



Studi terhadap Penumpukan Debris Kayu dengan Backwater Rise Kenaikan Muka Air pada Hulu Jembatan¹

A Study into Woody Debris Accumulation with Backwater Rise in the Bridge Upstream

Muhammad Farid Maricar^{a, 2}, Farouk Maricar^a, Rita Tahir Lopa^a

^a Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Makassar, Indonesia.

ABSTRAK

Aliran debris menjadi fenomena yang terjadi di berbagai daerah aliran sungai, baik pada bagian hulu maupun pada bagian hilir. Aliran debris terjadi karena hujan yang deras dan menghanyutkan sebagian material pada daerah aliran sungai, termasuk potongan-potongan kayu yang merupakan patahan dari pohon-pohon yang terletak pada bagian hulu daerah aliran sungai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan penelitian lebih lanjut terkait fenomena penumpukan aliran debris kayu pada hulu jembatan berdasarkan eksperimen pada flume sebagai metodenya. Di dalam penelitian ini, model jembatan dari kayu dan model potongan kayu digunakan sebagai model jembatan dan debris kayu. Pada penelitian ini, dibuat sebuah alat untuk melepaskan kayu pada bagian hulu, dan jumlah kayu yang hanyut dan terperangkap akan dihitung. Selain itu, kedalaman aliran akan diukur selama terjadinya proses penumpukan debris kayu pada hulu model jembatan. Dari hasil penelitian ini, ditemukan bahwa backwater rise meningkat dengan meningkatnya jumlah penumpukan aliran debris kayu pada bagian hulu jembatan. Berdasarkan hasil penelitian tersebut disimpulkan bahwa penumpukan aliran debris kayu berpengaruh terhadap backwater rise pada hulu jembatan. Nilai backwater rise terendah adalah 0,02, sedangkan nilai tertinggi adalah 0,21. Selain itu, penumpukan aliran debris kayu meningkat selaras dengan meningkatnya debit aliran pada jembatan dengan penumpukan debris kayu. Rata-rata selisih backwater rise antara debit maksimum dan debit minimum pada tiap-tiap diameter 4 mm, 5 mm, dan 6 mm adalah : 0,058; 0,064; 0,1. Hal ini karena area pada hulu dari model jembatan yang berhadapan dengan arah aliran, meningkat seiring dengan meningkatnya debit pada aliran. Studi ini merupakan salah satu langkah untuk memperdalam ilmu untuk penanggulangan banjir.

Kata kunci: woody debris, backwater rise, flume experiment.

ABSTRACT

Debris flow is a phenomenon that occurs in both upstream and downstream watersheds. Heavy rains cause debris flow, which transports some of the material in the watershed, including pieces of wood from broken trees in the upper reaches of the watershed. The aim of this study was to conduct additional research on the phenomenon of accumulation of wood debris flow upstream of the bridge using flume experiments as the method. The wooden bridge model and a wood piece model were used as a bridge and wood debris models in this study. A tool was created in this study to release wood upstream, and the amount of drifted and trapped wood was counted. Furthermore, the depth of flow will be measured as wood debris accumulates upstream of the bridge model. According to the findings of this study, the backwater rise increased with the amount of wood debris flow accumulation on the upstream side of the bridge. According to the findings of this study, the accumulation of wood debris flow had an effect on the backwater rise upstream of the bridge. The lowest value for backwater rise is 0.02, while the highest value is 0.21. Furthermore, the accumulation of wood debris flow increases in accordance with the increase in flow discharge on the bridge caused by wood debris accumulation. For each diameter of 4 mm, 5 mm, and 6 mm, the average backwater rise difference between maximum and minimum discharge is: 0.058; 0.064; 0.1. This is due to the fact that as the discharge in the

¹ Info Artikel: Received: 30 Maret 2023, Accepted: 15 Mei 2023

² Corresponding Author: Muhammad Farid Maricar, faridmaricar.river@gmail.com

flow increases, the area upstream of the bridge model facing the direction of flow increases. This research is one step toward improving flood management knowledge.

Keywords: woody debris, backwater rise, flume experiment

PENDAHULUAN

Salah satu fenomena perubahan yang terjadi karena iklim adalah hujan deras yang menyebabkan aliran debris dari bagian hulu pada saluran sungai tertentu. Aliran debris menghanyutkan sebagian patahan maupun pohon secara utuh yang terdapat pada bagian hulu sungai. Aliran debris ini disebut sebagai aliran debris kayu. Aliran debris kayu yang terbawa oleh aliran debris ini tertahan pada bagian hulu jembatan, utamanya pada bagian jembatan pada bagian hulu sungai yang cenderung sempit seperti pada **Gambar 1** berikut.



Gambar 1 Potongan-potongan pohon yang akhirnya akan mengalir bersama aliran sehingga menjadi aliran debris kayu

Penumpukan debris kayu ini menyebabkan penyempitan pada luas penampang aliran pada saluran sehingga menyebabkan kenaikan muka air atau biasa disebut dengan *backwater rise*. *Backwater rise* yang terjadi melewati tinggi tanggul-tanggul yang ada di sekitar hulu jembatan sehingga menyebabkan peluapan atau bahkan mengubah aliran air sungai pada bagian sisi-sisi jembatan tersebut pada **Gambar 2** di bawah ini.



Gambar 2 Penumpukan aliran debris kayu pada jembatan yang berada di Sungai Nayoshi (Tsuwano, 2013)

Ada beberapa studi lapangan yang telah dilakukan. Misalnya terjadinya akumulasi potongan kayu yang terperangkap di jembatan di sepanjang sungai setelah peristiwa banjir di daerah pegunungan (M I Rusyda, Hashimoto, et al., 2014; M I Rusyda, Kusukubo, et al., 2014; Muhammad Islamy Rusyda, 2015). Selain itu, potensi akumulasi kayu-kayuan bergantung pada karakteristik cekungan, saluran, dan jembatan. Erosi tebing menghasilkan puing-puing kayu dari pepohonan yang menyebabkan terakumulasi di jembatan (Diehl, 1997). Selain itu, sebuah hipotesis menyatakan bahwa kepadatan distribusi logam tahan terhadap gangguan pada skala spasial dan temporal (Wohl & Scamardo, 2021).

Selain itu, ada beberapa percobaan terkait puing-puing kayu di sungai yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Misalnya, menyelidiki penyumbatan batang terapung di pelimpah ogee dengan menggunakan serangkaian percobaan laboratorium yang sistematis dan disimpulkan bahwa jumlah kelompok batang terkait dengan probabilitas penyumbatan dan dampak yang dapat ditimbulkan oleh penghalang terhadap kapasitas pembuangan saluran pelimpah (Furlan et al., 2018). Selain itu, terdapat penelitian dengan basis eksperimen dengan membuat aliran debris yang disebabkan oleh akumulasi potongan kayu pada *movable bed* awal dan potongan kayu lainnya yang jatuh di permukaan bagian aliran berikutnya untuk mempelajari konsentrasi sedimen yang diendapkan. (Hashimoto et al., 2016). Terdapat juga beberapa percobaan flume untuk membuktikan hipotesis mereka tentang gerusan lokal akibat akumulasi kayu yang besar mempengaruhi kenaikan air di bagian hulu hambatan. (Schalko et al., 2018a; Schalko et al., 2018b; Schalko et al., 2019). Dalam suatu eksperimen flume dan pengkategorian rezim pengangkutan kayu menjadi tiga kategori, tidak padat, padat, dan semi padat oleh Christian A. Braudrick et al., 1997. Schmocker & Hager, 2011 dan Schmocker & Weitbrecht, 2013 juga mengevaluasi probabilitas potongan kayu tunggal sebagai model dengan stok akar dan tanpa stok akar untuk terjebak di geladak jembatan. Beberapa pengamatan terhadap parameter digunakan untuk membuktikan persamaan yang diturunkan. Mengamati model kuantitatif untuk pengendapan kayu dan jarak pergerakan berdasarkan rasio geometri potongan dan saluran (Christian A. Braudrick & Grant, 2001). Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa kapasitas untuk bertahan di lembah dan sejajar dengan aliran mempengaruhi pengangkutan kayu.

Namun, studi lebih lanjut diperlukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang dampak dari perilaku aliran terhadap debris kayu. Masih banyak lagi metodologi

dengan berbagai jenis parameter dan variabel yang perlu divariasikan dalam percobaan. Beberapa diantara variasi dari penelitian ini adalah pada debit dan diameter kayu yang digunakan.

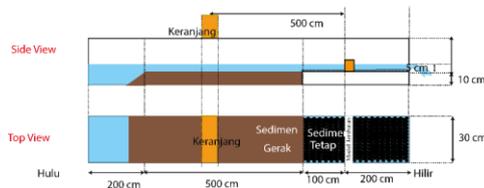
Namun, studi lebih lanjut diperlukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang dampak dari perilaku aliran terhadap debris kayu. Masih banyak lagi metodologi dengan berbagai jenis parameter dan variabel yang perlu divariasikan dalam percobaan. Beberapa diantara variasi dari penelitian ini adalah pada debit dan diameter kayu yang digunakan.

METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan flume yang dilakukan di Laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin sebagai model saluran sungai, potongan kayu sebagai model dari debris kayu, dan juga jembatan yang terbuat dari kayu sebagai model dari jembatan. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian yang sebelumnya yang dilakukan di Watershed Management Laboratory Kyushu University. Pada penelitian ini, dilakukan variasi pada diameter kayu dan debit. Penelitian ini memiliki batasan pada kemiringan saluran yang disederhanakan menjadi 0.

Flume

Flume **Gambar 3** yang digunakan pada penelitian ini mempunyai dimensi panjang 9 m, lebar 30.5 cm, dan tinggi 45 cm. Model jembatan 1 pilar diletakkan 2 m dari ujung hilir, kayu yang digunakan adalah jenis kayu terapung yang dilepaskan dari hulu sejauh 5 m dari jembatan.



Gambar 3 Flume

Model jembatan

Model jembatan dibuat yaitu jembatan 1 pilar dengan ukuran lebar 5 cm, panjang 30 cm, dan tinggi 5 cm seperti **Gambar 4**. Material dasar yang dipakai adalah triplek ukuran 12 mm. Adapun ukuran skala jembatan pada kondisi lapangan di sungai Nayoshi yang dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1 Ukuran model jembatan

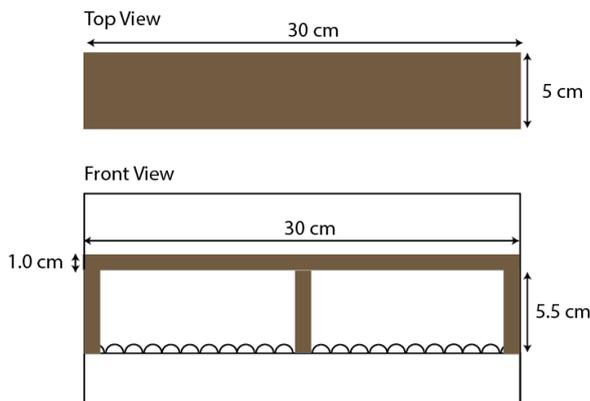
Ket.	Model (cm)	Ukuran Prototipe (m)	Skala
Panjang	30	13.1	1/50
Lebar	5	2.6	1/50
Tinggi	5	2.4	1/50

Model Kayu

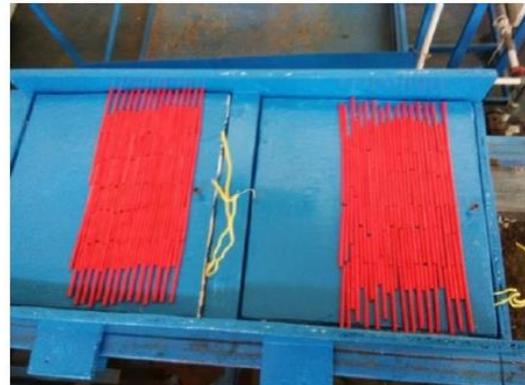
Model kayu yang digunakan menyeleraskan dengan model kayu yang digunakan pada penelitian yang sebelumnya. Pada penelitian ini skala kayu yang digunakan adalah 1/50, namun untuk membuat variasi, variasi dari kayu yang digunakan adalah kayu dengan diameter (4, 5, dan 6 mm) dan jumlah yang berbeda (50, 100, 150, 200, 250) yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Ukuran model jembatan

Model Kayu	Ukuran Kayu					
Panjang	7 cm					
Diameter	4 mm	5 mm	6 mm			
Jumlah	50	100	150	200	250	300



Gambar 4 Model jembatan



Gambar 5 Alat melemparkan model kayu

Prosedur penelitian

Sebelum penelitian, dilakukan pengukuran debit terlebih dahulu dengan menggunakan alat-alat; stopwatch, ember, dan timbangan. Debit yang dialirkan mengalir sampai kondisinya benar-benar stabil. Setelah itu, aliran air dihentikan, lalu model kayu yang akan digunakan untuk percobaan disiapkan.

Model kayu yang akan digunakan direndam selama sekitar sepuluh menit untuk menyesuaikan dengan kondisi kayu pada saat terjadi hujan. Hal ini berpengaruh terhadap berat jenis kayu yang digunakan. Massa jenis kayu setelah direndam adalah $0,35 \text{ g/cm}^3$, sedangkan sebelum direndam massa jenis kayu adalah $0,28 \text{ g/cm}^3$. Setelah itu, model kayu tersebut akan dipersiapkan pada sebuah alat yang akan digunakan untuk menjatuhkan kayu tersebut secara bersamaan. (**Gambar 5**).

Setelah persiapan tersebut selesai, debit dialirkan dari bagian hulu flume. Debit yang digunakan pada percobaan ini ada dua jenis, yaitu debit minimum (rerata $67 \text{ cm}^2/\text{s}$) dan debit maksimum (rerata $168 \text{ cm}^2/\text{s}$).

Setelah debit aliran stabil, model kayu akan dilepaskan pada jarak 5 m dari model jembatan. Setelah itu, beberapa kayu akan terdeposisi pada bagian hulu jembatan, beberapa kayu akan melewati jembatan, dan mengalir ke arah hilir jembatan. Selain itu, pengukuran tinggi muka air pada bagian hulu dan hilir model jembatan dengan menggunakan *point gauge*. Setelah proses percobaan selesai, dilakukan penghitungan jumlah kayu yang terdeposisi di jembatan dan jumlah kayu yang ikut terbawa ke hilir. Debit kembali diukur setelah dilakukan pengukuran tinggi muka air pada bagian hulu dan hilir model jembatan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penumpukan aliran debris kayu

Pada saat potongan kayu kontak dengan bagian hulu jembatan, terjadi penumpukan aliran debris (**Gambar 6 & Gambar 7**). Proses penumpukan aliran debris terjadi setelah adanya kontak antara aliran debris kayu dengan bagian hulu jembatan.

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan flume yang dilakukan di Laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin sebagai model saluran sungai, potongan kayu sebagai model dari debris kayu, dan juga jembatan yang terbuat dari kayu sebagai model dari jembatan. Penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian yang sebelumnya (Maricar, M.F. et al., 2018) yang dilakukan di Watershed Management Laboratory Kyushu University. Pada penelitian ini, dilakukan variasi pada diameter kayu dan debit. Penelitian ini memiliki batasan pada kemiringan saluran yang disederhanakan menjadi 0.

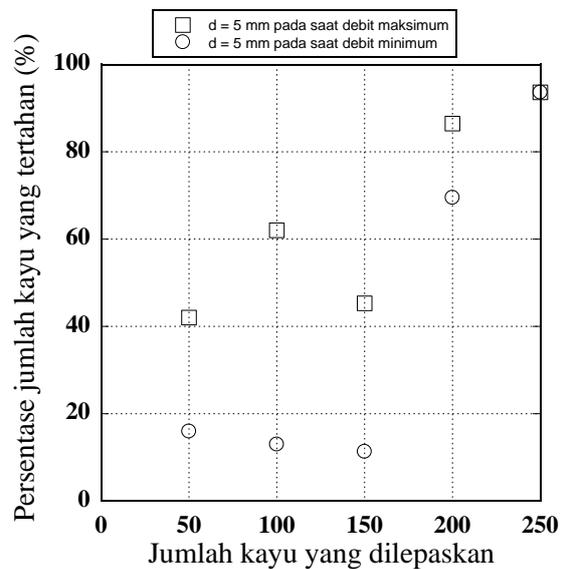
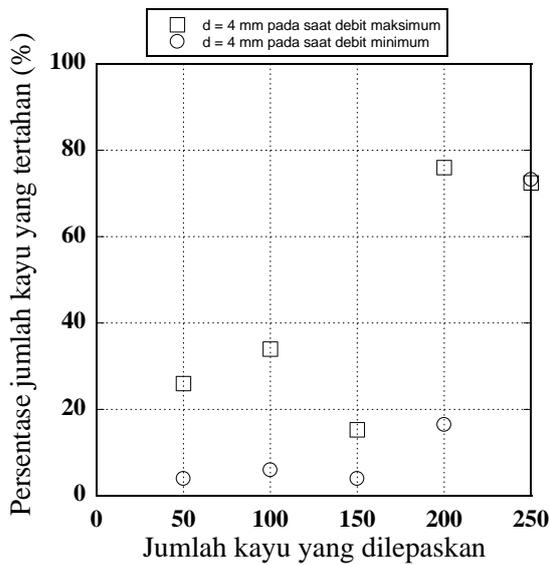


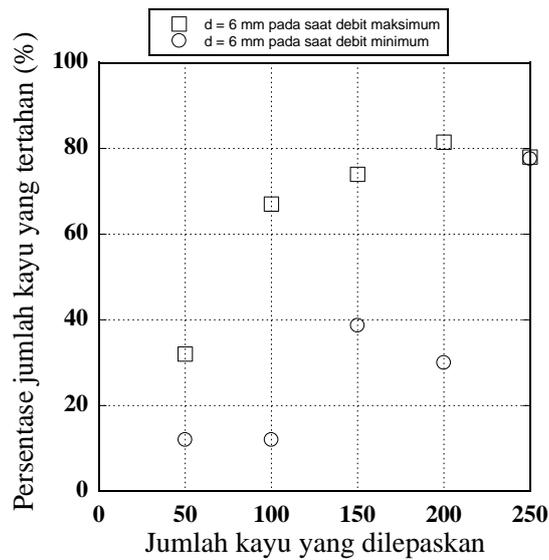
Gambar 6 Tampak samping penumpukan aliran debris pada flume



Gambar 7 Tampak atas penumpukan aliran debris pada flume

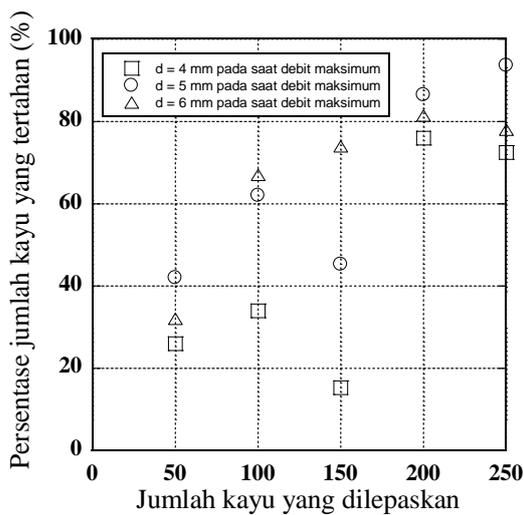
Setelah debit aliran stabil, model kayu akan dilepaskan pada jarak 5 m dari model jembatan. Setelah itu, beberapa kayu akan terdeposisi pada bagian hulu jembatan, dan beberapa kayu akan melewati jembatan dan mengalir ke arah hilir jembatan. Selain itu, pengukuran tinggi muka air pada bagian hulu dan hilir model jembatan dengan menggunakan *point gauge*. Setelah proses percobaan selesai, dilakukan penghitungan jumlah kayu yang terdeposisi di jembatan dan jumlah kayu yang ikut terbawa ke hilir. Debit kembali diukur setelah dilakukan pengukuran tinggi muka air pada bagian hulu dan hilir model jembatan.



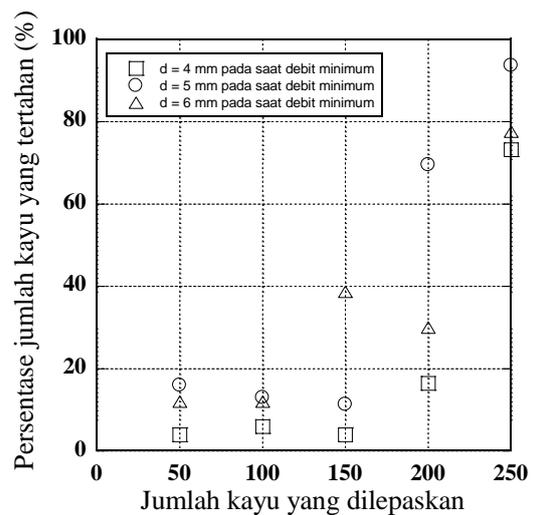


Gambar 8 Persentase jumlah kayu yang tertahan

Selain itu, berdasarkan dari hasil percobaan tersebut, hasil menunjukkan bahwa penumpukan aliran debris pada saat debit maksimum dipengaruhi oleh jumlah dari jumlah kayu dan diameter kayu tidak terlalu berpengaruh terhadap kemungkinannya kayu yang dapat dilihat **Gambar 8**. Selaras dengan hasil pada saat debit maksimum, aliran debris kayu pada saat debit minimum juga dipengaruhi oleh jumlah dari jumlah kayu dibandingkan dengan diameter dari kayu yang terilustrasikan pada **Gambar 9** dan **Gambar 10**. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penumpukan aliran debris tidak dipengaruhi oleh dimensi diameter kayu, tetapi dipengaruhi oleh jumlah kayu yang dilepaskan.



Gambar 9 Persentase jumlah kayu yang tertahan saat debit maksimum

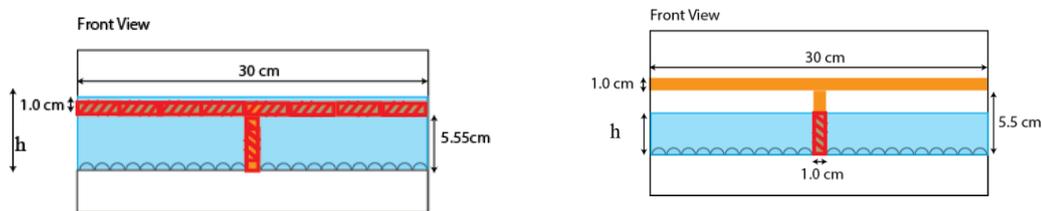


Gambar 10 Persentase jumlah kayu yang tertahan saat debit minimum

Berdasarkan hasil pengukuran, tinggi muka air normal (tanpa ada penumpukan debris kayu pada model jembatan) pada percobaan debit minimum tidak lebih dari 4 cm. Sehingga, perbedaan antara *shaded area* pada dua percobaan tersebut memiliki selisih yang cukup signifikan.

Hal ini selaras dengan pembahasan terkait '*shaded area*' pada penelitian sebelumnya (Islamy, 2015). '*Shaded area*' merupakan area pada hulu dari model jembatan yang berhadapan dengan arah aliran. '*Shaded area*' pada debit maksimum, adalah panjang dari model jembatan dikalikan dengan ketebalan jembatan, sedangkan '*shaded area*' pada debit minimum tinggi muka air, dikalikan dengan lebar pilar model jembatan. Warna jingga pada **Gambar 11** merupakan dimensi model jembatan, adapun arsiran merah merupakan bagian '*shaded area*' yang dimaksud.

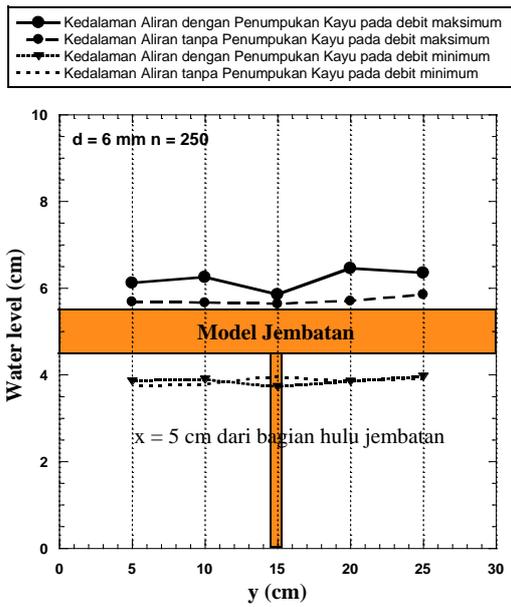
Berdasarkan definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa *shaded area* pada percobaan dengan debit maksimum memiliki *shaded area* sekitar 30 cm², sedangkan untuk debit minimum memiliki *shaded area* sekitar 3,6 cm². Tetapi, kemungkinan debris kayu untuk membentuk deposisi karena menyentuh dasar saluran juga patut untuk diperhitungkan.



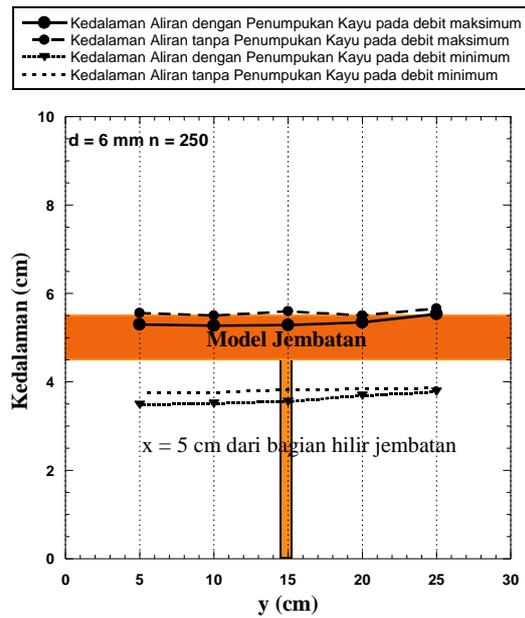
Gambar 11 Definisi *shaded area* pada percobaan dengan debit maksimum dan minimum

Backwater rise

Terjadinya penumpukan aliran debris pada jembatan menyebabkan kenaikan muka air *backwater rise* pada bagian hulu model jembatan, dikarenakan jalur aliran terhambat. *Backwater rise* dapat diukur dari selisih antara kedalaman air normal ketika tidak ada penumpukan aliran debris kayu dengan kedalaman air ketika terjadi penumpukan aliran debris kayu pada bagian hulu jembatan. Kedalaman aliran pada sisi hulu jembatan akan lebih tinggi ketika terjadi penumpukan aliran debris daripada kedalaman aliran pada saat tidak ada penumpukan aliran debris yang dapat dilihat **Gambar 12** Sebaliknya, pada sisi hilir jembatan terjadi penurunan kedalaman aliran pada **Gambar 13**. Gambar-gambar tersebut mengilustrasikan kedalaman aliran pada tampang melintang, di mana y menunjukkan kordinat y yang ditarik dari titik 0 pada bagian kiri flume sampai titik 30 yang merupakan titik paling kanan dari flume tersebut.

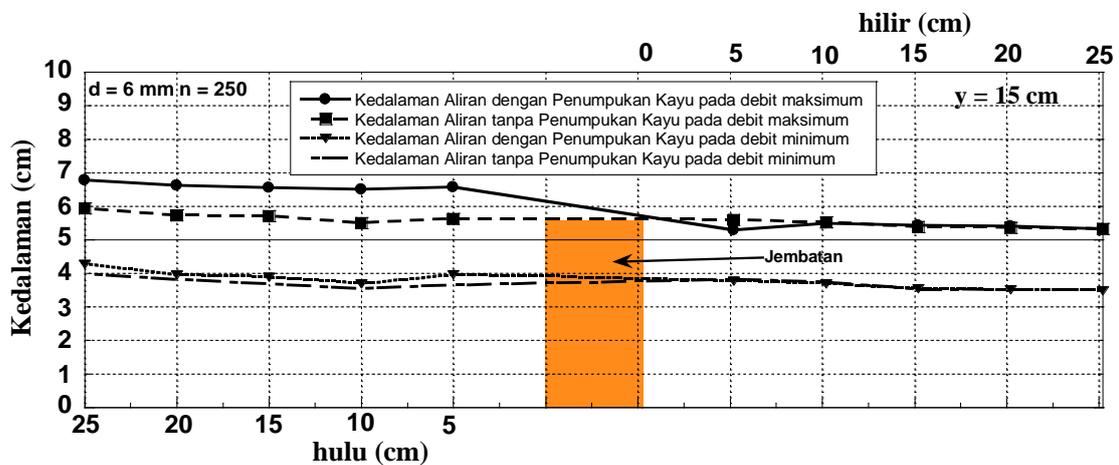


Gambar 12 Kedalaman aliran pada bagian hulu jembatan



Gambar 13 Kedalaman aliran pada bagian hilir jembatan

Hasil pengukuran kedalaman aliran dari titik hulu sampai titik hilir akibat terjadinya *backwater rise* menggambarkan dampak pada jarak yang cukup jauh pada bagian hulu dari jembatan dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Kedalaman aliran pada bagian hulu dan hilir model jembatan

Hubungan penumpukan aliran debris dengan *backwater rise*

Rusyda, Hashimoto, et al., (2014a) membahas tentang persamaan untuk menghitung *backwater rise*, *Backwater rise* dapat dihitung dengan menggunakan formula di bawah ini:

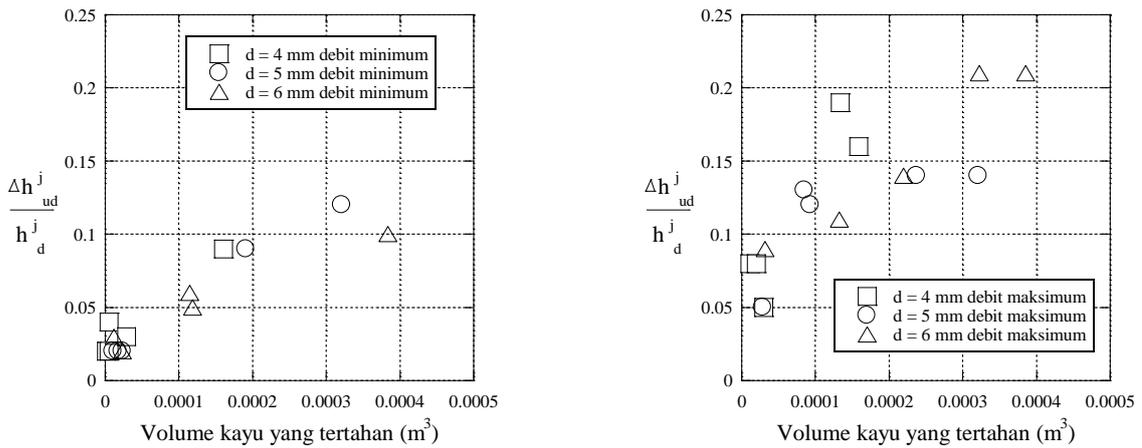
$$\Delta h_{ud}^j = \Delta h_u^j - h_d^j \quad (1)$$

dengan

h_u^j = kedalaman aliran pada hulu jembatan pada saat penumpukan aliran debris kayu;

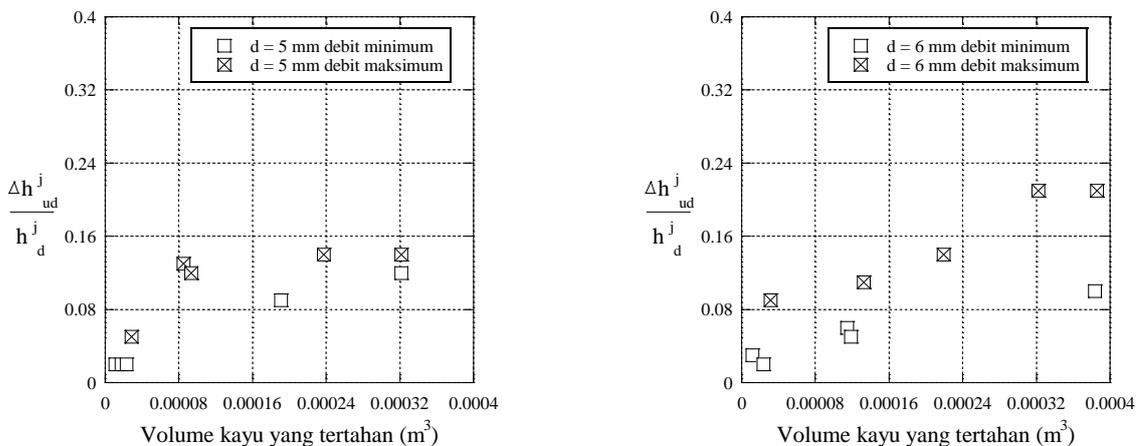
h_d^j = kedalaman aliran pada hilir jembatan pada saat penumpukan aliran debris kayu.

Berdasarkan pada hubungan antara volume kayu yang tertahan dengan *backwater rise* yang dapat dilihat pada **Gambar 15**, dapat dilihat hubungan antara volume kayu yang tertahan berpengaruh terhadap *backwater rise*. Nilai *backwater rise* terendah adalah 0,02, sedangkan nilai tertinggi adalah 0,21. Adapun volume kayu tersebut dihitung dengan cara menghitung jumlah kayu yang tertahan dikalikan dengan volume kayu berdasarkan dimensinya masing-masing.



Gambar 15 Hubungan antara *backwater rise* dengan volume kayu yang tertahan pada model jembatan saat debit aliran mencapai nilai minimum dan maksimum

Jika membandingkan hasil antara *backwater rise* pada debit minimum dan maksimum, hal ini menggambarkan bahwa debit aliran juga ikut berpengaruh terhadap *backwater rise* yang dapat dilihat pada **Gambar 16**. Rata-rata selisih *backwater rise* antara debit maksimum dan debit minimum pada tiap-tiap diameter 4 mm, 5 mm, dan 6 mm adalah : 0,058; 0,064; 0,1



Gambar 16 Hubungan antara *backwater rise* dengan volume kayu yang tertahan pada model jembatan saat debit aliran mencapai nilai minimum dan maksimum

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini dapat disimpulkan beberapa hal yaitu :

1. Debit aliran berpengaruh terhadap jumlah persentase jumlah kayu yang tertahan, hal ini tergambar pada hasil yang menunjukkan pada debit minimum, jumlah kayu yang tertahan pada beberapa kasus tertahan di bawah 20% sangat banyak jika dibandingkan debit maksimum yang menunjukkan hanya ada satu kasus jumlah kayu tertahan di bawah persentase 20%. Hal ini dikarenakan debit aliran berpengaruh terhadap *shaded area* yang merupakan penampang pada pilar maupun jembatan yang berlawanan dengan aliran.
2. Nilai *backwater rise* meningkat dengan meningkatnya jumlah kayu yang tertahan pada hulu jembatan Nilai *backwater rise* terendah adalah 0,02, sedangkan nilai tertinggi adalah 0,21.
3. Debit aliran juga berpengaruh terhadap nilai *backwater rise* hal ini bisa dilihat dari hasil pengukuran yang menunjukkan nilai *backwater rise* yang meningkat selaras dengan meningkatnya debit aliran. Rata-rata selisih *backwater rise* antara debit maksimum dan debit minimum pada tiap-tiap diameter 4 mm, 5 mm, dan 6 mm adalah : 0,058; 0,064; 0,1

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika Universitas Hasanuddin. Kami ingin berterima kasih pada para pengelola laboratorium tersebut, karena telah mengizinkan dalam menggunakan fasilitas flume. Kami juga berterima kasih atas bantuan atas pendanaan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas dengan skema Penelitian Dasar Pemula Universitas Hasanuddin. Kami juga ingin mengucapkan terima kasih terhadap Ardiansyah, Eka Yuliana, dan Apriyanto mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Hasanuddin yang telah membantu dalam pelaksanaan percobaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Braudrick, Chrishan A., Grant, G. E., Ishikawa, Y., & Ikeda, H. (1997). Dynamics of wood transport in streams: A flume experiment. *Earth Surface Processes and Landforms*, 22(7), 669–683. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1096-9837\(199707\)22:7<669::aid-esp740>3.0.co;2-1](https://doi.org/10.1002/(sici)1096-9837(199707)22:7<669::aid-esp740>3.0.co;2-1)
- Braudrick, Christian A., & Grant, G. E. (2001). Transport and deposition of large woody debris in streams: A flume experiment. *Geomorphology*, 41(4), 263–283. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(01\)00058-7](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(01)00058-7)
- Diehl, T. H. (1997). *Potential Drift Accumulation at Bridges*. April.
- Furlan, P., Pfister, M., Matos, J., & Schleiss, A. J. (2018). Spillway blockage caused by large wood in reservoirs. *E3S Web of Conferences*, 40, 1–7. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184002037>
- Hashimoto, H., Hashimura, K., & Nagano, H. (2016). *Experimental Investigation into Flow Behavior of Wood-Sediment-Water Mixture at a Grid Type of Open Check Dam*. 9(4).
- Rusyda, M I, Hashimoto, H., & Ikematsu, S. (2014). *Log jam formation by an obstruction in a river*.
- Rusyda, M I, Kusukubo, M., Maricar, M. F., Ikematsu, S., & Hashimoto, H. (2014).

- Woody Debris Accumulation During The Flood Event in the Nayoshi River, Tsuwano Town, Japan. *Proceedings of the 19th IAHR-APD Congress 2014, Hanoi, Vietnam, 1*.
- Rusyda, Muhammad Islamy. (2015). Log jams at a bridge with a pier and a bridge without pier. *Procedia Engineering, 125*, 277–283.
<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.11.040>
- Schalko, I., Lageder, C., Schmocker, L., Weitbrecht, V., & Boes, R. M. (2019). Laboratory Flume Experiments on the Formation of Spanwise Large Wood Accumulations: I. Effect on Backwater Rise. *Water Resources Research, 55*(6), 4854–4870.
<https://doi.org/10.1029/2018WR024649>
- Schalko, Isabella, Schmocker, L., Weitbrecht, V., & Boes, R. M. (2018a). Backwater Rise due to Large Wood Accumulations. *Journal of Hydraulic Engineering, 144*(9), 1–13.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0001501](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0001501)
- Schalko, Isabella, Schmocker, L., Weitbrecht, V., & Boes, R. M. (2018b). *Hazards due to large wood accumulations : Local scour and backwater rise. 02003*, 1–8.
- Schmocker, L., & Hager, W. H. (2011). Probability of Drift Blockage at Bridge Decks. *Journal of Hydraulic Engineering, 137*(4), 470–479.
[https://doi.org/10.1061/\(asce\)hy.1943-7900.0000319](https://doi.org/10.1061/(asce)hy.1943-7900.0000319)
- Schmocker, L., & Weitbrecht, V. (2013). *Driftwood : Risk Analysis and Engineering Measures. d*(July), 683–695. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000728](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000728).
- Wohl, E., & Scamardo, J. E. (2021). The resilience of logjams to floods. *Hydrological Processes, 35*(1). <https://doi.org/10.1002/hyp.13970>