrument evaluation, slope stability, embankment dam, dam safety.*

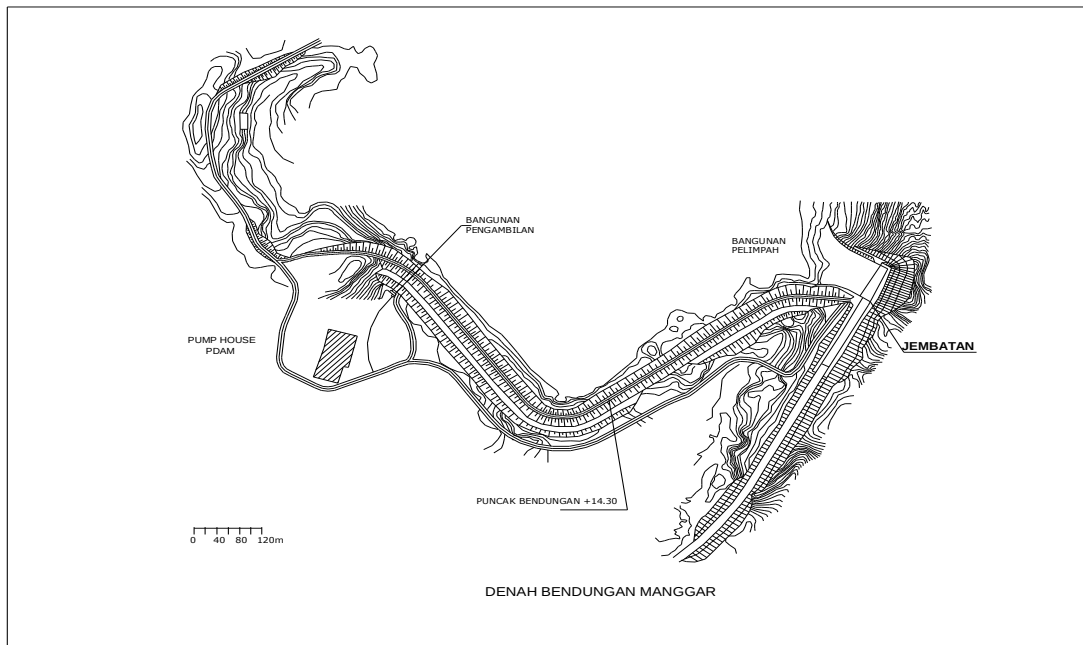
PENDAHULUAN

Di Indonesia, sejak tahun 1900 sampai sekarang telah dibangun sekitar dua ratusan buah bendungan besar dan ratusan bangunan air lainnya; dan lebih dari 90% di antaranya berupa bendungan tipe urugan. Dalam merencanakan bendungan besar dan bangunan air lainnya tidak terlepas dari pertimbangan aspek risiko keruntuhan akibat bencana alam gempa, banjir dan longsor. Bendungan Manggar dibangun dengan membendung Sungai Manggar Besar. Luas daerah aliran sungai (DAS)-nya = 50,00 km² dan curah hujan tahunannya: 1.730-2.539 mm. Bendungan Manggar terletak di Desa Sungai Manggar Besar, Kota Balikpapan, dalam satuan wilayah sungai (SWS) Mahakam, Propinsi Kalimantan Timur. Akses menuju bendungan ini dapat ditempuh dengan menggunakan jalan aspal yang kondisinya baik, dengan jalan akses masuk bendungan sejauh ± 12 km dari kota Balikpapan (lihat Gambar 1).

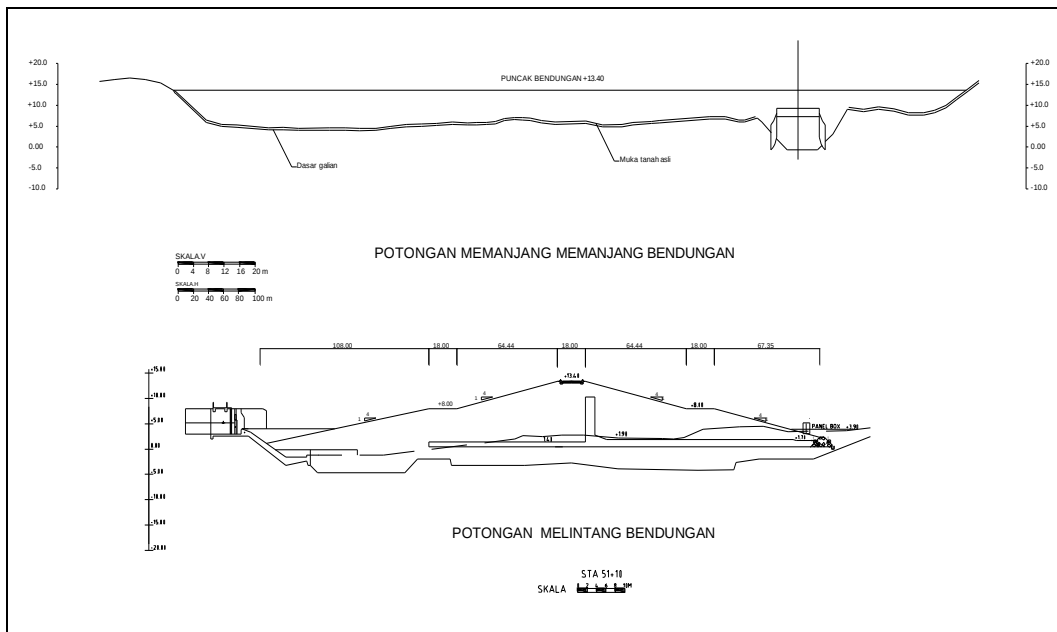
Bendungan ini dikelola oleh PDAM Kodya Balikpapan, dengan konsultan desain: IWACO B.V, dan kontraktor: PT. Brantas Abipraya. Pembangunannya dilaksanakan dari tahun 1978 sampai dengan tahun 1980, kemudian dipertinggi pada tahun 2000 dan selesai tahun 2005 dengan konsultan desain PT. Gamma Epsilon, dan kontraktor PT. Nindya Karya.

Maksud penelitian ini adalah melakukan analisis dan evaluasi kinerja instrumen serta perilaku dan keamanan bendungan dengan kombinasi inspeksi visual di lapangan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui dan menilai kinerja, perilaku dan keamanan bendungan dan bangunan pelengkap setelah berumur 30 tahun, agar bangunan tetap aman dan berfungsi dengan baik.

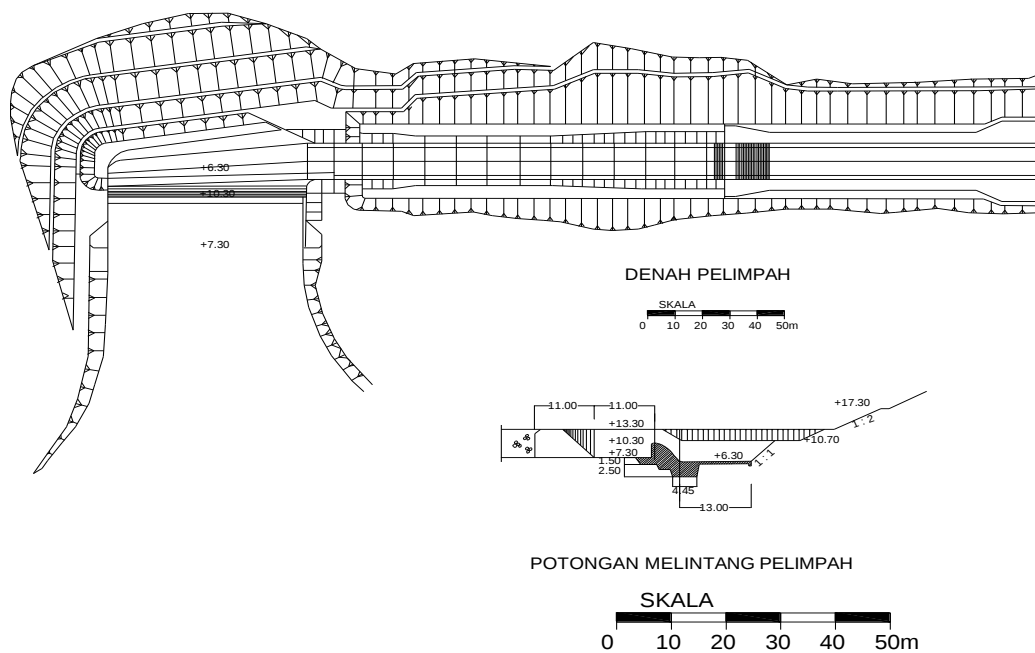
Lingkup penelitian adalah melakukan evaluasi dan analisis kinerja dan keamanan Bendungan Manggar dengan menggunakan metode indeks risiko, dan analisis stabilitas lereng bendungan tipe urugan akibat gempa (Laporan penelitian Puslitbang SDA, 2008).



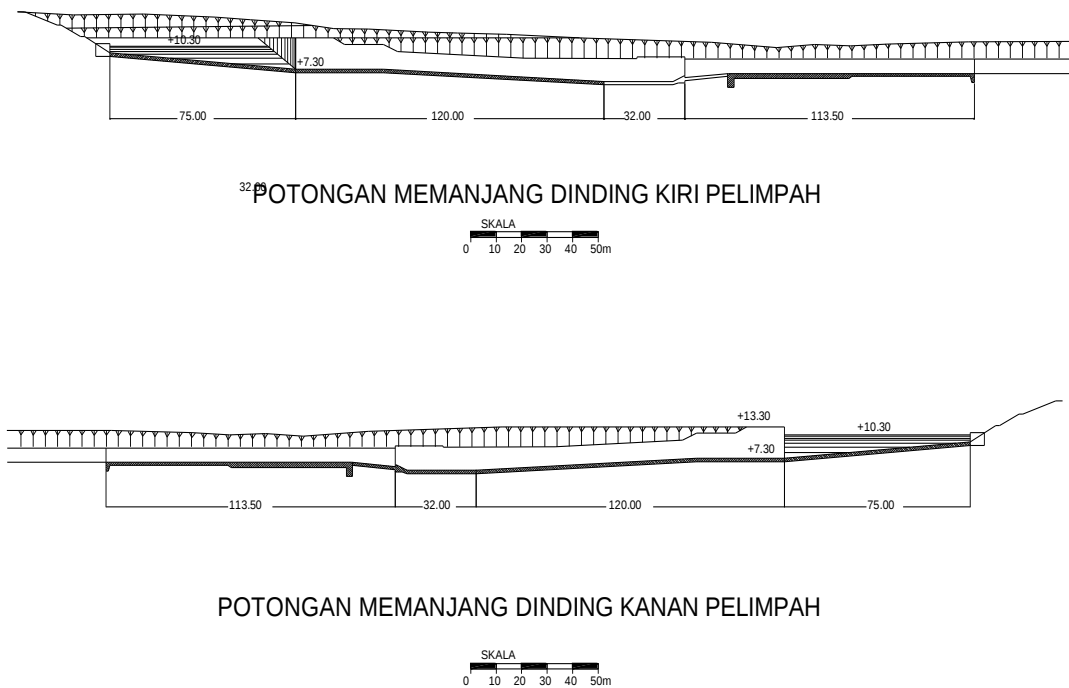
Gambar 1 Denah Bendungan Manggar, Kaltim (sumber: Puslitbang SDA, 2008).



Gambar 2 Potongan memanjang dan melintang tipikal Bendungan Manggar, Kaltim (sumber: Puslitbang SDA, 2008).



Gambar 3 (a) Denah dan potongan melintang pelimpah Bendungan Manggar, Kaltim (sumber: Puslitbang SDA, 2008).



Gambar 3 (b) Potongan memanjang dinding pelimpah Bendungan Manggar, Kaltim (sumber: Puslitbang SDA, 2008).

DATA PENGAMATAN BENDUNGAN

1 Data teknis bendungan dan kegempaan

Bendungan Manggar adalah bendungan urugan homogen, dengan panjang puncak 1060,00 m, lebar puncak 6,00 m dan elevasi puncak +13,40 m; tinggi di atas dasar sungai 12,50 m dan tinggi di atas galian 15,20 m. Kemiringan lereng udik 4:1 dan lereng hilir 4:1; dengan tinggi jagaan pada muka air banjir = 0,76 m dan pada muka air normal = 3,10 m (lihat Gambar 2 dan 3). Bendungan ini terletak di daerah zone gempa A dengan koefisien gempa $a_d = 0,029$ g pada $T = 100$ tahun, $a_d = 0,050$ g pada $T = 5000$ tahun, dan $a_d = 0,054$ g pada $T = 10000$ tahun.

2 Data hidrologi dan Waduk Manggar

Bendungan Manggar dibangun dengan membendung Sungai Manggar Besar, dan luas daerah tangkapan = 50,00 km²; curah hujan tahunan 1730 mm – 2539 mm. Elevasi muka air waduk saat banjir +12,64 m, elevasi muka air normal +10,30 m. Volume tampungan air waduk pada muka air normal 14,20x10⁶ m³, tampungan kotor 16,30x10⁶ m³.

3 Data pelimpah dan bangunan pengeluaran Bendungan Manggar

Pelimpah berbentuk Ogee tanpa pintu dengan Q -desain = 564,75 (m³/s), periode ulang = PMF, elevasi mercu = +11,30 m, dan panjang mercu = 30 m. Manfaat untuk air baku sebesar 1,52 m³/s. Bangunan pengeluaran air baku berjumlah dua buah berbentuk pipa baja, dengan penampang berbentuk lingkaran, garis tengah = 0,80 m, panjang = 265,00 m, dan tipe alat operasinya adalah pintu katup berkapasitas 1400/667 kVA.

JENIS INSTRUMEN

Jenis dan jumlah instrumen terpasang pada Bendungan Manggar serta ketersediaan data, yaitu: patok geser (PG) 32 buah (Okt 2003–Apr 2007), patok referensi (PR) 8 buah, patok permukaan (PM) 10 buah, sumur pantau lama (OWe) 4 buah (Jan 2004 –Des 2007), sumur pantau baru (OWb) 10 buah (Okt 2004–Des 2007), bangunan ukur air rembesan (*V-notch*, VN) 4 buah (Mei 2003–Des 2007), lempeng ukur penurunan (PS) 31 buah (Feb 2003–Des 2007), *settlement meter* (SM) 8 buah, 1 rusak (Mei 2004–Des 2007), inklinometer (I & SP) dua-sumbu (biaxial) 8 buah, 1 rusak (Mei 2006–Mei 2007), pisometer pneumatik (PP) 42 buah, 6 rusak (Mei 2004–Des 2007), pisometer pipa tegak (SP) 26 buah (Juni 2004–Des 2007).

METODOLOGI PENELITIAN

Hipotesis penelitian

Metode indeks risiko yang digunakan dalam evaluasi keamanan bendungan ini adalah metode yang sangat berguna, terutama bila sistem instrumentasinya tidak berfungsi baik (tanpa instrumentasi). Walaupun demikian, untuk bendungan dengan instrumentasi cukup, metode ini masih tetap bermanfaat, untuk mengetahui dan menilai kinerja, perilaku dan tingkat keamanan bendungan.

1 Rancangan penelitian

Rancangan penelitian ini mencakup langkah-langkah sebagai berikut:

- 1) Survei dan pengumpulan data teknis bendungan termasuk inspeksi keamanan bendungan dan bangunan pelengkapannya, sistem instrumentasi geoteknik, parameter dinamik dan kegempaan.
- 2) Evaluasi hasil pemantauan instrumen geoteknik sejak tahun 2004 sampai tahun 2007, dengan membuat kontur tekanan air pori pada tubuh dan fondasi bendungan, dan menggambarkan perilaku perubahan tinggi tekan berkaitan dengan muka air waduk.
- 3) Analisis stabilitas lereng bendungan akibat pengaruh gempa pada kondisi *steady seepage* dengan periode ulang $T=100$ tahun, 5000 tahun dan 10.000 tahun.

Selanjutnya, diharapkan diperoleh gambaran kinerja, perilaku dan keamanan Bendungan Manggar. Lihat laporan penelitian Puslitbang SDA, 2008.

SURVEI DAN INSPEKSI LAPANGAN

Kondisi puncak dan bahu bendungan umumnya baik. Muka air waduk terletak pada elevasi +10,35 meter, dan muka air normal +10,30 meter. Pada bagian puncaknya dilindungi *paving block*, pada bahu bendungan bagian udik dan hilir dipasang parapet. Secara visual parapet tersebut tidak nampak gejala pergerakan ke arah udik maupun hilir, serta tidak terlihat gejala penurunan. Kondisi lereng udik bendungan yang dilindungi *rip-rap* blok beton umumnya cukup baik. Bidang kontak antara tumpuan (*abutment*) kiri dengan tubuh bendungan, tidak tampak gejala deformasi maupun alur-alur yang akan menimbulkan rembesan. Lereng hilir umumnya cukup baik, tidak nampak gejala deformasi dan kondisinya terpelihara, tidak terlihat tumbuh tanaman perdu. Drainase tulang ikan pada lereng hilir ini, tidak diteruskan sampai drainase kaki, sehingga air drainase yang keluar tidak langsung masuk ke saluran pembuang, dan air drainase kaki muncul kembali di permukaan lereng, sehingga terlihat seperti bocoran. Fenomena daerah basahan ini terjadi di seluruh ujung drainase tulang ikan lereng hilir bendungan. Pada lereng hilir tepatnya pada profil STA 14 terlihat adanya daerah bocoran, 2 meter di

samping kanan dari bagian bawah drainase tulang ikan. Kondisi kaki lereng hilir cukup terawat, tetapi tumbuh tanaman keras yang bila dibiarkan akan tumbuh besar dan akarnya dapat merusak struktur tanah fondasi bendungan. Karena itu, disarankan pohon tersebut ditebang (lihat Gambar 4).

Kondisi bangunan menara pengambilan untuk air baku cukup baik, pintu operasi pun berfungsi dengan baik, tidak terlihat kerusakan struktur pada bangunan menara maupun *outlet* dari bangunan pengambilan. Kondisi lantai pelimpah dan dinding sayap pelimpah umumnya baik, tidak terlihat adanya retakan ataupun gejala erosi. Namun, pada ujung sayap dinding pelimpah tumbuh tanaman keras, yang akarnya dapat merusak struktur tanah fondasi sayap dinding, maka disarankan supaya tanaman ditebang (lihat Gambar 5). Lihat Laporan penelitian Puslitbang SDA, 2008.

ANALISIS DAN EVALUASI HASIL PEMANTAUAN INSTRUMENTASI

1 Basis data dan grafik hasil pemantauan instrumentasi

Sebelum melakukan evaluasi keamanan bendungan, terlebih dahulu perlu disusun basis data hasil pemantauan instrumen terpasang. Pada Bendungan Manggar terpasang hanya 11 jenis instrumen, yaitu patok geser (PG), patok referensi (PR), patok permukaan (PM), sumur pantau lama (OWe), sumur pantau baru (OWb), bangunan ukur air rembesan (VN), lempeng ukur penurunan (PS), *settlement meter* (SM),

inklinometer (I & SP), pisometer pneumatik (PP), pisometer pipa tegak (SP). Waktu pemantauan selama kurang lebih 3 tahun (2004 sampai dengan 2007). Lokasi pisometer yang terpasang terbagi dalam 10 profil, dapat dilihat pada Gambar 6. Data hasil pemantauan pisometer terpasang selama 3 tahun diperoleh sudah dalam bentuk data digital dengan menggunakan program *EXCEL*.

2 Kontur tekanan air pori dan garis freatik

Pemantauan tekanan air pori pada Bendungan Manggar menggunakan 2 jenis pisometer, yaitu pisometer pipa tegak dan pisometer pneumatik. Hasil pemantauan berupa grafik hubungan antara waktu dengan tinggi elevasi muka air pisometer dan elevasi muka air waduk, yang bisa dilihat pada Gambar 7, untuk pisometer pipa tegak.

Beberapa pisometer menunjukkan tinggi tekanan air pori yang tidak mengikuti pola perubahan muka air waduk, bahkan tinggi tekanannya melebihi tinggi muka air waduk. Ini disebabkan tekanan air pori berlebih akibat beban timbunan tidak mudah terdisipasi dan terperangkap dalam pori-pori tanah sampai waktu tertentu. Secara umum, muka air pisometer terpasang cenderung mengikuti perubahan muka air waduk, dan bisa dikatakan cukup baik untuk dipakai sebagai data evaluasi keamanan bendungan. Tekanan air pori untuk pisometer pipa tegak diperoleh dengan cara perhitungan elevasi air pisometer dikurangi dengan elevasi ujung pisometer, dan dikalikan dengan berat volume air.



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4 (a) Kondisi puncak dan (b) lereng udik; (c) lereng hilir dan (d) daerah kaki lereng hilir Bendungan Manggar, Kaltim (sumber: Puslitbang SDA, Laporan Penelitian No: PW 0302/02/La-BHGK/2008).



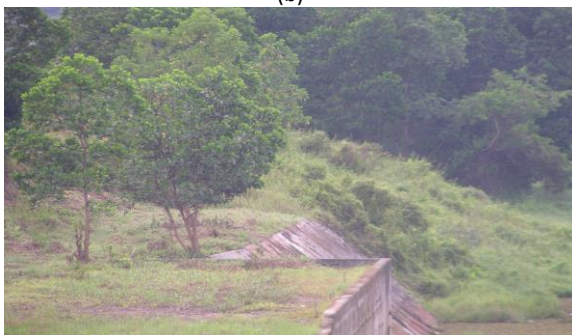
(a)



(b)

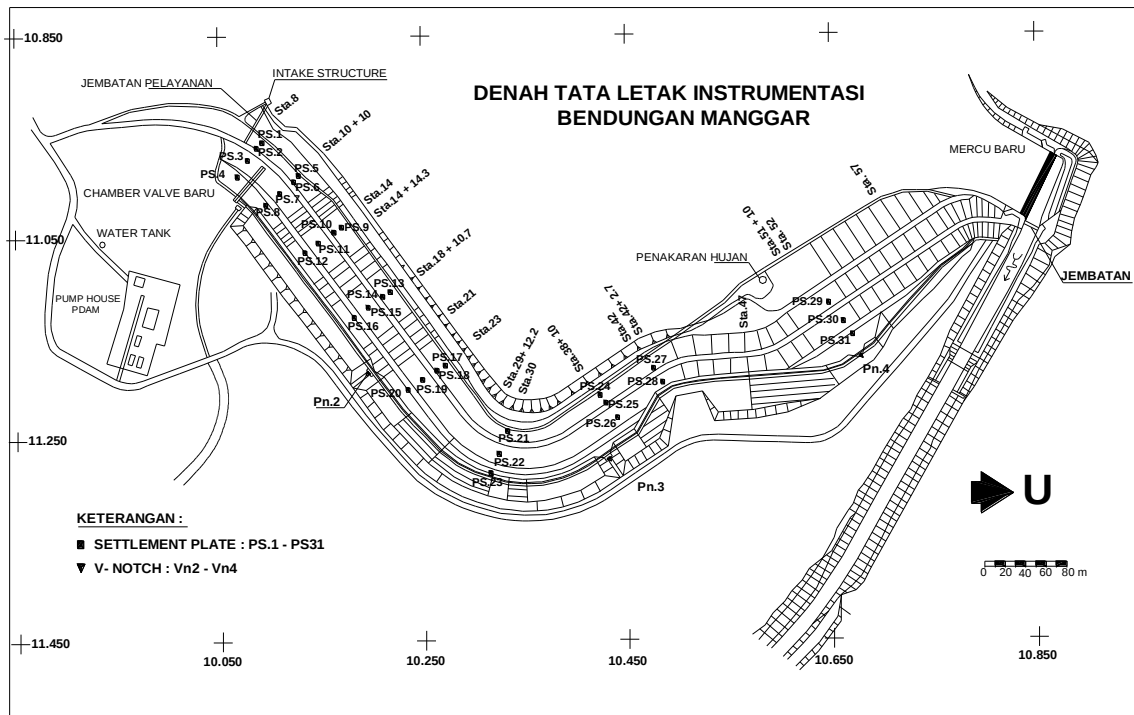


(c)

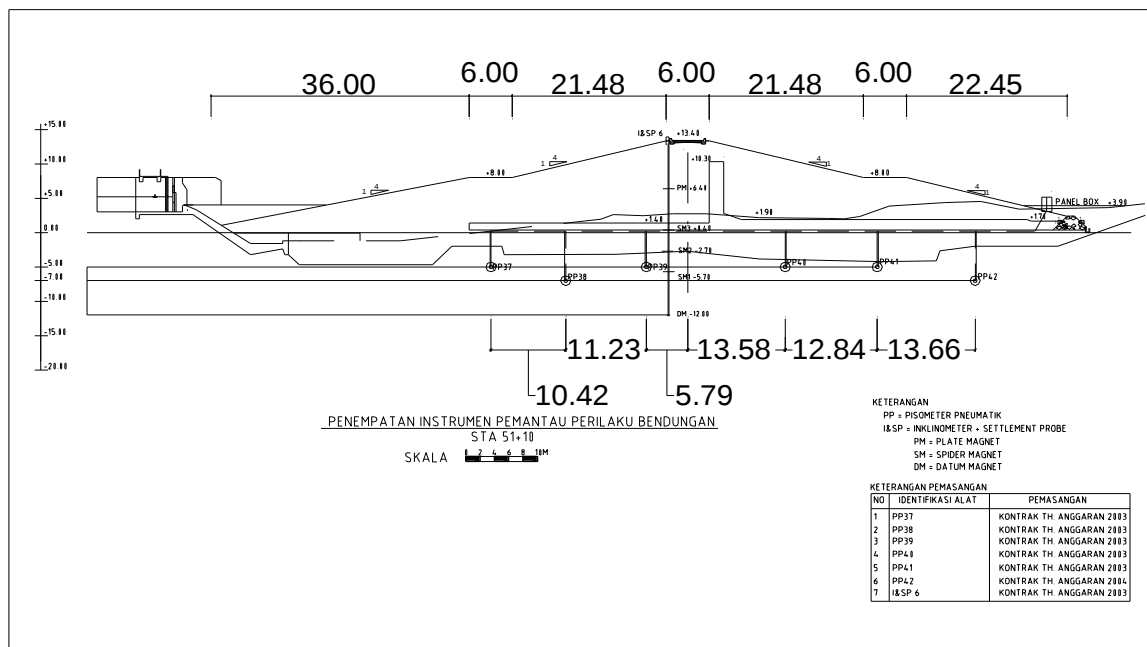


(d)

Gambar 5 Kondisi struktur bangunan (a) menara pengambilan dan (b) *outlet* air baku; (c) mercu dan (d) sayap pelimpah dilihat dari hilir Bendungan Manggar, Kaltim (sumber: Puslitbang SDA, Laporan Penelitian No: PW 0302/02/La-BHGK/2008).

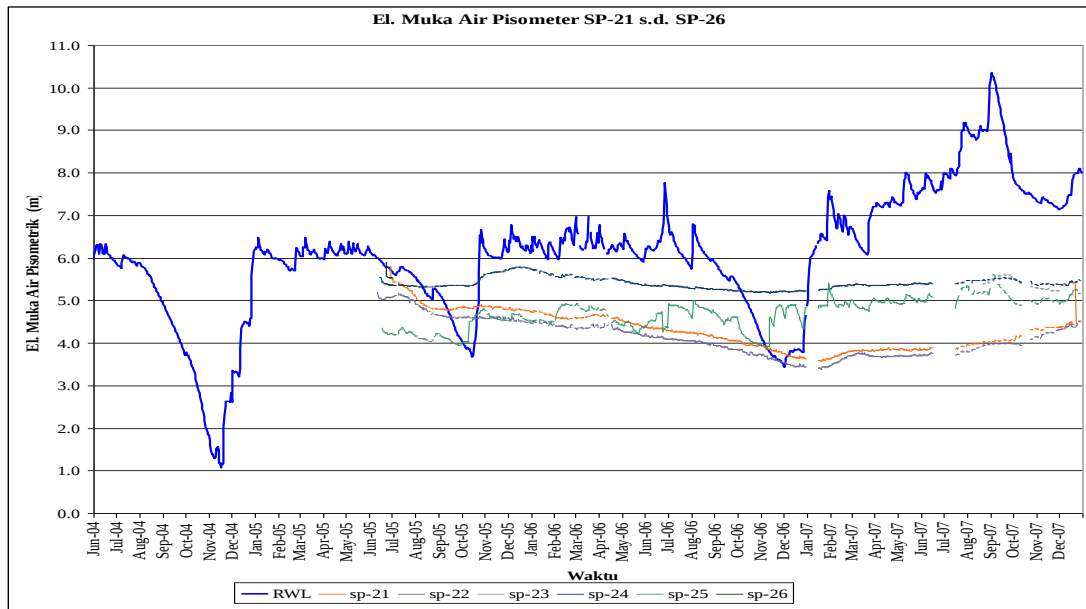


(a) Denah tata letak instrumentasi geoteknik Bendungan Manggar



(b) penempatan instrumen Bendungan Manggar

Gambar 6 (a) Denah tata letak instrumentasi geoteknik, dan (b) penempatan instrumen Bendungan Manggar, pada STA 51+10 (sumber: Puslitbang SDA, 2008).



Gambar 7 Grafik hubungan antara waktu dengan elevasi muka air pisometer dan elevasi muka air waduk (RWL) pada pisometer pipa tegak terpasang di Bendungan Manggar.

3 Tinggi air tanah pada sumur observasi (*observation well*)

Pada Bendungan Manggar terpasang 14 buah sumur observasi, 4 buah di antaranya merupakan sumur observasi lama dan 10 buah lainnya adalah sumur observasi baru. Sumur observasi berfungsi untuk pengamatan muka air tanah dalam bendungan, dan data pengamatan diperoleh sejak tahun 2004 sampai 2007. Dari hasil pengamatan untuk sumur pantau baru (lihat Gambar 8) terlihat bahwa, muka air rata-rata berada di bawah elevasi muka air waduk. Muka air pada sumur observasi yang berada di atas muka air waduk ini, terjadi akibat penurunan muka air waduk yang signifikan dan rembesan yang terjadi amat kecil, sehingga tidak begitu mempengaruhi muka air tanah pada sumur observasi.

4 Kontur tekanan air pori Bendungan Manggar

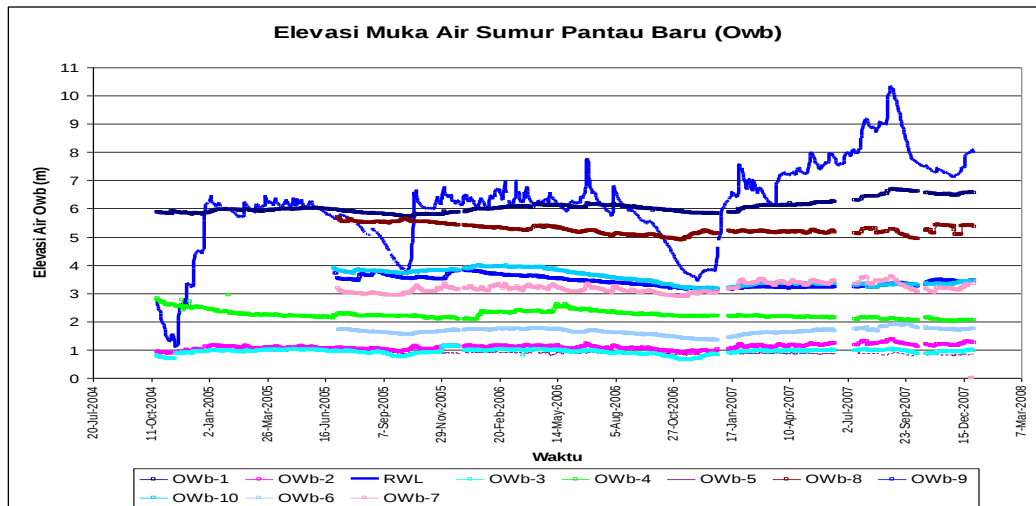
Evaluasi keamanan bendungan terhadap perubahan tekanan air pori, dilakukan dengan menggambar kontur tekanan air pori pada profil yang ditinjau saat elevasi muka air waduk berada pada elevasi tertinggi untuk setiap tahunnya. Lihat Gambar 9, kontur tekanan air pori untuk tahun 2004 dan 2007 pada Sta. 51. Sebagai contoh nilai tekanan air pori tahun 2004 cukup tinggi akibat tekanan air pori eksese; untuk

tahun 2007 kontur tekanan air pori cenderung sama untuk setiap tahunnya. Demikian juga, garis freatik cenderung tidak memotong lereng hilir dan bergerak masuk ke dalam *filter drain*.

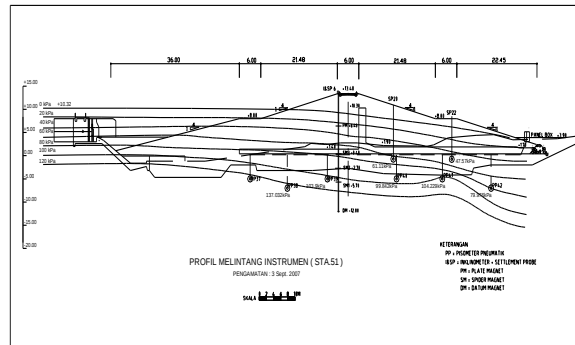
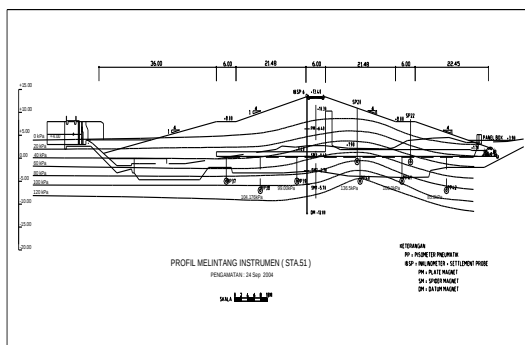
5 Perubahan tingkat kelulusan air dalam tubuh dan fondasi Bendungan Manggar

Untuk mengevaluasi perubahan kelulusan air dalam tubuh dan fondasi bendungan, sangat diperlukan *plotting* grafik histeresis hubungan antara elevasi air pisometer dan elevasi air waduk (RWL). Peningkatan elevasi air pisometer pada elevasi air waduk yang sama dalam suatu kurun waktu tertentu secara menerus menunjukkan, bahwa koefisien kelulusan air di sekitar pisometer meningkat. Demikian pula untuk hal sebaliknya. Peningkatan elevasi air pisometer secara menerus perlu diwaspadai, karena pola ini menunjukkan kemungkinan terjadinya erosi buluh (*piping*).

Hasil *plotting* grafik histeresis hubungan antara elevasi air pisometer pipa tegak (SP) dan elevasi air waduk untuk Bendungan Manggar, ditunjukkan pada Gambar 10. Elevasi muka air pisometer pada umumnya mempunyai kecenderungan turun dan naik, yang bervariasi antara 0,5 m sampai 2 m. Perubahan ini relatif kecil dan tidak mempengaruhi perubahan koefisien permeabilitas material urugan, sehingga tidak terjadi bahaya erosi buluh.



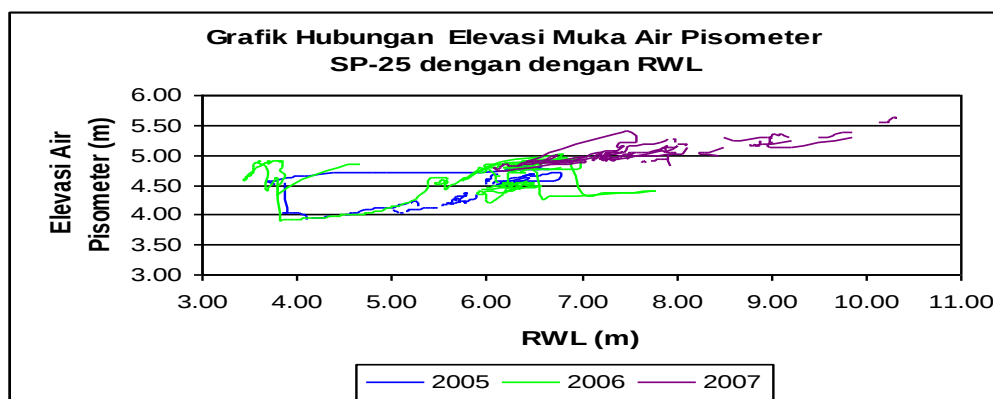
Gambar 8 Grafik hubungan antara elevasi air tanah pada sumur observasi baru , dan elevasi muka air waduk (RWL) dengan waktu pada Bendungan Manggar.



(a) Kontur tekanan air pori profil Sta. 51 tahun 2004

(b) Kontur tekanan air pori profil Sta. 51 tahun 2007

Gambar 9 Kontur tekanan air pori profil Sta. 51 untuk tahun (a) 2004 dan (b) 2007 Bendungan Manggar



Gambar 10 Grafik hubungan antara elevasi muka air pisometer pipa tegak (SP) dengan elevasi muka air waduk (RWL) pada Bendungan Manggar.

6 Rembesan air

Debit rembesan (bocoran) yang terjadi pada Bendungan Manggar diukur dengan alat *V-notch*, yang pencatatannya secara manual menggunakan papan duga muka air. Pada

Bendungan Manggar terdapat 4 buah *V-notch* (Tabel 1). Data pemantauannya sejak bulan Juli 2003 sampai bulan Desember 2007.

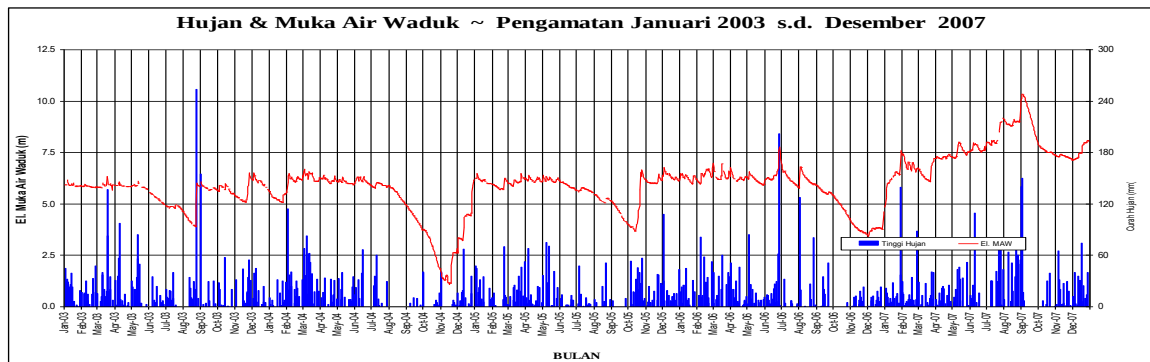
Hasilnya berupa: grafik hubungan antara elevasi muka air waduk dan curah hujan dengan

waktu; grafik hubungan antara rembesan dan elevasi air waduk dengan waktu; dan grafik histeresis hubungan antara rembesan dan elevasi air waduk pada *V-notch*, bisa dilihat pada Gambar 11. Umumnya, rembesan (bocoran) cenderung meningkat dengan peningkatan muka air waduk RWL dan menurun bila muka air waduk turun. Dari grafik histeresis terlihat, bahwa rembesan/ bocoran mempunyai pola

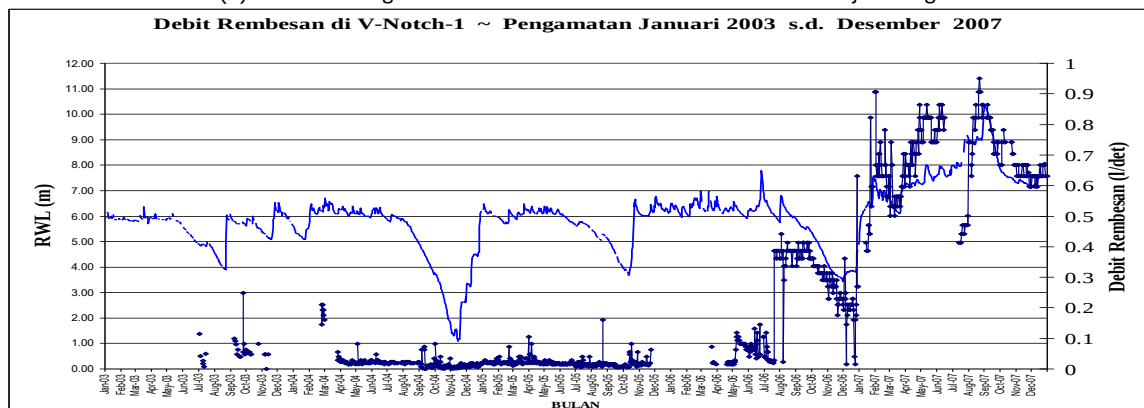
Tabel 1 Lokasi bangunan ukur debit air rembesan

URAIAN	NOMOR IDENTIFIKASI ALAT (VN)			
	VN-1	VN-2	VN-3	VN-4
Lokasi alat (Sta.)	9+9,55	21+0,00	36+15,000	50+10,700
Jarak ke as bendungan (m)	DS : 51,950	DS : 54,250	DS : 46,000	DS : 77,200
Elevasi ambang <i>V-notch</i> (mMMP)	+ 0,125	+ 0,045	+ 2,480	- 0,572
Area tampung dari	Sta.7 - Sta.17	Sta.17 - Sta.31	Sta.31 - Sta.39	Sta.39 - Sta.60
Panjang area tampung (m)	± 200,00	± 200,00	± 200,00	± 200,00

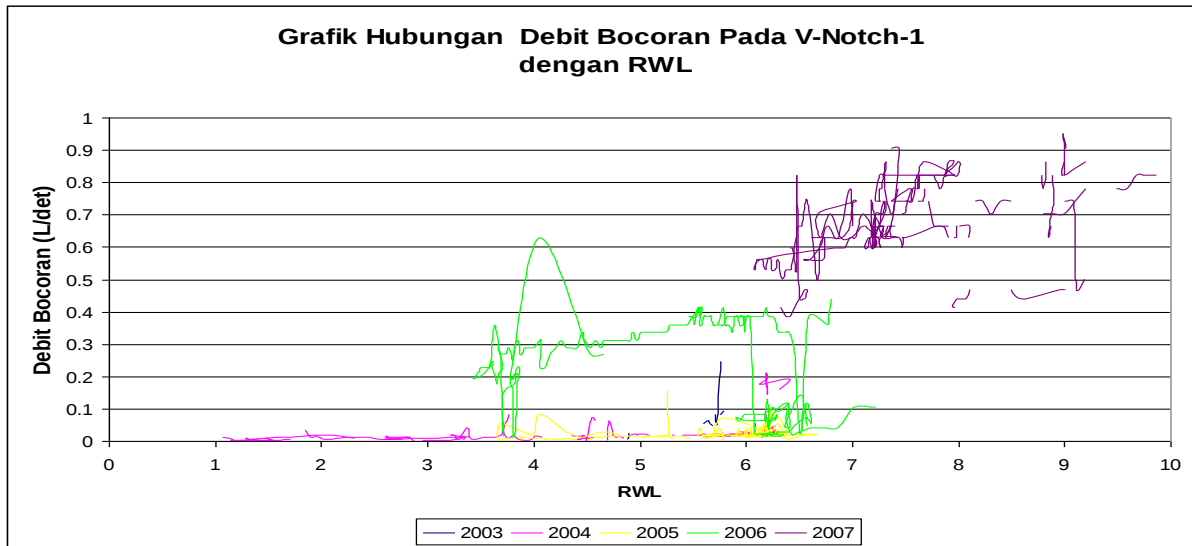
perubahan yang menurun pada hampir semua *V-notch* yang diamati. Kecuali, untuk *V-notch*-1 terdapat peningkatan sebesar 0,3 liter/s dari tahun 2005 sampai dengan tahun 2006, dan 0,2 liter/s dari tahun 2006 sampai dengan tahun 2007 pada saat elevasi +6,2 m setiap tahunnya, peningkatan ini cukup kecil dan mengalami penurunan. Ini berarti, tidak ada tanda-tanda terjadinya bahaya erosi buluh (Departemen Kimpraswil, 2002).



Gambar 11 (a) Grafik hubungan antara elevasi muka air waduk dan curah hujan dengan waktu

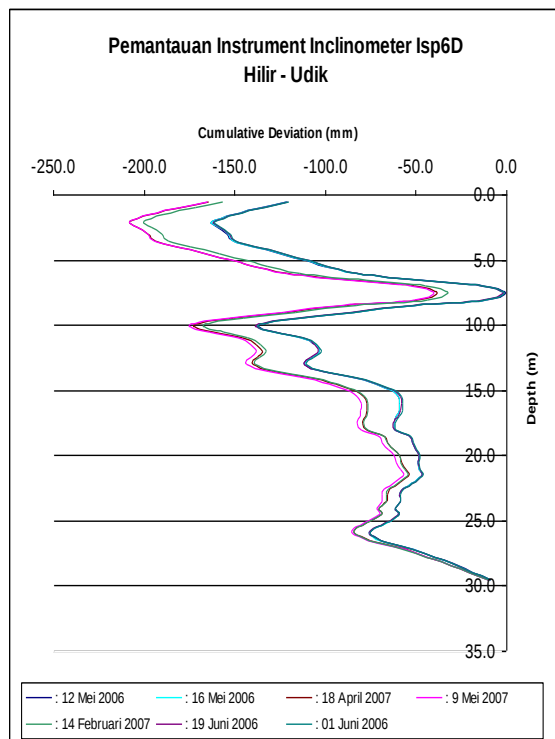


Gambar 11 (b) grafik hubungan antara rembesan dan elevasi air waduk dengan waktu

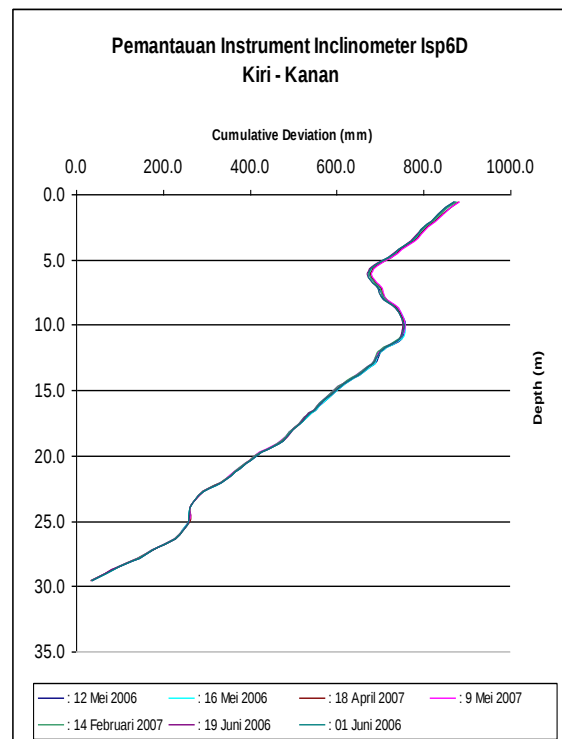


(c) grafik histeresis hubungan antara rembesan dan elevasi air waduk pada *V-notch*

Gambar 11 (a) Grafik hubungan antara elevasi m.a. waduk dan curah hujan vs waktu; (b) grafik hubungan antara rembesan dan elevasi m.a. waduk vs waktu; serta (c) grafik histeresis hubungan antara rembesan vs elevasi air waduk pada *V-notch*, Bendungan Manggar.

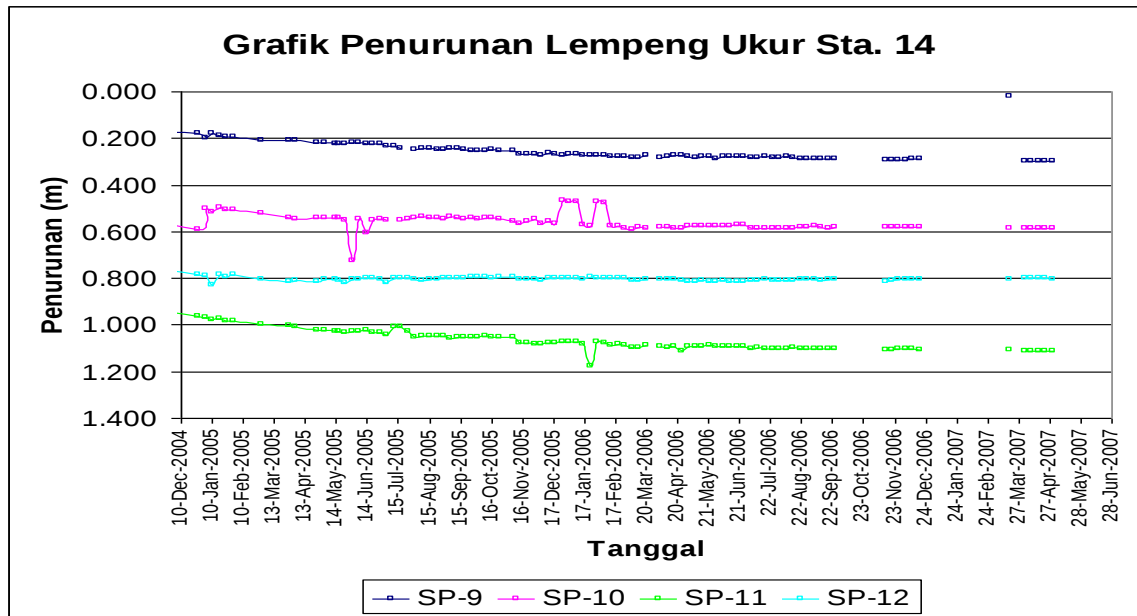


(a)



(b)

Gambar 12 Grafik deformasi horisontal dari inklinometer (hilir-udik & kiri-kanan), Bendungan Manggar, Kaltim (sumber: Puslitbang SDA, 2008).



Gambar 13 Grafik penurunan lempeng ukur pada Bendungan Manggar, Kaltim

7 Deformasi horisontal dalam tubuh Bendungan Manggar (*inklinometer*)

Deformasi horisontal dalam tubuh bendungan dipantau dengan alat inklinometer, yang mengukur pergerakan dalam 2 arah, yaitu *upstream-downstream* yang disebut *displacement A*, dan kiri-kanan bendungan (dilihat dari arah aliran sungai) disebut *displacement B*. Pada Bendungan Manggar terpasang 7 inklinometer, dan data yang diperoleh selama 1 tahun dari tahun 2006 sampai tahun 2007. Hasil pemantauan inklinometer bisa dilihat pada Gambar 12.

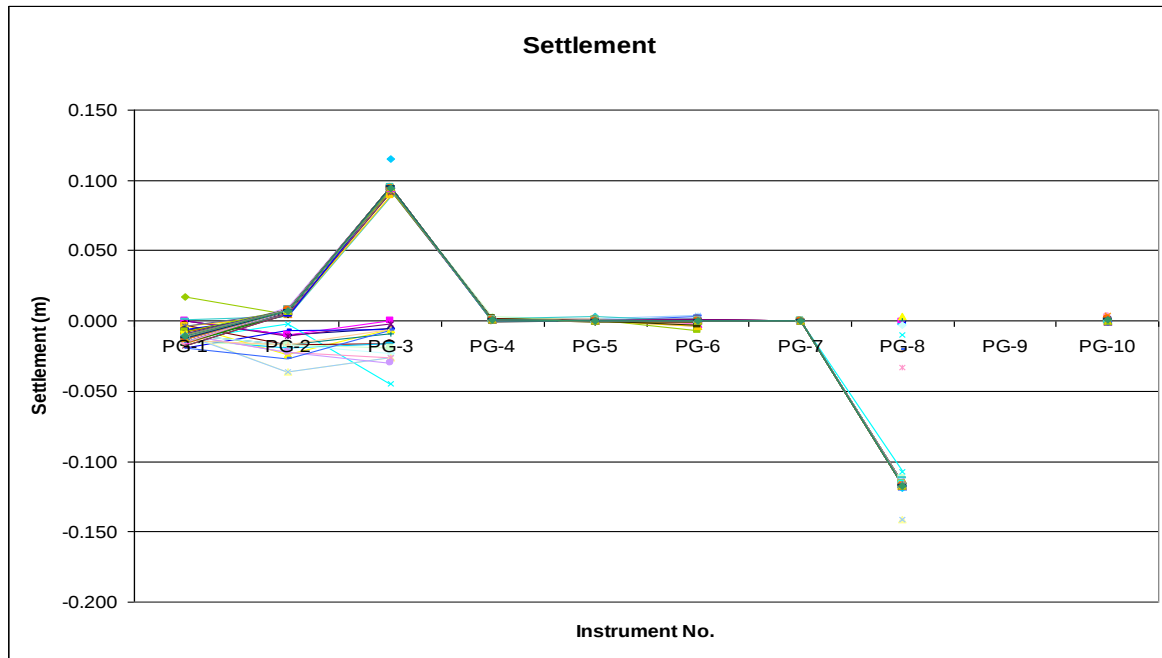
8 Deformasi vertikal dalam tubuh Bendungan Manggar (*settlement*)

Alat yang digunakan untuk mengukur deformasi vertikal dalam tubuh Bendungan Manggar adalah lempeng ukur penurunan dan *settlement meter magnetic* atau *settlement meter*, yang dipasang pada *casing inclinometer* pada kedalaman tertentu. Salah satu hasil pantauan penurunan pada lempeng ukur penurunan, lihat Gambar 13, dan penurunan terbesar terjadi pada

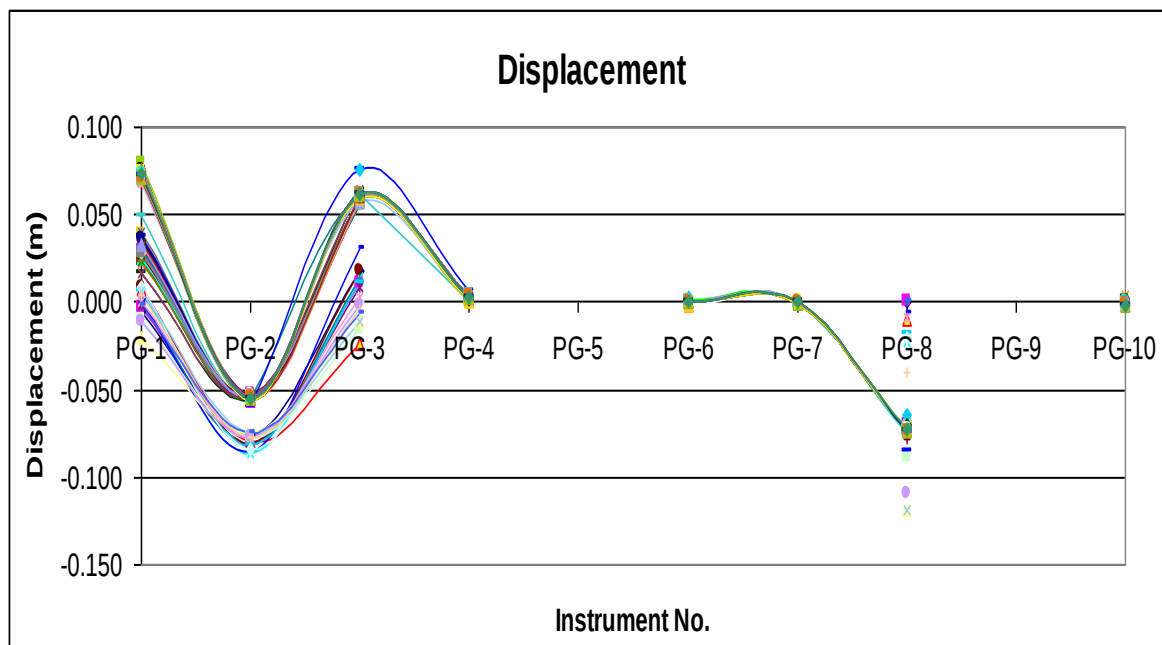
Sta. 14, yaitu pada SP 11 sebesar 1,1 m dengan elevasi pemasangan +3,874 m.

9 Deformasi horisontal dan vertikal pada permukaan Bendungan Manggar (*patok geser*)

Pada tubuh Bendungan Manggar terpasang 32 buah patok geser (*surface movement*), untuk memantau deformasi horisontal dan vertikal pada permukaan bendungan. Salah satu hasil pemantauan deformasi tersebut (*patok geser*), akan ditunjukkan pada *center line (CL)*, Bendungan Manggar, Gambar 14. Pada gambar terlihat, pada puncak bendungan bagian CL, penurunan total terbesar terjadi pada bagian tertinggi, sebesar 11,5 cm. Penurunan ini relatif sangat kecil karena tinggi jagaan tidak terpengaruh, sehingga tidak ada bahaya pelimpasan air waduk walaupun terjadi banjir maksimum. Sedangkan permukaan puncak bendungan sebagian cenderung bergeser ke arah udik dan sebagian lagi ke arah hilir, dengan pergerakan maksimum sebesar 8,4 cm ke arah udik dan 7,9 cm ke arah hilir. Pola pergerakan ini normal, tidak ada tanda-tanda terjadinya longsoran.



Gambar 14 (a) Grafik penurunan pada *Center Line* (CL), Bendungan Manggar.



Gambar 14 (b) Grafik deformasi horisontal pada *Center Line* (CL), Bendungan Manggar.

PEMBAHASAN

1 Analisis stabilitas bendungan akibat pengaruh gempa

Analisis stabilitas akibat pengaruh gempa dilakukan dengan menggunakan prosedur sesuai dengan Pedoman Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa (PdT-14-2004-A). Parameter desain untuk analisis stabilitas Bendungan Manggar ditentukan

dengan menggunakan Tabel 2, 3 dan Gambar 15. Hasil analisis stabilitas lereng akibat pengaruh gempa kondisi langgeng (*steady seepage*) Bendungan Manggar dapat dilihat pada Tabel 4. Secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa Bendungan Manggar stabil akibat pengaruh gempa, baik pada perioda ulang $T = 100$ tahun maupun $T = 5000$ tahun (Dep. Kimpraswil, 2004).

Tabel 2 Percepatan gempa desain Bendungan Manggar

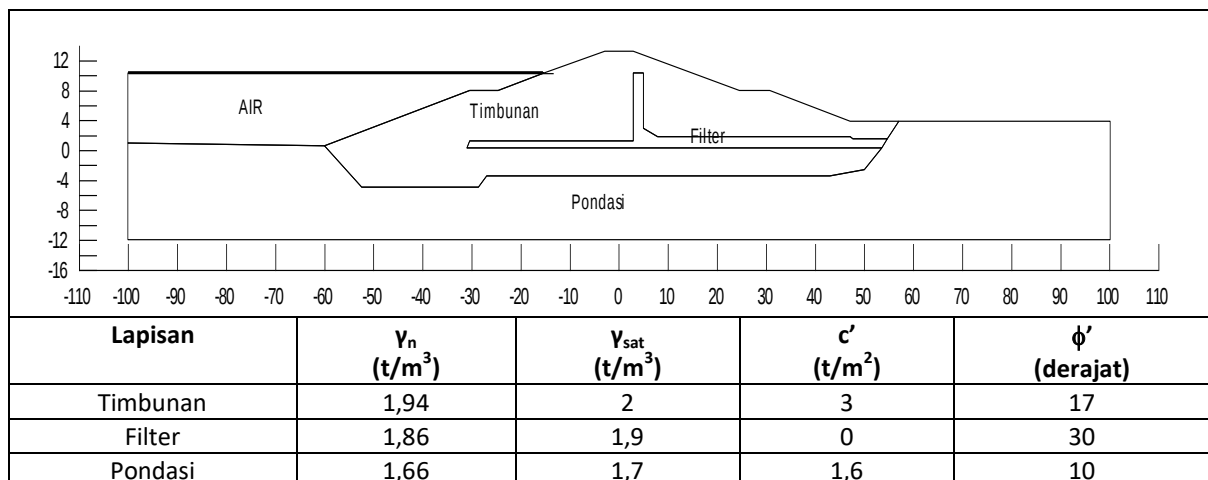
Perioda ulang T (tahun)	Peta zona 99- Fukushima		Peta zona 04- Fukushima		Peta zona 04-Joyner	
	Z	a_d (g)	Z	a_d (g)	Z	a_d (g)
100	0,150	0,029	0,120	0,027	0,300	0,070
5000	0,150	0,050	0,120	0,044	0,300	0,116
10000	0,150	0,054	0,120	0,058	0,300	0,123

Tabel 3 Percepatan gempa desain untuk analisis dinamik Bendungan Manggar

No	Perioda ulang T (th)	a_d (g)	$K_o = 0,5 * a_d$ (g)	K pada y/H			
				0,25	0,5	0,75	1,00
1	100	0,029	0,015	0,030	0,025	0,022	0,020
2	5000	0,050	0,025	0,051	0,043	0,039	0,035
3	10000	0,054	0,027	0,055	0,046	0,042	0,038

Tabel 4 Hasil analisis stabilitas akibat pengaruh gempa kondisi langgeng (*steady seepage*) BendunganManggar

Bagian Bendungan	Fk tanpa gempa	K_y	T = 100 thn		T = 10000 thn		Deformasi U (m)
			K_y 100 th	FK (izin = 1,2)	K_y 10000 th	FK (izin = 1)	
1. Udik							
a) $y/H=1$	2,9	0,232	0,020	2,564	0,035	2,311	0
b) $y/H=0,75$	4,056	0,376	0,022	3,540	0,039	3,142	0
c) $y/H=0,5$	4,996	0,607	0,025	4,377	0,043	3,931	0
d) $y/H=0,25$	5,683	0,884	0,030	5,093	0,051	4,679	0
2. Hilir							
a) $y/H=1$	2,903	0,321	0,020	2,616	0,035	2,400	0
b) $y/H=0,75$	3,953	0,558	0,022	3,594	0,039	3,316	0
c) $y/H=0,5$	4,409	0,698	0,025	3,976	0,043	3,664	0
d) $y/H=0,25$	8,466	1,010	0,030	7,388	0,051	6,633	0



Gambar 15 Profil melintang bendungan dengan parameter tanah yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng Bendungan Manggar

2 Analisis metode indeks risiko

Analisis indeks risiko total, yang menghasilkan nilai untuk menentukan apakah

bendungan berfungsi dengan baik, diperoleh dari kombinasi nilai bobot kondisi lapangan (CF_i) dengan menggunakan faktor kepentingan relatif dan

persamaan berikut (Andersen, G.R. et al., 1999, 2001, 2001a):

$$I_{dam} = V \times H \dots\dots\dots (1)$$

$$RI_j = P[M_i/F] \times P[C_j/M_i] \times I_{dam} \dots\dots\dots (2)$$

$$IR_j = RI_j \times (10 - CF_j) / 10 \dots\dots\dots (3)$$

$$IR_{tot} = \sum IR_j \dots\dots\dots (4)$$

$$N_{aman} = ((I_{dam} - IR_{tot}) / I_{dam}) \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

dengan:

V : bobot faktor kerawanan total;

H : bobot faktor bencana;

CF_j : bobot kondisi lapangan ke j ;

RI_j : faktor kepentingan relatif kondisi fisik ke j ;

IR_j : indeks faktor penentu utama total kondisi fisik hasil inspeksi;

IR_{tot} : indeks risiko total;

I_{dam} : faktor tingkat kepentingan awal,

N_{aman} : nilai keamanan bendungan, berkisar dari 0 sampai 100.

Indeks risiko total adalah nilai untuk menentukan apakah bendungan berfungsi dengan baik atau tidak, yang diperoleh dari kombinasi nilai bobot kondisi lapangan (CF_2) dengan faktor kepentingan relatif, periksa rumus (3) dan (4).

Namun adalah nilai keamanan bendungan (bernilai 0-100), yang menunjukkan klasifikasi tingkat keamanan bendungan desain dengan kriteria kondisi pembebanan normal atau luar biasa, untuk menyatakan tindak lanjut yang mungkin diperlukan.

3 Hasil analisis metode indeks risiko

Nilai-nilai parameter inspeksi lapangan (CF_1 sampai dengan CF_9), ternyata cukup tinggi. Untuk menilai tingkat keamanan bendungan, perlu ditinjau klasifikasi nilai keamanan bendungan, $N_{aman} = 76,80$ dengan indeks risiko total, $IR_{tot} = 20,18$ berdasarkan analisis kombinasi hasil inspeksi lapangan, evaluasi instrumentasi dan analisis stabilitas lereng akibat pengaruh gempa. Apabila ditinjau dari tingkat kepentingan awal bendungan, $I_{dam} = 87,00$, berarti kondisinya aman dan tidak perlu ada tindak lanjut. Bendungan masih tetap aman dan dapat beroperasi dengan baik.

Meskipun tidak terlihat tanda-tanda kerawanan bendungan yang mengkhawatirkan, namun dianjurkan:

- 1) Melakukan evaluasi hasil inspeksi lapangan dan pemantauan instrumen bendungan secara periodik, agar dapat diketahui perilaku dan kinerja bendungan dari waktu ke waktu dan dapat dievaluasi stabilitas dan keamanan bendungannya.
- 2) Apabila terlihat adanya tanda-tanda yang mengkhawatirkan, sebaiknya hal-hal yang dikemukakan pada butir 1), harus lebih

ditingkatkan sesuai dengan pedoman yang berlaku untuk keamanan bendungan.

Hal ini merupakan salah satu upaya dalam menjaga dan memelihara perilaku dan kinerja, serta tingkat keamanan bendungan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi penelitian tersebut di atas, disimpulkan:

- 1) Hasil inspeksi lapangan yang diverifikasi dengan evaluasi pemantauan instrumen Bendungan Manggar, menunjukkan nilai parameter kondisi lapangan CF_1 sampai dengan CF_9 cukup tinggi (antara 7 dan 8).
- 2) Secara keseluruhan rembesan mempunyai pola perubahan yang menurun pada hampir semua V -notch yang diamati. Kecuali pada V -notch-1 ada peningkatan sebesar 0,3 liter/s dari tahun 2005 sampai dengan tahun 2006, dan 0,2 liter/s dari tahun 2006 sampai dengan tahun 2007 saat elevasi +6,2 m setiap tahunnya. Peningkatan ini cukup kecil dan mengalami penurunan. Ini berarti, tidak ada tanda-tanda bahaya erosi buluh.
- 3) Dari grafik histeresis hubungan antara elevasi air pisometer dan elevasi air waduk, menunjukkan elevasi muka air pisometer umumnya cenderung turun dan naik yang bervariasi antara 0,5 m - 2 m. Perubahan ini relatif kecil dan tidak mempengaruhi perubahan koefisien permeabilitas material urugan, sehingga tidak terjadi bahaya erosi buluh.
- 4) Dari perhitungan tingkat kepentingan awal bendungan (I_{dam}) dengan metode indeks risiko, nilainya cukup rendah ($I_{dam} = 87,00$), berarti risikonya rendah jika mengalami kegagalan. Oleh karena itu, tidak diperlukan tindak lanjut dan bendungan bisa beroperasi dengan baik.
- 5) Nilai keamanan Bendungan Manggar (N_{aman}) = 76,80 sehingga klasifikasinya termasuk memuaskan ($N_{aman} > 75$), serta indeks risiko total (IR_{tot}) = 20,18.
- 6) Bendungan masih stabil dan aman terhadap kondisi beban normal (biasa) dan beban gempa $T = 100$ tahun maupun $T = 5000$ (atau 10000) tahun. Berarti, tidak perlu ada tindak lanjut.

Hasil evaluasi tersebut diharapkan dapat menjadi acuan, untuk mengetahui dan menilai perilaku, kinerja dan keamanan Bendungan Manggar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Saudara Ir. Theo F. Najoan, M. Eng. atas kerja sama, saran dan masukan data untuk pengkajian ini, beserta rekan-rekan yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Andersen, G.R., Chouinard, L.E., Bouvier, C.J. and Back, W.E., 1999. *Ranking Procedure on Maintenance Tasks for Monitoring of Embankment Dams*. J. Geotech. and Geoenvir. Engrg. ASCE, 125 (4), 247-259, Apr. 1999.
- Andersen, G.R., Chouinard, L.E., Hover, W.H. and Cox, C.W., 2001. *Risk Indexing Tool to Assist in Prioritizing Improvements To Embankment Dam Inventories*. J.Geotech&Geoenvir Engrg. ASCE, 127(4), 325-334, Apr. 2001.
- Andersen, G.R., Cox, C.W, Chouinard, L.E., and Hover, W.H., 2001a. *Prioritization of Ten Embankment Dams According to Physical Deficiencies*. J. Geotech. and Geoenvir. Engrg. ASCE, 127 (4), 335-345, Apr. 2001.
- Departemen Kimpraswil, 2002. *Pedoman Metode Analisis dan Cara Pengendalian Rembesan Air untuk Bendungan Tipe Urugan*. RSNI M-02-2002.
- Departemen Kimpraswil, 2002a. *Pedoman Metode Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan*. RSNI M-03-2002.
- Departemen Kimpraswil, 2004. *Pedoman Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan akibat Beban Gempa*. Pd T-14-2004-A Kep Men Kimpraswil No: 260/ KPTS/M/2004, Jakarta, tgl. 10 Mei 2004.
- Puslitbang Sumber Daya Air, 2008. *Penelitian Evaluasi Keamanan Bendungan di Kalimantan, Sulawesi dan Batam*. Desember 2008, Laporan Penelitian No:PW 0302/02/La – BHGK/2008, Satker Puslitbang SDA.
- Soetjiono, C. dan Najoan, T.F., 1993. *Instrumentasi Geoteknik dalam Evaluasi Keamanan Bendungan Tipe Urugan*. Jurnal Litbang Pengairan No.26/1993; ISSN 0215-1111.