

MENDETEKSI KEJADIAN BANJIR DI SUNGAI TANDE KABUPATEN LINGGA DENGAN SIMULASI HEC-RAS

*Bambang Sujatmoko¹, Syarifah Sophia Vinka Zafani², Manyuk Fauzi³

^{1,2,3} Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Indonesia

*Corresponding Author (b.sujatmoko@eng.unri.ac.id)

Abstrak	Article history:
<p>Sungai Tande merupakan sungai yang terletak di desa Daik Kabupaten Lingga dengan total panjang 9,41 km dan memiliki luas daerah aliran sungai (DAS) sebesar 3.170,42 ha. Penelitian ini bertujuan menentukan profil tinggi muka air banjir di Sungai Tande sehingga dapat dijadikan acuan oleh pihak terkait untuk mendeteksi kejadian banjir yang berpotensi terjadi di kawasan pemukiman di sekitar Sungai Tande. Analisis profil muka air banjir di Sungai Tande dilakukan menggunakan program HEC-RAS dengan asumsi aliran tetap, sehingga dapat dideteksi lokasi dan besarnya ketinggian kejadian banjir pada ruas sungai yang disimulasi. Perhitungan debit banjir rencana dilakukan dengan metode hidrograf satuan sintetik (HSS) Nakayasu. Besarnya debit banjir kala ulang 1,01 tahun adalah 16,191 m³/s; 1,25 tahun (23,9 m³/s), 2 tahun (28,9 m³/s), 5 tahun (34,2 m³/s), 10 tahun (37,2 m³/s), 25 tahun (40,3 m³/s), 50 tahun (42,4 m³/s), dan 100 tahun (44,2 m³/s). Menggunakan data debit kala ulang dan data penampang sungai Tande, simulasi muka air sungai dengan aplikasi HEC-RAS menghasilkan : tidak terjadi banjir pada debit kala ulang 1.01 tahun dan mulai terjadi pada debit kala ulang 1,25 tahun (penampang D38 kanan setinggi 14 cm). Deteksi kejadian banjir pada debit kala ulang 2 tahun (penampang D38 setinggi 17 cm); 5 tahun (ada 17 penampang dengan kisaran banjir setinggi 8-35 cm); 10 tahun (ada 20 penampang dengan kisaran banjir setinggi 12-40 cm); 25 tahun (ada 24 penampang dengan kisaran banjir setinggi 14-46 cm); 50 tahun (ada 30 penampang dengan kisaran banjir setinggi 14-55 cm); dan 100 tahun (ada 32 penampang dengan kisaran banjir setinggi 18-59 cm).</p>	<p><i>Received:</i> 13 May 2022 <i>Accepted:</i> 3 June 2022 <i>Available online:</i> 27 July 2022.</p> <p>Keywords: <i>Deteksi kejadian banjir, simulasi muka air, sungai Tande, HEC-RAS</i></p>

1. PENDAHULUAN

Sungai Tande di Kecamatan Lingga berdekatan dengan sungai Daik, yang bagian hulu keduanya mengalir pada aliran yang sama. Menurut Rencana Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Kepulauan Riau (2018), sungai Tande memiliki panjang alur mencapai 9,41 km. Umumnya, sungai di daerah ini mengalir di daerah berbukit dan banyak ditutupi tumbuhan hutan. Kedalaman perairan berkisar 1-3 meter dan pada daerah berbukit kedalaman sungai bisa mencapai 3-7 meter (RPJMD Kabupaten Lingga, 2016). Saat musim penghujan, terdapat beberapa sungai di wilayah sekitar Kelurahan Daik yang meluap. Sungai Tande merupakan satu diantaranya yang berpotensi mengalami luapan. Kondisi sungai Daik yang dekat dengan sungai Tande, telah dilakukan kajian profil muka airnya menggunakan perangkat lunak HEC-RAS (Miatullah, R.W., 2021). Berdasarkan kajian tersebut dan belum adanya penelitian terkait banjir di sungai Tande, maka

perlu dilakukan upaya mendeteksi kejadian banjir di sungai Tande.

Untuk deteksi kejadian banjir di sungai Tande, dilakukan simulasi muka air sepanjang 4,5 km dimulai dari daerah Kampung Robot hingga Kampung Seranggung. Sungai Tande dan Daik bermuara pada aliran yang sama di daerah perbukitan dengan kemiringan yang ekstrim dan tidak dipengaruhi pasang surut. Cakupan lokasi penelitian meliputi lingkungan perkampungan dengan jalan dan jembatan yang memotong sungai sehingga menjadi prasarana yang krusial jika terjadi banjir.

Penelitian ini bertujuan untuk mensimulasi kejadian banjir di sungai Tande berdasarkan debit banjir kala ulang, sehingga dapat diprediksi debit kala ulang berapa terjadi banjir di Sungai Tande. Penelitian ini juga mengidentifikasi lokasi dan tinggi banjir pada debit banjir kala ulang yang disimulasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Profil Muka Air Sungai

Profil muka air sungai merupakan keadaan penampang sungai yang mempengaruhi kondisi aliran sungai tersebut. Berdasarkan Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), sungai adalah air yang mengalir di aliran alam yang besar.

Sebagai alirandapat mengangkut material untuk dibawa hingga ke laut dan di sekitar muara sungai dapat terjadi sedimentasi dan dapat menurunkan suplai air. Menurut Gross (1972) dikutip oleh (Purnama et al., 2015), yang mendominasi suplai air di muara sungai umumnya adalah pasang surut. Hal itu ditunjukkan saat kondisi pasang, sungai yang juga mengalir terhadap pasangannya air laut juga terdampak dengan naiknya volume air, begitu juga sebaliknya sehingga sedimen yang diangkut sungai akan berubah saat kondisi surut dan pada saat tertentu dapat mengendap sehingga menyempitkan alur sungai.

Daerah Aliran Sungai

Secara sederhana Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat diartikan sebagai kawasan yang dibatasi punggung bukit yang menerima dan mengumpulkan air hujan untuk dialirkan melalui anak sungai ke laut dan danau. Menurut Sri Harto yang dikutip dalam jurnal (Suadnya et al., 2017), DAS adalah aliran sungai dalam suatu daerah mengalir dalam suatu daerah aliran sungai terkait. Sungai Tande tergabung dalam DAS Tande.

Secara singkat penentuan dan pembuatan peta DAS dapat menggunakan peta DEMNAS yang dapat diunduh melalui website: tanahair.indonesia.go.id. Setelah peta DEMNAS sesuai wilayah yang akan diteliti sudah didapat, dilanjutkan dengan memasukkan peta DEMNAS pada program ArcGis dan mengatur data sesuai dengan ketentuan zona UTM (Universal Transverse Mercator). Selanjutnya dilakukan pembatasan DAS yang akan diteliti yang akan menghasilkan besar luasan dan peta DAS.

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan guna memperoleh besarnya debit banjir rencana. Metode yang dapat dilakukan beragam, bergantung pada data yang tersedia dan aspek lain yang berkaitan dengan keadaan DAS, seperti kondisi tingkat kebutuhan pembangunan dan resiko yang dapat terjadi.

Analisis hidrologi mencakup analisis frekuensi curah hujan dengan beberapa jenis distribusi, yakni Gumbell, Normal, Log Normal, dan Log Pearson III. Parameter statistik yang diperlukan dalam analisis data hidrologi, diantaranya adalah standar deviasi, koefisien kemencengan, koefisien puncak, koefisien variasi, dan central tendency (Suadnya et al., 2017). Persyaratan parameter statistik masing-masing distribusi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persyaratan Parameter Statistik Dalam Distribusi

Jenis Sebaran	Persyaratan
Normal	$C_s \approx 0$
	$C_k \approx 0$
Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$
	$C_k = C_v^8 + 6C_v + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
Gumbel	$C_s \sim 1,14$
	$C_k \sim 5,4$
Log Pearson III	Selain dari nilai di atas
	Selain dari nilai di atas

Sumber: Triatmodjo (2008)

Setelah diperoleh hitungan yang memenuhi syarat distribusi berdasarkan Tabel 1 di atas, pengujian datadilakukan untuk mengetahui apakah jenis distribusi yang dipilih sesuai dengan data yang tersedia. Ada dua jenis pengujian yakni, uji Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov (Triatmodjo, 2008).

Uji Chi-Kuadrat dilakukan guna mengetahui apakah persamaan distribusi yang dipilih memenuhi sesuai persyaratan Tabel uji Chi-kuadrat. Dengan dilakukan uji Smirnov Kolomogorov, diharapkan pemilihan jenis distribusi yang diambil dapat diperkuat dengan dilakukan uji kecocokan dengan tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu (Akbar & Mangangka, 2016). Rumus pengujian dengan metode Chi-Square dapat dilihat pada Persamaan 1, dan parameter perhitungan pengujian Smirnovv-Kolmogorov dapat dilihat pada Pers.(2) hingga (6).

$$X^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Of - Ef)^2}{Ef} \quad (1)$$

dengan: X^2 adalah nilai Chi-Kuadrat terhitung, Ef adalah frekuensi (banyak pengamatan) yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya, Of adalah frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama, n adalah jumlah sub kelompok dalam satu grup.

$$P(x) = \frac{m}{n+1} \quad (2)$$

$$P(x <) = 1 - P(x) \quad (3)$$

$$P'(x) = \frac{m}{n-1} \quad (4)$$

$$P'(x <) = 1 - P'(x) \quad (5)$$

$$\Delta = P(x <) - P'(x <) \quad (6)$$

Dengan :m adalah nomor urut data (besar ke kecil), $P(x)$ adalah peluang berdasar nomor urut data, $P'(x)$ adalah peluang teoritik

Perhitungan curah hujan rencana dilakukan sesuai dengan jenis distribusi yang memenuhi syarat. Pengalih-ragaman data curah hujan menjadi debit banjir rencana diperlukan untuk perencanaan dan evaluasi bangunan air. Distribusi curah hujan yang tersedia terdiri dari beberapa jenis tergantung jangka waktu yang ditinjau, seperti curah hujan tahunan, bulanan, harian, hingga jam-jaman (Akbar & Mangangka, 2016). Jenis data yang diperlukan adalah curah hujan harian maksimum tahunan yang dinyatakan dalam milimeter (mm). Untuk menghitung debit banjir rencana, curah hujan rencana harian yang sebelumnya telah dilakukan analisis frekuensi diubah menjadi hujan efektif.

$$Re = Rt \times C \quad (7)$$

dengan: Re adalah curah hujan efektif (mm), Rt adalah curah hujan rencana yang jatuh pada aliran sungai sesuai kala ulang yang ditentukan (mm), C adalah koefisien aliran/limpasan

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (8)$$

dengan: I adalah intensitas curah hujan (mm/jam), R₂₄ adalah curah hujan harian maksimum selama 24 jam (mm), t adalah durasi lamanya hujan (jam)

Tahap akhir dari analisis hidrologi adalah perhitungan debit banjir rencana, yakni debit maksimum di sebuah sungai dalam periode ulang yang telah ditentukan. Parameter yang diperlukan dalam perhitungan debit banjir rencana adalah data curah hujan harian maksimum tahunan (Syahputra, 2015). Periode ulang ditentukan tergantung kebutuhan, termasuk gap atau jarak kala ulang yang dihitung. Semakin banyak kala ulang yang ditambahkan dalam perhitungan, akan menghasilkan pertimbangan keadaan khusus di tiap lokasi (Akbar & Mangangka, 2016).

Terdapat beberapa cara dalam analisis hidrologi untuk menetapkan debit banjir rencana, yakni cara empirik, statistik, dan analisis dengan metode hidrologi. Metode empirik dilakukan saat tidak tersedia data debit yang cukup yaitu data hujan harian yang panjang. Perhitungan banjir rencana dapat dianalisis dengan pendekatan rasional : metode rasional, metode Der Weduwen, metode Melchior atau metode Haspers.

Selain metode di atas, pada keadaan tidak tersedianya data hidrologi yang digunakan untuk menurunkan hidrograf satuan, dibuatlah hidrograf satuan sintesis (Triatmodjo, 2008). Pembuatan hidrograf satuan sintesis (HSS) dilakukan atas dasar parameter berupa karakteristik fisik dari DAS, seperti luas dan panjang sungai yang dijadikan lokasi penelitian.

HSS Nakayasu awalnya dikembangkan pada sungai di Jepang. Parameter yang digunakan dalam metode Nakayasu terdiri dari luas dan panjang sungai, yang dapat dihitung dengan rumus di bawah.

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \times A \times \frac{R_o}{0,3 \times T_p + T_{0,3}} \quad (9)$$

$$T_p = T_g + 0,8 \times T_r \quad (10)$$

$$T_g = 0,21L^{0,7}, L < 15 \quad (11)$$

$$T_g = 0,4 + 0,058L, L > 15 \quad (12)$$

$$T_{0,3} = \alpha \times T_g \quad (13)$$

$$T_r = 0,5 \sim 1.T_g \quad (14)$$

dengan: Q_p adalah debit puncak banjir (m³/det), A adalah luas DAS (km²), L adalah panjang sungai (km), R_o adalah curah hujan efektif, bernilai 1 mm, T_p adalah waktu dari permulaan banjir hingga puncak hidrograf (jam), T_g adalah waktu konsentrasi (jam), pers.12 digunakan saat panjang sungai < 15 km; pers.13 digunakan saat panjang sungai > 15 km, $T_{0,3}$ adalah waktu dari puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak (jam), T_r adalah waktu dari curah hujan (jam), α adalah nilai koefisien karakteristik DAS, range asumsi 1,5~3 tergantung keadaan aliran dan panjang sungai. Bernilai 3 untuk hidrograf yang naik dengan cepat, bernilai 2 untuk DAS biasa, dan bernilai 1,5 untuk hidrograf naik yang lambat.

Bentuk hidrograf satuan pada metode Nakayasu dibagi menjadi 2 bagian (lihat Gambar 1), yakni naik dan turun yang dihitung berdasarkan persamaan berikut.

1. Kurva naik ($0 \leq t < T_p$), dengan debit Q_n .

$$Q_n = Q_p \left(\frac{1}{T_p} \right) \quad (15)$$

2. Kurva turun, terdapat 3 ordinat yang membuat kurva hidrograf menjadi turun. Debit pada ordinat tersebut disimbolkan menjadi;

- a. $Q_{t1} (T_p \leq t < (T_p + T_{0,3}))$,

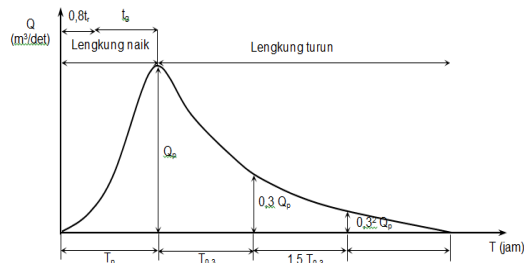
$$Q_{t1} = Q_p \times 0,3^{\left[\frac{(t-T_p)}{T_{0,3}} \right]} \quad (16)$$

- b. $Q_{t2} (T_p + 0,3 \leq t < (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}))$

$$Q_{t2} = Q_p \times 0,3^{\left[\frac{(t-T_p+0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}} \right]} \quad (17)$$

- c. $Q_{t3} (t \geq T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$.

$$Q_{t3} = Q_p \times 0,3^{\left[\frac{(t-T_p+1,5T_{0,3})}{2T_{0,3}} \right]} \quad (18)$$



Gambar 1. Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu

Sumber: Triatmodjo (2008)

Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika dilakukan untuk menghitung profil muka air banjir menggunakan data yang diperoleh dari analisis hidrologi. Pada analisis hidrolika, aspek yang dianalisis adalah pengaruh debit banjir dan luapannya terhadap profil muka air di sungai. Untuk menganalisis laju aliran, tinggi muka air, hingga kapasitas pengaliran dalam analisis hidrolika, karakteristik geometri sungai yang diteliti sangat diperlukan guna memperoleh hasil yang sesuai dengan keadaan di lapangan. Geometri sungai yang terdiri dari potongan horizontal (cross section) dan vertikal (long section) (Syahputra, 2015). Terdapat beberapa metode perhitungan yang dapat dilakukan guna memperoleh profil muka air, seperti metode integrasi grafis, numerik, langsung, maupun tidak langsung. Penelitian ini melakukan analisis hidrolika menggunakan aplikasi HEC-RAS dengan metode standard step. Profil muka air dihitung antar penampang dengan menerapkan persamaan energi;

$$Y_2 + Z_2 \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + hf + he \quad (19)$$

dengan: Y_1, Y_2 adalah kedalaman air pada penampang 1 dan 2 (m), Z_1, Z_2 adalah elevasi dasar saluran pada penampang 1 dan 2 (m), V_1, V_2 adalah kecepatan rata-rata aliran pada penampang 1 dan 2 (m/dt), α_1, α_2 adalah koefisien aliran pada penampang 1 dan 2, g adalah percepatan gravitasi (m/dt²), hf adalah kehilangan tekanan oleh gesekan (m), he adalah kehilangan tekanan oleh pusaran (m)

Parameter lainnya yang dijadikan pendekatan dalam simulasi perhitungan pada analisis hidrolika adalah koefisien Manning (Akbar & Mangangka, 2016). Koefisien Manning merupakan nilai kekasaran saluran aliran. Kecepatan aliran dipengaruhi oleh kekasaran, kemiringan, serta ukuran saluran, sehingga koefisien kekasaran juga ambil andil dalam tinggi dan rendahnya kecepatan sebuah aliran. Dengan asumsi aliran sungai sebagai aliran tetap, rumus Manning yang merupakan persamaan kecepatan, dapat dituliskan:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

Dengan: V adalah kecepatan aliran (m/det), n adalah koefisien Manning (Chow, 1959), R adalah jari-jari hidrolis (m), I adalah kemiringan, diperoleh dari Pers. (21) yang merupakan hasil dari trendline plot jarak terhadap elevasi sungai (x =jarak, y =elevasi)

$$y = Ax + B \quad (21)$$

Aplikasi HEC-RAS

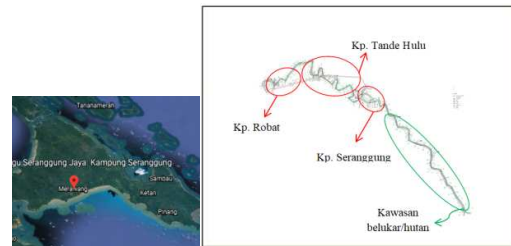
Analisa hidrolika yang dilakukan adalah menganalisa profil muka air banjir dalam berbagai kala ulang dari debit rencana yang diperoleh dari analisis hidrologi. Menurut HEC (2016), HEC-RAS (Hydrologic Engineering Centre-River Analysis System) adalah aplikasi yang telah terprogram untuk mengintegrasikan analisis hidrolika dengan basis GUI yang berarti pengguna dapat berinteraksi dengan program itu sendiri. Secara sederhana HEC-RAS merupakan program yang dapat memodelkan aliran di sungai.

HEC-RAS menghasilkan hitungan tinggi dan profil permukaan air yang permanen dan tidak permanen, hingga pergerakan dan transpor sedimen di bawah aliran dengan batas tertentu. Data yang dapat diolah dan tersedia dalam program ini adalah; geometric data, plan data, steady flow data, unsteady flow data, hydraulic design data, dan sediment data.

3. METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di sungai Tande, segmen Kampung Robat sampai Kampung Seranggung sepanjang 4,5 km. Daerah kajian sub-DAS Tande dari hulu ke hilir dengan luas sub-DAS sebesar 765 ha. Situasi lokasi penelitian sungai Tande dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Lokasi Penelitian Sungai Tande

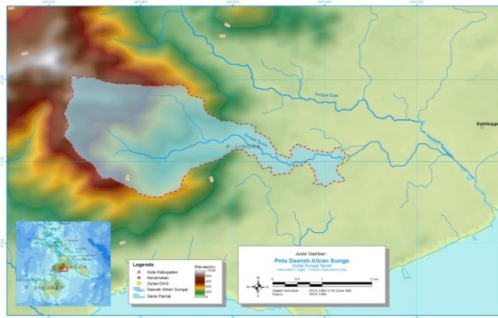
Sumber: BWSS IV (2021)

Data Penelitian

Data yang digunakan pada penelitian ini hanya bersumber dari data sekunder yaitu data yang didapat dari pihak atau instansi terkait seperti BMKG dan Balai Wilayah Sungai Sumatera (BWSS) IV. Data-data sekunder yang digunakan terdiri dari:

1. Data geometri sungai yang terdiri dari cross-section, long-section, dan situasi di sekitar sungai Tande diperoleh dari BWSS IV.

2. Data luas dan peta sub-DAS Tande diperoleh dari BWSS IV Kepulauan Riau. Hasil digitasi sub-DAS Tande yang disimulasi seluas 765 hektar dapat dilihat pada Gambar 3.



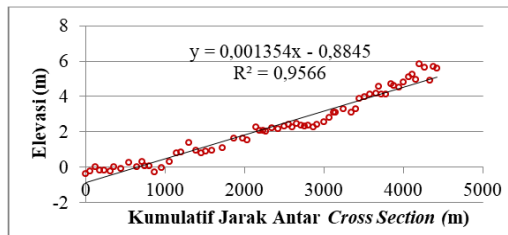
Gambar 3. Hasil digitasi peta sub-DAS Tande

Sumber: BWSS IV (2021)

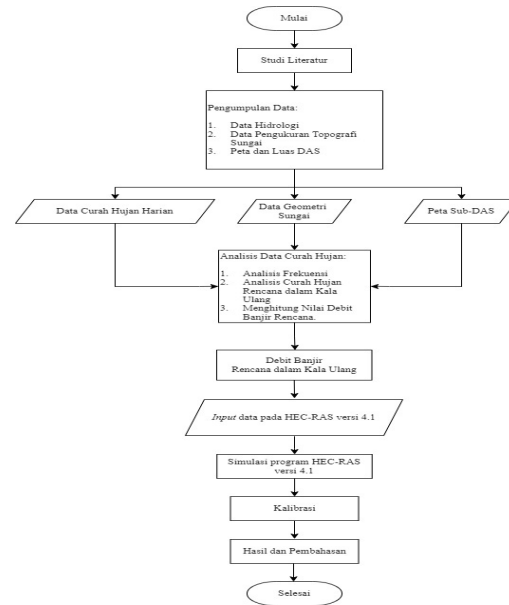
3. Data hidrologi atau curah hujan diperoleh dari Stasiun Meteorologi Dabo, yang melingkupi Kab. Lingga dari tahun 2010-2020.

Prosedur Penelitian

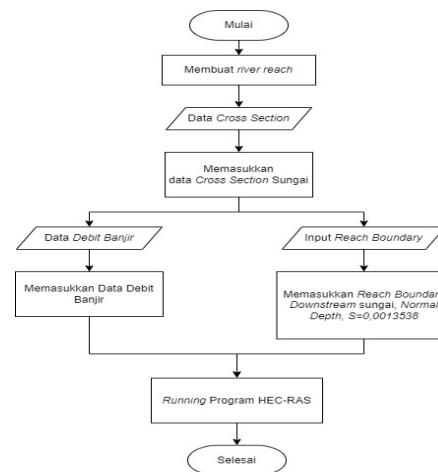
Alur penelitian secara lengkap dapat dilihat pada Gambar 5 dan diagram alir simulasi yang dilakukan menggunakan aplikasi HEC-RAS dapat dilihat pada Gambar 6. Setelah debit banjir diperoleh melalui analisis hidrologi, dilakukan simulasi dengan menggunakan HEC-RAS sebagai analisis hidrolika yang dilakukan dengan simulasi muka air sehingga diperoleh kapasitas Sungai Tande. Simulasi dimulai dengan memasukkan data cross section atau bagian melintang sungai. Dilanjutkan dengan input data debit banjir dan reach boundary. Pada reach boundary digunakan kedalaman normal dengan input berupa slope sebesar 0,001354 (lihat Gambar 4). Nilai kemiringan dasar saluran diperoleh dari trend linier plot jarak terhadap elevasi sungai dengan Pers.(21).



Gambar 4. Nilai kemiringan dasar saluran



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian



Gambar 6. Diagram Alir Simulasi Aplikasi HEC-RAS (HEC, 2016)

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Frekuensi Curah Hujan

Berdasarkan perhitungan pada 4 jenis distribusi yang telah dilakukan, diperoleh hasil seperti terlampir pada Tabel 2. Berdasarkan syarat distribusi sebaran curah hujan dan hasil perhitungan dispersi distribusi Normal, Gumbel, dan Log Normal tidak ada yang memenuhi syarat. Untuk itu digunakan jenis distribusi Log Pearson III.

Tabel 2. Rekap dan Syarat Perhitungan Dispersi

No	Jenis	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Normal	Cs ~ 0	-0,19	Mendekati

2	Log	Ck ~ 3	2,36	Tidak Memenuhi
		$Cs = Cv^3 + 3Cv$		
	Normal	0,63	-0,40	Tidak Memenuhi
		$Ck = \frac{Cv^8 + 6Cv + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3}{3,04}$		
3	Gumbel	Cs ~ 1,14	-0,19	Tidak Memenuhi
		Ck ~ 5,4	2,36	Tidak Memenuhi
4	Log Pearson III	Selain dari nilai di atas		

Pengujian Kecocokan Jenis Sebaran

Dengan dipilihnya jenis distribusi Log Pearson III, selanjutnya dilakukan pengujian kecocokan jenis sebaran. Terdapat 2 metode yang akan digunakan, yakni metode Chi-square dan Smirnov-Kolmogorov. Pada Tabel 4 ditampilkan hasil perhitungan pengujian Chi-Square berdasarkan Pers.(1).

Tabel 3. Perhitungan Pengujian Chi-Square Distribusi Log Pearson III

No	P(x≥xm)	Jumlah Data Ef	Of	Ef-Of	(Ef-Of) ² /Ef
1	57,64 < X ≤ 74,96	2,2	1	1,2	0,655
2	74,96 < X ≤ 92,28	2,2	3	-0,8	0,291
3	92,28 < X ≤ 109,60	2,2	3	-0,8	0,291
4	109,60 < X ≤ 126,92	2,2	3	-0,8	0,291
5	126,92 < X ≤ 144,24	2,2	1	0,2	0,655
Jumlah		11	11		2,183

Pengujian Smirnov-Kolmogorov butuh parameter data seperti curah hujan (X), curah hujan rata-rata (Xrt), dan standar deviasi (S) yang didapat sebesar 102,217 mm dan 21,424. Parameter hitungan pengujian kecocokan Smirnov-Kolmogorov dihitung dengan menggunakan Pers.(2) hingga Pers.(6). Pada Tabel 4 dijabarkan hasil perhitungan pengujian Smirnov-Kolmogorov, dari perhitungan didapat nilai Δmax sebesar 0,183, dan nilai Δkritis (derajat kepercayaan, α=0,05) sebesar 0,391. Diperoleh hasil Δmax < Δcr, yang menunjukkan distribusi Log Pearson III dapat diterima.

Tabel 4. Perhitungan Pengujian Smirnov-Kolmogorov Distribusi Log Pearson III

Tahun	Curah Hujan (X)	m	Px	P(x<)	k	P'(x)	P'(x<)	Δ
2010	135,586	1	0,083	0,917	1,558	0,1	0,9	0,017
2011	124,657	2	0,167	0,833	1,047	0,2	0,8	0,033
2012	118,238	3	0,250	0,750	0,748	0,3	0,7	0,050
2013	112,977	4	0,333	0,667	0,502	0,4	0,6	0,067
2014	107,336	5	0,417	0,583	0,239	0,5	0,5	0,083
2015	102,560	6	0,500	0,500	0,016	0,6	0,4	0,100
2016	97,475	7	0,583	0,417	-0,221	0,7	0,3	0,117
2017	92,055	8	0,667	0,333	-0,474	0,8	0,2	0,133
2018	87,491	9	0,750	0,250	-0,687	0,9	0,1	0,150
2019	79,708	10	0,833	0,167	-1,057	1,0	0	0,167
2020	66,303	11	0,917	0,083	-1,677	1,1	-0,1	0,183
Jumlah	1124,3903							0,183
Rata-rata	102,2173							
S	21,424							

Setelah jenis distribusi yang diuji diterima, barulah kemudian dicari nilai curah hujan rencana dalam periode ulang menggunakan Log Pearson III. Diketahui sebelumnya nilai Cs sebesar -0,397982, dari tabel dilakukan interpolasi maka diperoleh nilai Kt seperti yang terlampir pada Tabel 5.

Tabel 5. Curah Hujan Rencana

Tr	1/Tr (%)	Cs	Kt	Slog	Log X	Log XTr	Hujan (mm)
1,01	99%	-0,40	-2,614	0,094	2,001	1,759	57,46
1,25	80%	-0,40	-0,816	0,094	2,001	1,928	84,75
2	50%	-0,40	0,0657	0,094	2,001	2,011	102,56
5	20%	-0,40	0,855	0,094	2,001	2,085	121,65
10	10%	-0,40	1,231	0,094	2,001	2,120	131,97
25	4%	-0,40	1,607	0,094	2,001	2,156	143,13
50	2%	-0,40	1,835	0,094	2,001	2,177	150,38
100	1%	-0,40	2,031	0,094	2,001	2,196	156,87

Tabel 6. Perhitungan Curah Hujan Efektif

Parameter	Periode Ulang (tahun)							
	1,01	1,25	2	5	10	25	50	100
Rt (mm)	57,5	84,8	102,6	121,6	131,9	143,1	150,4	156,9
C	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
Re (mm)	14,4	21,2	25,6	30,4	32,9	35,8	37,6	39,2

Selanjutnya dilakukan hitungan untuk mengetahui curah hujan efektif. Nilai curah hujan efektif diperoleh dengan menggunakan Pers.(8), dengan pertimbangan nilai C (koef. Limpasan) berupa kondisi daerah aliran sub- DAS yang merupakan daerah lahan hutan bergelombang, diperoleh harga C sebesar 0,25. Diperoleh nilai hujan efektif pada kala ulang seperti yang terlampir pada Tabel 6.

Nilai intensitas hujan jam-jaman didapatkan dengan metode Mononobe dengan Pers.(9). Dengan distribusi lama hujan selama 3 jam, dilakukan perhitungan dengan rekapitulasi hasil perhitungan distribusi curah hujan jam-jaman dalam kala ulang dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Distribusi Curah Hujan Jam-jaman

Jam Ke-	Rasio (%)	Kumulatif (%)	Hujan Jam-jaman (mm)							
			1,01 th	1,25 th	2 th	5 th	10 th	25 th	50 th	100 th
1	69,34	69,34	9,96	14,69	17,78	21,09	22,87	24,81	26,07	27,19
2	18,02	87,36	2,59	3,82	4,62	5,48	5,95	6,45	6,78	7,07
3	12,64	100,0	1,82	2,68	3,24	3,84	4,17	4,52	4,75	4,96
		Rt	57,46	84,75	102,56	121,65	131,9	143,1	150,4	156,9
		C	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
		Re	14,36	21,19	25,64	30,41	32,99	35,78	37,59	39,22

Penentuan Debit Banjir Rencana

Hasil perhitungan yang dilakukan dengan metode HSS Nakayasu adalah sebagai berikut.

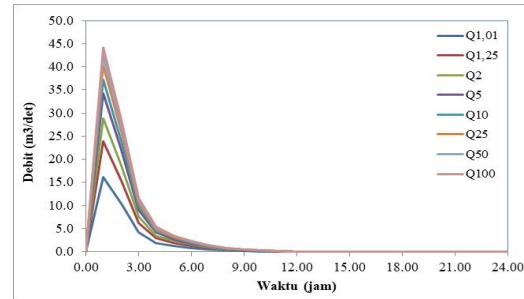
- Waktu konsentrasi (T_g), digunakan Pers.(12) dengan panjang sungai < 15 km, dan diperoleh nilai $T_g = 0,61$ jam.
- Waktu dari curah hujan (T_r), dalam perhitungan ini dihitung dengan Pers.(15), dan diperoleh nilai $T_r = 0,30$ jam.
- Waktu puncak (T_p), dihitung dengan Pers.(11) dan diperoleh nilai $T_p = 0,84$ jam.
- Waktu resesi ($T_{0,3}$), dihitung dengan Pers.(14) dan diperoleh nilai $T_{0,3} = 1,20$ jam.
- Debit puncak (Q_p), dengan Pers.(10) dan diperoleh nilai $Q_p = 1,46$ m³/detik.

Rekapitulasi hidrograf debit banjir rencana selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Debit Banjir Rencana Kala Ulang

Waktu (jam)	Q (m ³ /det)							
	1,0101 th	1,25 th	2 th	5 th	10 th	25 th	50 th	100 th
0,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1,00	16,191	23,884	28,902	34,281	37,188	40,333	42,376	44,204
2,00	10,442	15,403	18,639	22,108	23,983	26,011	27,328	28,508
3,00	4,273	6,304	7,628	9,048	9,815	10,645	11,184	11,667
4,00	1,975	2,913	3,526	4,182	4,536	4,920	5,169	5,392
5,00	1,291	1,904	2,304	2,732	2,964	3,215	3,378	3,523
6,00	0,859	1,268	1,534	1,820	1,974	2,141	2,249	2,346
7,00	0,521	0,769	0,930	1,104	1,197	1,298	1,364	1,423
8,00	0,316	0,466	0,564	0,669	0,726	0,787	0,827	0,863
9,00	0,192	0,283	0,342	0,406	0,440	0,478	0,502	0,523
10,00	0,116	0,171	0,208	0,246	0,267	0,290	0,304	0,317
11,00	0,070	0,104	0,126	0,149	0,162	0,176	0,185	0,192
12,00	0,043	0,063	0,076	0,091	0,098	0,107	0,112	0,117
13,00	0,026	0,038	0,046	0,055	0,060	0,065	0,068	0,071
14,00	0,016	0,023	0,028	0,033	0,036	0,039	0,041	0,043
15,00	0,010	0,014	0,017	0,020	0,022	0,024	0,025	0,026
16,00	0,006	0,009	0,010	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016
17,00	0,004	0,005	0,006	0,007	0,008	0,009	0,009	0,010
18,00	0,002	0,003	0,004	0,005	0,005	0,005	0,006	0,006
19,00	0,001	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,004
20,00	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
21,00	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
22,00	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
23,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
24,00	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Hidrograf debit banjir rencana kala ulang dengan metode HSS Nakayasu, dapat digambarkan dalam grafik hidrograf seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Hidrograf banjir rencana kala ulang sungaiTande

Hasil akhir analisis debit banjir diperoleh menggunakan data debit tertinggi dan ditampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Debit Banjir Rencana Kala Ulang

No	Q Rencana (tahun)	Debit (m ³ /det)
1	Q1,0101	16,191
2	Q1,25	23,884
3	Q2	28,902
4	Q5	34,281
5	Q10	37,188
6	Q25	40,333
7	Q50	42,376
8	Q100	44,204

Kalibrasi Model

Kalibrasi dilakukan dengan nilai debit banjir pada debit banjir tahunan kala ulang 1,0101 tahun, dan input reach boundarydownstream sungai berupa nilai kedalaman normal (normal depth) dengan nilai slope sebesar 0,0013538. Dengan nilai manning 0,015 diperoleh persentase rata-rata kesalahan sebesar 14%, dan nilai manning 0,035 diperoleh persentase rata-rata kesalahan sebesar 7%. Diperoleh nilai kesalahan terkecil pada nilai manning 0,025 yakni sebesar 5%. Hasil perhitungan dan perbandingan selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 10.

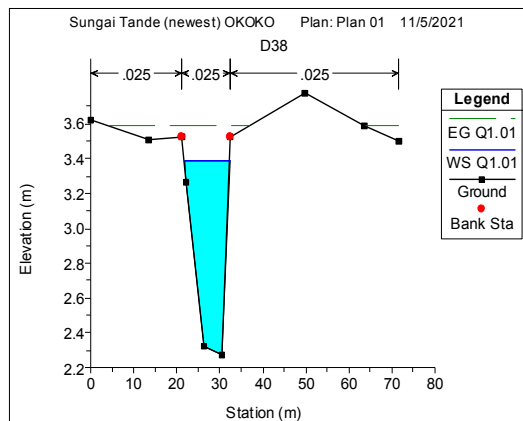
Diketahui dari data elevasi muka air pada CS (cross section) C4 setinggi 1,60 m, CS C3 setinggi 1,50 m, CS D36 setinggi 1,5 m, CS D38 setinggi 1,20 m, CS D61 setinggi 1,20 m, dan CS D62 setinggi 1,30 m. Dari hasil kalibrasi HEC-RAS versi 4.1.0 terhadap nilai nManning sebesar 0,025, memberikan hasil seperti ditunjukkan pada Tabel 10. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwasoftware HECRAS memiliki kehandalan yang tinggi dalam mensimulasi profil muka air di sungai Tande dengan persentase kesalahan rata-rata sebesar 5%.

Tabel 10. Perbandingan Hasil Running HEC-RAS Terhadap Beberapa Nilai Koefisien Manning

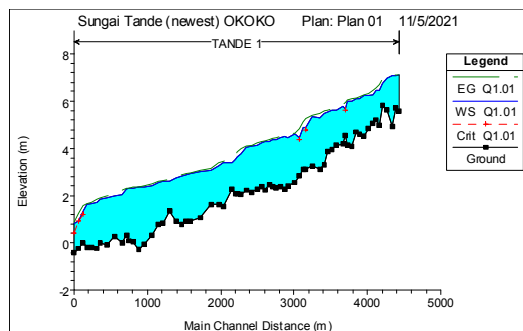
CS	Nilai n Manning	Kedalaman (m)		Persentase Kesalahan	Rata-rata
		Di Lapangan	Running HECRAS	%	%
C4	0,025	1,60	1,51	6%	5%
C3		1,50	1,39	7%	
D36		1,50	1,45	3%	
C38		1,20	1,10	8%	
D61		1,20	1,18	2%	
D62	0,015	1,30	1,22	6%	14%
C4		1,60	1,49	7%	
C3		1,50	1,36	10%	
D36		1,50	1,30	15%	
C38		1,20	1,07	12%	
D61	0,035	1,20	1,15	4%	7%
D62		1,30	0,95	7%	
C4		1,60	1,53	5%	
C3		1,50	1,41	6%	
D36		1,50	1,58	5%	
C38		1,20	1,12	7%	
D61		1,20	1,35	11%	
D62		1,30	1,43	9%	
				Nilai terkecil	5%

Simulasi Aplikasi HEC-RAS

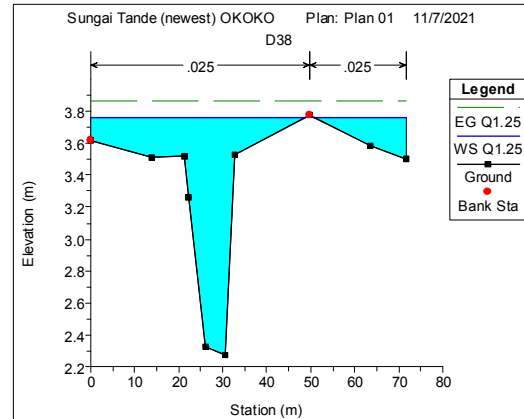
Hasil running cross section D38 pada kala ulang 1,01 tahun dapat dilihat pada Gambar 8, dan long section pada kala ulang 1,01 tahun dapat dilihat pada Gambar 9. Dari hasil running program HEC-RAS, mulai terjadi luapan di cross section D38 pada debit kala ulang 1,25 tahun yang dapat dilihat pada Gambar 10, serta potongan memanjang yang dapat dilihat pada Gambar 11.



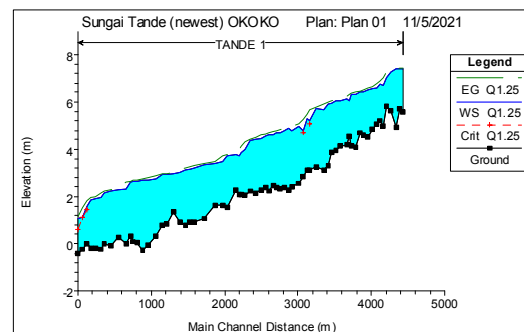
Gambar 8. Hasil Output Cross Section D38 HEC-RAS dengan Q Rencana 1,01 Tahun



Gambar 9. Hasil Output Long Section HEC-RAS dengan Q Rencana 1,01 Tahun



Gambar 10. Hasil Output Cross Section C4 HEC-RAS dengan Q Rencana 1,25 Tahun



Gambar 11. Hasil Output Long Section HEC-RAS dengan Q Rencana 1,25 Tahun

5. KESIMPULAN

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Dari analisis hidrologi yang dilakukan dengan metode Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu, diperoleh hasil nilai debit banjir rencana pada kala ulang 1,0101 tahun sebesar 16,191 m³/det, 1,25 tahun sebesar 23,884 m³/det, 2 tahun sebesar 28,902 m³/det, 5 tahun sebesar 34,281 m³/det, 10 tahun sebesar 37,188 m³/det, 25 tahun sebesar 40,333 m³/det, 50 tahun sebesar 42,376 m³/det, dan 100 tahun sebesar 44,204 m³/det.
2. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa software HECRAS memiliki kehandalan yang tinggi dalam mensimulasi profil muka air di sungai Tande dengan persentase kesalahan rata-rata sebesar 5%
3. Dari analisis hidrolika yang dilakukan dengan simulasi menggunakan software HEC-RAS versi 4.1.0 dengan nilai debit pada kala ulang 1,0101 tahun,

menunjukkan bahwa di sungai Tande tidak terjadi banjir (tinggi muka air tidak melebihi kapasitas penampang sungai).

4. Luapan banjir tidak terjadi pada kala ulang 1,0101 tahun dan mulai terjadi pada debit kala ulang 1,25 tahun pada cross section D38 pada ruas kanan sungai setinggi 14 cm. Pada debit kala ulang 2 tahun, terjadi luapan pada cross section D38 setinggi 17 cm. Pada debit kala ulang 5 tahun, terjadi luapan pada sebanyak 17 cross section dengan tinggi banjir berkisar 8-35 cm. Pada debit kala ulang 10 tahun, terjadi luapan pada sebanyak 20 cross section dengan tinggi banjir berkisar 12-40 cm. Pada debit kala ulang 25 tahun, terjadi luapan pada sebanyak 24 cross section dengan tinggi banjir berkisar 14-46 cm. Pada debit kala ulang 50 tahun, terjadi luapan pada sebanyak 30 cross section dengan tinggi banjir berkisar 14-55 cm. Pada debit kala ulang 100 tahun, terjadi luapan pada sebanyak 32 cross section dengan tinggi banjir berkisar 18-59 cm.

Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan kepada peneliti lain atau instansi terkait.

1. Hasil simulasi kejadian banjir di sungai Tande dengan HEC-RAS yang didapat, perlu ditindaklanjuti dengan justifikasi dan verifikasi titik terjadinya banjir (ground check) di lapangan agar dapat dilakukan langkah penanganan.
2. Lokasi titik kejadian banjir di sungai Tande dari hasil simulasi, perlu diklasifikasi untuk menentukan penyebab terjadinya banjir sehingga dapat dilakukan tindakan yang tepat untuk penanganannya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, M., & Mangangka, I. R. (2016). Analisa Profil Muka Air Banjir Sungai Molompar Kabupaten Minahasa Tenggara. *Jurnal Sipil Statik*, 4(1). <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jss/article/view/11469>
- Chow, V. Te. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. Mc-GrawHill. USA.
- HEC. (2016). *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual*. US Army Corps of Engineers. Davis. California.
- Miatullah, R.W. (2021). *Analisis Profil Muka Air Sungai Daik Menggunakan HEC-RAS*. Skripsi Prodi Teknik Sipil. Universitas Riau. Pekanbaru.
- Purnama, A. E., Hariadi, & Saputro, S. (2015). *Pengaruh Arus, Pasang Surut dan Debit*

Sungai Terhadap Distribusi Sedimen Tersuspensi di Perairan Muara Sungai Ciberes, Cirebon. 4, 74–84.

- Rencana Pengelolaan Sumber Daya Air Wilayah Sungai Kepulauan Riau. (2018). *Pengelolaan sumber daya air wilayah sungai kepulauan riau 2018*.
- RPJMD Kabupaten Lingga. (2016). *RPJMD KABUPATEN LINGGA*.
- Suadnya, D. P., Sumarauw, J. S. F., & Mananoma, T. (2017). Analisis Debit Banjir dan Tinggi Muka Air Banjir Sungai Sario di Titik Kawasan Citraland. 5(3), 143–150.
- Syahputra, I. (2015). Kajian Hidrologi Dan Analisa Kapasitas Tampang Sungai Krueng Langsa Berbasis HEC-HMS dan HEC-RAS. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 1(1), 15–28. <https://doi.org/10.30601/jtsu.v1i1.2>
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi terapan*. Beta Offset, Yogyakarta, 59, 50.