

Pengaruh Lebar Celah Pada Erosi Disambungan Saluran Berbentuk Persegi

Asyifa Sholeha¹, Hary Christady Hardiyatmo^{1*}, Sito Ismanti²

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA

*Corresponding author: hary.christady@ugm.ac.id

INTISARI

Hujan lebat sering kali menyebabkan masalah pada drainase jalan dan struktur yang berada di atasnya. Salah satu dampak utama adalah terjadinya erosi internal, yang merupakan proses pengikisan pada lapisan tanah yang jenuh air. Pada struktur *culvert*, lebar celah pada sambungannya merupakan salah satu penyebab erosi yang signifikan. Namun, bagaimana lebar penutup pada sambungan *culvert* secara spesifik memengaruhi tingkat erosi yang terjadi masih belum dipahami secara penuh. Oleh karena itu, penelitian dilakukan untuk memahami dampak lebar celah terhadap tingkat erosi tanah. Pengujian eksperimental dilakukan dengan model tereduksi di laboratorium, dengan mempertimbangkan perbedaan lebar celah, debit air, dan waktu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin lama tanah terpapar erosi, semakin tinggi pula tingkat erosi yang terjadi. Lebar celah pada sambungan *culvert* juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap jumlah material yang terangkut akibat erosi. Penting untuk dicatat bahwa penutup sambungan dapat mengurangi erosi hingga tiga kali lipat, namun perlu diingat bahwa semakin besar lebar celah, semakin besar dampaknya terutama terkait dengan terbentuknya *sinkhole*. Penelitian ini menyoroti perlunya pendekatan holistik dalam merancang sambungan *culvert* untuk mencapai desain yang optimal.

Kata kunci: Penutup Sambungan, lebar celah, erosi, *culvert*, *sinkhole*.

1 PENDAHULUAN

Indonesia, dengan curah hujan mencapai 5.332 mm/tahun (BMKG, 2022), secara teratur mengalami banjir yang menyebabkan kerugian besar. BNPB mencatat adanya 464 kejadian banjir setiap tahunnya di Indonesia yang mengakibatkan kerugian mencapai Rp. 31,5 triliun. Dampaknya yang sangat signifikan menyoroti perlunya sistem drainase yang efektif sebagai langkah mitigasi. *Culvert* sering digunakan sebagai sistem drainase bawah permukaan karena fleksibilitasnya dalam hal desain, ukuran, dan proses instalasinya. Hal ini memungkinkan *culvert* untuk beradaptasi dengan baik terhadap topografi, beban hidrolis, dan kebutuhan lingkungan setempat, sehingga memberikan solusi yang optimal dan efektif dalam mengatasi masalah drainase di berbagai jenis wilayah.

Salah satu aspek yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan *culvert* adalah sambungannya. Sambungan yang tidak dapat menimbulkan kebocoran yang dapat mengerosi tanah disekitarnya. Proses erosi yang terjadi secara terus-menerus dapat melemahkan struktur tanah, sehingga pada akhirnya, tanah mengalami keruntuhan dan membentuk lubang atau depresi yang disebut *sinkhole*. Bahaya *sinkhole* meliputi potensi kerusakan pada properti dan infrastruktur yang berada di atasnya, serta risiko kecelakaan bagi orang dan kendaraan yang melintas di sekitar area tersebut. Selain itu, *sinkhole* juga dapat mengganggu kestabilan lingkungan dan mempengaruhi kualitas air tanah.

Studi terdahulu menyatakan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara kebocoran pada sambungan *culvert* dan jenis sambungan yang digunakan (Hill, 1985). Sementara itu, pengujian laboratorium juga menunjukkan bahwa semakin besar celah pada sambungan *culvert*, semakin tinggi tingkat erosi yang terjadi (Panjalu, 2023). Dalam hal ini, penggunaan penutup sambungan dapat membantu mengurangi erosi akibat kebocoran sambungan saluran. Namun, masih terdapat sebuah celah dalam pemahaman tentang bagaimana variasi lebar penutup pada sambungan secara spesifik mempengaruhi tingkat erosi. Sehingga, tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh lebar celah sambungan pada *culvert* terhadap erosi yang terjadi. Penelitian ini memberikan wawasan terkait perancangan *culvert* yang lebih efektif untuk mengurangi risiko erosi dan kerusakan terkait.

2 METODOLOGI PENELITIAN

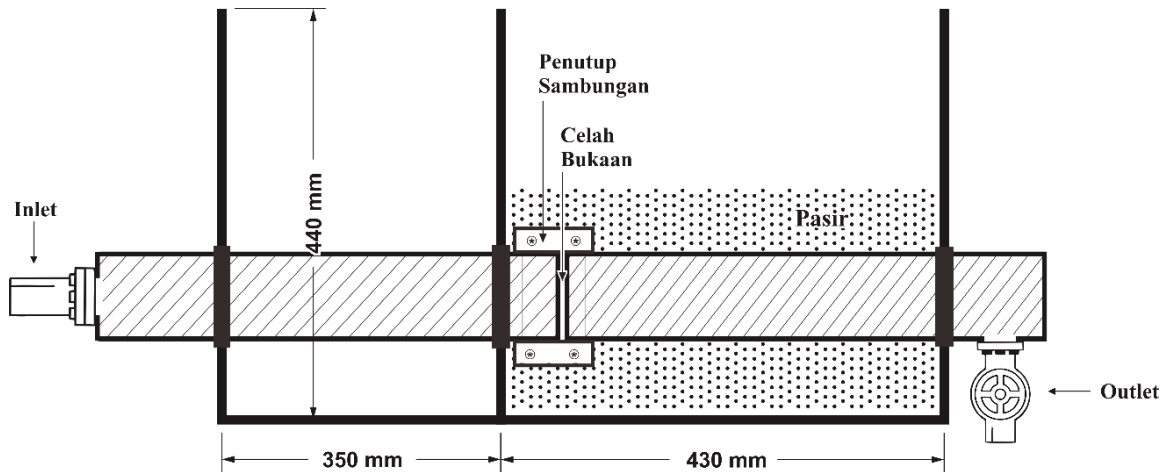
2.1 Persiapan Pengujian

Pengujian ini dilakukan menggunakan alat uji yang tereduksi dengan skala 1:10. Benda uji terbuat dari bahan akrilik setebal 5 mm dengan lebar 30 cm, panjang 92 cm, dan kedalaman 44 cm. Terdapat dua permodelan saluran penampung persegi dengan panjang sisi 15 cm. Seluruh alat uji coba termasuk sambungan saluran, dudukan saluran. Material pasir yang digunakan berasal dari sungai progo dengan pasir lolos saringan no. 4 agar memudahkan pada saat pengujian dilakukan. Sealent diberikan pada *inlet* dan *outlet* untuk memastikan tidak ada rongga udara yang masuk. Rongga udara yang masuk dapat menyebabkan perubahan debit air yang telah diatur diawal pengujia. Pada pengujian ini debit air yang terbaca pada *flowmeter* adalah 28,6 l/menit.

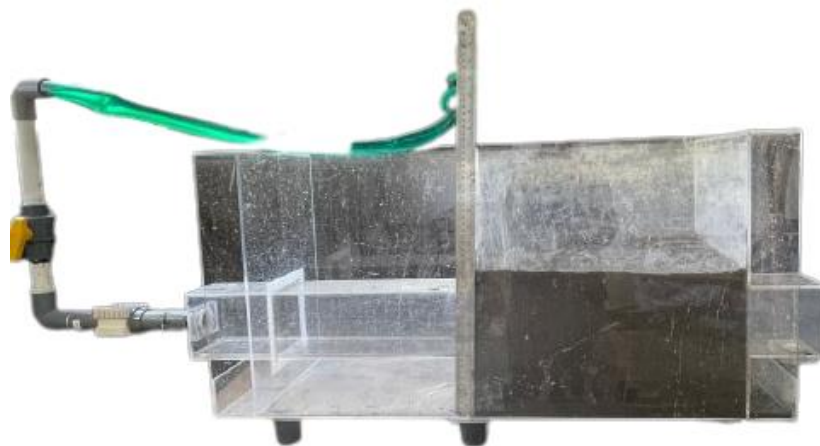
Pada pengujian ini variabel yang diubah adalah lebar celah sambungan (*B*). Variasi celah sambungan yang digunakan pada pengujian ini adalah 1, 2, 3, dan 4 mm. Parameter debit dan waktu pengaliran digunakan debit 28,6 liter/menit dan waktu pengujian 4 menit dipilih agar mendapatkan data yang lebih respresentatif. Dari setiap variasi celah tersebut akan didapat perbedaan berat material tererosi yang terjadi. Material tererosi yang tertahan pada saringan yang diletakkan di bawah outlet menjadi hasil berat tanah yang tererosi dari setiap pengujian ditimbang lalu di gambarkan pada grafik. Celah yang terdapat pada sambungan *box culvert* akan menyebabkan aliran air keluar dari saluran yang akan memenuhi pori-pori tanah hingga jenuh dan material tanah di luar saluran akan terangkut mengikuti aliran air.

2.2 Tahapan Pengujian

Skema dan foto alat uji yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1a dan 1b.



Gambar 1a. Skema pengujian



Gambar 1b. Alat uji

Tahapan pengujian dimulai dengan mengisi bak penampung air hingga terisi penuh dan menjaga agar debit air yang diinginkan seusai dari awal pengujian hingga selesai. Kecepatan aliran yang digunakan konstan pada seluruh pengujian selama pengujian. Pada pengujian ini $Q = 28,6$ l/menit. Nilai Q didapat dari pembacaan *flowmeter* dengan kondisi bukaan penuh pada bak

penampung air. Alat pengujian dirakit sesuai dengan gambar yang disediakan, termasuk pemasangan pipa *inlet* kedalam lubang kotak tanah dan penyambung saluran *outlet* dengan saluran *inlet*, yang kemudian diberi *sealant* untuk mencegah kebocoran. Saluran outlet didorong hingga menempel dengan ujung saluran inlet, dengan celah yang disesuaikan sesuai dengan variasi pengujian. Variasi pengujian meliputi celah pada sambungan yaitu 1 mm, 2 mm, 3 mm dan 4 mm, untuk variasi penutup sambungan yang digunakan ada 1 cm, 3 cm dan 5 cm. Penyangga yang terletak didalam pasir berguna untuk menopang dan mencegah kerusakan. Stop kran dipasang pada ujung saluran *outlet* disetel pada posisi tertutup. Setelah semua persiapan selesai, pasir dimasukkan kedalam alat uji dan dipadatkan hingga 30 cm secara bertahap. Cara pemadatan yang dilakukan pada pengujian ini adalah dengan cara memasukan pasir secara perlahan dan dipadatkan dengan cara dipukul menggunakan palu kayu. Kepadatan pada pengujian ini diabaikan sehingga kepadatan dilihat hanya dari visual. Pengujian dimulai dengan membuka stop kran pada bak penampung air dan dilanjutkan dengan variasi celah sambungan dan penutup sambungan yang sudah disebutkan diatas.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Erosi yang terjadi selama pengujian menunjukkan bahwa semakin lebar celah sambungan (*B*), maka semakin besar massa tanah yang tererosi (*W*). Pada kondisi di mana lebar penutup sambungan (*S*) = 1 cm, erosi terbesar terjadi pada lebar celah 1 mm (*W* = 68,32 g), diikuti dengan lebar celah 2 mm (*W* = 99,78 g), 3 mm (*W* = 134,66 g), dan 4 mm (166,34 g). Namun demikian, meskipun total massa tererosi yang terjadi pada celah 1 hingga 4 mm menunjukkan peningkatan secara linear positif (**Gambar 2**), kenaikan massa tererosi (ΔW) mengalami penurunan secara bertahap. Secara spesifik, ΔW pada *B* = 4 mm memiliki nilai yang paling rendah (ΔW = 23,52%) meskipun menghasilkan total massa tererosi yang paling besar (*W* = 166,34 g).

Meskipun pengaruh lebar celah sambungan (*B*) terhadap massa (*W*) dan kenaikan massa tererosi (ΔW) menunjukkan pola yang sama untuk lebar penutup sambungan (*S*) yang berbeda (**Gambar 3**), *W* terbesar dihasilkan oleh *S* = 1 cm (*W* = 68,32-166,34 g), diikuti oleh *S* = 3 cm (*W* = 47,46-140,03 g), dan *S* = 5 cm (*W* = 30,82-122,28 g). Meskipun demikian, *S* = 5 cm menunjukkan ΔW (dari lebar celah 1 ke 2 mm) memiliki kenaikan paling besar (ΔW = 124,04%), sedangkan *S* = 1 cm menunjukkan ΔW yang paling kecil (ΔW = 46,04%). Pada semua kondisi lebar penutup sambungan, ΔW pada *B* = 4 mm menunjukkan nilai yang seragam, berkisar antar 21-23%.

Penelitian ini menunjukkan peningkatan massa material tererosi (*W*) terhadap lebar celah sambungan (*B*) pada lebar penutup sambungan (*S*) yang berbeda. Hasil ini konsisten dengan studi-studi sebelumnya yang telah menunjukkan adanya hubungan linier positif antara *B* dan *W*, seperti yang diamati dalam penelitian oleh Panjalu (2023). Penjelasananya terletak pada fakta bahwa semakin lebar celahnya, semakin besar debit rembesan air yang terjadi, sehingga meningkatkan energi erosi yang dihasilkan oleh aliran air tersebut. Dengan demikian, temuan kami memberikan konfirmasi tambahan terhadap fenomena ini, memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang mekanisme erosi yang terjadi di sambungan *culvert*.

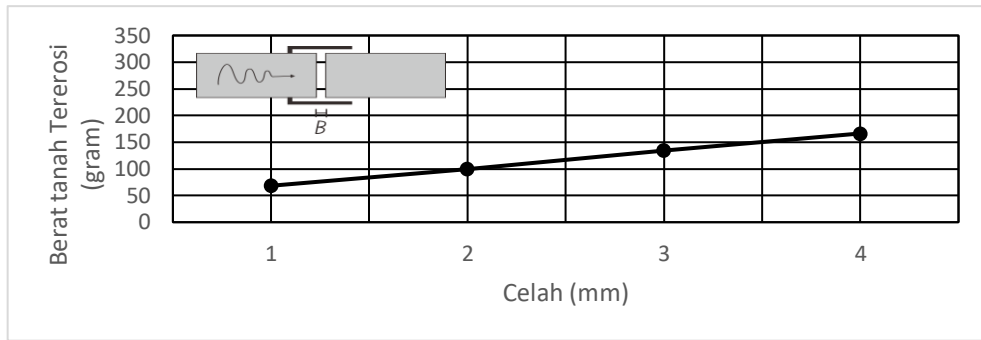
Namun demikian, penurunan kenaikan massa tererosi (ΔW) terhadap lebar celah sambungan (*B*) pada semua kondisi penutup sambungan (*S*) mengindikasikan bahwa ΔW sangat dipengaruhi oleh energi erosi aliran air. Meskipun peningkatan *B* secara teoritis meningkatkan debit rembesan, kecepatan aliran rembesan mungkin mengalami penurunan, berdasarkan hukum kontinuitas. Hal ini mengakibatkan perubahan *B* tidak selalu positif linear dengan energi erosi aliran air. Sehingga, peningkatan *B* menghasilkan penurunan ΔW , berdasarkan hasil yang kami peroleh.

Temuan tambahan dari penelitian kami menyoroti bahwa adanya peningkatan lebar penutup sambungan (*S*) memiliki dampak yang signifikan pada pengurangan berat material tererosi (*W*). Hal ini terkait erat dengan konsep gradien hidrolis. Ketika lebar penutup sambungan diperlebar, gradien hidrolisnya menjadi semakin kecil karena panjang lintasan rembesan air yang harus dilalui, khususnya melalui plat penutup, menjadi semakin besar. Secara umum, kecepatan rembesan air berbanding lurus dengan gradien hidrolis. Oleh karena itu, semakin lebar penutup sambungannya, kecepatan aliran air yang merembes akan semakin kecil, dan dengan demikian, energi erosi yang dihasilkan juga menjadi semakin kecil.

Meskipun penelitian ini menunjukkan kondisi dengan *S* = 5 cm dan *B* = 1 mm menghasilkan massa tererosi (*W*) paling rendah, namun, secara struktural, semakin lebar sambungan, kekakuan struktur akan semakin berkurang. Sehingga, penelitian ini menggaris bawahi bahwa mungkin terdapat ukuran sambungan optimum untuk desain *culvert* dengan mempertimbangkan aspek struktural, hidraulika, dan geoteknik. Penelitian selanjutnya akan mengevaluasi kemungkinan desain sambungan *culvert* yang lebih optimal dengan mempertimbangkan aspek-aspek tersebut secara komprehensif.

Tabel 1. Berat tanah yang tererosi menggunakan penutup sambungan 1 cm dengan tampang persegi

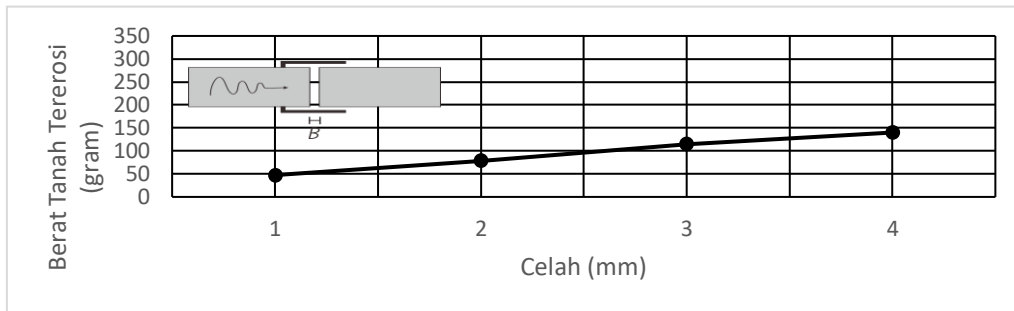
<i>S</i> (cm)	<i>B</i> (mm)	<i>W</i> (g)	Kenaikan (ΔW , %)
1	1	68,32	
	2	99,78	46,04
	3	134,66	34,95
	4	166,34	23,52



Gambar.1 Hubungan celah dan berat tanah tererosi menggunakan penutup sambungan 1 cm

Tabel 2. Berat tanah yang tererosi menggunakan penutup sambungan 3 cm dengan tampang persegi

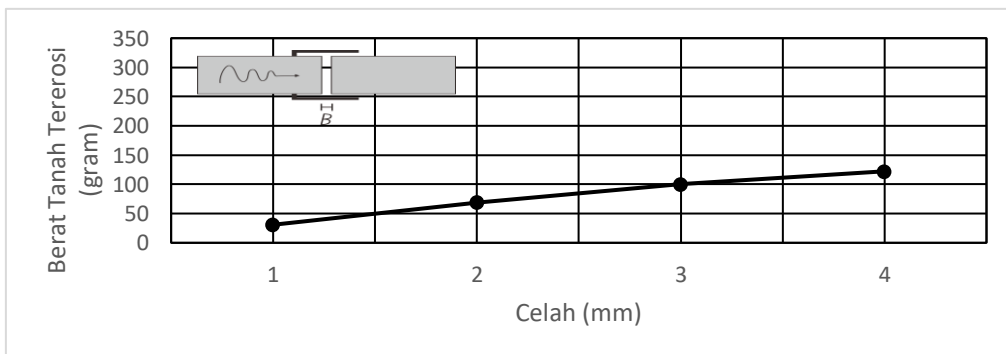
<i>S</i> (cm)	<i>B</i> (mm)	<i>W</i> (g)	Kenaikan (ΔW) (%)
3	1	47,46	
	2	78,43	65,254
	3	114,81	46,38
	4	140,03	21,96



Gambar 2 Hubungan celah dan berat tanah tererosi menggunakan penutup sambungan 3 cm

Tabel 1 Berat tanah yang tererosi menggunakan penutup sambungan 5 cm dengan tampang persegi

<i>S</i> (cm)	<i>B</i> (mm)	<i>W</i> (g)	Kenaikan (ΔW) (%)
5	1	30,82	
	2	69,05	124,04
	3	100,18	45,08
	4	122,28	22,06



Gambar 3 Hubungan celah dan berat tanah tererosi menggunakan penutup sambungan 5 cm

KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa terdapat hubungan positif antara lebar celah sambungan (B) dan massa tanah yang tererosi (W), dengan peningkatan lebar celah menyebabkan peningkatan massa tererosi. Meskipun demikian, peningkatan lebar celah tidak selalu menghasilkan peningkatan kenaikan massa tererosi (ΔW), yang menunjukkan adanya pengaruh energi erosi aliran air. Selain itu, lebar penutup sambungan (S) juga memiliki dampak signifikan terhadap pengurangan berat material tererosi (W), karena adanya pengaruh gradien hidrolis yang semakin kecil dengan peningkatan lebar penutup. Meskipun kondisi dengan lebar penutup sambungan (S) yang lebih lebar dan lebar celah sambungan (B) yang lebih kecil dapat menghasilkan massa tererosi (W) yang lebih rendah, hal ini perlu dipertimbangkan dengan kekakuan struktur. Oleh karena itu, penelitian ini menyoroti perlunya pendekatan dalam merancang sambungan *culvert*, dengan kemungkinan adanya ukuran sambungan optimum untuk desain yang optimal.

REFERENSI

- Allen, K., 1994. High fidelity vibratory seismic method for acquiring seismic. *Society of Exploration Geophysicist*, pp. 140-143.
- de, G. d. R. H. a. R., 1994. *Drainage Principles and Applications*. Wageningen: International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- Fang, Q., Zhang, D. & Wong, L., 2011. Environmental risk management construction in China. *Space techno*, Volume 26, pp. 750-763.
- Hill, J. J., 1985. Construction and Field Evaluation of Precast Concrete Arch Structures. *Transportation Research Record*.
- Normann, J., 1985. Hydraulic Design of Highway Culverts. Volume 85-15.
- Panjalu, R. S., 2023. Pengaruh Waktu Pengaliran dan Lebar Celah Terhadap Erosi Tanah Pada Sambungan Saluran Drainase. *Tugas Akhir*.