



Uji Kemampuan Bangunan Pengamanan Mengurangi Longsoran pada Balas Rel akibat Banjir

Pranoto Samto Atmojo

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto,SH-Tembalang- Semarang
E-mail: pranotosa2001@yahoo.com

Sri Sangkawati Sachro

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto,SH-Tembalang- Semarang
E-mail: srisangkawati@gmail.com

Hary Budienny

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto,SH-Tembalang- Semarang
E-mail: harybudienny@yahoo.com

Abstract

Ballast rail has a vital function to support the train's load and its dynamic forces. This load is then distributed to the subgrade layer through pile of gravel under the ballast. Most of the design about the gravel layer (ballast) doesn't take into account the effect of flood overflow on the rail, which is very likely to occur during rainy season. The Flood flows above the rail will reduce the ballast stability and then eroded. Part or most of the gravel were flushed out, thus resulting the ballast to be weak and may collapse, which is very dangerous to the train traffic. Its therefore requires to investigate stability of the ballast under flood flow above the rail condition and any measure or improvement required by Hydraulic Modeling. The research is conducted at Hydraulic Laboratory, Diponegoro University. The model prototype is refer a tract rail at Mangkang-Semarang KM.12, with scale of 1:5. Its shown that the ballast without a safety structure will start to scour when water level $h_1 = 15$ cm, meanwhile with the structures Type 1 and Type 1 + 1 its start scour $h_1 = 17$ and 19 cm respectively. The safety structure is able to scouring decrease, ie at the variation of $h_1 = 19$ cm, there are 68.50 cm without structure, and with structure Type 1 and Type 2 are 29 and 26 cm respectively. This research shown that it needs to installing safety structure (sill) to reduce the danger cause of flood flow over the rail, especially at the flood prone area. The Management of train traffic could adopt this result how to protect of ballast scour cause of flood.

Keywords : Ballast rail, Flood flows over the rail, Hydraulic modeling, Safety structure, Scouring decrease.

Abstrak

Tumpukan batu penyangga rel Kereta Api (balas rel) sangat vital fungsinya baik sebagai pengikat bantalan, penyangga beban dari gaya yang menekan pada kepala rel akibat beban Kereta Api, maupun mendistribusikan gaya merata ke tanah dasar. Tumpukan batu balas tersebut sangat rawan longsor akibat banjir yang melimpas trek rel. Tinggi rendahnya limpasan banjir akan mempengaruhi tingkat kelongsoran balas. Bila terjadi longsoran pada balas, maka akan mengurangi kekuatan menyangga beban, dan pada tingkat tertentu rel akan ambles dan membahayakan perjalanan Kereta Api. Penelitian uji model hidrolis ini akan memodelkan korelasi longsoran balas akibat limpasan banjir dan tingkat kemampuan bangunan pengamanan dalam meredam/mengurangi longsoran. Bangunan pengamanan diletakkan di hilir limpasan dengan prinsip mengurangi kekuatan gerusan. Pemodelan dilaksanakan di Laboratorium Pengaliran Teknik Sipil Universitas Diponegoro dengan beberapa variasi tinggi limpasan dan 2 Tipe bangunan. Pemodelan mengacu pada prototip lintas KA Mangkang-Semarang KM.12, dengan skala 1:5. Hasil pemodelan menunjukkan, balas tanpa pengamanan akan mulai longsor pada tinggi muka air $h_1=15$ cm, dengan bangunan

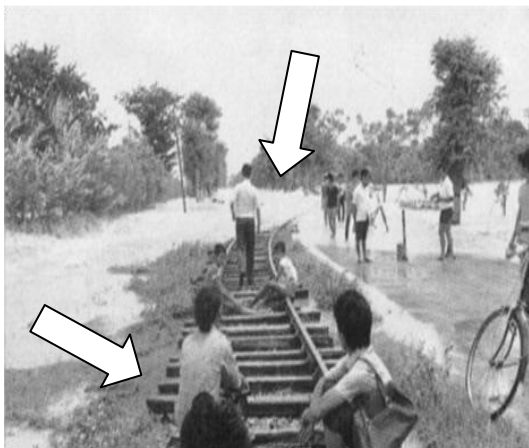
Tipe 1 dan Tipe 1+1 masing-masing $h_1=17$ dan 19 cm. Bangunan pengaman mampu mengurangi panjang longsoran, yaitu pada variasi $h_1=19$ cm, panjang longsoran tanpa bangunan dan dengan bangunan berturut-turut 68,50; 29; dan 26 cm. Hasil penelitian ini akan berguna bagi pengelola perjalanan Kereta Api sebagai pertimbangan keamanan balas terhadap longsoran akibat banjir.

Kata-kata Kunci: Balas rel, Bangunan pengaman, Limpasan banjir, Longsor, Uji model

Pendahuluan

Lintasan Kereta Api terdiri dari gabungan komponen rel (*rails*), bantalan (*sleepers*) dan tumpukan batu (balas). Rel menyangga langsung beban kereta api, yang kemudian disalurkan ke bantalan dan akhirnya didistribusi ke tanah dasar oleh balas. Balas berfungsi vital terhadap kekokohan lintasan kereta api (disamping komponen yang lain), tetapi balas sangat rawan terhadap longsor akibat limpasan banjir. Pada bulan Februari 2014 terjadi genangan banjir di Stasiun Mangkang-Semarang, dan terjadi indikasi kelongsoran pada jalur Mangkang-Semarang km 12. Akibat genangan tersebut - demi keamanan- beberapa perjalanan Kereta Api dihentikan. Gambar 1 menunjukkan banjir dan gerusan balas.

Banjir adalah fenomena alam yang susah dicegah dan hanya bisa dikendalikan. Di tempat tertentu banjir sering terjadi, bahkan melimpas pada trek rel pada musim tertentu pula. Limpasan banjir pada trek rel dengan ketinggian tertentu mengakibatkan longsoran batu balas (Atmojo, 2013). Bila hal ini terjadi, maka kekuatan balas menyangga beban akan berkurang, rel akan ambles dan membahayakan pada Kereta Api yang melintas.



Gambar 1. Banjir dan geusan balas rel

Berapa tinggi banjir limpasan yang mengakibatkan longsoran perlu diketahui. Hal tersebut penting untuk dapat digunakan sebagai acuan awal dalam mengatur manajemen lintasan Kereta Api, sehingga dapat mengurangi resiko kecelakaan lintasan Kereta Api. Rekayasa teknik dapat dilakukan guna mengurangi tingkat

kelongsoran, yaitu memasang bangunan pengaman dihilir limpasan, dengan prinsip mengurangi kekuatan daya gerus limpasan.

Penelitian ini akan memodelkan mekanisme limpasan banjir pada trek rel untuk mengetahui korelasi tingkat elevasi limpasan banjir yang menyebabkan longsornya balas rel, dan untuk mengetahui kemampuan bangunan pengaman dalam mengurangi tingkat kelongsoran. Uji Model Hidrolik ini merupakan pemodelan lanjutan dari pemodelan sebelumnya (Atmojo, 2013) tentang korelasi tinggi muka air limpasan dan awal (lokasi) batu mulai longsor. Pemodelan dilaksanakan di Laboratorium Pengaliran Teknik Sipil Universitas Diponegoro, berdasar prototip lintasan Kereta Api Jalur Mangkang-Semarang km 12.

Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh pengelola perjalanan Kereta Api sebagai pertimbangan keamanan balas terhadap longsoran akibat banjir.

Metode Pemodelan dan Material

Metode Pemodelan

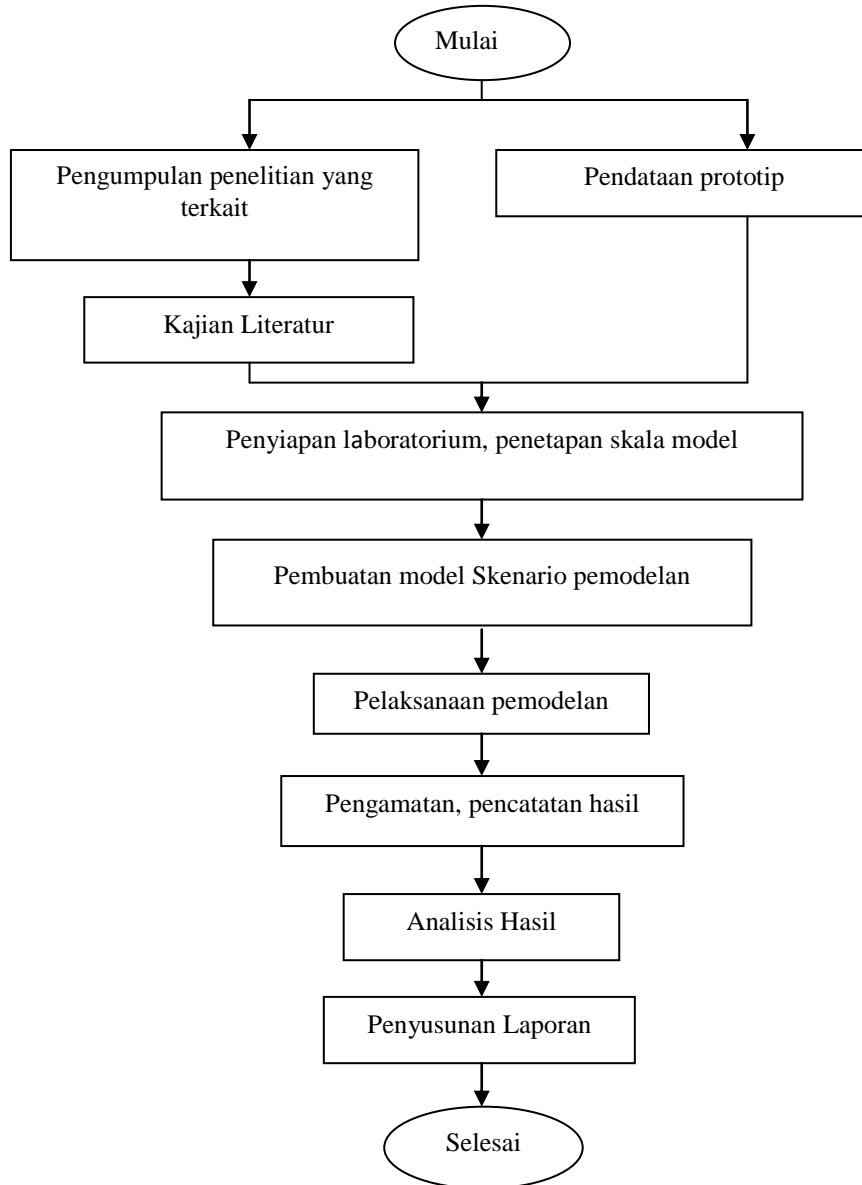
Tahapan pelaksanaan pemodelan dimulai dengan pendataan prototip, pengumpulan dan pemilihan penelitian terdahulu yang terkait sebagai referensi, dan berturut-turut sampai analisis dan laporan. Tahapan penelitian secara lengkap seperti pada Gambar 2. Bagan Alir Pemodelan.

Pemodelan kelongsoran balas rel ini berdasar pada prototip jalur lintas Kereta Api Mangkang-Semarang km 12. Pengukuran di lapangan meliputi topografi, elevasi dan dimensi komponen balas rel serta sampling dimensi batu penyusun balas rel. Dimensi batu balas di lapangan antara 2-6 cm, dan indikasi longsoran tampak di lapangan. Skala pemodelan diambil 1:5 atas dasar pertimbangan kondisi material prototip dan laboratorium (Vries, 1977), sehingga batu yang digunakan pada model antara 0,20 – 1,2 cm.

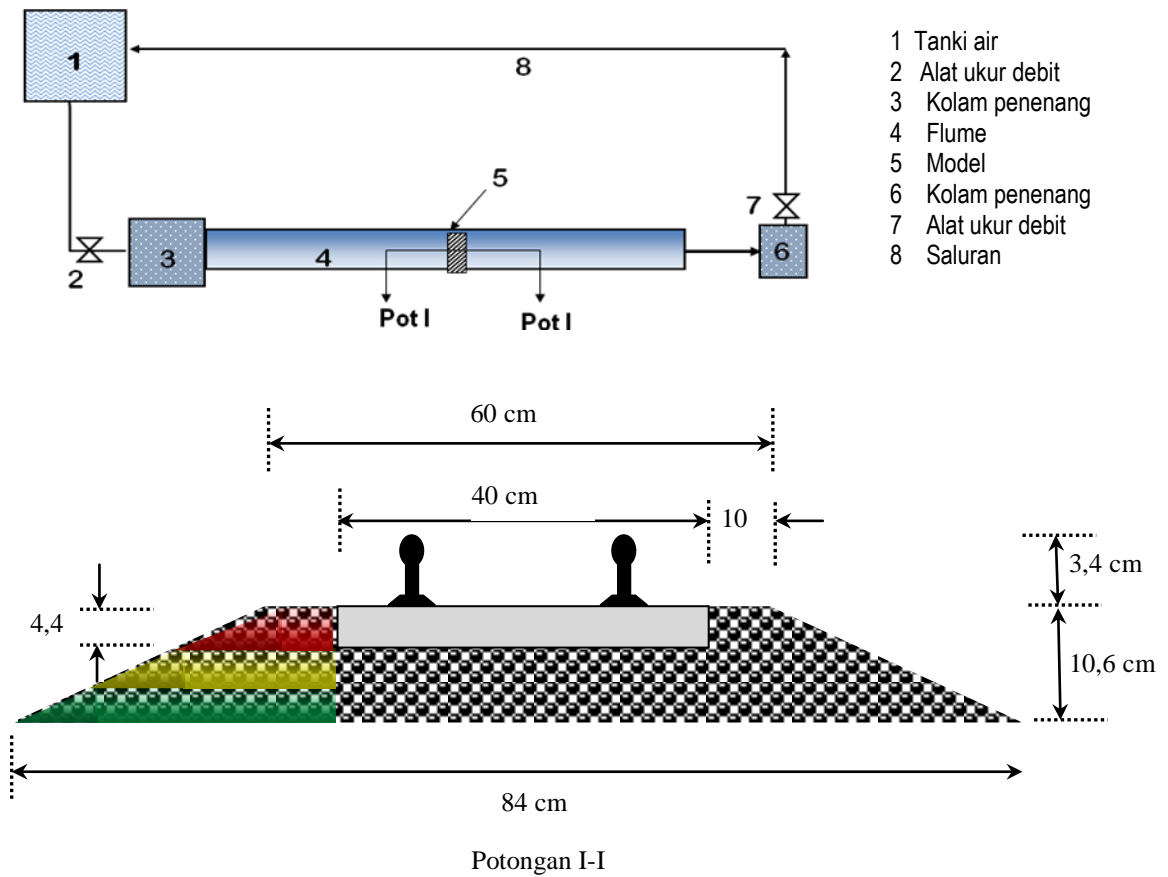
Material dan Pengaturan Alat

Pengaturan dan ukuran model seperti pada Gambar 3, lokasi pengukuran muka air dan lokasi bangunan pengaman pada Gambar 4. Alat-alat penunjang yang digunakan antara lain meliputi :

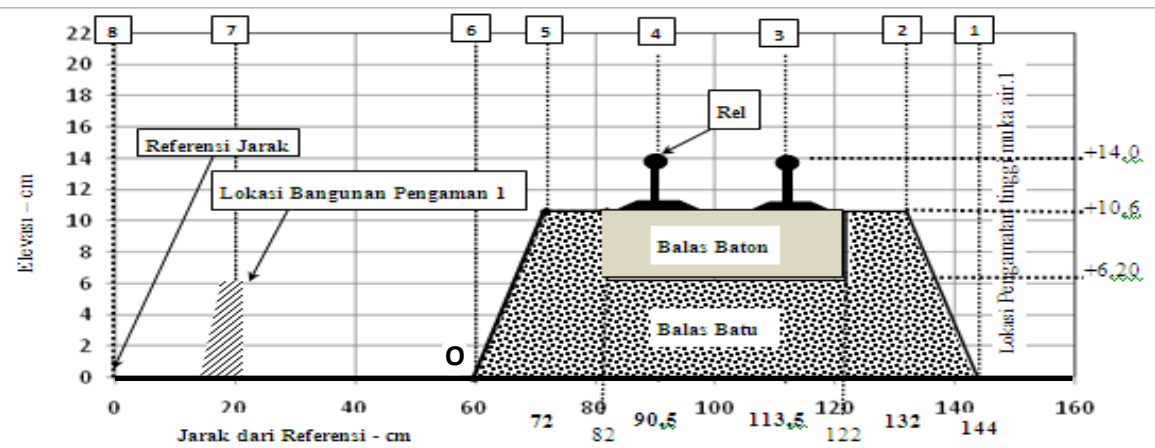
- Saluran talang: 40 cm x 15 cm x 800 cm,
 - Tanki (bak) terbuka: 2x2x1,50 m,
 - Sistem saluran drain dari model ke tanki,
 - Alat ukur debit tipe: Cipoleti,
 - Peil schaal pengukur elevasi muka air sepanjang saluran,
 - Jangka Sorong: Mitutoyo made in Japan,
 - Tustel untuk dokumentasi, dan stop watch,
 - Batu kricak ukuran 0,2-1,20 cm
- Sebagian alat penunjang yang digunakan seperti pada Gambar 5.



Gambar 2. Bagan Alir Pemodelan



Gambar 3. Pengaturan dan ukuran Model



Gambar 4. Delapan Lokasi Pengukuran Tinggi Muka Air dan Lokasi Bangunan Pengaman



Gambar 5. Alat Penunjang Model

Bangunan pengaman yang digunakan pada model ini ada 2 tipe, yaitu: Tipe 1 dan Tipe 1+1. Bangunan Tipe 1+1 adalah seperti bangunan tipe 1 lebih tinggi 2 cm, sket bangunan pengaman seperti pada Gambar 6. Lokasi penempatan bangunan di 40 cm dari hilir kaki balas O (lihat Gambar 4).

kelongsoran. Skenario pemodelan seperti pada Tabel 1.

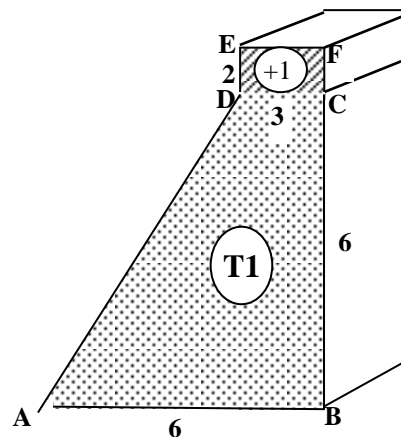
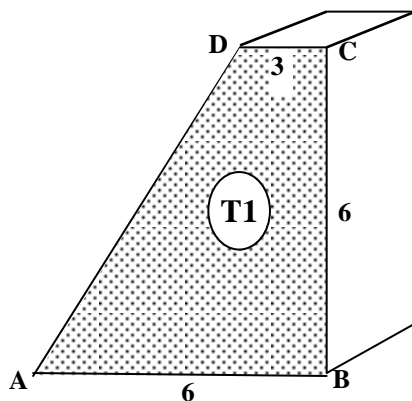
Pelaksanaan-Hasil dan Pembahasan

Hasil Pemodelan Tahap 1: Test Longsoran batu balas

Pelaksanaan Pemodelan

Pemodelan dengan variasi muka air $h_1=10, 12, 14, 15, 17, 19$ dan 20 cm, menghasilkan tinggi muka air pada h_1, h_2 sampai h_8 seperti pada Tabel 2, dan elevasi profil longsoran akhir pemodelan seperti Tabel 3. Gambar profil muka air dan longsoran masing-masing seperti pada Gambar 7 dan Gambar 8.

Pelaksanaan pemodelan dilakukan tiga tahap, yaitu: Tahap 1 Test Kelongsoran Batu Balas, Tahap 2: Test Efek Bangunan Pengaman Tipe 1 terhadap kelongsoran, Tahap 3: Test Efek Bangunan Pengaman Tipe 1+1 terhadap



Gambar 6. Bangunan Pengaman Tipe 1 dan Tipe 1+1

Tabel 1. Skenario Pemodelan

No	Kegiatan	Pelaksanaan	Pengamatan	Hasil
1	Tahap 1: Test Longsor batu balas	<ol style="list-style-type: none"> Tumpukan batu di tata sesuai rencana, dan pada ujung hilir di buat 3 lapis. Lapisan dari atas merah, kuning, hijau, dengan tebal kira-kira sama. Debit dialirkan perlahan, sampai 7 variasi tinggi muka air, yaitu dari variasi 1: $h_1=10$ cm, variasi 2: $h_1=12$ cm sampai 20 cm, sbb : <ol style="list-style-type: none"> $h_1=10$ cm, Limpasan= 0 $h_1=12$ cm, Limpasan= 0 $h_1=14$ cm, Limpasan= 0 $h_1=15$ cm, Limp= ? cm $h_1=17$ cm, Limp= ? cm $h_1=19$ cm, Limp= ? cm $h_1=20$ cm, Limp= ? cm <p>Masing-masing running pada posisi muka air sudah mencapai tinggi rencana (aliran sudah stabil) di tunggu selama 5 menit, ma dan debit diukur, dan kemudian debit berangsur dikurangi sampai habis (nol)</p>	<p>Tebal dan urutan lapisan batu warna</p> <p>Tinggi ma h_1 sampai h_8, termasuk tinggi limpasan di atas kepala rel.</p> <p>Elevasi muka air di h_1, h_2 sampai h_8 dan debit diukur, kemudian di setop perlahan. Diukur elevasi/profil longsor batu, yaitu elevasi pada jarak setiap 5cm dari titik kaki hilir tumpukan batu (O) ke hulu dan ke hilir.</p>	<p>Tebal lapisan dan susunan warna lapisan sesuai rencana /tidak</p> <p>Tinggi ma h_1 sampai h_8 pada setiap variasi tinggi ma, dan tinggi limpasan diatas kepala rel.</p> <p>Besarnya debit di setiap variasi ma. Tinggi muka air di h_1, h_2 sampai h_8, Profil longsor diukur setelah selesai percobaan.</p>
2	Tahap 2: Test Efek Bangunan Pengaman Longsor Balas -Tipe1	<p>Siapkan bangunan pengaman longsor Tipe 1.</p> <ol style="list-style-type: none"> Pasang bangunan pengaman longsor Tipe.1 di lokasi 1 Running dimulai pada elevasi ma yang mengakibatkan longsor (lihat data Tahap 1) sampai variasi terakhir $h_1=20$. <ol style="list-style-type: none"> $h_1=15$ cm, Limp= ? cm $h_1=17$ cm, Limp= ? cm $h_1=19$ cm, Limp= ? cm $h_1=20$ cm, Limp= ? cm <p>Pelaksanaan percobaan seperti pada tahap.1</p>	<p>Bangunan Lokasi 1</p> <p>.</p> <p>Tinggi ma h_1 sampai h_8, termasuk tinggi limpasan di atas kepala rel.</p> <p>Lima menit setelah aliran stabil pada elevasi rencana, elevasi muka air di h_1, h_2 sampai h_8 dan debit diukur, kemudian di setop perlahan.</p> <p>Diukur elevasi/profil longsor batu, yaitu elevasi pada jarak setiap 5 cm dari titik kaki hilir tumpukan batu (O) ke hulu dan ke hilir</p>	<p>Lokasi bangunan sesuai rencana</p> <p>Data profil ma, longsor akhir dan gambar (semua variasi)</p>
3	Tahap 3: Test Efek Bangunan Pengaman Longsor Balas-Tipe 1+1	<p>Siapkan bangunan pengaman longsor Tipe 1+1.</p> <ol style="list-style-type: none"> Pasang bangunan pengaman longsor Tipe.1+1 di lokasi 1 Running dimulai pada elevasi ma yang mengakibatkan longsor (lihat data Tahap 1) sampai variasi terakhir $h_1=20$. <ol style="list-style-type: none"> $h_1=15$ cm, Limp= ? cm $h_1=17$ cm, Limp= ? cm $h_1=19$ cm, Limp= ? cm $h_1=20$ cm, Limp= ? cm <p>Pelaksanaan percobaan seperti pada tahap.2</p>	<p>Bangunan Lokasi 1</p> <p>Tinggi ma h_1 sampai h_8, termasuk tinggi limpasan di atas kepala rel.</p> <p>Lima menit setelah aliran stabil pada elevasi rencana, elevasi muka air di h_1, h_2 sampai h_8 dan debit diukur, kemudian di setop perlahan. Diukur elevasi/profil longsor batu, yaitu elevasi pada jarak setiap 5 cm dari titik kaki hilir tumpukan batu (O) ke hulu dan ke hilir.</p>	<p>Lokasi bangunan sesuai rencana</p> <p>data profil ma, longsor akhir dan gambar (semua variasi)</p>

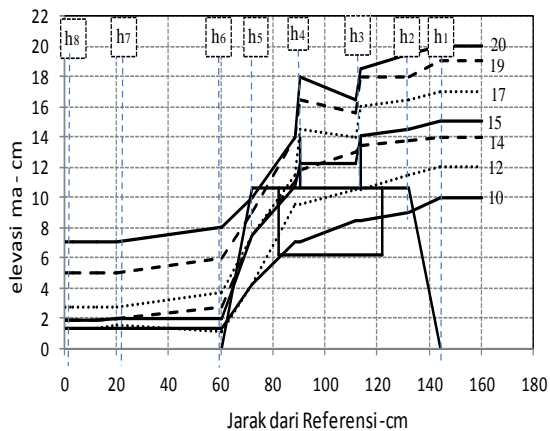
Tabel 2. Tinggi Muka Air di Lokasi Pengukuran Tahap.1 Variasi $h_1=10$ sampai 20 cm

Lokasi pengukuran	Jarak dari Referensi	h_1							
		10 cm	12 cm	14 cm	15 cm	17 cm	19 cm	20 cm	
8 d/s	0,0	1,3	1,3	1,8	1,9	2,7	5,0	7,0	
8 u/s	1,0	1,3	1,3	1,8	1,9	2,7	5,0	7,0	
7 d/s	12,0	1,3	1,3	1,8	1,9	2,7	5,0	7,0	
7 u/s	20,0	1,3	1,5	2,0	2,0	2,7	5,0	7,0	
6	60,0	1,3	1,1	2,7	2,0	3,7	6,0	8,0	
5	72,0	4,2	4,2	7,5	7,5	7,5	9,0	10,0	
4 d/s	88,5	7,0	9,5	11	10,7	11,5	16,0	17,0	
4 u/s	90,5	7,0	9,5	11,8	12,2	14,5	16,5	18,0	
3 d/s	111,5	8,4	10,5	13,4	12,2	14,0	16,6	18,5	
3 u/s	113,5	8,4	10,5	13,4	14,1	16,0	18,0	19,0	
2	132,0	9,0	11,5	13,7	14,5	16,5	18,0	19,5	
1	144,0	10,0	12,0	14,0	15,0	17,0	19,0	20,0	
	160,0	10,0	12,0	14,0	15,0	17,0	19,0	20,0	

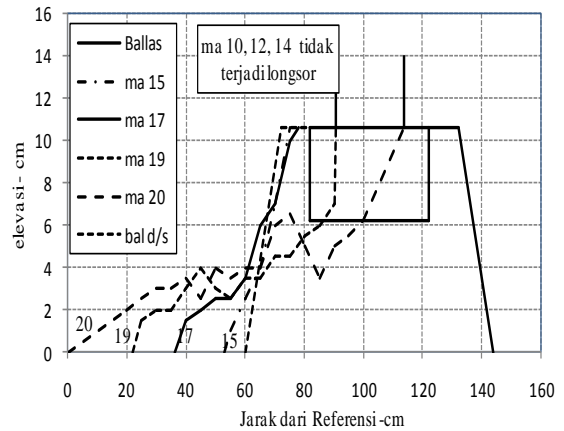
Catatan: d/s: down stream, u/s: up stream

Tabel 3. Elevasi Profil Longsoran Akhir Tahap.1 Variasi Muka Air $h_1=15, 17, 19$ dan 20 cm

Jarak dari Referensi	$h_1=15$	Jarak dari Referensi	$h_1=17$	Jarak dari Referensi	$h_1=19$	Jarak dari Referensi	$h_1=20$
0,0		0		0,0		0,0	0,0
20,0		20,0		22,0	0,0	20,0	2,0
25,0		25,0		25,0	1,5	25,0	2,5
30,0		30,0		30,0	2,0	30,0	3,0
35,0		36,0	0,0	35,0	2,0	35,0	3,0
40,0		40,0	1,5	40,0	3,0	40,0	3,5
45,0		45,0	2	45,0	4,0	45,0	2,5
53,0	0,0	50,0	2,5	50,0	3,0	50,0	4,0
55,0	1,0	55,0	2,5	55,0	2,5	55,0	3,5
60,0	2,5	60,0	3,5	60,0	3,5	60,0	4,0
65,0	4,0	65,0	6,0	65,0	3,5	65,0	4,0
70,0	7,0	70,0	7,0	70,0	4,5	70,0	6,0
75,0	10,6	75,0	10,0	75,0	4,5	75,0	6,5
80,0		78,0	10,6	80,0	5,5	80,0	5,0
85,0		85,0		85,0	6,0	85,0	3,5
90,0		90,0		90,0	7,0	90,0	5,0
90,5		90,5		90,5	10,6	95,0	5,5
						100,0	6,2
						113,5	10,6



Gambar 7. Profil Muka Air Pemodelan Tahap 1 Tanpa Bangunan Pengaman



Gambar 8. Profil Longsoran Pemodelan Tahap 1 Tanpa Bangunan Pengaman

Hasil Pemodelan Dengan Bangunan Pengaman Tahap 2: Test Efek Bangunan Pengaman Longsor Tipe 1.

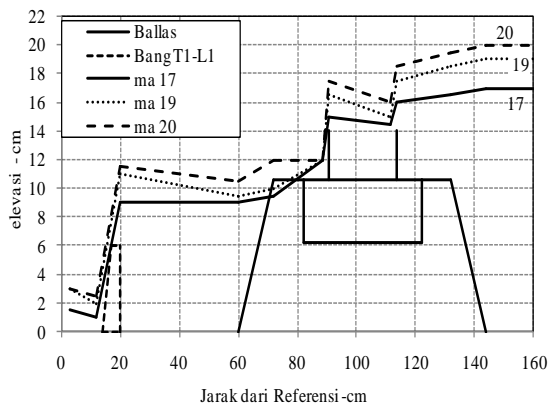
Pemodelan dengan variasi muka air $h_1 = 17, 19$ dan 20 cm, menghasilkan tinggi muka air pada pengukuran h_1, h_2 sampai h_8 seperti pada Tabel 4, dan elevasi profil longsor seperti Tabel 5. Gambar profil muka air dan longsor masing-masing seperti pada Gambar 9 dan 10.

Tabel 4. Tinggi Muka Air di Lokasi Pengukuran Tahap 2. Variasi $h_1 = 17, 19$ dan 20 cm

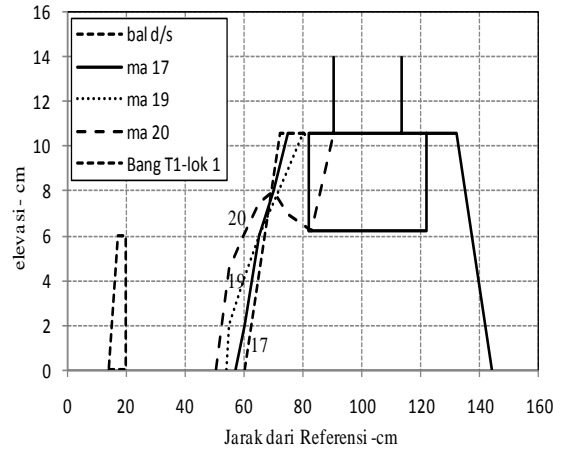
Lokasi pengukuran	Jarak dari Referensi	h_1		
		17 cm	19 cm	20 cm
8d	0	1,5	3	3
8u	3	1,5	3	3
7d	12,0	1	2	2,5
7u	20,0	9	11	11,5
6	60,0	9	9,5	10,5
5	72,0	9,5	10	12
4d	88,5	12	12	12
4u	90,5	15	16,5	17,5
3d	111,5	14,5	15	16
3u	113,5	16	17,5	18,5
2	132,0	16,5	18,5	19,5
1	144,0	17	19	20
	160,0	17	19	20

Tabel 5. Elevasi Profil Longsor Akhir Tahap 2 Variasi Muka Air $h_1 = 17, 19$ dan 20 cm

Jarak dari Referensi	$h_1 = 17$	Jarak dari Referensi	$h_1 = 19$	Jarak dari Referensi	$h_1 = 20$
40		40		40	
45		45		45	
50		54	0	50,5	0
57	0	55	2	55	4,5
60	2	60	4	60	6
65	6	65	6	65	7,5
70	8	70	7,5	70	8
75	10,6	75	9	75	7
78		80	10,5	80	6,5
85		83	10,6	83	6,2
90		90		90,5	10,6
90,5		90,5		95	
				100	
				113,5	



Gambar 9. Profil Muka Air Pemodelan Tahap 2 Bangunan Tipe 1



Gambar 10. Profil Longsor Pemodelan Tahap 2 Bangunan Tipe 1

Hasil Tahap 3: Test Efek Bangunan Pengaman Longsor Balas -Tipe1+1.

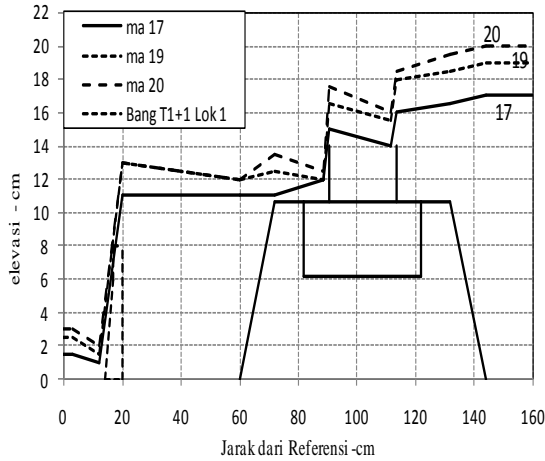
Pemodelan dengan bangunan Tipe 1+1, variasi muka air $h_1 = 17, 19$ dan 20 cm, menghasilkan tinggi muka air pada h_1, h_2 sampai h_8 seperti pada Tabel 6, dan elevasi profil longsor seperti Tabel 7. Gambar profil muka air dan longsor masing-masing seperti pada Gambar 11 dan Gambar 12.

Tabel 6. Tinggi Muka Air di Lokasi Pengukuran Tahap 3 Variasi $h_1 = 17$ sampai 20 cm

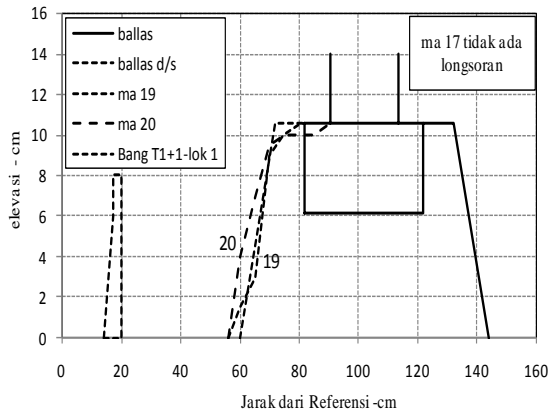
Lokasi pengukuran	Jarak dari Referensi	h_1		
		17 cm	19 cm	20 cm
8d	0,0	1,5	2,5	3,0
8u	1,0	1,5	2,5	3,0
7d	12,0	1,0	1,5	2,0
7u	20,0	11,0	13,0	13,0
6	60,0	11,0	12,0	12,0
5	72,0	11,0	12,5	13,5
4d	88,5	12,0	12,0	12,5
4u	90,5	15,0	16,5	17,5
3d	111,5	14,0	15,5	16,0
3u	113,5	16,0	18,0	18,5
2	132,0	16,5	18,5	19,5
1	144,0	17,0	19,0	20,0
	160,0	17,0	19,0	20,0

Tabel 7. Elevasi Profil Longsor Akhir Tahap 3 Variasi Muka Air $h_1 = 17, 19$ dan 20 cm

Jarak dari Referensi	$h_1 = 17$	Jarak dari Referensi	$h_1 = 19$	Jarak dari Referensi	$h_1 = 20$
40		40,0		40,0	
45		45,0		45,0	
50		52,0		50,0	
57		56,0	0,0	56,0	0,0
60	Tidak	60,0	1,5	60,0	4,0
72	terjadi	65,0	3,0	65,0	7,0
80	longsor	70,0	9,0	70,0	9,5
75	an	75,0	10,0	75,0	10,0
78		80,0	10,5	80,0	10,0
85		82,0	10,6	85,0	10,0
90		90,0		90,5	10,6
90,5		90,5		95,0	



Gambar 11. Profil Muka Air Pemodelan Tahap 3 Bangunan Tipe 1+1



Gambar 12. Profil Longsoran Pemodelan Tahap 3 Bangunan Tipe 1+1

Tinggi muka air yang melimpas rel pada variasi $h_1=15, 17, 19$ dan 20 cm, atau yang mengakibatkan terjadinya longsor pada balas adalah seperti Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Tinggi muka air yang limpas rel pada variasi $h_1=15, 17, 19$ dan 20 cm

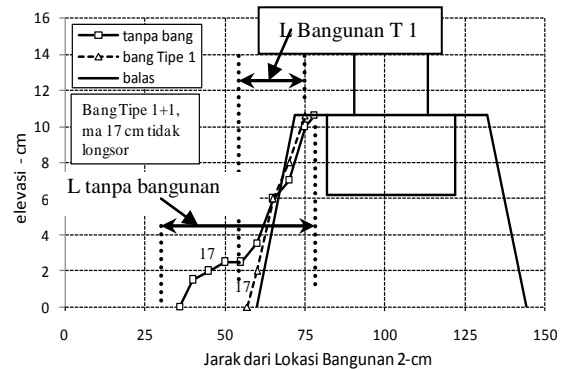
Variasi h_1 cm	Tinggi muka air limpas rel hilir (h_{3u})					
	Tanpa bangunan		Bangunan Tipe 1		Bangunan Tipe 1+1	
	h_{3u}	limpas-cm	h_{3u}	limpas-cm	h_{3u}	limpas-cm
15	14,1	0,1				
17	16	2	16	2	16	2(tdk longsor)
19	18	4	18	4	18	4
20	19	5	18,5	4,5	18,5	4,5

Pembahasan

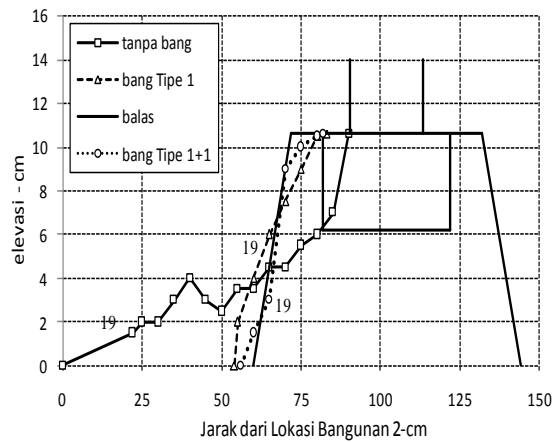
Pada pemodelan Tahap 1, variasi muka air $h_1=10, 12, 14, 15, 17, 19$ dan 20 cm. Dari 7 variasi muka air, yang mengakibatkan longsor pada balas adalah limpasan pada variasi $h_1= 15, 17, 19,$ dan 20 cm, dengan panjang longsor berturut-turut: $22, 42, 68,5$, dan $113,5$ cm. Sedangkan variasi $h_1= 10, 12$ dan 14 cm tidak mengakibatkan longsor pada balas. Hal ini karena aliran yang

melewati dan keluar di hilir balas pada posisi rendah, sehingga tidak mampu menggerus balas atau kecepatan aliran lebih kecil dari kecepatan kritis batu balas (Breusers, 1988, Isbash, 1935). Lihat Gambar 7.

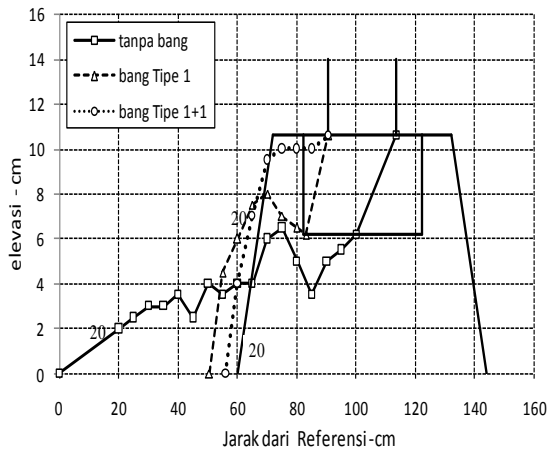
Pemodelan Tahap 2 (dengan bangunan Tipe 1), variasi tinggi muka air h_1 yang mengakibatkan longsor adalah $17, 19$ dan 20 cm. Panjang longsor berturut-turut $18, 29,$ dan 40 cm. Sedangkan pemodelan Tahap 3 (dengan bangunan Tipe 1+1), tinggi muka air yang mengakibatkan longsor adalah variasi $h_1=19$ dan 20 cm, dengan panjang longsor masing-masing 26 dan $34,5$ cm. Pada uji Tahap 3 ini, variasi $h_1=17$ cm tidak terjadi longsor pada balas. Pada kondisi ini, posisi muka air di hilir rel hilir (h_5) di atas elevasi atas, balas akibat redaman bangunan T1+1. Sehingga daya gerus di balas hilir tidak mampu menggerus balas. Gambar 13, 14 dan 15 menunjukkan grafik perbandingan longsor kondisi tanpa bangunan, dengan bangunan Tipe 1, dan dengan bangunan Tipe 1+1 untuk variasi $h_1=17, 19$ dan 20 cm.



Gambar 13. Longsoran Tanpa bangunan dan dengan bangunan Tipe 1 Variasi $h_1=17$ cm



Gambar 14. Longsoran Tanpa bangunan dan dengan bangunan Tipe 1 dan Tipe 1+1 Variasi $h_1=19$ cm

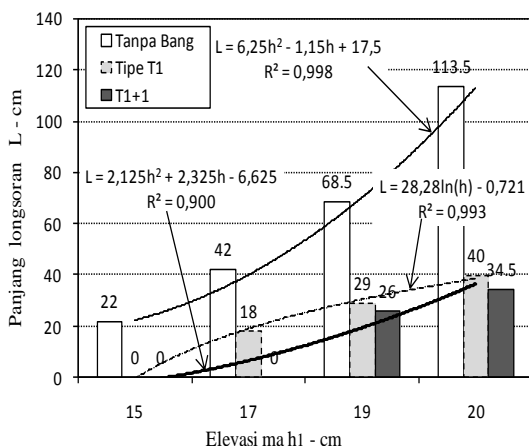


Gambar 15. Longsoran Tanpa bangunan dan dengan bangunan Tipe 1 dan Tipe 1+1 Variasi $h_1=20$ cm

Pemasangan bangunan pengaman baik Tipe 1 maupun Tipe 1+1 di lokasi 1 (L1) mempunyai efek mengurangi panjang longsoran. Panjang longsoran tanpa bangunan dan ada bangunan serta prosentase pengurangan longsoran, seperti Tabel 9 dan Gambar 16.

Tabel 9. Panjang Longsoran (cm) dan Prosentase Pengurangan Longsoran (%)

muka air h_1 cm	tanpa bangunan	Lokasi 1		% tase Pengurangan Panjang Longsoran	
		T1	T1+1	T1	T1+1
15	22	0	0		
17	42	18	0	57,14	100
19	68,5	29	26	57,66	62,04
20	113,5	40	34,5	64,76	69,60



Gambar 16. Panjang longsoran kondisi tanpa bangunan, dengan bangunan Tipe 1 dan Tipe 1+1 Variasi $h_1=15, 17, 19$ dan 20 cm dan Korelasi L-h

Perbandingan panjang longsoran antara model Tahap 1 (tanpa bangunan), Tahap 2 (bangunan

Tipe 1), dan Tahap 3 (bangunan Tipe 1+1) seperti pada Gambar 16. Dari hasil tersebut, dapat dinyatakan bahwa efek bangunan pengaman sangat nyata (significant) dalam mengurangi/meredam longsoran. Kondisi tanpa bangunan, balas sudah longsor pada variasi $h_1=15$ cm (limpas rel 0,10 cm). Tetapi dengan pemasangan bangunan Tipe 1, balas baru longsor pada variasi $h_1=17$ cm (limpas rel 2 cm), dan dengan Tipe 1+1 baru longsor pada variasi $h_1=19$ cm (limpas rel 4 cm).

Bangunan Tipe 1 mengakibatkan elevasi muka air hilir tinggi. Pada variasi $h_1=17$ cm, elevasi muka air hilir mendekati elevasi balas atas +10,60 cm, sehingga mampu mengurangi/meredam daya gerus limpasan, dan efeknya gerusan yang terjadi lebih pendek. Bangunan Tipe T1+1 (lebih tinggi 2 cm dari Tipe 1), elevasi muka air hilir makin tinggi, sehingga pada variasi $h_1=17$ cm, tidak terjadi gerusan, karena mampu meredam daya gerusan. Tetapi makin tinggi variasi h_1 , berakibat beda muka air hulu dan hilir makin besar, daya gerus meningkat dan terjadi gerusan (Atmojo, 1992).

Pemasangan bangunan Tipe 1 (T1) sangat nyata pengaruhnya terhadap pengurangan longsoran. Bangunan Tipe T1+1 pada variasi muka air rendah sangat nyata mampu mengamankan longsoran, tetapi pada variasi muka air tinggi (19 dan 20 cm) pengaruhnya tidak jauh berbeda dengan Tipe 1.

Korelasi antara panjang longsoran L dan tinggi variasi h_1 (sebut h), setiap kondisi sbb:

Tanpa Bangunan:

$$L = 6,25h^2 - 1,15h + 17,5, \text{ dengan nilai } R^2 = 0,998$$

Bangunan Tipe 1:

$$L = 28,28\ln(h) - 0,721, \text{ dengan nilai } R^2 = 0,993$$

Bangunan Tipe 1+1:

$$L = 2,125h^2 + 2,325h - 6,625, \text{ dengan nilai } R^2 = 0,900$$

Dari korelasi tersebut, maka pada variasi h yang sama gerusan yang terjadi berbeda. Tanpa bangunan pengaman gerusan akan terjadi jauh lebih panjang di banding dengan adanya bangunan Tipe.1 dan Tipe.2. Sedangkan efek bangunan Tipe 1+1 terhadap pengurangan longsoran dibanding dengan efek bangunan Tipe 1 tidak jauh berbeda.

Kesimpulan

Dari data hasil pemodelan dengan beberapa variasi muka air h_1 , tanpa bangunan dan dengan

bangunan baik Tipe T1 dan T1+1 di lokasi L1, serta pembahasan diatas, maka dapat disimpulkan sbb:

1. Bangunan pengaman mampu meredam/mengurangi panjang longsoran cukup nyata. Makin tinggi bangunan peredaman longsoran makin baik untuk mengurangi panjang longsoran. Panjang longsoran dan kemampuan bangunan mengurangi panjang longsoran berdasar Tipe dan variasi h_1 seperti pada Tabel 10. berikut:

Tabel 10. Panjang longsoran dan Prosentasi Pengurangan panjang longsoran

muka air h_1 cm	Panjang Longsoran tanpa bangunan (cm)	% tase Pengurangan Panjang Longsoran (%)			
		Panjang Longsoran bangunan		Panjang Longsoran	
		T1 (cm)	T1+1 (cm)	T1	T1+1
15	22,0	0	0,0	100,00	100,00
17	42,0	18	0,0	57,14	100,00
19	68,5	29	26,0	57,66	62,04
20	113,5	40	34,5	64,76	69,60

2. Panjang longsoran L dipengaruhi oleh tinggi muka air h_1 dan tinggi bagunan/tipe bangunan pengaman, dengan korelasi antara L dan h sbb:

Tanpa Bangunan : $L = 6,25 h^2 - 1,15 h + 17,5$, dengan nilai $R^2 = 0,998$

Bangunan T1 : $L = 28,28 \ln(h) - 0,721$, dengan nilai $R^2 = 0,993$

Bangunan T1+1 : $L = 2,125 h^2 + 2,325 h - 6,625$, dengan nilai $R^2 = 0,900$

3. Panjang longsor balas akibat banjir limpasan, dapat dikurangi dengan merekayasa pengendalian elevasi muka air hilir sedemikian rupa sehingga muka air hilir

limpasan selalu diatas elevasi balas atas (*Top elevation of ballast*).

Saran

Hasil penelitian menunjukkan ada efek bangunan terhadap peredaman longsoran atau pengurangan panjang longsoran akibat limpaan banjir yang cukup nyata. Penelitian diatas hanya menggunakan bangunan 2 tipe yang diletakkan pada satu lokasi. Agar hasil penelitian ini bisa digunakan lebih luas, maka perlu kiranya dilaksanakan penelitian serupa lanjutan, dengan menggunakan tipe bangunan lebih bervariasi dan lokasi peletakan bangunan tidak hanya disatu tempat.

Daftar Pustaka

Atmojo,P.S, 1992. *Cofferdam Limpas PLTA Tulis-Sdtudi Kasus*, Seminar KBK Hidro Undip.

Atmojo, P.S, 2013. *Uji Model Hidrolik Gerusan Tumpukan Batu Balas Rel Kereta Api*.

Breusers HNC, 1988 , *Lecture Notes on Sediment Transpor.1* , IHE Delft, Nederland

Isbash, N.V, 1935. *Construction of dams and other structures by dumping stone into flowing water*, Trans. Res. Inst. Hydrot. Leningrad 17 p.12-66

Kodoatie,J,R, 2002. *Hidrolika Terapan pada Aliran Terbuka dan Pipa*, Andi Offset, Yogyakarta

Kompas, 5 Februari 2007

Maynord, S.T, 1978. *Practical rip rap design*, U.S.W.E.S Vicksburg. Paper H-78-7

Vries, de. M ,1977. *Scale Model in Hydraulic Engineering*. Lecture Note, IHE, Delft, Nederland