PENGUJIAN MODEL FISIK TERHADAP KARAKTERISTIK HIDRAULIK AKIBAT PEMASANGAN *GROUNDSILL* PADA SALURAN PEMBAWA BANGUNAN PELIMPAH BENDUNGAN PIDEKSO

Krisna Sulistya[1,*)], Indrawan[2)], Ignatius Sriyana[3)]

[1)] BBWS Bengawan Solo, Direktorat Jenderal SDA, Kementerian PUPR
Jl. Solo-Kartasura KM.7, PO Box 267, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo 57162
[2)] Balai Teknik Sungai, Direktorat Jenderal SDA, Kementerian PUPR
Jl. Solo-Kartasura KM.7, PO Box 267, Pabelan, Kartasura, Sukoharjo 57162
[3)]Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275
[*)] Email : krisna.sulistya@pu.go.id

Abstract
Pidekso Dam is located in Pidekso Village, Wonogiri Regency, Central Java Province. The Pidekso Dam Spillway Building mode test was carried out to verify any deficiencies or design errors that might occur. One of the scope works in spillway model is a carrier channel downstream of the spillway which is 360 m long. To overcome the scour that occurs in the carrier channel downstream of the spillway, in the 4th series test, a groundsill structure was installed as a basic stabilizer for the carrier channel. The method is used in modelling include physical modelling, drainage testing, and observation of water flow and scouring that occurs at the bottom of the channel. The carrier channel groove model and the groundsill structure are made with a 1:40 scale both upright and flat (without distortion). The model test shows that the water flow in the carrier channel upstream of the groundsill is even and uniform with the bottom material of the channel not moving. At the bottom of the channel on the outer side of the bend which is assumed to be granular material, it is scoured to a depth of 2.68 m on the Z9 profile. This profile needs to be protected by rip-rap of concrete blocks, unless the base of the existing channel is a hard bedrock.

Kata kunci ***:*** *physical hydraulic model test, Spillway, carrier channel, groundsill, scouring*

PENDAHULUAN

Bendungan Pidekso direncanakan dibangun pada Sungai Bengawan Solo bagian hulu di Kecamatan Giriwoyo, Kabupaten Wonogiri, propinsi Jawa Tengah. Bendungan dilengkapi dengan bangunan pelimpah *(spillway),* bangunan pelimpah adalah bangunan pelengkap bendungan yang berfungsi untuk melimpahkan kelebihan air dan debit banjir keluar dari waduk ke sungai di bagian hilir bendungan. Peranan bangunan pelimpah ini sangat penting karena berfungsi untuk pengamanan bendungan dari melimpasnya air banjir di atas tubuh bendungan.

Desain bangunan pelimpah Bendungan Pidekso perlu dilakukan penyempurnaan mengingat

kemungkinan masih adanya faktor-faktor yang belum terakomodasi dalam pertimbangan desain, sehingga bahaya hidraulik yang mungkin terjadi dapat diantisipasi. Sarwono & Kirno (2014) melakukan perbaikan dan penyempurnaan desain bangunan pelimpah Cileweung dengan menggunakan uji model hidrolik. Hasil penyempurnaan didapat modifikasi dalam desain awal, seri uji terbaik akan digunakan sebagai bahan rekomendasi untuk diterapkan di lapangan.

Uji model hidraulik fisik bangunan pelimpah Bendungan Pidekso dilakukan dengan beberapa modifikasi pada desain awal, salah satu modifikasi yang dilakukan pengujian pada seri ke-4 adalah penambahan struktur *groundsill* dan rip- rap pada saluran pembawa di hilir bangunan pelimpah Bendungan Pidekso. Lufira & Marsudi (2015) pada uji pengaliran model fisik bangunan pelimpah Bendungan Sukohurip menyatakan untuk keperluan pengamanan elevasi dasar sungai di hilir peredam energi diperlukan pemasangan *groundsill* yang diletakkan pada jarak 150 m dari pertemuan escape channel dengan sungai asli.

Purwanto (2015) dalam penelitiannya terhadap model pengendali gerusan berupa pemasangan *groundsill* dan abutmen bersayap di sekitar abutmen jembatan memperlihatkan bahwa bentuk *wing wall* abutmen dan jarak *groundsill* mampu meminimalkan gerusan maksimum yang terjadi di sekitar abutmen. Ragilia (2021) dalam kajiannya berdasarkan beberapa literatur yang ada terhadap efektivitas pembangunan *groundsill* dalam mengurangi gerusan dasar sungai. Penulis menyimpulkan bahwa struktur *groundsill* dapat mengurangi transportasi sedimen pada sungai sehingga dapat mengendalikan penurunan dasar sungai.

Pemasangan rip- rap juga dapat membantu mengurangi gerusan pada dasar saluran air. Zulfan (2017) melakukan pengujian terhadap model hidraulik fisik 3 dimensi untuk mendapatkan alternatif desain perkuatan dasar saluran hilir Bendung Rengrang, Jawa Barat. Hasil pengujian pemasangan rip- rap batu pada hilir bendung yang awalnya terjadi gerusan maksimum sedalam 3,5 meter sebelum dipasang rip- rap berkurang menjadi 1,75 meter setelap dipasang rip- rap.

Sebelum dilakukan pengujian pemasangan *groundsill* pada model saluran pembawa Bendungan Pidekso, telah dilakukan pengujian seri-1 sampai dengan seri-3 yang dimaksudkan untuk melakukan modifikasi pada struktur bangunan pelimpah Bendungan Pidekso. Pada pengujian seri-3, berupa pengujian stabilitas dasar saluran pembawa dengan menggunakan butiran pasir d_{50} = 1,15 mm di model (sebangun dengan 46 mm di prototip), hasilnya material pada model saluran pembawa masih mengalami sedikit pergerakan terutama untuk butiran yang lebih halus, sedangkan di sekitar peralihan ke sungai asli terjadi gerusan yang signifikan karena kemiringan dasar sungai yang curam (terdapat beda

tinggi 2m antara dasar saluran pembawa dengan dasar sungai asli).

Maksud dari penelitian ini adalah menguji desain *groundsill* untuk menstabilkan dasar saluran pembawa pada bangunan pelimpah Bendungan Pidekso dan menguji pengamanan dasar sungai di hilir *groundsill* terhadap bahaya gerusan menggunakan uji model hidraulik fisik tiga dimensi. Selain itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi aliran air dan dasar saluran pembawa bangunan pelimpah Bendungan Pidekso setelah dipasang *groundsill*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Balai Teknik Sungai, Direktorat Sungai Pantai, Dirjen SDA, Kementerian PUPR di Surakarta. Penelitian dilakukan dengan uji hidraulik fisik saluran pembawa dengan penambahan struktur *groundsill.* Penelitian fisik di Laboratorium meliputi tahapan: studi literatur, persiapan alat, persiapan bahan, pembuatan model, dan pengumpulan data dari pengujian model.

Model dibuat dengan skala 1:40 dari prototip di lapangan, baik skala tegak (N_h) maupun skala datar (N_L). Di dalam *Standar Nasional Indonesia: 3965* (2008), disebutkan skala parameter hidraulik dapat diturunkan dari kriteria kesebangunan bilangan *Froude* sehingga diperoleh skala parameter hidraulik sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Adapun bahan/ material dalam pembuatan model yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Air yang dapat dipompa dari bak tandon secara sirkulasi sesuai kebutuhan debit yang diinginkan.
b. Bahan model material dasar sungai berupa butiran pasir diameter d_{50} = 1,15 mm.
c. Model saluran pembawa terbuat dari batu bata diplester dan model *groundsill* terbuat dari *akrilik.*

Sedangkan peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut :

a. Seperangkat alat jarum duga *(point gauge).* Bangunan pelimpah yang dilengkapi pintu air di hulu alat ukur debit, berfungsi untuk mengatur debit aliran yang dibutuhkan.
b. Alat ukur debit (*Thomson* atau *V-notch*) untuk mengukur debit yang dibutuhkan.
c. Stop watch, digunakan untuk menetukan waktu tiap satuan waktu yang ditentukan, untuk mengambil data kedalaman gerusan selama pengaliran (running) berlangsung.
d. Kamera, digunakan untuk dokumentasi selama percobaan berlangsung.

Raju (1986) menjelaskan suatu saluran terbuka yang mempunyai sedimen lepas *(loose sediment)* diatur pada kemiringan tertentu di mana aliran seragam terjadi pada debit yang berbeda. Sebagai akibatnya, pada debit yang rendah ketika kedalaman dan tegangan geser kecil, partikel sedimen

akan berhenti dan aliran itu sama dengan yang ada batasan kukuh.

Tabel 1. Skala Parameter Permodelan

No	Parameter	Notasi	Persamaan	Rasio (N_h=N_L=40)
1.	Kecepatan aliran	v	$nv = n_h^{1/2}$	nv = 6,32
2.	Waktu aliran	T	$nt = n_h^{1/2}$	nt = 6,32
3.	Debit aliran	Q	$nQ = n_h^{5/2}$	nQ = 10.119
4.	Volume	V	$nv = n_h^{3}$	nv = 64.000
5.	Koefisien *manning*	n	$nn = n_h^{1/6}$	Nn = 1,85

Gambar 1. Model saluran pembawa dan *groundsill* Bendungan Pidekso

Chow (1997) menyebutkan aliran yang melalui suatu saluran harus direncanakan agar tidak mengalami erosi maupun mengakibatkan endapan. Untuk mengendalikan gerakan butiran dasar saluran maka perencanaan saluran dapat dihitung menggunakan turunan persamaan *manning* sebagai berikut :

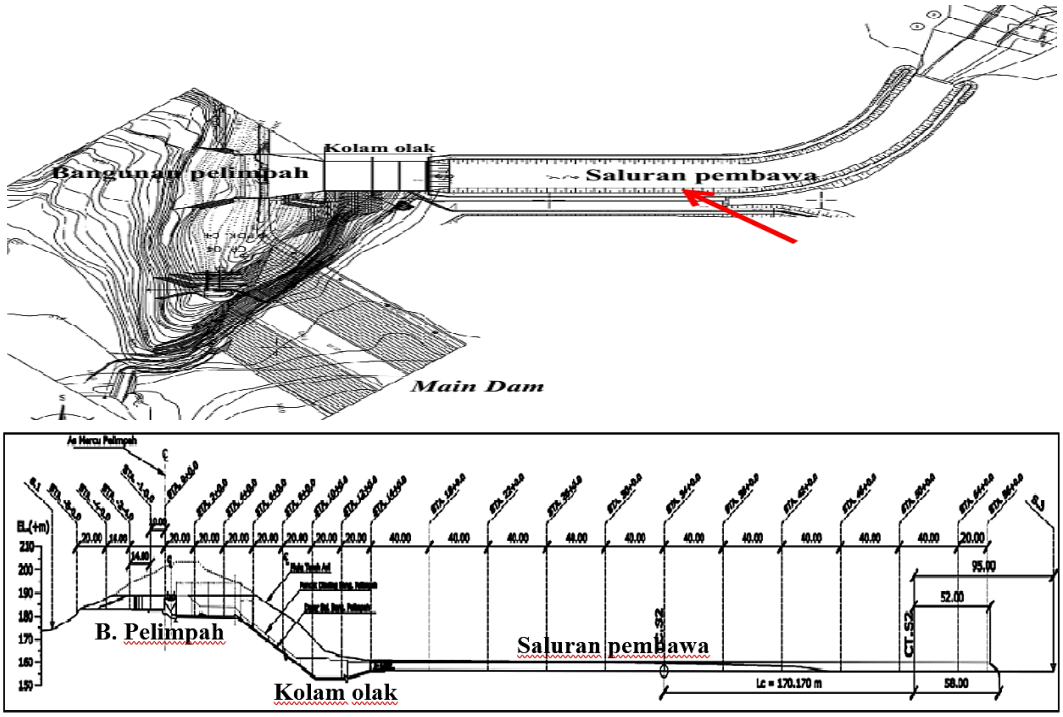
$Q= 1/n ((Bs + ss\ Hn)Hn)^{5/3} (Bs + 2(1+ss^2)^{0,5})Hn)^{-2/3}I^{1/2}$…… (1)

Keterangan :

- Q = Debit *outflow* saluran ($m^{3/}$det)
- n = Koefisien *manning* (0,003 untuk saluran tanah)
- Bs = Lebar dasar saluran (m)
- Ss = Kemiringan tebing saluran (m)
- I = Kemiringan energi
- Hn = Tinggi muka air normal (m)

HASIL DAN PEMBAHASAN

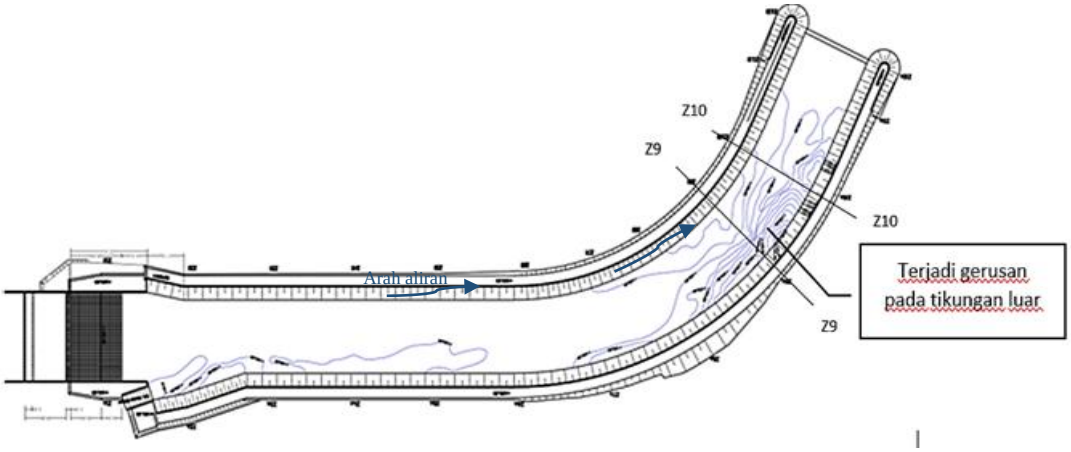
Saluran pembawa berfungsi untuk mengalirkan air limpasan waduk dari bangunan pelimpah menuju ke sungai asli. Panjang saluran pembawa yaitu 360 meter dan terdapat satu tikungan pada alurnya. Gambar *layout* posisi saluran pembawa bangunan pelimpah Bendungan Pidekso ditunjukkan dalam Gambar 2. Pada pengujian seri-3, model saluran pembawa pada uji hidrolik fisik dibuat dengan dasar menggunakan butiran pasir d_{50} = 1,15 mm di model atau sebangun dengan 46 mm di prototip. Setelah dilakukan pengaliran pada model diketahui terjadi gerusan pada dasar saluran. Hasil pengamatan gerusan pada skala model dan prototip sebagaimana Tabel 2.



Gambar 2. *Layout* dan potongan memanjang saluran pembawa Bendungan Pidekso

Tabel 2. Pengamatan gerusan pada pengujian seri-3

Profil	Model				Prototip			
	X (m)	dZ (cm)	dZ (cm)	Δd (cm)	Jarak (m)	Elv. Exist (m)	Elv. Gerusan (m)	Gerusan (m)
Z9	0,000	87,70	87,70	0,00	0,00	159,91	159,91	0,00
	0,125	87,70	87,70	0,00	5,00	159,91	159,91	0,00
	0,275	97,70	96,85	-0,85	11,00	155,91	156,25	0,34
	0,700	97,70	97,50	-0,20	28,00	155,91	155,99	0,08
	0,850	97,70	100,68	2,97	34,00	155,91	154,72	-1,19
	0,980	97,70	103,50	5,80	39,20	155,91	153,59	-2,32
	1,100	97,70	105,28	7,58	44,00	155,91	152,88	-3,03
	1,250	87,70	87,70	0,00	50,00	159,91	159,91	0,00
	1,350	87,70	87,70	0,00	54,00	159,91	159,91	0,00
Z10	0,000	87,73	87,73	0,00	0,00	159,90	159,90	0,00
	0,125	87,73	87,73	0,00	5,00	159,90	159,90	0,00
	0,275	97,73	97,35	-0,38	11,00	155,90	156,05	0,15
	0,510	97,73	98,08	0,35	20,40	155,90	155,76	-0,14
	0,570	97,73	99,08	1,35	22,80	155,90	155,36	-0,54
	0,750	97,73	99,93	2,20	30,00	155,90	155,02	-0,88
	0,890	97,73	100,78	3,05	35,60	155,90	154,68	-1,22
	1,000	97,73	105,53	7,80	40,00	155,90	152,78	-3,12
	1,100	97,73	106,58	8,85	44,00	155,90	152,36	-3,54
	1,250	87,73	87,73	0,00	50,00	159,90	159,90	0,00
	1,375	87,73	87,73	0,00	55,00	159,90	159,90	0,00



Gambar 2. Pola gerusan pada saluran pembawa pada pengujian seri-3

Pada Tabel 2. diketahui gerusan maksimum saluran pembawa pada pengujian seri-3 (sebelum dipasang *groundsill*) terjadi pada sisi luar tikungan (pada penampang Z9 dan Z10) yaitu sedalam 8,85 cm pada model atau 3,54 m pada skala prototip. Gambar 2. memperlihatkan model mengalami gerusan pada tikungan luar saluran pembawa yang dapat mengakibatkan terkikisnya lereng saluran.

Menggunakan persamaan (1) didapatkan hasil sebagai berikut :

- Perencanaan dasar saluran Bs = 33 m
- Kemiringan tebing saluran ss = 1,5 m
- Material dasar sungai d_{50}= 46 mm,
- Berat jenis =2,55 t/m^3
- *Trial* kemiringan dasar sungai i = I (kemiringan energi) = 0,001
- Q_{100} adalah debit outflow 100 tahunan

Dengan Q_{100}= 184,37 $m^{3/}$det dan n = 0,03 diperoleh Hn = 2,69 m,

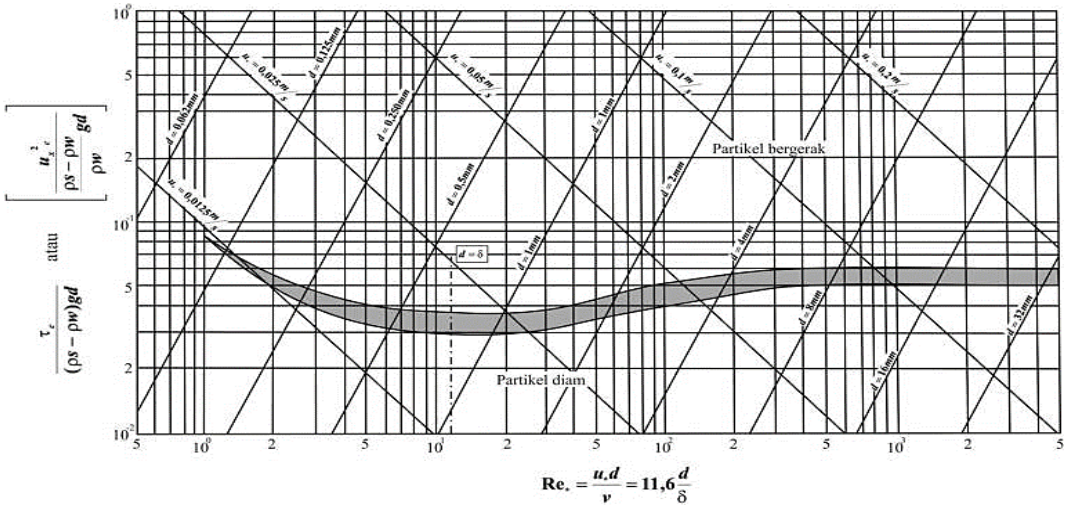
Breseurs dan Raudkivi (1991) menjelaskan untuk memberikan dimensi analisis untuk mengetahui pergerakan butiran pada dasar aliran yaitu dengan mengetahui bilangan *Reynold (Re)* atau diameter butiran (d). Bila tegangan geser dasar aliran berada diatas nilai kritiknya maka butiran sedimen bergerak, sedangkan apabila di bawah nilai kritik maka butiran sedimen tidak bergerak.

$\tau_0 = \rho.g.H.I = 26{,}358$ kN/m^2

$\tau^* = \tau_0 / (\gamma s - \gamma w) / d = 369{,}68$ kN/m^2

Keterangan :

- τ_0 = tegangan geser dasar alur sungai
- τ^* = rasio tegangan geser dasar
- ρ = rapat massa air
- g = gravitasi
- H = kedalaman air
- γs = berat spesifik material dasar sungai
- γw = berat spesifik air



Gambar 3. Grafik *Shields* (Breseurs dan Raudkivi, 1991)

Berdasarkan Gambar 3. tegangan geser material dasar saluran masih dibawah tegangan kritis sehingga diketahui bahwa batu berdiameter 46 mm tidak bergerak. Jadi saluran pembawa dengan kemiringan dasar 0,001 sudah tidak terjadi erosi.

Perencanaan *Groundsill*

Untuk mengendalikan gerakan butiran dasar saluran, kemiringan dasar saluran dibuat lebih landai dengan cara memasang bangunan pengendali dasar saluran *(groundsill)* di ujung hilir saluran pembawa. Panjang pelimpah *groundsill* ditentukan dengan prinsip muka air di hulu ambang h = Hn, baik pada banjir besar (Q_{100}) maupun banjir kecil (Q_2). *Trial* dengan panjang ambang Ba = 20 m, dan kemiringan sisi w =1,

Persamaan peluapan :

$Q = A\ v = (B_a + wh_c)h_c\ (2\ g\ h_c/2)^{1/2}$

Untuk Q_{100} →184,37 = (20+hc)hc $(9{,}81\ hc)^{1/2}$, diperoleh hc = 1,932 m

Untuk Q_2 → 81,57 = (20+hc)hc $(9{,}81\ hc)^{1/2}$, diperoleh hc = 1,150 m

Tinggi air di hulu ambang

h = 1,5hc – v2/2g = 1,5 hc – (Q/((B+wh)h))2/2g,

Utk Q_{100}= 184,37 diperoleh h = 2,73 m ~Hn= 2,69 OK

Utk Q_2 = 81,57 diperoleh h = 1,62 m ~Hn = 1,66 OK

Elevasi dasar saluran di hilir kolam olak +156.50 m

Jarak posisi *groundsill* ke kolam olak = 285 m

maka didapat elevasi ambang *groundsill* (Em) = 156,5 – 0,001*285 = 156.22 m

Lebar terjunan	Ba	= 20 m
Kemiringan sisi terjunan	sa	= 1 m
Tinggi muka air normal saluran	Hn	= 2,687 m
Tinggi jagaan	w	= 1,313 m
Luas tampang aliran pada ambang	A	= 60,96 m^2
Elev. dasar sungai hulu ambang	E1	= +156.22 m

Elevasi dasar sungai asli	E2	= +154.36 m
Elevasi mercu ambang	Em	= +156.22 m
Elevasi dasar sungai rencana	Ec	= +154.32 m
Elevasi dasar kolam olak	Ek	= +153.02 m
Elevasi dasar tubuh bendung	Eb	= +152.02 m
Tinggi tubuh bendung utama	T = Em-Eb	= 4,20 m
Tinggi terjunan (mercu-dasar kolam)	H = Em-Ek	= 3,20 m
Kecepatan kritik di atas mercu	v	= 1,9320 m/det

Lebar mercu ambang (b) diambil 2 m (sungai tanpa aliran boulder). Dengan kemiringan sisi hilir tubuh bendung (n) diambil 0,25, maka diperoleh kemiringan hulu tubuh bendung minimum m = 0,25.

Panjang Kolam Olak :

L = Lw + X + b2

$Lw = v0\ (2(H_1+h_3/2)/g)^{0.5}$

$v0 = Q/Ba/h_3$

X = c.hj c = 4.5~5

hj = 0,5.h1((1+8Fr12)0,5-1)

h1 = Q/Ba/v1

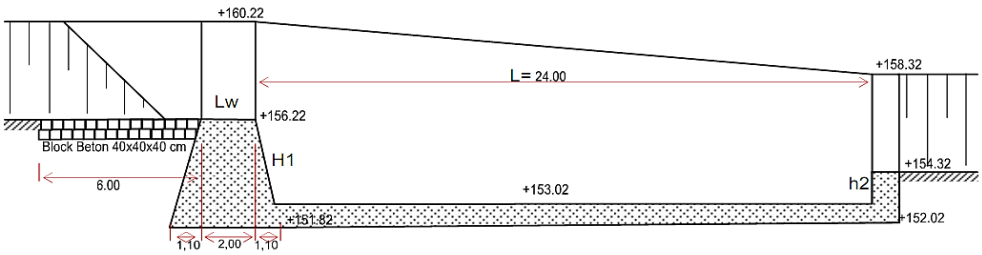
v1 = (2g(H1+h3)0,5

fr1 = v1/(gh1)0,5

Keterangan :

- Tinggi terjunan (mercu-->lantai kolam olak) H_1 = 3,2 m
- Lebar ambang hilir = 1 m
- Tinggi peluapan (h3) = 2,687 m
- Kecepatan jatuh di dasar kolam (v1) = 10.747 m/det
- Tebal air jatuh di dasar kolam (h1) = 0,857756 m
- fr1 = 3,704931
- Tinggi loncat air (hj) = 4,085806 m
- Panjang loncat air (X) = 20,42903 m
- v_0 = 1.932 m
- Panjang terjunan air (Lw) = 2,00 m

Maka didapatkan Panjang lantai kolam olak (L) = 23.43642 m, dapat diambil L= 24 meter. Tinggi Subdam (h2) didapat 1,26 m → diambil 1,30 m. Dari perhitungan diatas didapatkan gambar desain *groundsill* sebagai berikut :



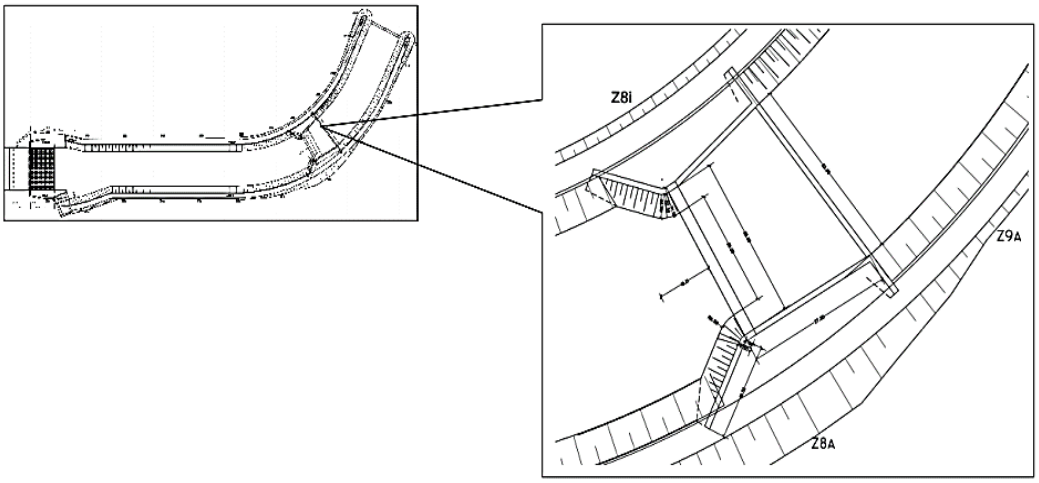
Gambar 4. Desain *groundsill* dan blok beton pada pengujian seri-4

Selanjutnya dilakukan pengujian fisik seri-4 untuk menguji desain *groundsill* sebagai penstabil dasar saluran pembawa (dari kolam olak sampai alur sungai asli) dan menguji pengamanan dasar sungai di hilir groundsill. Pengujian seri-4 dilakukan dengan penambahan :

a. Pemasangan struktur *groundsill* pada profil Z8 –Z9 atau berjarak 285 m ke arah hilir kolam olak bangunan pelimpah (STA 0+420). Dimensi *groundsill* pada model sesuai hasil perhitungan desain *groundsill* diatas sebagaimana Tabel 3.

Tabel 3. Dimensi *groundsill* dalam skala prototip dan model

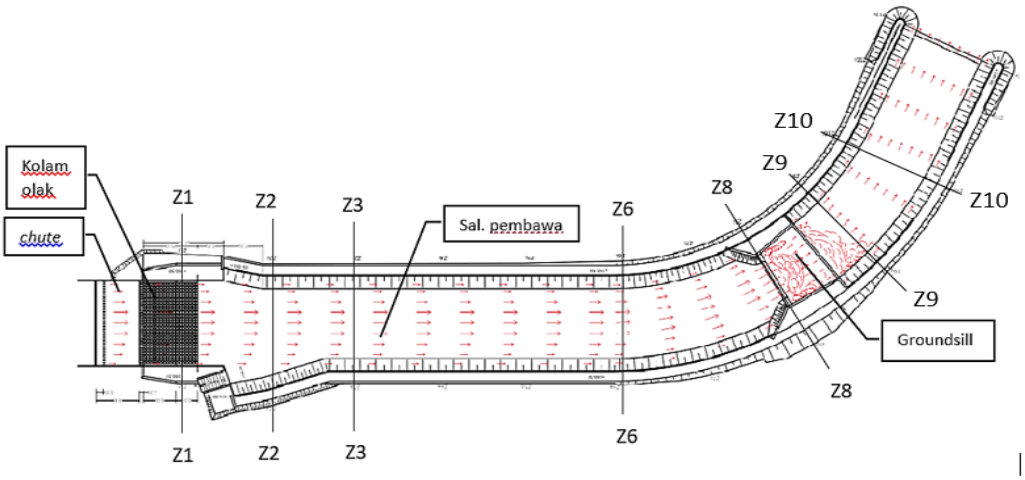
No.	Dimensi	Prototip (m)	Model (cm)
1.	Tinggi terjunan (H1)	3,20	8,00
2.	Panjang terjuanan (Lw)	2,00	5,00
3.	Panjang kolam olak (L)	24,00	60,00
4.	Tinggi subdam (h2)	1,30	3,25
5.	Lebar subdam	1,00	2,50



Gambar 5. Layout pemasangan *groundsill* pada tikungan saluran

Tabel 4. Pengamatan tinggi muka air hulu *groundsill* pada pengujian seri-4 dengan Q_{100}

Profil	Elevasi Dasar (m)	Elevasi Tanggul (m)	Elevasi Muka Air (m)	Sisa Jagaan Tanggul (m)
Z1	156,499	161,000	159,079	1,921
Z2	156,432	160,751	159,031	1,720
Z3	156,370	160,870	158,999	1,872
Z6	156,160	160,661	158,909	1,752
Z8	156,031	160,031	158,277	1,754



Gambar 6. Profil saluran setelah pemasangan *groundsill* (pengujian seri-4)

b. Pemasangan rip-rap untuk pelindung sisi luar tikungan alur sungai.

Dari pengamatan muka air yang dilakukan setelah dilakukan pengujian dengan pemasangan model groundsill dengan Q100 didapatkan hasil tinggi muka air pada saluran pembawa (hulu groundsill) sebagaimana Tabel 4.

Junaidi (2014) menyatakan penentuan tipe aliran pada saluran terbuka dapat didasarkan pada nilai *Froude (Fr).* Aliran dikatakan sub kritik atau aliran tenang apabila *Fr<1,* kritik apabila *Fr = 1,* dan superkritik apabila *Fr>1*.

Rumus nilai *Froude (Fr)* :

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g.h}}$$

- Fr = Nilai *Froude*
- V = Kecepatan aliran (m/dt)
- g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)
- h = Kedalaman (m)

Hasil pengukuran kecepatan aliran dan jenis aliran setelah pemasangan model *groundsill* pada ruas saluran pembawa di hulu *groundsill* sebagaimana Tabel 4. Hasil pengamatan perubahan dasar sungai di hilir *groundsill* setelah pemasangan model *groundsill* sebagaimana Tabel 5 di bawah.

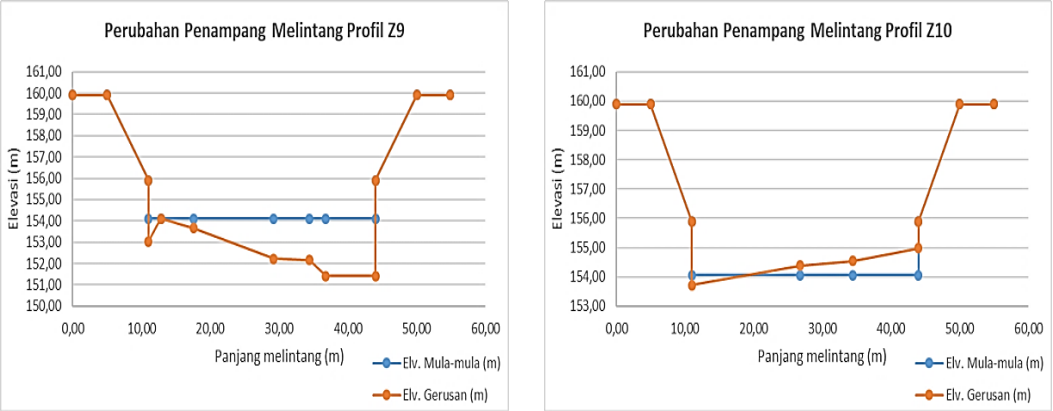
Tabel 5. Hasil pengukuran kecepatan aliran pengujian seri-4 dengan Q_{100}

Profil	Jarak (m)	Kecepatan (v) [m/dt]	Tebal Air (h) [m]	Fr	Jenis Aliran
Z1	0,00	2,17	2,58	0,43	*Subkritik*
Z2	40,00	1,90	2,60	0,38	*Subkritik*
Z3	80,00	1,93	2,63	0,38	*Subkritik*
Z6	160,00	1,42	2,75	0,27	*Subkritik*
Z8	240,00	3,81	2,25	0,81	*Subkritik*

Tabel 6. Hasil pengamatan perubahan dasar sungai pengujian seri-4 dengan Q_{100}

Profil	Model				Prototip			
	X (m)	dZ (cm)	dZ^{seri4} (cm)	Δd (cm)	Jarak (m)	Elv. Mula-mula (m)	Elv. Gerusan (m)	Gerusan (m)
Z9	0,000	87,70	87,70	0,00	0,00	159,91	159,91	0,00
	0,125	87,70	87,70	0,00	5,00	159,91	159,91	0,00
	0,275	97,70	97,70	0,00	11,00	155,91	155,91	0,00
	0,275	102,23	104,88	2,65	11,00	154,10	153,04	-1,06
	0,320	102,23	102,23	0,00	12,80	154,10	154,10	0,00
	0,440	102,23	103,35	1,12	17,60	154,10	153,65	-0,45
	0,730	102,23	106,93	4,70	29,20	154,10	152,22	-1,88
	0,860	102,23	107,08	4,85	34,40	154,10	152,16	-1,94
	0,920	102,23	108,93	6,70	36,80	154,10	151,42	-2,68
	1,100	102,23	108,93	6,70	44,00	154,10	151,42	-2,68
	1,100	97,70	97,70	0,00	44,00	155,91	155,91	0,00
	1,250	87,70	87,70	0,00	50,00	159,91	159,91	0,00
	1,371	87,70	87,70	0,00	54,84	159,91	159,91	0,00
Z10	0,000	87,73	87,73	0,00	0,00	159,90	159,90	0,00
	0,050	87,73	87,73	0,00	5,00	159,90	159,90	0,00
	0,110	97,73	97,73	0,00	11,00	155,90	155,90	0,00
	0,110	102,33	103,20	0,87	11,00	154,06	153,71	-0,35
	0,268	102,33	101,53	-0,80	26,80	154,06	154,38	0,32
	0,344	102,33	101,13	-1,20	34,40	154,06	154,54	0,48
	0,440	102,33	100,03	-2,30	44,00	154,06	154,98	0,92
	0,440	97,73	97,73	0,00	44,00	155,90	155,90	0,00
	0,500	87,73	87,73	0,00	50,00	159,90	159,90	0,00
	0,550	87,73	87,73	0,00	55,00	159,90	159,90	0,00

Gambar 7. Gerusan setelah pengaliran seri 4 dengan Q_{100}



Gambar 8. Perubahan Penampang Profil Z9 dan Z10 pada pengujian seri-4

Berdasarkan hasil pengamatan uji model fisik penambahan *groundsill* maka pada hulu ambang *groundsill* dapat diidentifikasi kondisi sebagai berikut :

a. Berdasarkan analisis nilai *Froude* (Fr) seperti yang terlihat pada tabel 3. di atas, nampak bahwa nilai *Froude* pada profil Z1, Z2, Z3, Z6, dan Z8 adalah Fr < 1 maka kondisi aliran tersebut termasuk dalam aliran tenang atau *subkritik*. Aliran pada saluran pembawa di hulu *groundsill* telah merata dengan material dasar saluran tidak bergerak. Zulhusni (2017) menyebutkan ciri fisik aliran *subkritik* yaitu kedalaman biasanya lebih besar dan kecepatan aliran rendah (semua riak yang timbul dapat bergerak melawan arus).
b. Pada hilir *groundsill* di sisi luar tikungan yang diasumsikan berupa material granuler mengalami gerusan terbesar pada profil Z9 yaitu sebesar 6,70 cm atau 2,68 m skala prototip sebagaimana tabel 4. di atas. Pada posisi ini perlu dilindungi dengan rip-rap dari blok beton, kecuali jika dasar saluran eksisting telah berupa *bedrock*/ batuan keras tidak perlu perlindungan.

SIMPULAN

Pada pengujian seri-3 model saluran pembawa Bendungan Pidekso masih terjadi gerusan pada alur tikungan. Gerusan terbesar sedalam 8,85 cm atau 3,54 m pada skala prototip. Dengan penambahan model *groundsill* pada pengujian seri-4 pada posisi Sta.0+420 mampu menstabilkan dasar saluran pembawa di hulu *groundsill*, tetapi masih terjadi gerusan lokal di hilir *groundsill* dengan gerusan terbesar sedalam 6,70 cm atau sedalam 2,68 m pada skala prototip. Gerusan dapat ditanggulangi dengan pemasangan rip-rap dari blok beton. Perlindungan ini tidak diperlukan jika ternyata dasar saluran eksisting berupa *bedrock* yang keras.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tulisan ini merupakan bagian / diolah dari laporan penelitian Uji Model Hidraulik Fisik 3 Dimensi Desain Pelimpah Waduk Pidekso Kabupaten Wonogiri yang dilaksanakan oleh

Balai Teknik Sungai, Direktorat Jenderal SDA, Kementerian PUPR pada tahun 2019. Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para dosen Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro dan Kepala Balai Teknik Sungai beserta staf laboratorium Balai Teknik Sungai yang telah memberikan bimbingan, saran dan masukan selama pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Breusers. H.N.C. and Raudkivi. A.J., 1991), Scouring. IAHR Hydraulic Structure Design Manual. Rotterdam : AA Balkema.

Chow, Ven Te., 1997, Hidrolika Saluran Terbuka. Penerbit Erlangga.

Junaidi, F.F., 2014, Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Sungai Musi (Ruas Jembatan Ampera Sampai dengan Pulau Kemaro). Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan Volume 2, No.3, hal. 542-552.

Lufira, R.D., Marsudi, S., 2015, Analisa Uji Model Fisik Pelimpah Bendungan Sukahurip di Kabupaten Pangandaran Jawa Barat. Jurnal Teknik Pengairan, volume 6, No. 1, Mei 2015, hal. 14- 21.

Purwantoro, D., 2015, Model Pengendalian Gerusan di Sekitar Abutmen dengan Pemasangan Groundsill dan Abutmen Bersayap. INERSIA, volume XI No.1 hal. 79-89.

Ragilia, S.P., Susarman, 2021, Efektifitas Struktur Groundsill dalam Mengurangi Gerusan di Dasar Sungai: Kajian Literatur. Journal of Infrastructural in Civil Engineering (JICE), volume 02, No. 1, hal. 8-15.

Raju., K.G.R., 1986, Aliran Melalui Saluran Terbuka. Jakarta : Erlangga.

Sarwono, Kirno, 2014, Penyempurnaan Desain Bangunan Pelimpang Cileuweung Dengan Uji Model Hidrolik Fisik. Jurnal Teknik Hidraulik, volume 5, No. 2, hal. 139-150.

SNI: 3965, 2008, Pembuatan Model Fisik Sungai dengan Dasar Tetap. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

Zulfan, J., 2017, Optimasi Hidraulik Penanganan Gerusan di Hilir Bendung (Studi Kasus: Bendung Rengrang, Jawa Barat). Jurnal Teknik Hidraulik, volume 8, Juni 2017, hal. 15- 28.

Zulhusni, F.A., C. Ikhsan, Suyanto, 2017, Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Pada Daerah Sudetan Wonosari Sungai Bengawan Solo. *e-Jurnal* MATRIKS TEKNIK SIPIL, hal. 368-376.