

Perencanaan *Groundsill* Srandakan Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta

Rizky Adrian Budiono^{1*}, Ratna Purwaningsih^{1,2}, Sri Sumiyati^{1,3}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,

²Departemen Teknik Industri Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,

³Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*}Corresponding author: rizky9c33@gmail.com

(Received: January 20, 2026; Accepted: February 23, 2026)

Abstract

Design of the Srandakan Groundsill, Kulon Progo, Special Region of Yogyakarta. The Srandakan groundsill in the downstream reach of the Progo River has sustained damage due to scouring, threatening the structure's stability. This study aims to analyze rehabilitation alternatives for the groundsill using an integrated technical approach encompassing hydrology, hydraulics, and structural engineering. The methodology integrates one-dimensional HEC-RAS modeling and three-dimensional FLOW-3D modeling, utilizing 10 years of discharge data (2009–2018), LiDAR topography, and technical data from BBWS Serayu Opak. Hydrological analysis determined a design discharge of 3,160.70 m³/s for a 100-year return period. Hydraulic results indicate that a design review utilizing the USBR Type II configuration (14 m stilling basin) yields superior performance compared to the USBR Type IV (24 m) option, with downstream flow velocities of approximately 1.65 m/s (high flow) and 1.90 m/s (low flow). The recommended rehabilitation solution involves constructing an additional groundsill downstream while retaining the existing crest; this configuration produces calmer flow patterns and water levels of 6.534 m (high flow) and 1.834 m (low flow). In conclusion, this design reduces the potential for scouring and enhances structural stability, making it a viable long-term mitigation measure.

Keywords: groundsill, scouring, HEC-RAS, FLOW-3D, hydrological analysis, rehabilitation, Progo River

Abstrak

Groundsill Srandakan di hilir Sungai Progo mengalami kerusakan akibat gerusan yang mengancam stabilitas struktur. Penelitian ini bertujuan menganalisis alternatif rehabilitasi *groundsill* dengan pendekatan teknis terpadu meliputi hidrologi, hidraulika dan struktur. Metode yang digunakan mengintegrasikan pemodelan satu dimensi HEC-RAS dan pemodelan tiga dimensi FLOW-3D, dengan data debit 10 tahun (2009-2018), topografi LiDAR dan data teknis BBWS Serayu Opak. Analisis hidrologi menghasilkan debit rencana kala ulang 100 tahun sebesar 3.160,70 m³/s. Hasil hidraulika menunjukkan desain *review* menggunakan USBR Tipe II (kolam olak 14 m) memberikan kinerja lebih baik dibanding USBR Tipe IV (24 m), dengan kecepatan aliran hilir sekitar 1,65 m/s (pasang) dan 1,90 m/s (surut). Solusi rehabilitasi yang direkomendasikan adalah pembangunan *groundsill* tambahan di hilir sambil mempertahankan mercu eksisting, yang menghasilkan pola aliran lebih tenang dan muka air 6,534 m (pasang) serta 1,834 m (surut). Kesimpulannya, desain ini menurunkan potensi gerusan dan meningkatkan stabilitas struktur sehingga layak diimplementasikan sebagai langkah mitigasi jangka panjang.

Kata kunci: *groundsill*, *gerusan (scouring)*, HEC-RAS, FLOW-3D, analisis hidrologi, rehabilitasi, Sungai Progo

How to Cite This Article: Budiono, R. A., Purwaningsih, R., & Sumiyati, S. (2026). Perencanaan *Groundsill* Srandakan Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta. *JPII*, 4(1), 33-38. DOI: <https://doi.org/10.14710/jpii.2026.32294>

PENDAHULUAN

Groundsill Srandakan di hilir Sungai Progo (perbatasan Kabupaten Bantul-Kulonprogo) mengalami kerusakan signifikan akibat gerusan (*scouring*) yang mengancam stabilitas fondasi jembatan, *intake* air baku dan infrastruktur tepi sungai. Perubahan morfologi dasar sungai yang dipicu oleh aliran banjir, akumulasi sedimen dan aktivitas antropogenik (misal galian material) menuntut solusi rehabilitasi yang mempertimbangkan interaksi hidrologi, hidraulika dan perilaku sedimen. Studi-studi terkini menunjukkan bahwa kombinasi pemodelan satu dimensi untuk skala jangkauan alur (HEC-RAS) dan pemodelan tiga dimensi untuk detail lokal (FLOW-3D), dikombinasikan dengan validasi eksperimental dan analisis struktur, meningkatkan akurasi prediksi pola aliran dan potensi gerusan dibandingkan pendekatan tunggal; penelitian lain juga menekankan pentingnya optimasi desain *stilling basin* (USBR) dan penggunaan material pelindung seperti *boulder*, blok beton, atau geosintetik untuk mitigasi *scouring*. Berdasarkan tinjauan literatur tersebut, masih terdapat kebutuhan untuk menguji alternatif desain rehabilitasi yang terintegrasi dan terkalibrasi dengan data LiDAR serta data debit lokal agar solusi yang diusulkan tahan terhadap kondisi pasang-surut dan variasi hidrologi ekstrem.

Kebaruhan ilmiah artikel ini terletak pada integrasi terukur antara analisis frekuensi hidrologi, pemodelan HEC-RAS 1D untuk skala *reach* dan pemodelan FLOW-3D 3D untuk evaluasi lokal, serta penerapan skenario desain *stilling basin* (USBR Type II vs Type IV) yang divalidasi terhadap data lapangan dan uji model skala. Permasalahan penelitian dirumuskan sebagai: (1) alternatif penanganan rehabilitasi mana yang paling efektif mengurangi potensi gerusan pada *Groundsill* Srandakan; dan (2) bagaimana pola aliran dan distribusi kecepatan berubah terhadap alternatif desain tersebut pada kondisi pasang-surut dan debit rencana. Hipotesis kerja: desain *groundsill* tambahan di hilir yang mempertahankan mercu eksisting dan mengoptimalkan panjang kolam olak akan menurunkan kecepatan aliran hilir dan kedalaman gerusan sehingga meningkatkan stabilitas struktur. Tujuan kajian: mengidentifikasi kondisi eksisting dan morfologi sekitar *Groundsill* Srandakan; menganalisis dan membandingkan kinerja alternatif desain rehabilitasi menggunakan HEC-RAS dan FLOW-3D; serta merekomendasikan solusi teknis yang meminimalkan *scouring* dan layak diimplementasikan.

METODE PENELITIAN

Bahan Utama

Data hidrologi: rekaman debit dan curah hujan Bendung Sapon (BBWS Serayu Opak), periode 2009-2018.

- Data topografi: DEM hasil survei LiDAR resolusi tinggi (contoh resolusi 5 m) dari kontraktor survei BBWS.
- Data teknis: gambar situasi, potongan melintang, spesifikasi material dan gambar kerja dari Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak (BBWS SO).

Peralatan Utama

- Perangkat survei: GNSS RTK (Trimble/Leica atau setara), *Total Station* (Leica/Topcon atau setara).
- Perangkat LiDAR: sistem *airborne* LiDAR (operator kontraktor survei).
- Peralatan hidrometri: ADCP untuk pengukuran debit (Teledyne/RDI atau setara) dan *staff gauge*.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif numerik dan analitis terintegrasi. Alur metode meliputi: (A) analisis hidrologi untuk menentukan debit rencana; (B) pemodelan hidraulika 1D (HEC-RAS) untuk gambaran *reach-scale*; (C) pemodelan hidraulika 3D (FLOW-3D) untuk analisis lokal (kecepatan, tekanan, potensi *scouring*).

a. Metode Hidrologi

Pengolahan data dan uji konsistensi

Data curah hujan dan debit diuji konsistensi menggunakan *double mass curve*. Statistik dasar (*mean* ($\bar{X}$), simpangan baku (S), *skewness*, kurtosis) dihitung untuk menentukan distribusi yang sesuai. Uji kecocokan distribusi dilakukan dengan Kolmogorov-Smirnov.

Analisis frekuensi dan penentuan hujan rancangan

Hujan rancangan untuk kala ulang T dihitung dengan persamaan:

$$X_T = \bar{X} + K_T \times S \quad (1)$$

dengan K_T diperoleh dari tabel faktor frekuensi sesuai distribusi terpilih (Gumbel, Log-Pearson III dan sebagainya).

Estimasi PMP menggunakan pendekatan Hersfield:

$$PMP = X_n + K_m \times S_n \quad (2)$$

dengan K_m diambil dari grafik WMO sesuai durasi hujan.

Hidrograf satuan sintetis (Gama I dan Nakayasu sebagai pembanding)

Hidrograf satuan Gama I digunakan untuk menurunkan hidrograf banjir dari hujan efektif. Parameter utama: waktu naik T_R , debit puncak Q_p , waktu dasar T_B dan koefisien resesi K . Bentuk resesi dinyatakan:

$$Q(t) = Q_p e^{-t/K} \quad (3)$$

Perhitungan T_R , Q_p , T_B , K mengikuti persamaan empiris Gama I yang bergantung pada parameter DAS (luas A , panjang L , kemiringan S , faktor sumber SF , faktor simetri SIM dan lain-lain) (Harto, 1993).

Koreksi volume hidrograf agar konsisten dengan hujan efektif dilakukan menggunakan persamaan konservasi volume:

$$P = \frac{3600 \sum Q_i \Delta t}{1000 \cdot A} \quad (4)$$

dengan P adalah hujan (mm), Q_i adalah debit (m^3/s), Δt adalah interval waktu (s) dan A adalah luas DAS (km^2).

Transformasi hujan → debit dan skenario

Hidrograf desain untuk kala ulang yang relevan (Tr10, Tr25, Tr50, Tr100, PMF) disusun dan digunakan sebagai *boundary condition* hulu pada model HEC-RAS. Skenario variasi tata guna lahan atau perubahan iklim dapat dimodelkan sebagai variasi intensitas hujan atau CN.



R = Sungai Resequent
O = Sungai Obsequent

K = Sungai Consequent
S = Sungai Subsequent

Gambar 1. Jenis sungai berdasarkan arah aliran

b. Metode Hidraulika Pemodelan 1D dengan HEC-RAS

Input: long-section, cross-section (LiDAR + survei lapangan), hidrograf hulu, kondisi batas hilir (pasang-surut), nilai *Manning n* (0,035-0,065).

Simulasi: steady dan unsteady flow; modul sedimen untuk prediksi akumulasi/erosi jangka menengah.

Output: elevasi muka air, distribusi kecepatan rata-rata per cross-section, lokasi zona

kecepatan tinggi dan rekomendasi lokasi domain 3D.

Pemodelan 3D dengan FLOW-3D

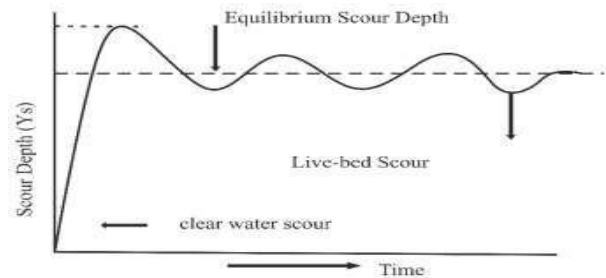
Domain: area lokal sekitar *groundsill* (bucket, apron, hilir) dengan *mesh* adaptif; resolusi grid kritis 0,5 m.

Fisik numerik: *Volume of Fluid* (VOF) untuk antarmuka udara-air; model turbulensi ($k - \epsilon$ atau LES sesuai kebutuhan); properti fluida air standar.

Boundary condition: hidrograf dan elevasi muka air dari HEC-RAS; kondisi pasang-surut dimodelkan pada *boundary* hilir.

Skenario: perbandingan desain USBR Type II (panjang kolam olak 14 m) vs USBR Type IV (24 m); alternatif *groundsill* tambahan di hilir; variasi debit (hingga Tr100 dan PMF) dan kondisi pasang-surut.

Output: medan kecepatan 3D, distribusi tekanan dinamis pada struktur, pola vortikal dan estimasi tegangan geser dasar untuk penilaian *scouring* lokal.



Gambar 2. Hubungan gerusan dan waktu

Kalibrasi dan validasi

Kalibrasi parameter (*Manning n*, koefisien turbulensi, *mesh*) hingga hasil simulasi mendekati data lapangan atau uji model fisik. Metrik validasi meliputi RMSE, *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) untuk hidrograf dan kesalahan relatif (%) untuk kecepatan/tekanan (target kesalahan relatif <10%).

c. Metode Analisis Struktur Evaluasi keseimbangan limit

Perhitungan faktor keamanan terhadap guling dan geser menggunakan metode keseimbangan limit standar; beban yang diperhitungkan meliputi beban mati, hidrostatik dan beban hidraulik saat banjir.

Analisis FEM (SAP2000)

Model elemen hingga untuk tubuh *groundsill* dan interaksi tanah-struktur; material beton diasumsikan $f_c = 25$ MPa; selimut beton 75

mm; tulangan utama D25-150 mm sesuai SNI 2847:2019.

Output: distribusi tegangan, momen dan deformasi; verifikasi tegangan maksimum $< f_c'$ dan deformasi dalam batas layanan.

d. Integrasi Hasil dan Analisis Sensitivitas

Hasil HEC-RAS (pola aliran *reach-scale*) menjadi *boundary condition* untuk FLOW-3D; keluaran FLOW-3D (tegangan geser lokal, kecepatan puncak) digunakan untuk desain lantai pelindung (*boulder/blok/geo-textile*) dan penentuan kebutuhan penulangan.

Analisis sensitivitas terhadap parameter kunci: variasi *Manning n* $\pm 20\%$, elevasi mercu $\pm 0,2$ m dan variasi debit ± 10 - 20% ; hasil disajikan sebagai perubahan kecepatan maksimum dan estimasi kedalaman *scouring*.

e. Pengolahan Data dan Pelaporan

Hasil disajikan dalam tabel ringkasan per skenario (debit puncak, elevasi muka air, kecepatan maksimum, estimasi *scouring*) dan visualisasi medan kecepatan/arus dari FLOW-3D. Diskusi membandingkan hasil antar skenario, validitas terhadap uji model skala (jika tersedia), dan kesesuaian terhadap pedoman teknis (SNI, USBR).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Hidrologi dan Implikasi Hidraulika

Analisis frekuensi dan HSS Gama I menghasilkan hidrograf dengan waktu naik $TR \approx 1,83$ jam dan debit puncak untuk $Tr_{100} = 3.160,70$ m³/s (digunakan sebagai beban desain utama). Hidrograf satuan Gama I yang digunakan mengikuti bentuk resesi eksponensial, dengan Q_p debit puncak dan K koefisien resesi. Nilai TR yang kecil menunjukkan respons cepat DAS sehingga puncak debit menjadi tajam; kondisi ini meningkatkan energi kinetik pada puncak banjir dan memperbesar potensi *scouring* jika tidak diantisipasi.

Tabel 1. Ringkasan debit puncak (pilihan kala ulang) yang digunakan dalam analisis hidrologi (Sumber: hasil pengolahan HSS Gama I dari data 2009-2018)

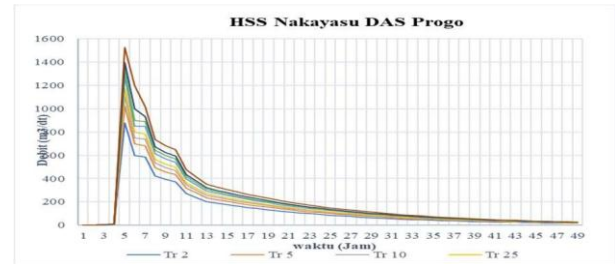
Kala Ulang (T)	Debit Puncak (m ³ /s)
T_R 10	2.390,02
T_R 25	2.529,04
T_R 50	2.745,70
T_R 100	3.160,70
<i>PMF</i>	3.282,87

Respon hidrologi yang cepat (nilai T_R kecil) disebabkan kombinasi luas DAS, kemiringan sungai dan kerapatan jaringan alur sehingga hidrograf puncak

menjadi sempit. Karena energi spesifik E bergantung pada kedalaman y dan kecepatan V menurut

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} \quad (5)$$

puncak debit yang tinggi meningkatkan komponen kecepatan sehingga memperbesar tegangan geser dasar τ_b dan potensi *scouring*.

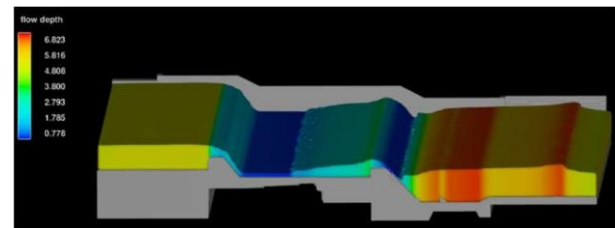


Gambar 3. HSS Nakayasu DAS Progo

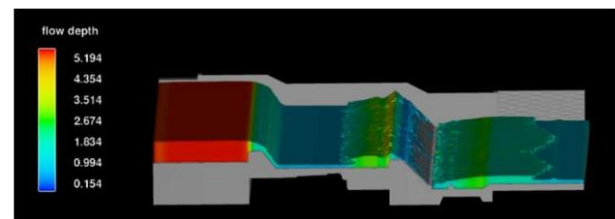
Hasil Simulasi Desain *Stilling Basin* (FLOW-3D)

Desain awal (USBR Type IV, 24 m): medan aliran menunjukkan pembentukan vorteks kuat di *bucket* dan kecepatan hilir lebih tinggi; estimasi kecepatan hilir pada lokasi kritis melebihi nilai aman untuk lantai pelindung tertentu.

Desain *review* (USBR Type II, 14 m) + *groundsill* tambahan: medan aliran lebih homogen, vorteks berkurang, dan kecepatan rata-rata hilir tercatat $\sim 1,65$ m/s (pasang) dan $\sim 1,90$ m/s (surut).



Gambar 4. Flow depth kondisi review desain pasang



Gambar 5. Flow depth kondisi review desain surut

Tabel 2. Rekap hasil kondisi *review* desain kondisi pasang dan surut

Lokasi	Elevasi	TMA Saat Pasang (Q100) (m)	TMA Saat Surut (Q100) (m)	Kecepatan Saat Pasang (Q100) (m/det)	Kecepatan Saat Surut (Q100) (m/det)
Mercu 1 Ujung Peluncur 1	+10,50	2,79	2,67	5,17	8,40
Lantai Kolam 1	+6,60	1,79	1,63	9,47	9,80
Mercu 2 Ujung Peluncur 2	+7,80	1,79	1,83	3,45	4,81
Lantai Kolam 2	+1,10	5,82	2,53	5,17	6,60
Endsill	+2,10	6,82	2,67	1,73	1,91
		6,53	1,83	1,65	1,90

Panjang kolam olak memengaruhi lokasi dan intensitas disipasi energi. Kolam olak yang terlalu panjang (Type IV) cenderung menghasilkan zona aliran terpisah dan vorteks yang meningkatkan tegangan geser lokal; Type II memusatkan disipasi energi pada *bucket* sehingga menurunkan kecepatan di hilir. Perubahan muka air hilir akibat pasang-surut mengubah *head loss* dan gradien energi sehingga kecepatan lokal berbeda antara kondisi pasang dan surut, sesuai persamaan kontinuitas $Q = A \cdot V$.

Estimasi Gerusan (*Scouring*) dan Mekanisme Pengurangannya

FLOW-3D memberikan distribusi tegangan geser dasar τb yang digunakan untuk estimasi kedalaman scouring Y_s melalui korelasi empiris berbasis parameter Shields θ :

$$\tau b = \rho g R S, \theta = \frac{\tau b}{(\rho_s - \rho) g d} \quad (6)$$

Simulasi menunjukkan bahwa desain rekomendasi menurunkan τb pada area kritis sehingga θ menurun dan estimasi Y_s berkurang.

Tabel 3. Ringkasan hasil simulasi per skenario (lokasi kritis hilir, kondisi Peiode Ulang T=100 tahun)

Parameter	USBR IV (Awal)	USBR II + Groundsill
Kecepatan rata-rata hilir (pasang) (m/s)	2,40	1,65
Kecepatan rata-rata hilir (surut) (m/s)	2,85	1,90
Tegangan geser dasar τb (Pa)	1.200	820
Estimasi kedalaman scouring Y_s (m)	2,1	1,2

Penurunan τb disebabkan kombinasi pengurangan kecepatan dan perubahan pola aliran (pengurangan vorteks). Karena kedalaman *scouring* berkaitan non-linier dengan θ , pengurangan τb menghasilkan penurunan Y_s yang proporsional lebih besar pada rentang parameter butir dasar yang diamati. Hasil ini konsisten dengan literatur *scouring* (Melville & Coleman, 2000; Ragilia & Susarman, 2021) yang menunjukkan efektivitas *stilling basin* yang tepat dan perlindungan lantai dalam mengurangi *scouring* lokal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap penanganan *Groundsill* Srandakan, rehabilitasi direncanakan dengan membangun *groundsill* tambahan di bagian hilir *Groundsill* Srandakan tanpa mengubah atau mengganti mercu eksisting. Desain rehabilitasi tersebut menggunakan debit rencana periode ulang 100 tahun (Q100) sebesar 3.160,70 m³/detik. Keberadaan *groundsill* tambahan ini menghasilkan pola aliran sungai yang relatif tenang. Berdasarkan hasil analisis hidrolika, ketinggian muka air mencapai 6,534 m pada kondisi pasang dan 1,834 m pada kondisi surut. Sementara itu, kecepatan aliran di bagian hilir *groundsill* mencapai 1,65 m/detik pada kondisi pasang dan 1,90 m/detik pada kondisi surut.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, A. (2009). Analisis Bentuk Pilar Jembatan terhadap Potensi Gerusan Lokal (Studi Kasus Model Pilar Penampang Persegi Panjang dan Ellips). *Jurnal APTEK*, 1(1).
- Asdak, C. (2023). *Hidrologi dan pengelolaan daerah aliran sungai*. Ugm Press.
- Balai Besar Wilayah Sungai Serayu Opak. (2023). *Data teknis dan survei Groundsill Srandakan* [Laporan internal].
- Chow, V. T. (1951). *Applied hydrology*. McGraw-Hill.
- Harto, S. (1993). *Hidrograf satuan sintetis Gama I* [Laporan teknis].
- Kim, B. J., Hwang, J. H., & Kim, B. (2022). FLOW-3D model development for the analysis of the flow characteristics of downstream hydraulic structures. *Sustainability*, 14(17), 10493.
- Melville, B. W., & Coleman, S. E. (2000). *Bridge scour*. Water Resources Publications.
- Peterka, A. J. (1964). *Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators* (No. 25). United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation.
- Raudkivi, A. J., & Ettema, R. (1985). Scour at cylindrical bridge piers in armored beds. *Journal of Hydraulic Engineering*, 111(4), 713-731.
- Soemarto, P. (1987). *Metode hidrologi*. Penerbit Teknik.
- Standar Nasional Indonesia. (2015). *SNI 2851:2015: Pedoman perencanaan struktur beton*.

- Standar Nasional Indonesia. (2016). *SNI 2415:2016: Pedoman perhitungan debit banjir dan perencanaan drainase*.
- Standar Nasional Indonesia. (2019). *SNI 2847:2019: Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*.
- U.S. Bureau of Reclamation. (n.d.). *Design of stilling basins* [Pedoman teknis].
- World Meteorological Organization. (1986). *Guidelines for probable maximum precipitation estimation*.