

Pengaruh Model Tirai Sayap Beton Pada Pilar Jembatan Terhadap Gerusan

¹ Akbar Tanjung, ² Khalilul Rahman, ³Nenny T Karim, ⁴Andi Bunga Tongeng

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

^{1,2,3,4} Jl. Sultan Alauddin No 259, Makassar Sulawesi Selatan-Indonesia

e-mail : ¹akbartekniksipil@gmail.com, ²yessiusada0@gmail.com

JTEKSIL

Abstrak

Kata Kunci :
Pilar, Tirai Sayap
Beton, Gerusan Lokal

Sungai sangat penting perannya bagi kehidupan manusia. Kegiatan penambangan material sungai untuk memenuhi kebutuhan material konstruksi juga merupakan salah satu manfaat sungai bagi manusia dan juga akan menimbulkan kerusakan lingkungan apabila tidak di kendalikan secara baik dan benar. Air yang mengalir di dalam sungai akan mengakibatkan proses penggerusan tanah dasarnya. Adanya bangunan air seperti pilar dan abutmen jembatan juga dapat menyebabkan perubahan karakteristik aliran seperti kecepatan dan turbulensi sehingga menimbulkan perubahan transport sedimen dan terjadinya gerusan. Berbagai bentuk pilar jembatan telah dikembangkan untuk meminimalkan gerusan dasar akan tetapi belum memberi hasil maksimal, oleh karena itu perlu dicari solusi lain untuk menangani masalah gerusan lokal ini seperti dengan penambahan bangunan pengaman pilar. Untuk itu maka perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui pola aliran dan gerusan di sekitar pilar jembatan dengan model tirai yang paling cocok untuk meminimalkan gerusan lokal yang terjadi, sehingga diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan pembangunan jembatan. Pada penelitian lapangan ini berlokasi di Sungai Jenelata, Jembatan Jelenata Jalan Poros Bili – Bili, Sapaya, Kecamatan Manuju, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan, sedangkan tirai yang digunakan berbentuk persegi sisi depan melengkung dengan lebar 4 m dan tinggi 2 m, Panjang sungai yang diteliti adalah 50 m dari pilar jembatan. Hasil yang didapatkan adalah semakin tinggi kecepatan aliran maka semakin rendah tinggi muka air dan kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar pilar tanpa tirai dan pilar yang menggunakan tirai mengalami peningkatan kedalaman gerusan di depan (hulu) pilar, sisi (kanan dan kiri) pilar dan belakang (hilir) pilar, yang pada awalnya besar kemudian semakin lama penambahan kedalaman gerusan semakin mengecil hingga pada saat tertentu mencapai kesetimbangan (equilibrium scour depth).

Abstract

Keywords:
Pillars, concrete wing
curtains, local
grinders

The mining of river material to meet the needs of construction material is also one of the benefits of the river for humans and will also cause environmental damage if not controlled properly and properly. The water that flows through the river will result in the process of ground clearance. The existence of water buildings such as pillars and abutmen of bridges can also cause changes in flow characteristics such as speed and turbulence, resulting in changes in sediment transport and the occurrence of germs. Different forms of bridge pillars have been developed to minimize the base germ but have not yet produced maximum results, therefore it is necessary to look for other solutions to address this local germ problem as with the addition of the safety building of the pillars. For that, research is needed to find out the patterns of flow and winding around the bridge pillar with the most suitable curtain model to minimize the local winding that occurs, so it is expected to be a consideration in the

planning of bridge construction. In the field research this is located in the river Jenelata, the bridge Jelenata Road Poros Bili – Bili, Sapaya, Manuju district, Gowa District, South Sulawesi Province, while the curtain used in the form of a square front side curved with a width of 4 m and a height of 2 m, the length of the rivers studied is 50 m from the pillar bridge. The result is that the higher the flow speed then the lower the water surface height and the depth of the spindle that occurs around the pillar without curtains and pillar that uses the curtain has increased the deep spindles in the front (head) pillar, the sides (right and left) and the rear (turn) of the pillars, which are initially large then the longer the addition of the scroll depth is becoming smaller and smaller until at some point reaches equilibrium (equilibrium scour depth).

© 2023 Jteksil Universitas Lamappapoleonro

PENDAHULUAN

Dalam banyak kasus, penyebab utama keruntuhan jembatan adalah keruntuhan jembatan, biasanya karena ketidak mampuan pilar untuk mentransfer beban jembatan ke stabilitas tanah dasar. Pilar yang patah disebabkan oleh gerusan di dasar sungai atau di sekitar pilar jembatan yang melebihi batas aman, sehingga membahayakan konstruksi jembatan (Nenny dkk, 2014). Jembatan yang runtuh bukan hanya bentuk bangunan yang salah, tetapi juga dapat disebabkan oleh erosi air pada pilar jembatan (Muchtar Agus Tri Windarta dkk, 2016). Gerusan yang terjadi biasanya berlangsung lama karena prosesnya terjadi secara bertahap. Saat terjadi banjir besar, prosesnya akan terlihat lebih realistis, mengingat saat terjadi banjir, fluktuasi air sudah tidak bisa diprediksi. Pengaruh gerusan dasar lebih besar jika lebar efektif sungai berkurang, yang menyebabkan aliran terkonsentrasi di satu tempat (Nenny dkk, 2014).

Sungai dapat diartikan sebagai aliran terbuka dengan ukuran geometrik (tampak lintang, profil memanjang dan kemiringan lembah) berubah seiring waktu, tergantung pada debit, material dasar dan tebing, serta jumlah dan jenis sedimen yang terangkut oleh air. (Putra 2014). sungai adalah bagian permukaan bumi yang letaknya lebih rendah dari tanah dan menjadi tempat mengalirnya air tawar menuju ke laut, danau, atau sungai. (Hamzah 2009).

Defenisi diatas merupakan defenisi sungai yang alami, sedangkan menurut undang-undang tentang peraturan pemerintah RI Nomor 35 Tahun 1991 tentang sungai yaitu dalam peraturan pemerintah pasal 1 ayat 1 ini yang dimaksud dengan sungai adalah suatu tempat dan wadah-wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengandibatasi kanan dan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan.

Gerusan adalah proses erosi dan deposisi yang terjadi karena perubahan aliran di sungai. Perubahan ini karena adanya halangan pada aliran sungai yang berupa bangunan sungai seperti pilar jembatan. Bangunan - bangunan ini dipandang dapat merubah geometri alur serta pola aliran, yang selanjutnya diikuti dengan timbulnya gerusan lokal di sekitar bangunan Adanya pilar jembatan pada suatu ruas sungai dapat menyebabkan perubahan pola aliran yang menimbulkan gerusan lokal di sekitar pilar sehingga menyebabkan penurunan elevasi dasar di sekitar pilar. Sehubungan dengan adanya gerusan lokal yang dapat membahayakan bangunan sungai (pilar, abutment, krib dan sebagainya) berupa keruntuhan pada bangunan tersebut (Legono, 1990 dalam Yunar, 2006).

Proses gerusan dan endapan umumnya terjadi karena perubahan pola aliran terutama pada sungai aluvial. Perubahan pola aliran terjadi karena adanya halangan pada aliran sungai tersebut, berupa bangun sungai seperti pilar jembatan dan abutmen. Bangunan semacam ini dipangang dapat merubah geometri alur dan pola aliran yang selanjutnya diikuti gerusan lokal disekitar bangunan (Legono,(1990) dalam Halim, (2014).

Salah satu jembatan yang runtuh yaitu jembatan Jenelata yang berlokasi di Desa Moncongloe, Kecamatan Manuju, Kabupaten Gowa, dimana pada tanggal 12 Januari 2019, terjadi banjir bandang yang disebabkan oleh hujan deras melanda Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan yang mengakibatkan kerusakan di pesisir sungai seperti kerusakan konstruksi jembatan yang berlokasi di Sungai Jenelata, Jembatan Jelenata Jalan Poros Bili – Bili, Sapaya, Kecamatan Manuju, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. jembatan tersebut mengalami kerusakan yang disebabkan oleh debit banjir yang sangat besar yang menyebabkan terjadi gerusan yang sangat besar disekitar pilar jembatan tersebut sehingga menyebabkan runtuhnya jembatan tersebut. Tujuan dari penelitian ini ingin mengetahui pengaruh model tirai sayap beton pada pilar jembatan terhadap gerusan. Yang berlokasi di Desa Moncongloe, Kecamatan Manuju, Kabupaten Gowa.

TINJAUAN PUSTAKA

Sungai

Sungai adalah alur yang panjang dipermukaan bumi yang menjadi tempat mengalirnya air yang berasal dari hujan disebut alur sungai. Kombinasi antara alur sungai dan aliran air didalamnya disebut sebagai sungai. Sungai - sungai itu sendiri terbentuk dari mata air yang mengalir melalui pegunungan di permukaan bumi. Lama kelamaan aliran ini akan semakin deras seiring dengan turunnya curah hujan, limpasan air hujan yang tidak dapat diserap oleh bumi juga mengalir ke sungai sehingga menyebabkan banjir. Dari pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa sungai merupakan unit drainase yang terbentuk secara alami akibat pergerakan air di permukaan bumi dan tidak dapat diserap oleh bumi. (Fazona Fajri Junaidi, 2014). Menurut undang-undang tentang peraturan pemerintah RI Nomor 35 Tahun 1991 tentang sungai yaitu dalam peraturan pemerintah pasal 1 ayat 1 ini yang dimaksud dengan sungai adalah suatu tempat dan wadah - wadah serta jaringan pengaliran air mulai dari mata air sampai muara dengan dibatasi kanan dan kirinya serta sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan. Air yang mengalir terus menerus di dalam sungai akan mengakibatkan penggerusan tanah dasarnya, penggerusan yang terus menerus membentuk lubang-lubang gerusan di dasar sungai. Sungai adalah bagian permukaan bumi yang letaknya lebih rendah dari tanah dan menjadi tempat mengalirnya air tawar menuju ke laut, danau, atau sungai. (Hamzah, 2009). Sungai dapat diartikan sebagai aliran terbuka dengan ukuran geometrik (tampak lintang, profil memanjang dan kemiringan lembah) berubah seiring waktu, tergantung pada debit, material dasar dan tebing, serta jumlah dan jenis sedimen yang terangkut oleh air. (Putra, 2014). Sifat-sifat sungai sangat dipengaruhi oleh daerah aliran sungai (DAS) dan kemiringan sungai. Bentuk tebing pra estuari, cekungan muara, dan pantai berdampak pada pembentukan sedimen, terutama angkutan sedimen. (Sudarman, 2011 dalam Sudira dan Mungil, 2013).

Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran disebabkan oleh tekanan permukaan air yang disebabkan oleh perbedaan fluida antara udara dan air serta gesekan pada dinding saluran (tebing dasar dan saluran), sehingga kecepatan aliran tidak seragam di seluruh penampang saluran (Addison, 1994; Chow 1959 dalam Robert. J Kodatie, 2009). Ketidakhomogenan ini juga disebabkan oleh bentuk penampang saluran, kekasaran saluran dan posisi saluran (saluran lurus atau melengkung). Selain itu, kata Chow, kecepatan maksimum biasanya terjadi pada jarak 0,05 hingga 0,25 kali kedalaman air yang dihitung dari permukaan. Namun pada sungai yang sangat lebar dan dangkal (shallow), kecepatan maksimum terjadi di permukaan (Addison, 1994; Chow 1959 dalam Robert. J Kodatie, 2009). Semakin sempit saluran, semakin dalam kecepatan maksimum, dan kekasaran dasar saluran juga mempengaruhi distribusi kecepatan.

Gerusan

Gerusan adalah fenomena alam yang disebabkan oleh aliran air, biasanya di dasar sungai yang terdiri dari endapan aluvial, tetapi kadang-kadang dapat terjadi juga di dasar sungai yang keras. Pengalaman menunjukkan bahwa gerusan dapat menyebabkan tanah di sekitar pondasi bangunan tergerus oleh aliran air. Gerusan sering terjadi sebagai bagian dari perubahan morfologi sungai dan struktur buatan manusia. (Anton Ariyanto, 2006)

Menurut Laursen (1952, dalam Garde dan Raju, 1977), gerusan didefinisikan sebagai perpindahan material akibat gerakan fluida akibat pemuatan aliran. Penggerusan terjadi pada laju aliran tertentu dimana sedimen yang terangkut lebih besar daripada sedimen yang disuplai. Dalam rekayasa sungai, penting untuk membangun struktur melintang di sungai dalam bentuk penempatan banyak pilar di sungai dan bagaimana menangani konsekuensi buruk dari efek drainase. Akibat buruk tersebut terutama terjadinya penggerusan (scouring) di sekeliling pilar. Oleh karena itu bahaya penggerusan terhadap pilar harus diperhitungkan.

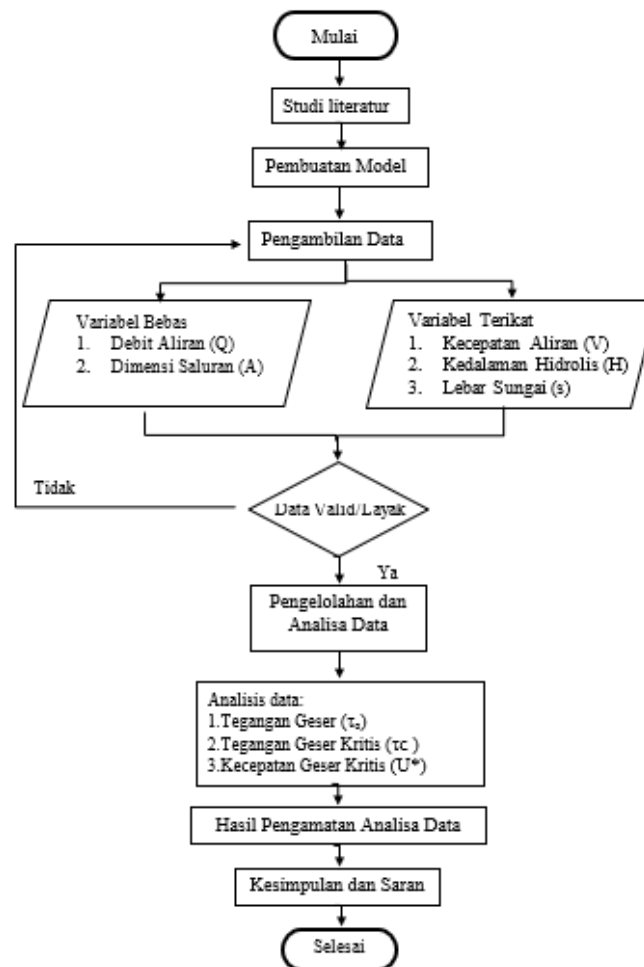
Pilar

Kehadiran pilar yang merupakan bagian dari struktur di bawah jembatan menyebabkan perubahan pola aliran sungai dan gerusan lokal di sekitar pilar. Bentuk pilar jembatan bermacam-macam, antara lain bentuk bujur sangkar dengan bagian depan miring, bentuk silinder, bentuk bujur sangkar dengan puncak setengah lingkaran, dan bentuk elips.

Sudut yang terbentuk pada pilar terhadap aliran merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya localized scour yang terjadi di sekitar pilar. Besar kecilnya sudut ini akan sangat mempengaruhi waktu yang dibutuhkan untuk pembilasan lokal. Semakin besar sudut maka waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya gerusan berbeda, sehingga besarnya gerusan akibat pengaruh sudut yang terbentuk pada pilar pada aliran air akan berbeda - beda. (Muchtar Agus Tri Windarta dkk, 2016).

METODE PENELITIAN**Tahapan Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode penelitian langsung, dimana pengambilan data-data dilakukan dari hasil pengecekan dilapangan. Berikut tahapan penelitian dalam Gambar berikut :



Gambar 1. Flowchart Tahapan Penelitian

Metode Pengumpulan Data

1) Metode Observasi

Observasi atau pengamatan dilakukan di lapangan, untuk keperluan pengecekan dan pengambilan kebutuhan material di lapangan.

2) Eksperimental

Melakukan kegiatan pengujian/ percobaan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan untuk dianalisis kemudian.

3) Studi Pustaka

Pengumpulan data dengan cara mempelajari buku-buku, artikel, jurnal, berita, dan lain-lain yang dianggap relevan dan dapat mendukung dalam proses penelitian.

Pengolahan Data

Data-data yang diperoleh dari hasil penelitian di lapangan diolah menurut klasifikasi data dengan menggunakan persamaan-persamaan dan rumus-rumus yang berlaku. Hasil dari pengolahan data tersebut diuraikan dalam bentuk tabel dan grafik.

Analisis Data

Dari rangkaian pengujian-pengujian yang dilaksanakan di laboratorium, maka:

- Mempersiapkan peralatan yang akan digunakan dalam penelitian
- Melakukan survey lokasi, menentukan akses mobilisasi alat.
- Melakukan pengukuran data pilar dan merencanakan posisi tirai disekitar pilar yang berjarak ± 15 meter.
- Mengambil batasan hulu sebagai batasan penelitian ± 50 meter dari pilar jembatan, dan dibagi beberapa STA
- Setiap STA berjarak 5 meter : STA. 0 + 00, STA. 0 + 05, STA. 0 + 10, STA. 0 + 15, STA. 0 + 20, STA. 0 + 25, STA. 0 + 30, STA. 0 + 35, STA. 0 + 40, STA. 0 + 45, STA. 0 + 50.
- Memasang patok beberapa titik disetiap STA.
- Pengambilan data pada setiap patok dilakukan: kecepatan aliran (v), tinggi muka air (h), lebar sungai (b), pengambilan data dilakukan selama beberapa hari, hal ini bertujuan untuk mendapatkan perbandingan data.
- Mengumpulkan dan menginput data pada tabel yang telah disediakan untuk kemudian dikembangkan seperti : mencari kecepatan rata – rata, luas penampang (A), dan juga debit aliran (Q).
- Hasil pengambilan data di lapangan di masukkan kedalam tabel pengamatan.
- Setiap pengambilan data jangan lupa mengambil gambar/foto untuk didokumentasikan.

Pelaksanaan Pengujian

Pelaksanaan penelitian yang dilakukan yaitu penelitian tinggi muka air, penelitian kecepatan aliran, mencari luas penampang dan debit sungai. Tahap penelitian tersebut dilakukan di Sungai Jenelata, Jembatan Jelenata Jalan Poros Bili – Bili, Sapaya, Kecamatan Manuju, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian dilakukan 6 kali. Hal ini dilakukan untuk mengetahui keakuratan data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang digunakan adalah data yang diperoleh langsung dari lapangan

Tabel 1. Data Lebar Sungai

Titik Tinjau	Lebar	Lebar
	Sungai (Sebelum)	Sungai (Sesudah)
STA 0+00	27,90	28,50
STA 0+05	30,00	30,60
STA 0+10	31,49	32,09
STA 0+15	34,20	34,80
STA 0+20	37,05	37,65
STA 0+25	34,53	35,13

STA 0+30	35,70	36,30
STA 0+35	35,55	40,55
STA 0+40	40,59	44,68
STA 0+45	43,49	48,64
STA 0+50	46,41	51,48

Tabel 2 Data Kedalaman Sungai

Titik Tinjau	Kedalaman Sungai (Sebelum)	Kedalaman Sungai (Sesudah)
STA 0+00	0,39	0,65
STA 0+05	0,43	0,62
STA 0+10	0,46	0,50
STA 0+15	0,48	0,65
STA 0+20	0,39	0,60
STA 0+25	0,56	0,60
STA 0+30	0,61	0,56
STA 0+35	0,55	0,60
STA 0+40	0,54	0,60
STA 0+45	0,57	0,50
STA 0+50	0,57	0,65

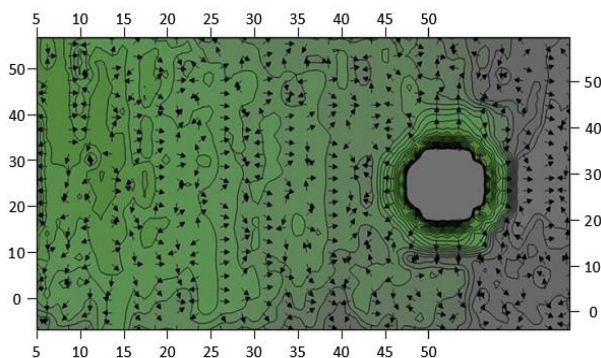
Tabel 3 Data Kecepatan Aliran

Titik Tinjau	Kecepatan Aliran (Sebelum)	Kecepatan Aliran (Sesudah)
STA 0+00	9,42	2,45
STA 0+05	9,10	2,17
STA 0+10	9,03	1,67
STA 0+15	9,03	1,17
STA 0+20	8,83	1,07
STA 0+25	7,37	0,27
STA 0+30	7,03	1,00
STA 0+35	4,83	1,30
STA 0+40	2,90	2,90
STA 0+45	1,80	1,80
STA 0+50	1,60	1,60

Pola Gerusan

Berdasarkan gambar dapat dilihat perbedaan pola dan kedalaman gerusan yang terjadi antara pilar tanpa menggunakan tirai sayap beton dengan pilar menggunakan tirai sayap beton. Pada pilar tanpa menggunakan tirai sayap beton terbentuk pola gerusan horseshoe vortek (tapal kuda), hal ini dikarenakan adanya tekanan air yang cukup kuat sehingga terjadi gerusan yang membentuk lubang kearah sisi-sisi pilar dengan kedalaman yang berbeda. Formasi pusaran air

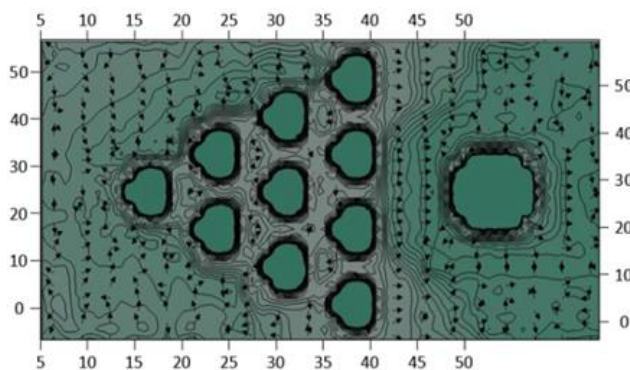
ini merupakan hasil dari penumpukan air dbagian hulu dan perubahan kecepatan aliran disekitar bagian depan pilar. Pada bidang vertikal simetris, aliran dibagian hulu pilar menurun dari permukaan mencapai nol didasar. Sedangkan pada pilar yang menggunakan tirai sayap beton kedalam gerusan lebih kecil di bandingkan pilar tanpa menggunakan tirai sayap beton, karena pada saat terjadi percepatan aliran di hulu di pilar, tirai sayap beton berfungsi untuk memperlemah kecepatan aliran dan mengurangi terjadi gerusan di hulu pilar.



Gambar 1. Pola pergerakan sedimen pada permukaan dasar saluran dengan pilar tanpa menggunakan tirai sayap beton.

Pengaruh Pemasangan Tirai Terhadap Gerusan di Pilar

Pemasangan tirai dibagian hulu pilar dimaksudkan sebagai peredam kecepatan aliran dan mengarahkan atau membelokkan arah aliran. Sebagai efek nyata dari pemasangan tirai yang diamati di lapngan adalah pengurangan kecepatan aliran yang terjadi di belakang tirai. Dengan kondisi semacam ini diharapkan bahwa volume gerusan yang terjadi juga mengalami pengurangan. Tirai yang dipasang tegak lurus terhadap arah aliran. Kondisi pengurangan gerusan yang terjadi pada saluran setelah pemasangan tirai, pengaruh pemasangan tirai pada hulu pilar sangat besar pengaruhnya terhadap karakteristik gerusan dan mereduksi gerusan yang terjadi disekitar pilar. Pada permukaan air interaksi aliran yang bergerak kearah pilar, aliran air di sekitar struktur akan berubah dan gradient kecepatan vertikal (vertical gradient) dari aliran akan berubah menjadi gradien tekanan (pressure gradient) pada ujung permukaan struktur tersebut. Gradien tekanan (pressure gradient) ini merupakan hasil dari aliran bawah yang membentuk bed. Pada dasar struktur aliran bawah ini membentuk pusaran yang pada akhirnya menyapu sekeliling dan bagian bawah struktur dengan memenuhi seluruh aliran. Terjadi perbedaan pola gerusan di sekitar pilar jembatan yang menggunakan tirai dengan pilar tanpa tirai. Gerusan di sekitar pilar yang tanpa tirai dimulai dari depan (hulu) pilar dengan kedalaman gerusan cm, menuju sisi kanan cm, sisi kiri pilar cm dan belakang (hilir) pilar.



Gambar 2. Pola pergerakan sedimen pada permukaan dasar saluran dengan pilar menggunakan tirai sayap beton

Berdasarkan grafik kecepatan aliran (v) diatas, terlihat perubahan kecepatan aliran sungai sebelum tirai sayap beton terpasang dan sesudah tirai sayap beton terpasang, pada data sebelum tirai terpasang kecepatan air terlihat lebih tinggi dibandingkan dengan sesudah tirai sayap beton terpasang.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil pengujian yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Pengaruh tirai sayap beton terhadap kecepatan aliran yang terjadi di pilar jembatan jelata, dapat mempengaruhi kecepatan aliran yang di tunjukkan dengan angka Froude dimana sebelum adanya tirai sayap beton kondisi aliran super kritis dengan nilai angka Froude $Fr: 1.25$,setelah adanya tirai sayap beton kondisi aliran ditinjau dari angka Froude dengan nilai $Fr: 0.07$ mengalami kondisi sub kritis di sekitar pilar jembatan.
2. Kedalaman gerusan yang terjadi di sekitar pilar tanpa tirai dan pilar yang menggunakan tirai mengalami peningkatan kedalaman gerusan di depan (hulu) pilar, sisi (kanan dan kiri) pilar dan belakang (hilir) pilar, yang pada awalnya besar kemudian semakin lama penambahan kedalaman gerusan semakin mengecil hingga pada saat tertentu mencapai kesetimbangan (equilibrium scour depth).

SARAN

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan variasi bentuk tirai dan pilar formasi tirai.
2. Perlu mempelajari lebih lanjut untuk menjadi solusi terhadap bentuk pilar jembatan lainnya selain pilar tunggal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana atas bantuan para pembimbing, dosen, dan para pihak – pihak dari Universitas Muhammadiyah Makassar (UNISMUH).

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, Anton. (2009). Analisis Bentuk Pilar Jembatan Terhadap Potensi Gerusan Lokal. Jurnal APTEK. Vol 1, No 1, Juni: 2009.
- Achmadi,T. 2001, Model Hidraulik Gerusan pada Pilar Jembatan,Universitas Diponegoro, Semarang.
- Breuser, Raudkivi, 1991 : 73, Tabel koefisien faktor berbagai bentuk pilar
- Chow, V. T. 1992. Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel hydraulic), Penerbit Erlangga, Jakarta
- Hamzah, 2009. Pengertian Sungai, Bentuk, Jenis, Klasifikasi dan Fungsi (gurupendidikan.co.id)
- Hastuti, 2011. Analisis aliran dan gerusan yang terjadi pada sekita pilar. Mukti 2016
- Ikhsan, C., & Solichin, S. (2008). Analisis Susunan Tirai Optimal Sebagai Proteksi Pada Pilar Jembatan Dari Gerusan Lokal. Media Teknik Sipil, 8(2), 85-90.
- Ikhsan, Cahyono. 2018, Analisi Susunan Tirai Optimal Sebagai Proteksi Pada Pilar Jembatan Dari Gerusan Lokal, Universitas Kriste Petra, Surabaya.
- Karim, N., Antaria, S., & Al Imran, H. (2022). Pengaruh Kecepatan Aliran Terhadap Tirai Sayap Beton Pada Pilar Jembatan Dengan Menggunakan RIC: Nays2HD 3.0. Jurnal Teknik Sipil: Rancang Bangun, 8(2), 124-128.

- Manikin, M. B. D. S., Uji, S. P. B. S. M., Bogowonto, V. J. P. B. S., & Model, M. U. (2009). Ariyanto, Anton. Analisis Bentuk Pilar Jembatan Terhadap Potensi Gerusan Lokal. Jurnal Aptek Vol. 1 No. 1 Juli 2009. Badan Standardisasi
- Menurut Peraturan Pemerintahan RI No. 35 Tahun 1991 Tentang Pengertian Sungai pasal 1 ayat 1
- Morisawa, 1985. "Pengaruh geologi terhadap bentuk sungai".
- Nenny. 2016. Model proteksi gerusan pada pilar dengan tirai bersisi cekung. Sekolah Pascasarjana. Universitas Hasanuddin Makassar
- PILAR, POLA ALIRAN DI SEKITAR. PRODI TEKNIK PENGAIRAN FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR.
- Putra, A. S. (2014) Analisis Distribusi kecepatan Aliran Sungai musi (Ruas Sungai: Pulau kemaro Sampai dengan muara sungai Komerling). 2(3).1-7.
- Triatmodjo,B,2008,Hidrolika Saluran Terbuka, CV Citra Media, Surabaya.
- Wibowo, O. M. (2007). Pengaruh arah aliran terhadap gerusan lokal akibat disekitar pilar jembatan (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Semarang)
- Windarta, Muschtar Agus Tri, 2016. Pengaruh penempatan tiari satu baris pada pilar jembatan terhadap kedalaman gerusan, Universitas Negeri Yogyakarta,