



UPAYA PENANGANAN DEGRADASI UNTUK MENJAGA STABILITAS DASAR SALURAN PADA STRUKTUR HIDROLIK HILIR

Rakhmat Yusuf^{1*}, Rina Marina Masri, Odih Supratman, Alya Sekar Haspari²

^{1*}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri, Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

²Program Studi Magister Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

^{*}Corresponding author, email: rakhmatyusuf@upi.edu

ABSTRACTS

Degradasi dasar saluran akibat gerusan merupakan permasalahan umum yang terjadi di sungai, khususnya di bagian hilir yang berdekatan dengan struktur hidraulik seperti jembatan dan bendung. Salah satu solusi yang umum digunakan adalah pemasangan groundsill, yang berfungsi menjaga elevasi dasar sungai dan mengurangi energi aliran. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas berbagai model groundsill (ambang lebar, gerigi, trap, dan lengkung) dalam mengendalikan gerusan di hilir struktur. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan menggunakan saluran flume sepanjang 13 meter dan variasi debit aliran serta kemiringan dasar. Hasil menunjukkan bahwa bentuk geometri groundsill berpengaruh signifikan terhadap pola kehilangan energi, kedalaman, dan panjang gerusan. Model groundsill dengan ambang lengkung terbukti paling efektif dalam meminimalkan kedalaman gerusan karena mampu meredam energi aliran dan menghasilkan fenomena timbunan balik di kaki struktur. Penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam perencanaan desain groundsill untuk mengendalikan degradasi dan menjaga stabilitas dasar saluran.

ARTICLE INFO

Article history:

Submitted/Received: 15 Mei 2025

First Revised: 31 Mei 20202

Accepted: 11 Juni 2025

First Available online: 26 Juni 2025

Publication Date: 01 Juli 2025

Keywords:

Ambang lengkung, Flume, Gerusan, Groundsill, Hidraulika sungai, Stabilitas dasar saluran

1. PENDAHULUAN

Fenomena degradasi dasar saluran (*inverbed degradation*) merupakan masalah yang umum terjadi pada badan sungai, terutama dibagian hilir yang berdekatan dengan struktur hidraulik seperti jembatan, *groundsill*, ataupun bendung. Degradasi ini ditandai dengan penurunan elevasi dasar sungai akibat proses penggerusan (*scouring*) yang terjadi secara alami maupun karena intervensi manusia. Secara umum, proses ini dipicu oleh tingginya tegangan geser dasar saluran yang melebihi nilai tegangan kritis partikel sedimen, menyebabkan partikel dasar terbawa aliran dan mengubah konfigurasi dasar sungai. (Harsanto, P., et al. 2024; Ananta, Q., et al. 2023; Permana, D. P. 2020). Stabilitas dasar sungai merupakan salah satu aspek krusial dalam desain bangunan air. Oleh karena itu, intervensi teknis diperlukan untuk mengendalikan bentuk dasar sungai, mengurangi tegangan geser dasar, dan menstabilkan energi aliran.

Salah satu solusi teknik yang umum digunakan adalah *groundsill* atau ambang. *Groundsill* didefinisikan sebagai struktur transversal yang dibangun melintang aliran sungai untuk menjaga elevasi dasar saluran dan mengontrol kecepatan aliran (Permana, D. P. 2020; Tungga, A. W., et al. 2018). Menurut Ragilia, et al. (2021), *groundsill* sangat penting ketika terjadi pengurangan suplai sedimen dari hulu, seperti akibat pembangunan bendungan atau aktivitas penambangan material sungai secara berlebihan. Pemasangan *groundsill* juga berfungsi sebagai perlindungan terhadap pondasi infrastruktur di sungai, terutama selama periode debit tinggi (Farbiz, F., et al. 2025; Ragilia, P. S., et al. 2021). Namun, efektivitas suatu *groundsill* sangat bergantung pada bentuk geometrinya dan interaksi hidraulik yang terjadi di sekitarnya. *groundsill* yang tidak dirancang dengan baik justru dapat menjadi titik awal terjadinya gerusan lokal, terutama di bagian hilir struktur (*groundsill heel*). Oleh karena itu, kajian eksperimental terhadap berbagai bentuk ambang menjadi penting untuk mengidentifikasi model *groundsill* yang paling efektif dalam mereduksi potensi scouring.

Beberapa penelitian telah menunjukkan bahwa variasi geometri ambang seperti ambang lengkung (*flip bucket*), lebar, gerigi, dan trap memberikan dampak berbeda terhadap karakteristik loncatan air (*hydraulic jump*), kehilangan energi, dan distribusi tegangan geser (Zhang et al., 2024; Farbiz et al., 2025; Fauzi et al., 2024). Pemahaman tentang perubahan kecepatan, kedalaman aliran, dan rasio antara kedalaman scouring dengan panjang *scouring* diperlukan untuk mendapatkan formulasi hidraulik yang representatif bagi perencanaan *groundsill*. Hal ini sesuai dengan pendekatan eksperimental menggunakan *flume* yang mensimulasikan variasi debit dan kemiringan dasar, serta memperhatikan ukuran dan distribusi material sedimen (Harsanto et al., 2024).

Meskipun telah banyak studi mengenai pengaruh bentuk *groundsill* terhadap pola gerusan, kajian yang secara sistematis mengomparasikan performa beberapa tipe *groundsill* (ambang lebar, gerigi, trap, dan lengkung) dalam konteks eksperimental laboratorium masih terbatas, khususnya di Indonesia. Oleh karena itu, penelitian ini secara khusus bertujuan

DOI:

untuk melihat fenomena perubahan konfigurasi dasar sungai pada kaki *Groundsill* untuk berbagai variasi debit dan beberapa model *Groundsill*, sehingga dapat memberikan informasi efektivitas kinerja *Groundsill* yang digunakan dalam rangka mengendalikan stabilitas dasar sungai.

2. METODE

2.1 Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental untuk mengevaluasi pengaruh pemasangan model *groundsill* terhadap stabilitas dasar saluran. Observasi dilakukan pada kondisi saluran sebelum dan sesudah diberi perlakuan berupa pemasangan *groundsill* pada dasar sungai yang mengalami degradasi. Variabel utama dalam penelitian ini adalah variasi debit aliran yang diterapkan pada setiap konfigurasi model dasar sungai, dengan pengaturan jenis material dan kemiringan dasar saluran sebagai parameter tetap.

Peralatan yang digunakan meliputi *recirculating multi-purpose flume* sepanjang 13 meter yang dilengkapi dengan *tail gate*, *current meter mini propeller*, pompa air berkapasitas 450 liter/menit, mistar, rol meter, kamera, *stopwatch*, serta perlengkapan pendukung lainnya. Analisis distribusi ukuran butir pasir dilakukan menggunakan metode *sieve analysis*. Model *groundsill* digunakan sebagai objek utama perlakuan. Adapun bahan uji terdiri dari air bersih dan pasir yang telah diklasifikasikan sesuai gradasinya.



Gambar 1. . *Groundsill* models

Seluruh data hasil eksperimen akan dianalisis untuk mengevaluasi efektivitas model *groundsill* dalam mengendalikan degradasi dasar sungai. Hasil ini diharapkan memberikan dasar kuantitatif dalam menilai kelayakan teknis penerapan struktur *groundsill* sebagai upaya konservasi dan stabilisasi morfologi saluran..

2.2 Teori Model Analisis

2.2.1. Morfologi Sungai

Bed Material on river/channel akan mulai bergerak jika tegangan geser atau kecepatan geser pada dasar saluran lebih besar dari tegangan geser butiran (critical shear strength particle), shear velocity can be formulated by:

$$u_* = \sqrt{g R I} \dots \dots \dots (1)$$

Where u_* is bed shear velocity, g is gravitational acceleration, R is radius hydraulics and I is slope of bed channel/river.

DOI:

Penilaian stabilitas saluran melibatkan analisis kualitatif/kuantitatif untuk menilai arah dan laju perubahan morfologi, serta mengidentifikasi proses geomorfik dominan dan dampak perubahan tata guna lahan seperti urbanisasi (Manoma et al., 2025; Agoes et al., 2023). Ketidakstabilan saluran perlu dikenali agar desain restorasi efektif dan tidak cepat rusak akibat erosi atau sedimentasi. Sungai akan leluasa dalam menyesuaikan ukuran-ukuran dan bentuknya, sebagai reaksi oleh adanya perubahan kondisi hidraulik dari aliran. Dengan demikian maka bagian dasar dan tebing sungai akan dibentuk oleh material yang diangkut oleh aliran sungai berasal dari pelapukan geologi pada periode yang panjang. Ukuran dan bentuk sungai tersebut selanjutnya disebut morfologi sungai.

Variable yang mempengaruhi geometrik dan kekasaran dasar sungai jenisnya sangat banyak, dan saling terkait satu sama lain (Shiddiq, R. H. B. A., et al. 2024; Agustina, A. et al, 2022; Marlina, N. et al., 2017). Apabila dari banyak variable yang dipandang berpengaruh terhadap pembentukan morfologi sungai tersebut dapat dinyatakan saling hubungannya dengan baik, pada jangka waktu tertentu morfologi sungai akan tetap (selama tidak ada usikan), sehingga secara umum dapat dituliskan pola hubungannya:

$$f\{V, D, S, \rho, \mu, g, d, \sigma, \rho_s, S_f, S_R, S_C, f_s, C_T\} = 0 \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

- C_T = konsentrasi angkutan bahan dasar
- V = kecepatan aliran
- D = kedalaman aliran
- S = kemiringan garis energi
- ρ = rapat massa campuran air-sedimen
- μ = angka kekentalan dinamik aliran
- g = gaya percepatan gravitasi
- d = diameter bahan dasar
- σ = ukuran/factor gradasi
- ρ_s = rapat massa sedimen
- S_f = factor bentuk butiran
- S_R = factor bentuk alur sungai
- S_C = factor bentuk tampang sungai
- f_s = gaya rembesan pada dasar sungai.

2.2.2. Groundsill (Ambang)

Ambang (groundsill) dibangun melintang sungai untuk mencegah penurunan dasar sungai yang berlebihan akibat berkurangnya suplai sedimen dari hulu (misalnya karena bendungan/check dam) atau penambangan material secara

berlebihan. Penurunan ini saat banjir dapat membahayakan pondasi lereng, pilar jembatan, serta menyebabkan erosi dasar sungai dan kerusakan tanggul (Fitri et al., 2021).

2.2.3. Gerusan

Beberapa persamaan yang dapat dipakai untuk memprediksi dalamnya gerusan local diantaranya (Patel, S. et al., 2024) :

- a. **Lacey**, persamaan ini berlaku untuk dasar sungai yang berpasir, bentuk persamaannya sebagai berikut.

$$ds = 0,473 \left[\frac{Q}{f} \right]^{1/3} \dots\dots\dots (3)$$

Dengan ds adalah kedalaman penggerusan (m), Q debit aliran (m³/det) dan f adalah *silt factor* yang dapat dihitung dari $f = 1,76 D^{0,5}$ dengan D adalah diameter keserbasamaan atau mayoritas (mm).

- b. **WU**, persamaannya dalam bentuk:

$$ds = 1,18 H^{0,235} q^{0,51} \dots\dots\dots (4)$$

Dengan ds kedalaman gerusan (m), H perbedaan tinggi muka air di hilir dan udik (m) dan q debit aliran per satuan lebar (m³/det/m')

- c. **Veronese**, memodifikasi persamaan dari Schoktlitsch dalam bentuk:

$$ds = 1,90 H^{0,225} q^{0,54} \dots\dots\dots (5)$$

Dengan ds kedalaman gerusan (m), H perbedaan tinggi muka air di hilir dan udik (m) dan q debit aliran per satuan lebar (m³/det/m').

Factor-faktor yang mempengaruhi gerusan umum (general scour) adalah (1) perubahan luas penampang aliran; (2) perubahan debit; (3) butiran sedimen; (4) suplai sedimen dari hulu; dan (5) durasi aliran (D'Agostino, V., et al., 2024). Untuk banjir durasi pendek gerusan mungkin tidak akan terjadi, masih berada dalam kondisi keseimbangan. Beberapa persamaan untuk memprediksi gerusan umum, formula tergantung pada teori regim yang dapat diekspresikan sebagai berikut.

$$y_{ms} = 1,20 \left[\frac{q^{2/3}}{D_{50}^{1/6}} \right] \text{ untuk dasar pasir } 0,06 < D_{50} \leq 2 \text{ mm} \dots\dots\dots (6.1)$$

$$y_{ms} = 1,23 \left[\frac{q^{2/3}}{D_{50}^{1/12}} \right] \text{ untuk dasar kerikil } D_{50} > 2 \text{ mm} \dots\dots\dots (6.2)$$

Dengan q debit per satuan lebar (m³/det/m) pada sungai utama, D₅₀ (mm) adalah median size dari material dasar, dan y_{ms} adalah kedalaman gerusan rata-rata di bawah permukaan air.

Hasil eksperimen yang dilakukan Jau-Yau Lu, dkk. (2012) setelah melakukan uji terhadap beberapa varian, maka gerusan umum selain

dipengaruhi oleh debit per satuan lebar (q), ukuran butiran medium (D_{50}) juga dipengaruhi oleh kemiringan dasar sungai (S_0) dan standard deviasi geometric material dasar sungai (σ_b), sehingga $y_{ms} = fn(q, S_0, D_{50}, \sigma_b)$; persamaan untuk memprediksi gerusan umum mengalami modifikasi menjadi sebagai berikut.

$$y_{ms} = 1,26 \left[\frac{q^{0,8} S_0^{0,27} \sigma_g^{0,74}}{D_{50}^{0,23}} \right] \dots\dots\dots (6.3)$$

Dengan y_{ms} , q , D_{50} , dalam m, $m^3/det/m$ dan mm berturut-turut, σ_g adalah standar deviasi geometric yang diberikan oleh persamaan (Przedwojski, B. et.al:1995).

$$\sigma_g = \left(\frac{D_{84}}{D_{50}} + \frac{D_{50}}{D_{16}} \right) \dots\dots\dots (6.4)$$

Untuk diameter butiran rata-rata (*mean grain size*) D_m , dapat dihitung dengan hubungan berikut.

$$D_m = D_g \exp(0,5 \ln^2 \sigma_g) \dots\dots\dots (6.5)$$

D_g adalah diameter rata-rata geometric yang dihitung dengan persamaan:

$$D_g = (D_{84} D_{16})^{1/2} \dots\dots\dots (6.6)$$

Gerusan untuk ambang tipe *Flip Bucket* (lengkung) Mason dan Arumugan (dalam M. Hanif Chaudhry: 1993) mengembangkan formula untuk memprediksi gerusan sebagai berikut:

$$D_m = K \frac{q^a H^b h^{0,15}}{g^{0,3} d_m^{0,1}} \dots\dots\dots (6.7)$$

Dengan D_m adalah gerusan maksimum diukur dari permukaan *tailwater*, q debit persatuan lebar, h kedalaman *tailwater* di atas elevasi dasar yang tidak tergerus, H adalah perbedaan head antara elevasi *headwater* dan *tailwater*, d_m adalah ukuran material dasar rerata, dalam SI-Unit $a = 0,60 - 300/H$; $b = 0,15 - H/200$; dan $K = 6,42 - 3,1 h^{0,1}$.

2.2.4. Loncat Air dan Energi

Pada umumnya aliran yang terjadi di kaki atau hilir *Groundsill* merupakan *hydraulics jump*, persamaan untuk menghitung kedalaman loncatan air dikenal dengan persamaan konjugasi (*sequent depth*) yang dirumuskan sebagai berikut (Zang, H. et al., 2024) :

$$\frac{y_2}{y_1} = \frac{1}{2} \left(\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1 \right) \dots\dots\dots (7.1)$$

Kedalaman kritis dalam aliran tersebut dapat dihitung dengan :

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \dots\dots\dots (7.2)$$

Pada loncat air disertai dengan adanya kehilangan energi (ΔE), yaitu selisih energi di bagian hulu dengan energi yang timbul setelah terjadi loncat air di bagian hilir (*tailwater*), formulasi kehilangan energi ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\Delta E = E_1 - E_2 \dots\dots\dots (7.3)$$

$$\Delta E = \left(\frac{V_1^2}{2g} + y_1 \right) - \left(\frac{V_2^2}{2g} + y_2 \right) \dots\dots\dots (7.4)$$

$$\Delta E = \frac{1}{2g} (V_1^2 - V_2^2) + (y_1 - y_2) = \frac{q^2}{2g} \left(\frac{1}{y_1^2} - \frac{1}{y_2^2} \right) + (y_2 - y_1) \dots\dots\dots (7.5)$$

Disederhanakan akan diperoleh persamaan berikut.

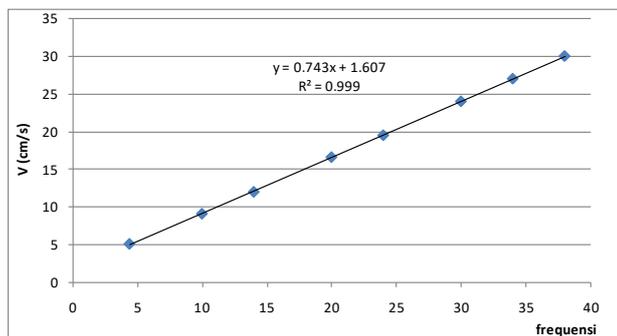
$$\Delta E = \frac{(y_2 - y_1)^3}{4y_1 y_2} \dots\dots\dots (7.6)$$

Dengan ΔE adalah kehilangan energi yang terjadi pada loncat air, y_1 adalah kedalaman aliran di hulu dan y_2 kedalaman aliran di hilir (*tailwater*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Current Meter Calibration

Current Meter mini propeller Nixon serial no. 2594 type 403 yang terbaca adalah frekuensi (*indicator reading – hertz*), sehingga perlu adanya kalibrasi agar dapat diinterpretasikan sebagai kecepatan (*Streamflo Probe Calibration Chart*).



Gambar 2. Velocity calibration

3.2. Bed Material

Parameter diameter material pada Tabel 1 digunakan untuk menghitung parameter keseragaman butiran yaitu koefisien keseragaman $C_U = D_{60} / D_{10} = 0.58 / 0.09 = 6.44$ lebih besar dari 6 maka material dasar bergradasi baik, dan koefisien kurvatur/ketegakkan kurva $C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{60} D_{10}} = 1.01$; berada pada rentang 1 – 3 sehingga memenuhi kriteria material bergradasi baik dan standard deviasi butiran $\sigma_g = 6,23$

Tabel 1. Parameter Butiran Material Dasar Saluran

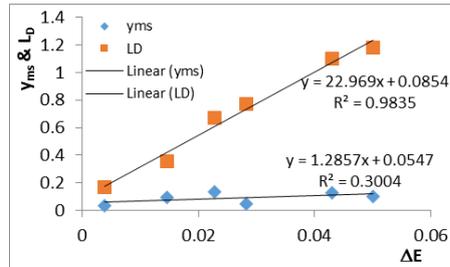
Diameter	D ₁₀	D ₁₆	D ₃₀	D ₅₀	D ₆₀	D ₈₄
Ukuran Partikel (mm)	0.09	0.14	0.23	0.43	0.58	1.36

DOI:

Interpretasi material dasar dapat diklasifikasikan terdiri dari sand 93,54%, sisanya silt dan clay sebesar 6,46%.

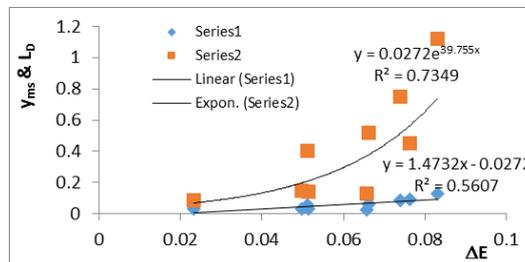
3.3. Perubahan Energi

Ketika aliran memasuki *groundsill* mengalami perubahan kecepatan, berbagai bentuk *groundsill* berpengaruh pada perubahan kecepatan, sehingga dapat diidentifikasi dengan adanya perubahan energi antara bagian hulu dan hilir *groundsill*. Berikut grafik perubahan energi terhadap beberapa parameter aliran untuk berbagai type *groundsill*.



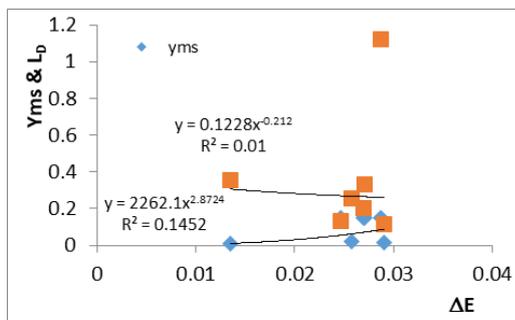
Gambar 3. Pola Hubungan Kehilangan Energi pada *groundsill* Ambang Lebar

Pada *Groundsill* dengan ambang lebar terjadi gerusan yang relative tetap terhadap perubahan energi, ketika energi bertambah kedalaman gerusan tidak menunjukkan perubahan yang berarti, tetapi panjang gerusan (LD) sebaliknya menunjukkan perubahan yang cukup signifikan bahkan fenomenanya linier, ketika energi bertambah maka panjang gerusan akan bertambah pula. Umumnya fenomena ini akan terjadi ketika aliran bertambah besar (kondisi banjir).



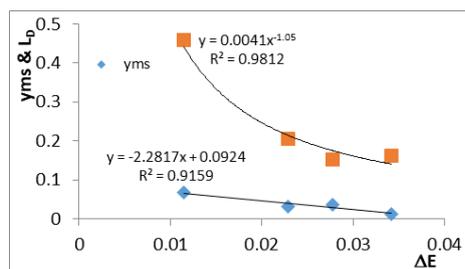
Gambar 4. Pola Hubungan Kehilangan Energi pada *groundsill* Gerigi

Pada *groundsill* dengan ambang gerigi gerusan terjadi di kaki *groundsill*, dengan bertambahnya energi gerusan akan bertambah pula tetapi perubahannya tidak signifikan, aliran masih bisa diredam oleh gerigi sebelum menggerus butiran yang ada di kaki *groundsill*, tetapi panjang gerusan masih menunjukkan perubahan yang signifikan, bentuk perubahannya tidak lagi linier, merupakan perubahan dengan bentuk power.



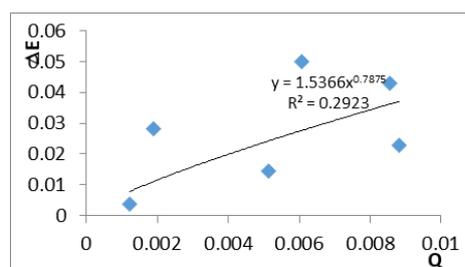
Gambar 5. Pola Hubungan Kehilangan Energi pada *groundsill* Lengkung

Fenomena yang cukup berbeda dari *groundsill* type lain terjadi pada *groundsill* dengan ambang bentuk lengkung, kedalaman gerusan umumnya masih terjadi di kaki *groundsill* namun panjang gerusan seiring dengan bertambahnya energi mengalami pengurangan, tampak dengan adanya kemiringan garis regresi yang miring ke kiri. Pengamatan gerusan pada kaki *groundsill* cukup menarik perhatian, ketika awal terjadinya gerusan, dengan cepat gerusan merambat ke arah hilir, namun tidak lama kemudian terjadi penimbunan kembali pada sisi kaki *groundsill* sehingga kakinya terlindung, pada bagian ambang lengkung aliran terpelanting ke hilir bagian atas kaki *groundsill*, sehingga tidak terjadi gerusan, namun di hilir kakinya tetap terjadi gerusan.



Gambar 6. Pola Hubungan Kehilangan Energi pada *groundsill* trap

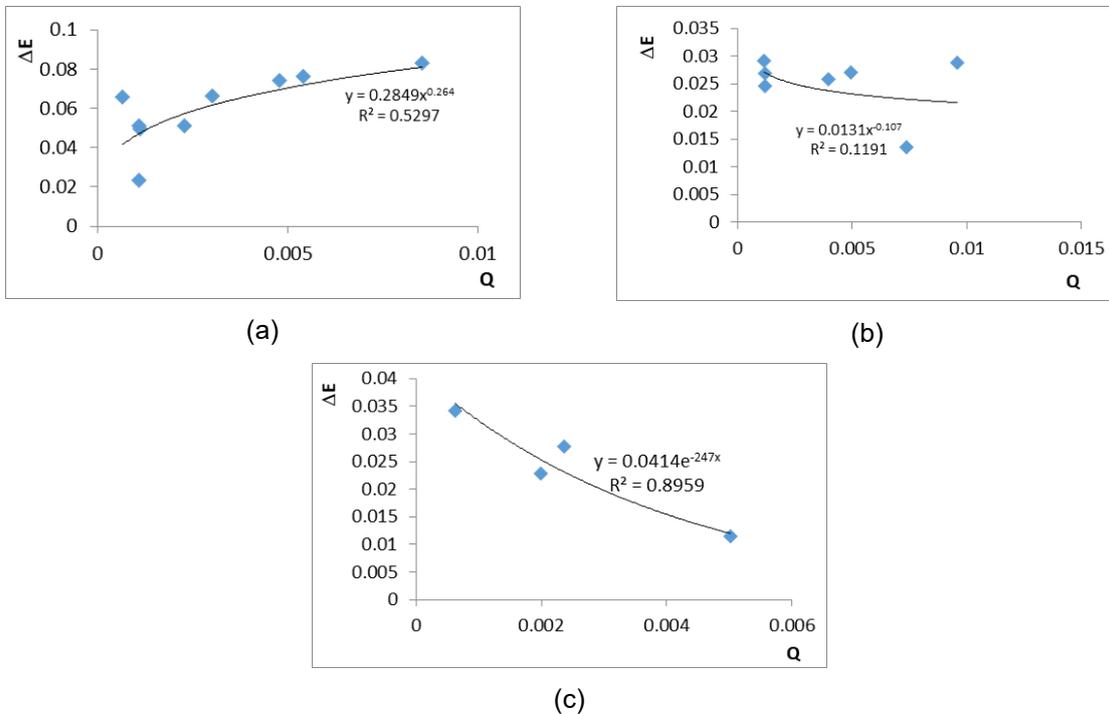
Pada *groundsill* dengan ambang bentuk trap menunjukkan terjadinya pengurangan kedalaman gerusan seiring dengan bertambahnya energi, hal ini dapat terjadi karena aliran energinya sudah dipecahkan terlebih dahulu melalui trap-trap yang disusun menurun ke arah kaki *groundsill*, sehingga ketika aliran sampai di kaki *groundsill* energi sudah mengecil, demikian juga dengan panjang gerusan arah horizontal mengalami pengurangan seiring dengan bertambahnya energi. Pengurangan panjang gerusan cukup signifikan dengan bertambahnya energi aliran, ditunjukkan seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Pola Hubungan Debit – Kehilangan Energi pada GS Ambang Lebar

DOI:

Perubahan energi dapat dikorelasikan dengan debit aliran, pada umumnya semakin besar debit maka akan semakin besar perubahan energi, hanya kecenderungannya tidak linier melainkan membentuk persamaan power. Untuk dapat terjadinya gerusan diperlukan energi yang dapat membawa setiap partikel yang ada di kaki *Groundsill*. Terjadinya gerusan dapat dijelaskan dengan tegangan geser pada dasar saluran yang terjadi (*initial motion*) dari teori Shield, yang membahas tentang awal gerak partikel.



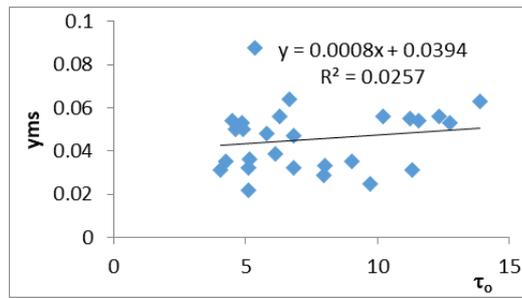
Gambar 8. Pola Hubungan Debit – Kehilangan Energi pada (a) GS Ambang Gerigi, (b) GS Ambang Lengkung, (c) GS Ambang Trap

Untuk *Groundsill* type ambang lebar dan gerigi pertambahan debit akan memicu terjadinya perubahan energi yang bertambah, sedangkan type *Groundsill* Ambang Lengkung dan Ambang Trap pertambahan debit tidak memicu bertambahnya perubahan energi, kejadian sebaliknya dari dua type di atas yaitu perubahan energi mengalami penurunan, karena pada ambang trap dan lengkung energi sudah berkurang sebelum sampai pada kaki *Groundsill*.

3.4. Kedalaman Gerusan

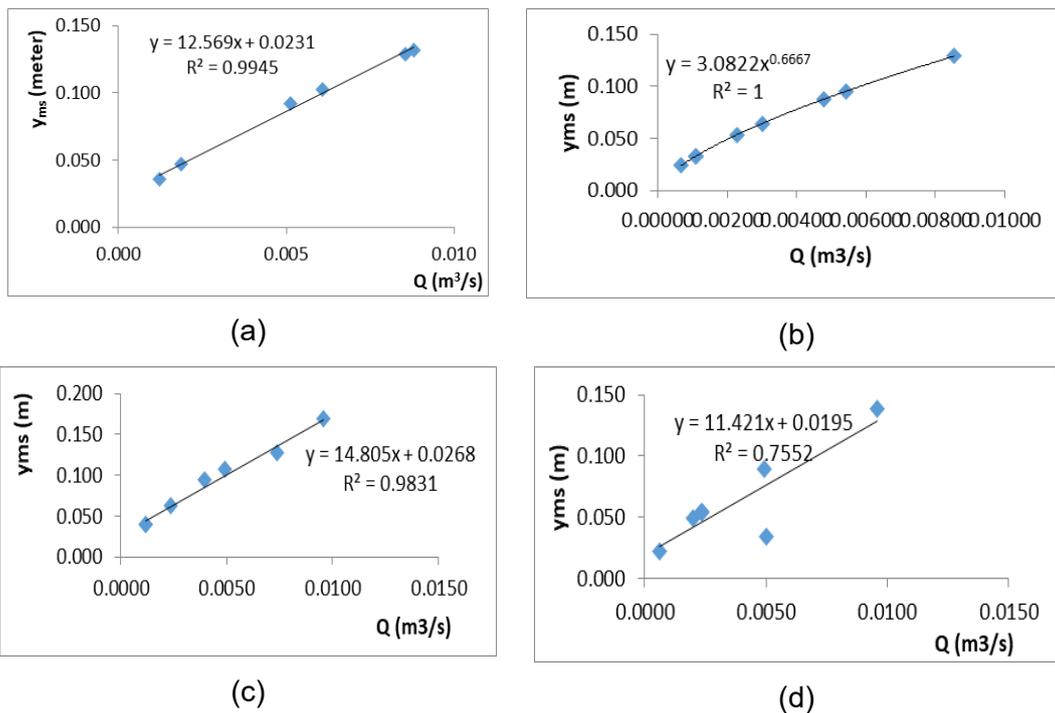
Gerusan yang terjadi pada kaki *Groundsill* sebagai akibat adanya interaksi antara aliran dengan material dasar saluran, parameter yang mempengaruhi terjadinya gerusan di hilir adalah debit aliran, kemiringan dasar saluran dan diameter partikel material dasar. Jika debit aliran kecil dan kelandaian dasar saluran kecil maka gerusan hampir tidak terjadi, kondisi ini mengFigurekan ketika di sungai dalam kondisi aliran kecil, dimana partikel umumnya dalam keadaan diam. Namun jika terjadi banjir (debit meningkat) kecepatan aliran menjadi besar dan tegangan geser dasar meningkat melebihi tegangan kritisnya, sehingga partikel bergerak (terjadi gerusan).

DOI:



Gambar 9. Tegangan Geser Dasar – Kedalaman Gerusan

Tegangan geser di dasar saluran merupakan tolok ukur untuk terjadinya angkutan sedimen (gerusan), tegangan geser kritis rerata untuk setiap kasus seri aliran yang dihitung dengan pendekatan Shield menunjukkan angka yang relative kecil sebesar $0,243 \text{ kg/m}^2$ sedangkan tegangan geser dasar rerata yang timbul sebesar $7,206 \text{ kg/m}^2$, sehingga tampak bahwa tegangan geser yang terjadi lebih besar dari tegangan geser kritis di dasar saluran sebagai indikasi terjadinya gerusan di kaki *Groundsill*. Dari fenomena ini menunjukkan akan menghasilkan gerusan pada kaki seluruh model *Groundsill* sebagaimana diperlihatkan pada gambar 10. Berbagai model ambang yang direkayasa pada *Groundsill* terjadi gerusan, maksud rekayasa bentuk ambang supaya meminimalisir terjadinya gerusan di kaki *Groundsill*.

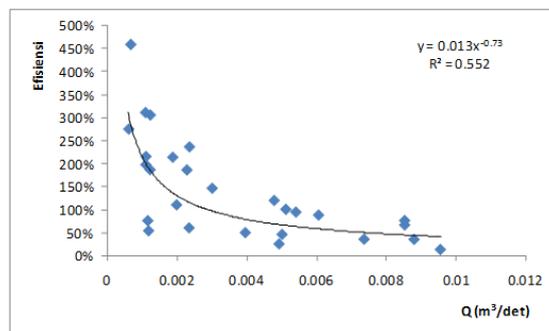


Gambar 10. Debit – Kedalaman Gerusan pada (a) GS Ambang Lebar, (b) GS Ambang Gerigi, (c) GS Ambang Lengkung, (d) GS Ambang Trap

3.5. Efektivitas *Groundsill*

Tingkat efektivitas dalam menghasilkan gerusan untuk tiap model ambang *Groundsill*. semakin besar gerusan yang terjadi akan memberikan angka efektivitas yang besar, kriteria capaian efektivitas seperti yang telah ditetapkan sebelumnya. Untuk type *Groundsill* ambang lebar, ambang gerigi dan ambang Trap menunjukkan sangat tidak efektif untuk menangani gerusan, karena kedalaman gerusan yang terjadi cukup dalam di model sehingga tidak bisa diharapkan mempertahankan stabilitas bangunan *Groundsill*. Sedangkan type *Groundsill* ambang Lengkung merata memberikan efektivitas dengan rentang cukup dan sangat efektif, ada fenomena timbunan balik di sisi kaki *Groundsill* selama proses gerusan berlangsung yang dapat melindungi kaki *Groundsill* dari bahaya gerusan.

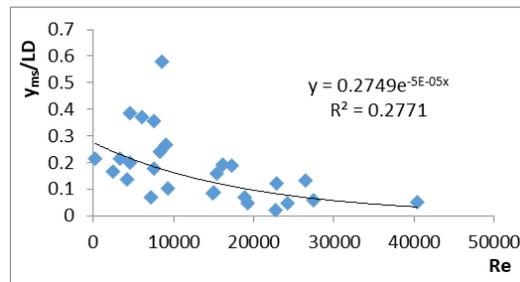
Aliran yang melintas di atas ambang pada umumnya terjadi peningkatan kecepatan karena aliran mengalami kontraksi, pada permukaan air terjadi arus silang, merata peningkatan kecepatan di atas ambang adalah sebesar 27,3%, sehingga jika tidak ditreatment akan memicu terjadinya gerusan di hilir pada kaki *Groundsill*. Setelah ditreatment dengan dibuat bidang lengkung maka kecepatan berkurang rata-rata 9,4%. Untuk seluruh model *Groundsill* menunjukkan berkurangnya efektivitas seiring dengan bertambahnya debit, dalam kondisi banjir bagaimanapun akan terjadi gerusan pada kaki hilir *groundsill*.



Gambar 11. pola hubungan debit – efektivitas

3.6. Hubungan Fungsional Parameter Aliran

Untuk mendapatkan interpretasi yang bersifat umum maka dibuat hubungan fungsional antara parameter aliran tak berdimensi, hubungan antara karakteristik aliran yang diwakili dengan angka tak berdimensi Reynold Number dengan parameter gerusan tak berdimensi yaitu rasio antara kedalaman (y_{ms}) dengan panjang gerusan (L_D), pola hubungan seperti diperlihatkan pada Figure 18. Kedalaman gerusan dapat diformulasikan sebagai fungsi angka Reynold, $y_{ms}/L_D = f(Re)$



Gambar 12. Hubungan fungsional antara parameter aliran dengan gerusan

4. KESIMPULAN

Pada umumnya material dasar saluran mengalami pergerakan di seluruh seri aliran sehingga pada hilir *groundsill* terjadi gerusan, karena dipengaruhi debit, kemiringan dan perilaku material dasar, tegangan geser yang terjadi pada material dasar saluran melampaui nilai tegangan geser kritis. Dari empat model *groundsill* yang dilakukan pengamatan terhadap fenomena gerusan di bagian hilir, maka model *groundsill* dengan Ambang Lengkung memberikan perlindungan pada tumit *groundsill*, sehingga terhindar dari *deep scouring* yang dapat mengangkat tubuh *groundsill* hingga terjadi *failure* (stabilitas terganggu). Efektivitas gerusan di hilir *groundsill* terjadi pada type *groundsill* dengan Ambang Lengkung, semakin besar debit aliran maka gerusan yang terjadi semakin dalam.

REFERENSI

- Agoes, H. F., Hayati, F., & Muhlis, A. (2023). Tinjauan Alternatif Pemeliharaan Sungai Terdampak Peluapan Banjir Berdasarkan Penilaian Kondisi Morfologi Sungai Amandit. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 18(1), 20-30.
- Agustina, A., Bertrania, & Kastamto. (2022). Analisis karakteristik aliran sungai pada Sungai Cimadur, Provinsi Banten dengan menggunakan HEC-RAS. *Journal of Infrastructural in Civil Engineering (JICE)*, 3(1), 31–41. <https://jurnal.teknokrat.ac.id/index.php/jice>
- Ananta, Q. ., Lesmana, S., Tahadjuddin, T., & Harsanto, P. (2023). Pengaruh Groundsill Pada Degradasi dan Agradasi Dasar Sungai Winongo (Studi Kasus Simulasi Dengan Sedimen D50). *REKONSTRUKSI TADULAKO: Civil Engineering Journal on Research and Development*, 4(2), 87-98.
- D'Agostino, V., & Ferro, V. (2024). Introducing high-order response surface method for improving scour depth prediction downstream of weirs. *Applied Water Science*, 14(1), Article 35.
- Farbiz, F., Ghodsian, M., & Kazerooni, B. (2025). The influence of submergence on scour at triangular piano key weirs. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 73(1), 34–50.

- Fauzi, M. A., Pratikso, & Rochim, A. (2024). Analisis perilaku erosi pada dasar sungai bagian hilir bangunan ground sill. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 29(2), 43–56.
- Fitri, A., Chen, H., Yao, L., Zheng, K. H., Rossi, F., & Yin, Y. (2021, October). Evaluation of the Ground sill's stability at downstream of "Citorek" Bridge in Cimadur River, Banten Province. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 880, No. 1, p. 012029). IOP Publishing.
- Harsanto, P., Sutri, G. N., Rahadiansyah, S., & Lesmana, S. (2024). Pemodelan degradasi dan agradasi dasar sungai dengan beberapa persamaan di Sungai Winongo, Yogyakarta. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 15(2), 75–84.
- Harsanto, P., Sutri, G. N., Rahadiansyah, S., & Lesmana, S. B. (2024). Pemodelan Degradasi dan Agradasi Dasar Sungai dengan Beberapa Persamaan di Sungai Winongo Yogyakarta. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 15(2), 75-84.
- Mananoma, T., Wantouw, F., Sompie, E. N. G., Ratu, Y. A., Thambas, A. H., Raco, B., & Auwyanto, K. H. (2025). Morfologi Sungai: Proses, Dinamika, dan Pengelolaan. Yayasan Tri Edukasi Ilmiah.
- Marlina, N., Hudori, & Hafidh, R. (2017). Pengaruh kekasaran saluran dan suhu air sungai pada parameter kualitas air COD, TSS di Sungai Winongo menggunakan software QUAL2Kw. *Jurnal Sains dan Teknologi Lingkungan*, 9(2), 122–133.
- Patel, S., Jha, R., & Singh, S. (2024). Optimal spur dike orientation for scour mitigation under downward seepage conditions. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 72(3), 386–397.
- Permana, D. P. (2020). Kajian Ulang Control Stabilitas Ground sill Bendung Gerak Sungai Bengawan Solo di Kabupaten Bojonegoro. *Jurnal teknik sipil*, 5(1), 13-24.
- Ragilia, P. S., & Susarman. (2021). Efektifitas struktur ground sill dalam mengurangi gerusan di dasar sungai: Kajian literatur. *Journal of Infrastructural in Civil Engineering*, 2(1), 8–15.
- Shiddiq, R. H. B. A., Suryaman, N. N., & Ardiansyah, N. P. (2024). Analisis Jenis Aliran pada Saluran Terbuka dengan Hambatan. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Sipil*, 8(2), 213-219.
- Tungga, A. W., Asmaranto, R., & Suprijanto, H. (2018). Perencanaan Ground sill Pada Sungai Tinga-Tinga Desa Tukad Tinga-Tinga Kecamatan Gerokgak Kabupaten Buleleng Bali. Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.
- Zhang, H., Wang, X., & Liu, Y. (2024). Experimental study on upstream water level rise of submerged rock weirs. *Water*, 16(15), 2136