

Analisis aliran dan erosi tikungan Sungai Konaweha ruas Morosi

Muhammad Fathur Aditya^{1,*}, Bambang Triatmodjo¹, Bambang Agus Kironoto¹

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Konaweha River
Flow
Erosion
Iber

Corresponding Author:

Muhammad Fathur Aditya
muhammadfathuraditya@mailto:ail.ugm.ac.id

Abstract

Konaweha River crosses five districts namely East Kolaka Regency, South Konawe Regency, Konawe Regency, Kolaka Regency, and Kendari City. There are many infrastructures located on the river's bank, one of which is road. The Morosi National Road connecting Kendari City and Morosi District, Konawe Regency which is located right on the the river's bank is threatened with damage due to scouring. This research analyzes the flow and erosion in the bend of the Konaweha River Morosi Section. The study was conducted using hydrological and hydraulics analysis. Hydrological analysis aims to obtain 25-year return period design flood hydrograph. Hydrological analysis using daily measured rainfall data to determine the design rainfall and hourly GPM IMERG satellite rainfall data for determining the design rainfall distribution and Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph to obtain unit hydrograph in the watershed. The peak discharge of the 25-year return period design flood hydrograph is 2916,16 m³/s. The design flood is used as input in hydraulic analysis. Hydraulic analysis was using Iber. Hydraulic analysis aims to obtain flow behavior in the form of flow velocity and a decrease in riverbed elevation as an indication of scouring on river bends. The results obtained flow velocity on the outer bend is greater than the inner bend. The decrease in riverbed elevation mostly occurs on the outer bend. So it can be concluded that the bend of the Konaweha River in Morosi Section has a great risk of erosion and landslides on river banks.

Copyright © 2024 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Latar belakang

Sungai merupakan saluran alami dimana sumber utama aliran airnya berasal dari alam dimana alirannya mengalir dari dataran tinggi ke dataran rendah. Secara alami, aliran air ini akan merusak daerah-daerah yang dilaluinya sehingga akan mengakibatkan saluran ini menjadi lebih luas dan panjang. Salah satu permasalahan yang terjadi yaitu perubahan morfologi sungai di hilir akibat erosi, sediments, pola aliran, aktivitas geologi, atau aktivitas manusia di hulu Sungai (Sisinggih dkk., 2021).

Sungai Konaweha merupakan salah satu penting di Sulawesi Tenggara dengan panjang 325,47 km yang melintasi lima kabupaten yaitu Kabupaten Kolaka Timur, Kabupaten

Konawe Selatan, Kabupaten Konawe, Kabupaten Kolaka, dan Kota Kendari. Terdapat beberapa titik lokasi yang dimana tikungan sungai Konaweha berdekatan dengan infrastruktur seperti jalan, bangunan rumah warga, dan lain-lain.

Kejadian banjir pada tahun 2019 di sekitar Kecamatan Morosi akibat meluapnya Sungai Konaweha menimbulkan banyak kerusakan fasilitas umum dan pemukiman warga. Jalan Nasional Ruas Morosi yang menghubungkan Kota Kendari dan Kecamatan Morosi, Kabupaten Konawe terancam rusak akibat *scouring*. *Scouring* yang terjadi menyebabkan bahu jalan hilang. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian mengenai perilaku aliran dan erosi yang terjadi di tikungan Sungai Konaweha ruas Morosi.

Penelitian terkait perilaku aliran dan erosi di tikungan sungai telah banyak dilakukan. Bora & Kalita (2020) melakukan simulasi aliran di tikungan sungai menggunakan model 2 dimensi. Persamaan pembangun yang digunakan yaitu *Two Dimensional (2D) Shallow Water Equations*. Dalam analisa model turbulensi menggunakan model *depth averaged parabolic eddy viscosity* untuk menghitung viskositas turbulen (v_t). Transpor *bedload* dianalisis menggunakan persamaan kontinuitas sedimen 2D. Model digunakan untuk menganalisa saluran dengan sudut tikungan 180° dan 140° . Hasil analisis menunjukkan bahwa terhadai gerusan pada dasar saluran akibat kecepatan aliran pada tikungan luar saluran lebih besar daripada tikungan dalam sungai.

Rinawati, Ishak, & Herman (2021) menggunakan bantuan aplikasi HEC-RAS 5.0 untuk menganalisis aliran di lima tikungan sungai Sidoan yang berdekatan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kecepatan aliran di daerah tikungan luar sungai lebih cepat dibandingkan di daerah tikungan dalam sungai sehingga menyebabkan elevasi muka air pada daerah tikungan luar lebih tinggi daripada daerah tikungan dalam. Selain itu, transportasi sedimen terjadi pada daerah tikungan luar yang menyebabkan terjadinya gerusan dasar sungai sedangkan pada daerah tikungan dalam terjadi sedimentasi.

Landasan Teori

Hujan wilayah metode poligon thiessen

Analisis hujan kawasan diperlukan untuk menentukan hujan representatif yang terjadi pada suatu kawasan dengan mempertimbangkan hujan permukaan pada stasiun hujan di sekitar kawasan tinjauan. Terdapat beberapa metode dalam menentukan hujan kawasan diantaranya metode Aritmatika, metode Isohyet, dan metode Poligon Thiessen (Triatmodjo, 2019). Metode Poligon Thiessen digunakan untuk menentukan hujan kawasan pada wilayah tinjauan. Hujan kawasan dengan metode Poligon Thiessen dihitung dengan Pers. 1.

$$R_{rt} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

dengan R_{rt} adalah hujan kawasan, A_1, A_2, \dots, A_n adalah luas daerah yang mewakili stasiun 1, 2, ..., n , dan R_1, R_2, \dots, R_n adalah hujan pada stasiun 1, 2, ..., n .

Pola distribusi hujan

Dalam perhitungan pola distribusi hujan digunakan hujan satelit produk *Global Precipitation Measurement (GPM) Core Observatory*. Resolusi ruang spasial data hujan GPM adalah 0.10° dan untuk resolusi temporalnya adalah 30 menit (Pratiwi dkk., 2017). GPM memberikan tiga tipe produk yaitu *near real time "Early" run product*, *near real time "Late" run product*, dan *post real time "Final" run product* (Tan & Duan, 2017). Dalam analisis ini digunakan data hujan produk GPM 3IMERGH v06 yang merupakan produk *post real time "Final" run product* dengan *output* data hujan dengan durasi interval 30 menit.

Keakuratan estimasi curah hujan satelit IMERG secara spasial dan temporal cukup baik dalam mengakumulasi curah hujan (Zhang dkk., 2018). Ramos dkk. (2022) melakukan kajian mengenai kualitas hujan satelit diperoleh bahwa hujan satelit IMERG-F V06 memiliki kinerja yang baik dalam meninjau kejadian hujan ekstrem.

Hidrograf satuan sintetis nakayasu

Hidrograf satuan sintetis (HSS) digunakan apabila data hidrologi di suatu daerah tidak memadai untuk menurunkan hidrograf satuan. Oleh karena itu diperlukan hidrograf satuan sintetis yang diturunkan menurut karakteristik DAS yang ditinjau (Triatmodjo, 2019). HSS Nakayasu dirumuskan berdasarkan karakteristik beberapa sungai yang ada di Jepang (Soemarto, 1987). HSS Nakayasu dihitung dengan persamaan 2, 3, 4, 5, dan 6 (Erlando dkk., 2023).

$$Q_p = \frac{1}{3.6} \left(\frac{A R_e}{0.3T_p + T_{0.3}} \right) \quad (2)$$

$$T_p = T_g + 0.8T_r \quad (3)$$

$$t_g = 0.4 + 0.058L \quad (L > 15 \text{ km}) \quad (4)$$

$$t_g = 0.21L^{0.7} \quad (L < 15 \text{ km}) \quad (5)$$

$$T_{0.3} = \alpha t_g \quad (6)$$

dimana Q_p adalah debit puncak banjir, A adalah luasan DAS (km^2), R_e adalah curah hujan efektif (1 mm), T_p adalah waktu dari awal sampai debit puncak (jam), t_g adalah waktu konsentrasi (jam), $T_{0.3}$ adalah waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak banjir (jam), T_r adalah satuan waktu dari curah hujan (jam), α adalah koefisien karakteristik DAS, dan L adalah panjang sungai utama (km).

Hujan efektif

Hujan efektif (*effective rainfall*) atau hujan lebihan (*excess rainfall*) adalah hujan yang tidak tertahan di permukaan daratan ataupun meresap ke dalam tanah (Chow dkk., 1988). Perhitungan curah hujan efektif dilakukan dengan menghitung selisih antara total curah hujan dan *precipitation loss*. *Precipitation loss* dianalisis dengan melakukan pendekatan terhadap besarnya infiltrasi (Gustoro dkk., 2022). *Precipitation loss* dihitung dengan metode koefisien limpasan (C). Hujan efektif dihitung dengan persamaan berikut.

$$R_e = C R_h \quad (7)$$

dengan R_e adalah hujan efektif (mm), C adalah koefisien limpasan, dan R_h adalah curah hujan jam-jaman (mm).

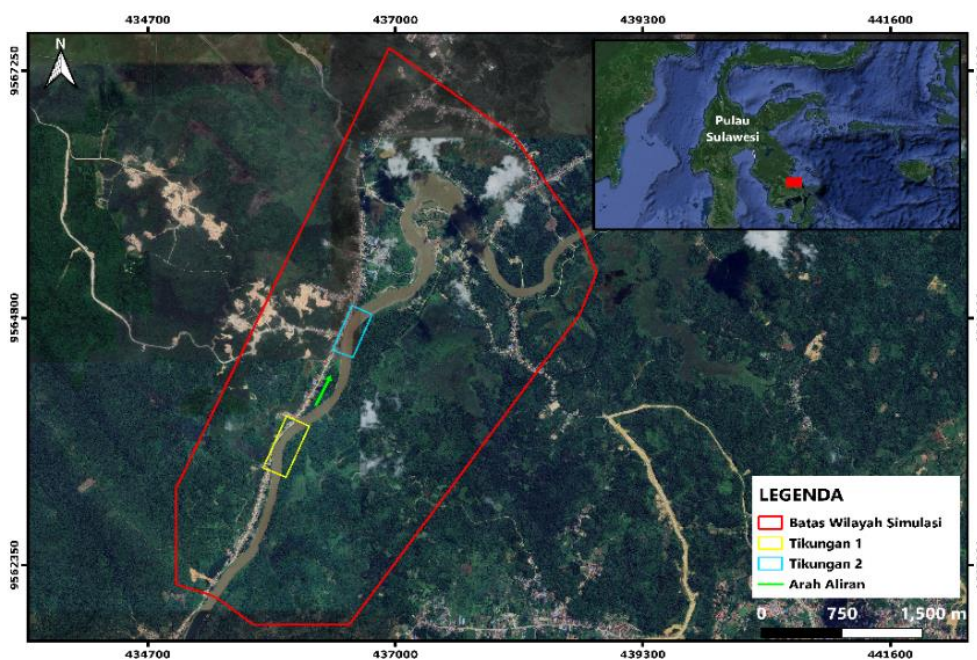
Iber

Iber merupakan perangkat lunak yang dikembangkan dalam kolaborasi antara Water and Environmental Engineering Group, GEAMA (University of ACoruna), the Flumen Institute, EPhysLab Laboratory dari University of Vigo dan the Centre for Hydrographic Studies dari CEDEX. Iber adalah perangkat lunak 2 dimensi untuk simulasi aliran *unsteady free surface* yang bergerak turbulen dan proses lingkungan dalam hidraulika sungai. Perangkat lunak Iber dapat memodelkan hidrodinamika sungai, simulasi *dam-break*, memodelkan *flood inundation*, transpor sedimen, dan arus pasang surut di muara sungai (Iberaula, 2014).

Metode Penelitian

Lokasi penelitian

Penelitian menganalisis dua tikungan Sungai Konawehea yang berada di ruas Morosi dengan panjang sungai tinjauan 7263 m. Lokasi tikungan yang ditinjau dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi penelitian

Pengumpulan data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yaitu antara lain data hujan permukaan, data hujan satelit, data *cross section*, data DEMNAS, tinggi muka air terukur, dan data sedimen dasar. Data hujan permukaan diperoleh dari data hujan enam stasiun pengukur hujan yaitu Stasiun Tamboli, Stasiun Mowewe, Stasiun Motaha, Stasiun Lasusua, Stasiun Lambuya, dan Stasiun Abuki dengan panjang data 15 tahun (2005 sampai 2020). Data hujan permukaan digunakan dalam analisis hidrologi. Data hujan satelit yang digunakan adalah hujan satelit produk *Global Precipitation Measurement (GPM) Core Observatory* tahun 2019. Data hujan satelit digunakan dalam penentuan pola distribusi hujan. Data *cross section* sungai dan DEMNAS digunakan untuk membuat tiruan geometri sungai. Data sedimen digunakan sebagai *input* dalam aplikasi Iber untuk analisis aliran dan erosi. Data tinggi muka air digunakan dalam proses kalibrasi model geometri sungai.

Analisis data

Dalam penelitian ini dilakukan analisis hidrologi dan analisis hidraulika. Analisis hidrologi yang dilakukan yaitu analisis hujan rancangan dan menghitung hidrograf banjir rancangan kala ulang 25 tahun. Analisis hidraulika dilakukan dengan menggunakan aplikasi Iber berdasarkan geometri sungai yang didapatkan dari pengolahan data *cross section* sungai dan DEMNAS dengan menggunakan aplikasi Quantum GIS (QGIS). Model geometri yang digunakan merupakan model geometri yang telah dikalibrasi. Hasil yang diperoleh dari aplikasi Iber adalah kecepatan aliran, elevasi tinggi muka air, dan perubahan dasar sungai.

Hasil dan Pembahasan

Hujan wilayah

Hujan wilayah ditentukan dengan metode Poligon Thiessen. Poligon Thiessen dibuat dengan bantuan aplikasi QGIS. Poligon Thiessen hasil analisis QGIS ditunjukkan pada Gambar 2. Berdasarkan analisis QGIS,

didapatkan luas wilayah DAS yang mendapat pengaruh dari masing-masing stasiun hujan yang tunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Luas Poligon Thiessen

Stasiun	Luas (km ²)
Tamboli	550
Mowewe	1634
Motaha	1330
Lasusua	597
Lambuya	1271
Abuki	1339
Total	6721

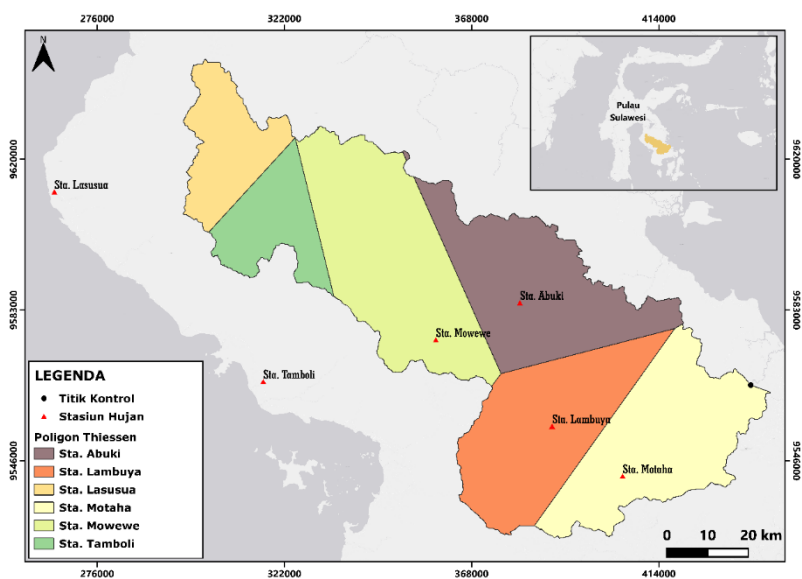
Dengan menggunakan Pers. 1 akan diperoleh hujan kawasan harian maksimum tahunan DAS Konawehea. Hujan kawasan DAS Konawehea ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hujan kawasan harian maksimum tahunan DAS Konawehea

Tahun	Hujan (mm)
2005	25
2006	25
2007	25
2008	31
2009	29
2010	38
2011	36
2012	33
2013	78
2014	28
2015	33
2016	32
2017	34
2018	38
2019	62
2020	35

Hujan rancangan

Hujan rancangan diperoleh dengan melakukan analisa frekuensi data hujan kawasan harian maksimum tahunan DAS Konawehea. Analisa frekuensi dilakukan dengan bantuan aplikasi *Anfrek 1.a* (Luknanto, 2012). Aplikasi *Anfrek 1.a* akan melakukan pengujian statistik dan penentuan hujan kala ulang tertentu. Data yang dimasukkan adalah data hujan kawasan harian maksimum tahunan. Hujan rancangan kala ulang hasil analisis frekuensi dengan aplikasi *Anfrek 1.a* ditunjukkan pada Tabel 3.



Gambar 2. Poligon Thiessen

Tabel 3. Hujan kala ulang DAS Konaweha

Kala Ulang (Tahun)	Karakteristik Hujan (mm) Menurut Probabilitasnya			
	Normal	Log-Normal	Gumbel	Log-Pearson III
2	36,351	34,521	34,044	32,007
5	48,174	44,788	46,458	42,499
10	54,354	51,318	54,678	51,878
25	60,945	59,334	65,063	67,063
50	65,202	65,167	72,768	81,262
100	69,031	70,901	80,415	98,413

Berdasarkan hasil uji statistik dengan aplikasi *Anfrefk 1.a*, bahwa distribusi terbaik adalah distribusi Log-Pearson III. Pada analisis ini digunakan hujan kala ulang 25 tahun dengan hujan rancangan sebesar 67,063 mm.

Pola distribusi hujan

Produk hujan satelit GPM yang menjadi input dalam analisis ini merupakan data hujan setengah jaman dari Januari 2019 sampai Desember 2019 yang kemudian diubah menjadi data hujan jam-jaman. Koordinat lokasi yang ingin diunduh datanya disesuaikan dengan lokasi koordinat enam stasiun hujan terukur.

Data hujan yang telah diunduh kemudian dilakukan pemilihan data hujan dengan intensitas hujan >50 mm/kejadian. Batasan ini digunakan sebagai acuan dengan asumsi

bersifat mewakili karakteristik hujan yang menyebabkan aliran dengan debit besar di sungai Konaweha.

Setelah dilakukan pemilihan data, diperoleh 84 kejadian hujan dengan intensitas >50 mm/kejadian. 84 kejadian hujan yang diperoleh memiliki durasi hujan yang berbeda-beda sehingga perlu dicari durasi hujan dominan pada DAS Konaweha. Durasi hujan ditentukan dengan mengalikan durasi hujan dengan frekuensi kejadian kemudian dibagi dengan total kejadian hujan sehingga diperoleh durasi hujan dominan selama 10 jam. Dari 84 kejadian kejadian tersebut diperoleh pula distribusi hujan jam-jaman merata yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pola distribusi hujan jam-jaman DAS Konaweha

Jam ke	Hujan (%)
0	0,00
1	5,81
2	10,4
3	12,49
4	13,46
5	13,52
6	12,17
7	11,02
8	9,88
9	7,22
10	4,04

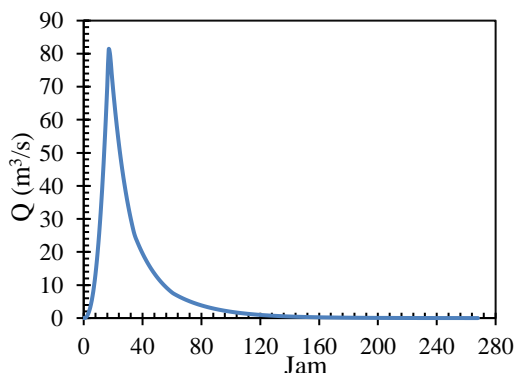
Berdasarkan pola distribusi hujan jam-jaman, kemudian dihitung distribusi hujan harian rancangan kala ulang 25 tahun dengan kedalaman hujan 67,063 mm yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Distribusi hujan harian maksimum tahunan DAS Konaweha kala ulang 25 tahun

Jam ke	Hujan (%)	Hujan (mm)
0	0,00	0,00
1	5,81	3,90
2	10,4	6,97
3	12,49	8,37
4	13,46	9,03
5	13,52	9,07
6	12,17	8,16
7	11,02	7,39
8	9,88	6,63
9	7,22	4,84
10	4,04	2,71

HSS nakayasu

Dalam analisis HSS Nakayasu dibutuhkan parameter DAS yang ditinjau. Parameter tersebut yaitu luas DAS dan panjang sungai utama DAS. Parameter tersebut diperoleh dari hasil deliniasi DAS dengan menggunakan aplikasi QGIS. Diperoleh luas DAS sebesar 6721 km² dan panjang sungai utama 276.24 km. Setelah semua parameter yang dibutuhkan telah lengkap, dilakukan perhitungan HSS Nakayasu dengan menggunakan persamaan 2, 3, 4, 5, dan 6. Hidrograf yang diperoleh perlu dilakukan koreksi agar nilai $R_e = 1$ mm. Grafik HSS Nakayasu setelah dikoreksi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. HSS Nakayasu

Hujan efektif

Berdasarkan Laporan Akhir SID Penanganan Erosi Sungai Konaweha Ruas Morosi Kabupaten Konawe, untuk sungai Konaweha Ruas Morosi diambil kondisi sungai besar yang lebih dari setengah daerah alirannya terdiri dari dataran dengan harga koefisien limpasan (C) sebesar 0.61. Setelah koefisien limpasan didapatkan, hujan efektif dihitung dengan Pers. 7. Besar hujan efektif yang terjadi ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Hujan efektif

Jam ke	Hujan (mm)	Hujan Efektif (mm)
0	0,00	0,00
1	3,90	2,38
2	6,97	4,25
3	8,37	5,11
4	9,03	5,51
5	9,07	5,53
6	8,16	4,98
7	7,39	4,51
8	6,63	4,04
9	4,84	2,95
10	2,71	1,65

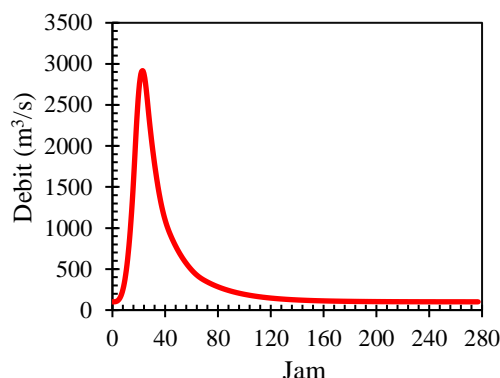
Hidrograf banjir rancangan

Untuk membentuk sebuah hidrograf banjir dibutuhkan data hidrograf satuan, hujan efektif dan *baseflow*. Hidrograf satuan yang digunakan pada analisis ini adalah HSS Nakayasu yang telah dihitung sebelumnya. Hujan efektif yang digunakan adalah hujan efektif dari hujan rancangan kala ulang 25 tahun yang terdapat pada Tabel 6. *Baseflow* sungai Konaweha Ruas Morosi ditentukan berdasarkan tinggi muka air normal dengan debit sebesar 100,79 m³/s. Hidrograf banjir kala ulang 25 tahun ditunjukkan pada Gambar 4. Debit maksimum yang terjadi yaitu 2916,16 m³/s. Waktu yang dibutuhkan untuk mencapai debit banjir maksimum yaitu 23 jam.

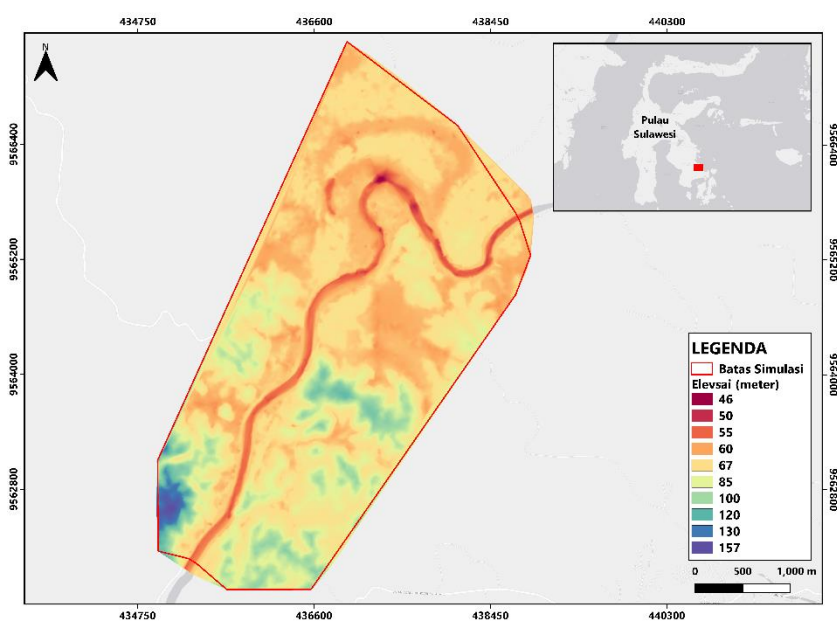
Model geometri sungai

Data *cross section* sungai dan data elevasi titik dari peta DEMNAS yang telah digabungkan kemudian dimasukkan ke dalam perangkat lunak QGIS untuk membuat peta *raster*

geometri sungai. Peta *raster* geometri sungai dibuat dengan menggunakan fitur *TIN Interpolation* yang ada pada QGIS. Peta *raster* geometri sungai yang telah sesuai dengan kondisi lapangan akan digunakan sebagai input dalam perangkat lunak Iber. Hasil pengolahan model geometri sungai dengan QGIS ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Hidrograf banjir kala ulang 25 tahun



Gambar 5. Hasil pengolahan model geometri sungai dengan QGIS

Kalibrasi model geometri sungai

Data yang digunakan dalam kalibrasi model adalah tinggi muka air (TMA) sungai terukur. Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan aliran *unsteady*. Tujuan dari proses kalibrasi model ini adalah untuk mendapatkan nilai TMA hasil simulasi Iber sama dengan TMA terukur.

Untuk mendapatkan hasil tersebut maka dilakukan optimasi terhadap faktor yang mempengaruhi hasil simulasi Iber. Dalam penelitian ini, faktor yang dikoreksi adalah nilai koefisien *n* Manning. Dalam proses kalibrasi digunakan beberapa nilai koefisien kekasaran Manning (*n*) yaitu 0,025, 0,030, dan 0,035. Nilai kekasaran Manning tersebut

digunakan sebagai input data dalam Iber untuk diketahui pengaruhnya terhadap TMA hasil simulasi Iber. TMA hasil simulasi Iber kemudian akan dibandingkan dengan TMA terukur.

Data TMA yang digunakan merupakan data TMA hasil pengukuran 30 Oktober 2022 pada Tikungan 1 yang dapat dilihat pada Gambar 1. Data TMA terukur ditunjukkan pada Tabel 7. Data TMA terukur tersebut ditransformasi menjadi elevasi sesuai dengan sistem elevasi yang digunakan dalam pembuatan model geometri sungai. TMA terukur pada pukul 10:00 digunakan sebagai kondisi awal pada model. Diasumsikan elevasi air di sepanjang penampang sungai adalah sama. Dikarenakan tidak tersedianya data TMA terukur pada hulu

dan hilir model maka diasumsikan elevasi air sungai pada hulu dan hilir model adalah sama dengan elevasi air sungai pada Tikungan 1. Oleh karena itu, data elevasi air sungai dari jam 11:00 sampai 23:00 digunakan sebagai batas hulu dan batas hilir.

Tabel 7. Tinggi muka air terukur 30 Oktober 2022

Jam	Tinggi Muka Air (m)	Elevasi (m)
10:00	5,20	60,27
11:00	5,00	60,07
12:00	4,90	59,97
13:00	4,89	59,96
14:00	5,23	60,30
15:00	5,71	60,78
16:00	6,05	61,12
17:00	6,20	61,27
18:00	6,15	61,22
19:00	6,04	61,11
20:00	5,89	60,97
21:00	5,75	60,82
22:00	5,59	60,66
23:00	5,49	60,57

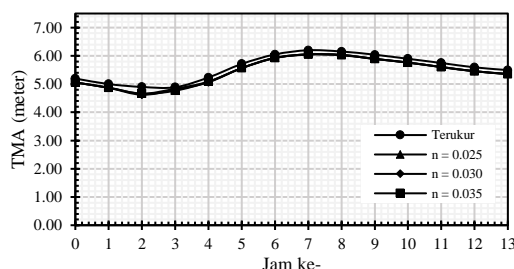
Setelah kondisi batas ditetapkan, selanjutnya model di *running* dengan nilai kekasaran Manning yang berbeda-beda. TMA hasil simulasi Iber ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. TMA hasil *running* Iber

Waktu Simulasi (Jam ke)	Tinggi Muka Air (m)		
	n = 0,025	n = 0,030	n = 0,035
0	5,06	5,06	5,06
1	4,87	4,87	4,87
2	4,66	4,62	4,66
3	4,83	4,80	4,77
4	5,09	5,06	5,08
5	5,56	5,56	5,56
6	5,93	5,93	5,92
7	6,04	6,05	6,06
8	6,04	6,03	6,02
9	5,89	5,89	5,90
10	5,77	5,76	5,76
11	5,60	5,60	5,61
12	5,45	5,45	5,46
13	5,36	5,36	5,35

Perbandingan antara TMA terukur dan TMA hasil simulasi Iber ditunjukkan pada Gambar 6. Pada proses kalibrasi, ditetapkan besar persentasi kesalahan antara TMA terukur dan

TMA hasil simulasi Iber tidak lebih dari 10%. Persentasi kesalahan TMA hasil simulasi Iber terhadap TMA terukur ditunjukkan pada Tabel 9.



Gambar 6. Perbandingan TMA terukur dan TMA hasil simulasi Iber

Tabel 9. Persentasi kesalahan TMA hasil simulasi Iber terhadap TMA terukur

Waktu Simulasi (Jam ke)	Persentasi Kesalahan		
	n = 0,025	n = 0,030	n = 0,035
0	2,68%	2,68%	2,68%
1	2,50%	2,66%	2,64%
2	4,85%	5,64%	4,90%
3	1,06%	1,80%	2,48%
4	2,84%	3,25%	2,92%
5	2,59%	2,59%	2,59%
6	1,95%	2,02%	2,13%
7	2,46%	2,36%	2,30%
8	1,85%	2,01%	2,17%
9	2,55%	2,46%	2,39%
10	2,16%	2,27%	2,33%
11	2,56%	2,49%	2,44%
12	2,46%	2,47%	2,45%
13	2,49%	2,52%	2,56%
Rata-rata	2,50%	2,66%	2,64%

Berdasarkan Tabel 9, persentasi kesalahan rata-rata terkecil adalah nilai kekasaran Manning 0,025. Sehingga nilai kekasaran Manning tersebut yang digunakan untuk simulasi aliran dengan debit banjir rancangan kala ulang 25 tahun.

Penentuan kondisi awal dan syarat batas

Data yang digunakan sebagai kondisi awal adalah elevasi muka air. Dalam analisis ini digunakan elevasi muka air normal. Elevasi muka air di hulu adalah 61,608 meter dan elevasi muka air di hilir adalah 61,251 meter.

Data yang digunakan pada sebagai batas hulu adalah debit banjir rancangan kala ulang 25 tahun dan data *bedload*. Debit banjir rancangan yang digunakan dalam analisis ini adalah debit pada jam ke 0 hingga debit pada jam ke 27, sehingga durasi simulasi selama 28 jam. Data sedimen yang digunakan sebagai batas hulu ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Parameter *bedload*

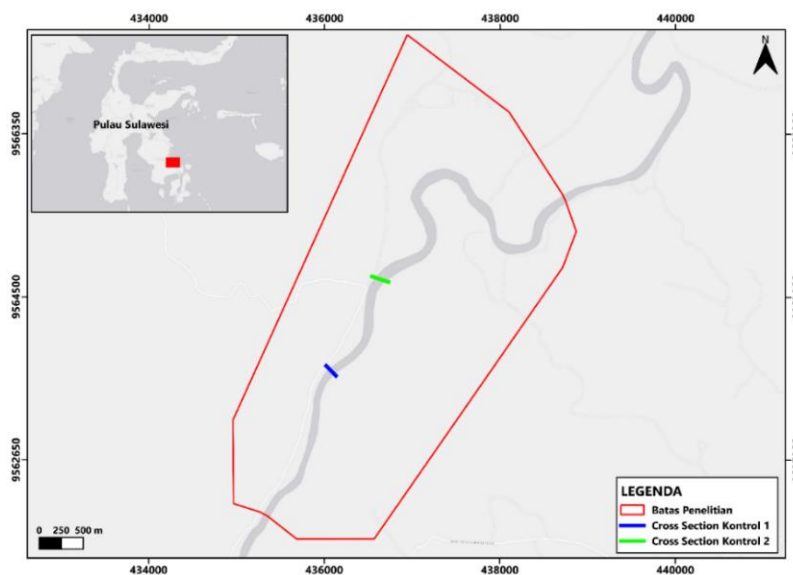
Parameter	Nilai
d_{50}	0,00005 m
Porositas	0,369
Relative Density	2.65

Kondisi batas hilir yang digunakan yaitu elevasi muka air pada hilir model yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut.

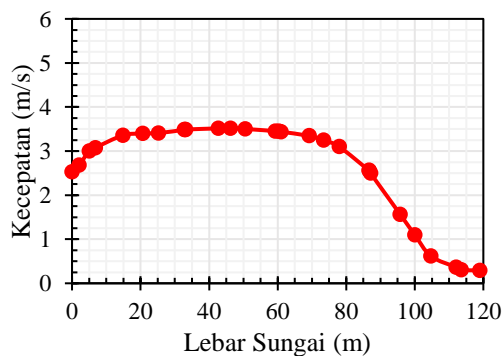
Simulasi aliran

Tujuan dari simulasi ini adalah untuk mengetahui kecepatan aliran dan besar perubahan elevasi dasar sungai yang terjadi pada tikungan sungai yang ditinjau. Untuk memudahkan proses analisa, ditetapkan dua *cross section* kontrol yang ditunjukkan pada Gambar 7.

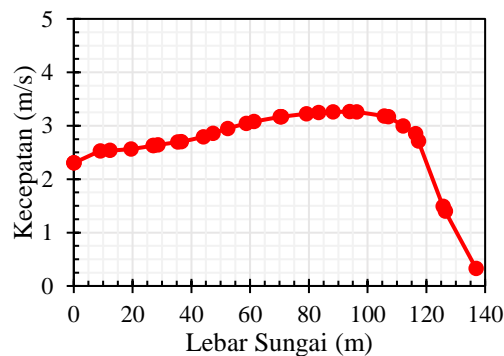
Hasil simulasi aliran sepanjang ruas sungai pada debit puncak ditunjukkan pada Gambar 10. Gambar 10 menunjukkan bahwa terjadi luapan air sungai pada beberapa lokasi. Grafik distribusi kecepatan aliran pada *Cross Section* Kontrol 1 dan *Cross Section* Kontrol 2 ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8.



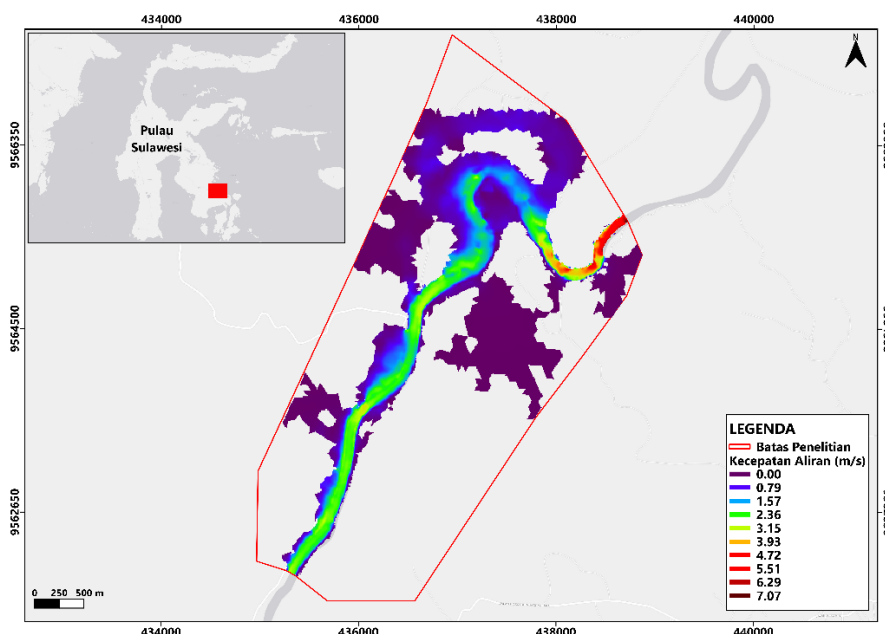
Gambar 7. Lokasi *cross section* kontrol



Gambar 8. Distribusi kecepatan pada *Cross Section* Kontrol 1



Gambar 9. Distribusi kecepatan aliran pada *Cross Section* Kontrol 2

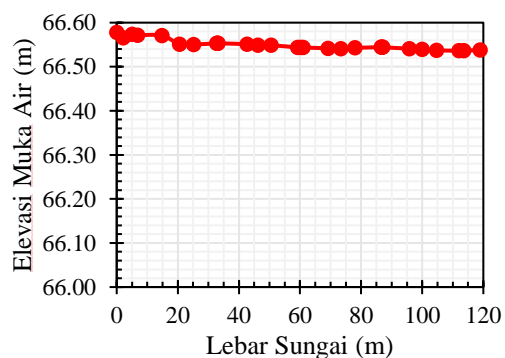


Gambar 10. Hasil simulasi kecepatan aliran saat debit banjir puncak

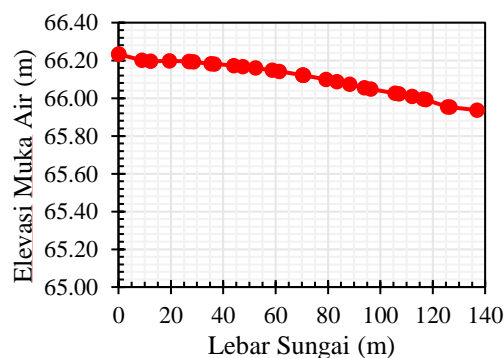
Gambar 8 dan Gambar 9 menunjukkan kecepatan aliran pada ruas luar tikungan sungai (bagian kiri grafik) lebih besar dibandingkan dengan kecepatan pada ruas dalam tikungan sungai (bagian kanan grafik). Okamoto dkk. (2020) menyatakan aliran yang mempunyai kecepatan tinggi akan menghasilkan gaya gesek dan potensi erosi yang tinggi. Sedimen yang tererosi akan terbawa oleh aliran dan terdeposisi dari bagian ruas luar tikungan ke ruas dalam tikungan. Proses tersebut diakibatkan karena adanya pengaruh aliran sekunder. Aliran sekunder ini berperan penting pada pola aliran dan transportasi sedimen pada ruas luar tikungan (Engel & Rhoads, 2016).

Perbedaan kecepatan yang terjadi pada ruas luar tikungan dan ruas dalam tikungan akan menyebabkan terjadinya perbedaan elevasi ketinggian muka air. Elevasi muka air pada ruas luar tikungan lebih besar dibandingkan elevasi muka air pada ruas dalam tikungan. Elevasi muka air pada *Cross Section* Kontrol 1 dan *Cross Section* Kontrol 2 ditunjukkan pada Gambar 11 dan Gambar 12.

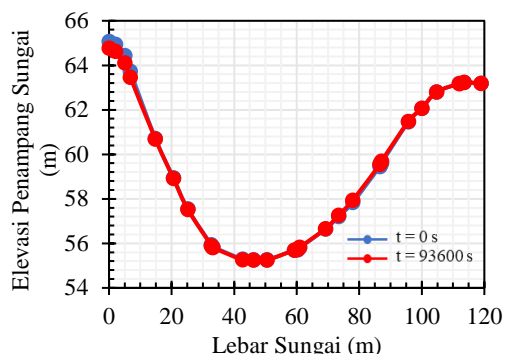
Erosi yang terjadi dapat dilihat pada perubahan elevasi penampang sungai yang terjadi pada *cross section* kontrol yang ditinjau. Perubahan penampang sungai ditunjukkan pada Gambar 13 dan Gambar 14. Besar perubahan yang terjadi ditunjukkan pada Tabel 11 dan Tabel 12.



Gambar 11. Elevasi ketinggian air pada *Cross Section* Kontrol 1



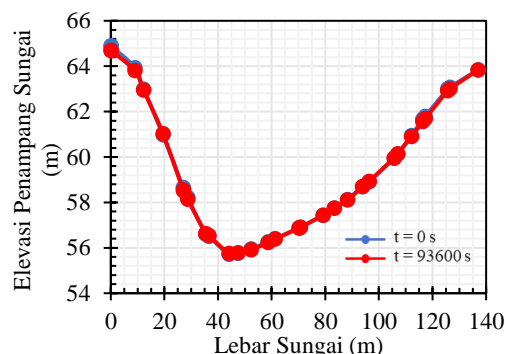
Gambar 12. Elevasi ketinggian air pada *Cross Section* Kontrol 2



Gambar 13. Profil penampang sungai pada Cross Section Kontrol 1

Tabel 11. Besar perubahan elevasi penampang sungai pada Cross Section Kontrol 1

Lebar Sungai (m)	Elevasi (m)		Perubahan Dasar (m)
	t = 0 s	t = 93600 s	
0,00	65,08	64,77	-0,31
2,07	64,95	64,62	-0,32
5,01	64,44	64,11	-0,33
6,78	63,74	63,46	-0,28
14,79	60,72	60,69	-0,03
20,58	58,94	58,91	-0,03
25,17	57,55	57,53	-0,02
32,73	55,93	55,90	-0,03
33,18	55,84	55,81	-0,04
42,67	55,29	55,26	-0,03
46,20	55,26	55,25	-0,01
50,53	55,26	55,25	-0,01
59,25	55,69	55,70	0,01
60,30	55,72	55,72	0,01
60,96	55,81	55,82	0,01
69,20	56,64	56,66	0,02
73,38	57,20	57,26	0,07
77,93	57,84	57,94	0,11
86,60	59,46	59,55	0,10
87,10	59,60	59,69	0,09
95,73	61,46	61,48	0,02
100,01	62,06	62,07	0,01
104,69	62,80	62,79	0,00
112,02	63,18	63,18	0,00
113,54	63,23	63,23	0,00
118,96	63,19	63,19	0,00



Gambar 14. Profil penampang sungai pada Cross Section Kontrol 2

Tabel 12. Besar perubahan elevasi penampang sungai pada Cross Section Kontrol 2

Lebar Sungai (m)	Elevasi (m)		Perubahan Dasar (m)
	t = 0 s	t = 93600 s	
0,00	64,90	64,69	-0,21
0,09	64,89	64,68	-0,21
8,96	63,94	63,81	-0,13
12,24	62,99	62,95	-0,05
19,43	60,98	61,04	0,06
26,94	58,66	58,55	-0,11
27,10	58,61	58,50	-0,11
28,63	58,23	58,14	-0,08
36,55	56,51	56,54	0,03
44,05	55,71	55,75	0,05
47,40	55,76	55,78	0,02
52,32	55,95	55,91	-0,04
58,62	56,27	56,24	-0,03
61,32	56,41	56,38	-0,02
70,23	56,88	56,87	-0,01
70,70	56,91	56,90	-0,01
79,20	57,43	57,43	0,00
88,21	58,12	58,10	-0,02
93,84	58,69	58,70	0,01
96,31	58,91	58,93	0,02
105,66	59,94	59,96	0,01
107,01	60,13	60,14	0,01
112,11	60,95	60,90	-0,05
117,29	61,79	61,69	-0,10
125,66	63,00	62,92	-0,08
136,92	63,83	63,83	0,00

Gambar 13 dan Gambar 14 menunjukkan terjadinya perubahan profil penampang sungai akibat debit puncak banjir kala ulang 25 tahun. Pada Tabel 11 dan Tabel 12, nilai negatif mengindikasikan telah terjadi penurunan elevasi dasar sedangkan nilai positif mengindikasikan terjadinya sedimentasi. Penurunan elevasi dasar mayoritas terjadi pada daerah sisi luar tikungan sungai, sedangkan pada daerah sisi dalam

tikungan terjadi sedimentasi. Djufri (2017) menyatakan bahwa gerusan yang terjadi pada bagian sisi luar tikungan sungai berbanding lurus dengan debit dan kecepatan aliran. (Biswas & Barbhuiya, 2020) menyatakan erosi yang terjadi pada sisi luar tikungan dan sedimentasi di sisi dalam tikungan sungai adalah efek gabungan dari aliran *vorteks*, *cross-flow*, dan aliran yang dipercepat. Distribusi kecepatan aliran, tinggi muka air

dan erosi yang terjadi mempengaruhi resiko terjadinya longsor pada tebing sisi luar tikungan sungai. Semakin cepat aliran pada daerah sisi luar tikungan sungai, maka tebing sungai tersebut akan semakin tidak stabil sehingga akan menyebabkan terjadinya longsor pada tebing sungai (Yu, Shen dkk., 2013).

Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan hasil analisis yaitu tebing pada tikungan bagian luar Sungai Konawe Ruas Morosi terancam mengalami gerusan akibat debit banjir rancangan kala ulang 25 tahun. Hal ini dapat dilihat pada penurunan elevasi dasar akibat gerusan yang terjadi. Gerusan yang terjadi dapat menyebabkan terjadinya longsor. Berdasarkan hal tersebut maka diperlukan bangunan pelindung tebing sungai yang dapat mengurangi proses gerusan yang terjadi pada tikungan luar sungai dan melindungi perumahan warga apabila terjadi banjir.

Daftar Pustaka

- Biswas, P., & Barbhuiya, A. K. (2020). Scour at River Bend: A Parametric Study. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 44(3), 1001–1021. <https://doi.org/10.1007/s40996-020-00414-9>
- Bora, K., & Kalita, H. M. (2020). A Semi-Coupled Model for Morphological Flow Simulation in River Bend. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 13(5), 1611–1622. <https://doi.org/10.36884/JAFM.13.05.30842>
- BWS Sulawesi IV Kendari. (2022). SID Penanganan Erosi Sungai Konawe Ruas Morosi Kabupaten Konawe Tahun Anggaran 2022. Kendari.
- Djufri, H. (2017). Studi Pengaruh Sudut Belokan Sungai Terhadap Volume Gerusan. *INTEK: Jurnal Penelitian*, 4(1), 60. <https://doi.org/10.31963/intek.v4i1.95>
- Engel, F. L., & Rhoads, B. L. (2016). Three-Dimensional Flow Structure and Patterns of Bed Shear Stress in An Evolving Compound Meander Bend. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(9), 1211–1226. <https://doi.org/10.1002/esp.3895>
- Erlando, Y. S., Astuti, S. A. Y., & Anggraheni, D. (2023). Evaluasi Kapasitas Sungai Gendol Yogyakarta. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 160–170. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Gustoro, D., Sujono, J., & Karlina, K. (2022). Perbandingan Pola Distribusi Hujan Terukur dan Hujan Satelit PERSIANN di DAS Progo. *Jurnal Teknik Pengairan: Journal of Water Resources Engineering*, 13(1), 23–35.
- Iberaula. (2014). Two-Dimensional Modelling of Free Surface Shallow Water Flow, Hydraulic Reference Manual Iber v1.0.
- Luknanto, D., 2012. Analisis Frekuensi untuk Sumberdaya Air. Diambil dari <http://luk.staff.ugm.ac.id/gapai/sw/anafrek/index.html>
- Okamoto, Y., Nishio, J., Kanda, K., Michioku, K., Nakamura, F., & Kubo, H. (2020). Study on Riverbed Variation Management by Groin at a River Confluence Associated With the Barrage Water. Dalam *River Flow 2020* (hlm. 653–662). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b22619-92>
- Pratiwi, D. W., Sujono, J., & Rahardjo, A. P. (2017). Evaluasi Data Hujan Satelit untuk Prediksi Data Hujan Pengamatan Menggunakan Cross Correlation. *Prosiding Semnastek*.
- Ramos, G., Coelho, V. H., Freitas, E., Xuan, Y., Brocca, L., & Almeida, C. (2022). Regional-Scale Evaluation of 14 Satellite-Based Precipitation Products in Characterising Extreme Events and Delineating Rainfall Thresholds for Flood Hazards. *Atmospheric Research*, 276, 106259. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106259>
- Rinawati, Ishak, M. G., & Herman, R. (2021). Analysis of Characteristics of Several Bends on Sidoan River. *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*, 8(4), 46–57. <https://doi.org/10.29121/ijetmr.v8.i4.2021.927>
- Sisinggih, D., Wahyuni, S., & Rasyid, A. (2021). Flow and Sediment Transport in a Sharp River Bend Using a 3D-RANS Model. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 930(1). IOP Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/930/1/012033>
- Soemarto, C. D. (1987). *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Tan, M. L., & Duan, Z. (2017). Assessment of GPM and TRMM Precipitation Products Over Singapore. *Remote Sensing*, 9(7), 720.
- Te Chow, V., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*.
- Triatmodjo, B. (2019). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset.
- Yu, M., Shen, K., Wu, S., & Wei, H. (2013). An Experimental Study of Interaction Between Bank Collapse and River Bed Evolution. *Shuikexue Jinzhan/Advances in Water Science*, 24(5), 675–682.
- Zhang, C., Chen, X., Shao, H., Chen, S., Liu, T., Chen, C., ... Du, H. (2018). Evaluation and Intercomparison of High-Resolution Satellite Precipitation Estimates—GPM, TRMM, and CMORPH in the Tianshan Mountain Area. *Remote Sensing*, 10, 1543. <https://doi.org/10.3390/rs10101543>