

EVALUASI DAMPAK BANJIR AKIBAT PERUBAHAN ALUR SUNGAI CITANDUY HULU DI DESA TANJUNGKERTA, TASIKMALAYA-JAWA BARAT

EVALUATION OF FLOOD IMPACT DUE TO CHANGE ON THE UPSTREAM OF CITANDUY RIVER IN TANJUNGKERTA VILLAGE, TASIKMALAYA-WEST JAVA

Ari Azhar Maulana¹⁾, Harnita Rosalina²⁾*

^{1,2)}Balai Besar Wilayah Sungai Citanduy, Kementerian PUPR
Jl. Ir. H. Sutami No. 1 Kota Banjar, Indonesia

*Correspondence email: ti3.ari170197@gmail.com

Diterima: 05 Oktober 2021; Direvisi: 26 Oktober 2021; Disetujui: 11 Mei 2022

ABSTRACT

Since 1996 there have been frequent floods in the upstream area of the Citanduy River, especially during the rainy season. The flood also inundated part area of the Suryalaya Islamic Boarding School located in Tanjungkerta Village, Pagerageung District, Kabupaten Tasikmalaya. In this case, the community took the initiative with self-subsident activities to reduce the impact of flood by diverting the Citanduy River channel without any communication with river authority. This analysis purposed to evaluate the cross-section capacity due to narrowing the upper Citanduy River. Hydrological analysis was initiated to determine the characteristics of catchment area in study area. 1D and 2D hydraulic analysis using HEC-RAS application with unsteady flow analysis to determine water level, flood distribution, and river flow velocity. Using the annual Q25 plan discharge taking into existing capacity and geometric characteristics. Validation of modeling results by observing directly the water level at locations that affected by flooding condition due to high rainfall intensity. Conclusions are based on the results of hydraulic hydrological analysis applied to the research object. Shortening of river channel due to siltation causes a decrease in the area of the river channel in bank conditions. Actually condition of the Citanduy River after draining discharge over a 2-year return period, there was a flood in the river cross-section of Sta. 400 – 1035 rivers overflow with variations in depth of $\pm 40 - 80$ cm when model with a discharge period of 25-years. The recommendation for further research is to assess the river capacity to analyze erosion and sedimentation that occurs in the watershed. Conducting a more comprehensive study, involving the three core components, that is Hydraulics, Ecology, and Morphology, so that proposed alternative solutions have a good impact on all aspects, not only solving one problem but causing other problems.

Keywords : Flood modeling, river shortcut, Upper Citanduy River

ABSTRAK

Sejak tahun 1996 sering terjadi banjir terutama saat musim hujan di wilayah hulu Sungai Citanduy. Banjir tersebut juga menggenangi sebagian kawasan Pondok Pesantren Suryalaya berlokasi di Desa Tanjungkerta, Kecamatan Pagerageung, Kabupaten Tasikmalaya. Dalam hal ini masyarakat berinisiatif melaksanakan kegiatan swadaya untuk mengurangi dampak banjir tersebut dengan melakukan pengalihan alur Sungai Citanduy namun dilaksanakan tanpa sepengetahuan pihak pengelola sungai. Adapun analisis ini bertujuan mengevaluasi kapasitas penampang akibat penyudetan Sungai Citanduy Hulu. Analisis hidrologi dimulai untuk menentukan karakteristik daerah tangkapan air di lokasi pengukuran. Dilanjutkan analisis hidraulika 1D dan 2D dengan menggunakan unsteady flow analysis aplikasi HEC-RAS untuk mengetahui tinggi muka air, sebaran banjir dan kecepatan aliran sungai. Digunakan debit rencana Q25 tahunan mempertimbangkan kapasitas & karakteristik geometri eksisting. Validasi hasil pemodelan dengan meninjau langsung tinggi muka air pada lokasi terdampak banjir karena intensitas hujan tinggi. Ditarik kesimpulan berdasarkan hasil analisis hidrologi hidraulika yang diterapkan pada objek studi, bahwa pemendekan alur sungai akibat penyodetan, menyebabkan pengurangan luas alur sungai kondisi bankfull. Kondisi Sungai Citanduy setelah penyodetan debit diatas periode ulang 2 tahun, terjadi banjir pada penampang sungai Sta. 400 – 1035 sungai yang mengalami overflow dengan variasi kedalaman $\pm 40 - 80$ cm ketika dimodelkan dengan debit periode ulang 25 tahun. Adapun rekomendasi studi selanjutnya agar dilaksanakan peninjauan terhadap kapasitas sungai untuk menganalisis erosi dan sedimentasi yang terjadi pada Daerah Aliran Sungai. Melakukan kajian yang lebih komprehensif, melibatkan ketiga komponen inti yakni Hidraulik, Ekologi, dan Morfologi sehingga didapatkan hasil usulan alternatifif solusi pengaruh baik terhadap seluruh aspek tidak hanya menyelesaikan satu masalah namun menimbulkan masalah lainnya.

Kata kunci : Pemodelan banjir, sodetan, Sungai Citanduy

PENDAHULUAN

Sungai juga merupakan salah satu wadah tempat berkumpulnya air dari suatu kawasan. Apabila aktifitas manusia berada disekitan aliran sungai tidak diimbangi dengan kesadaran melestarikan lingkungan sungai, maka kualitas air sungai akan buruk. Tetapi jika sebaliknya aktifitas manusia diimbangi dengan kesadaran menjaga lingkungan sungai, maka kualitas air sungai akan relatif baik.

Sejak pada tahun 1996 sudah mulai sering terjadi banjir terutama pada saat musim hujan pada wilayah hulu Sungai Citanduy, Kecamatan Pagerageung. Banjir tersebut juga menggenangi Pondok Pesantren Suryalaya yang berlokasi di Desa Tanjungkerta, Kecamatan Pagerageung, Kabupaten Tasikmalaya – Jawa Barat.

Adapun inisiatif untuk mengurangi dampak banjir tersebut, dilakukan kegiatan-kegiatan swadaya oleh masyarakat sekitar dengan pemrakarsanya seorang tokoh agama sesepuh Pondok Pesantren Suryalaya dengan melakukan pengalihan alur Sungai Citanduy semula berbelok dibuat menjadi lurus tersebut memanfaatkan tanah pribadi milik Abah Anom selaku pemilik Pondok Pesantren Suryalaya. Namun, kegiatan tersebut dilaksanakan tanpa sepengetahuan dari pihak pengelola sungai pada waktu itu yaitu Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Citanduy-Ciwulan. Adapun kondisi lingkungan alur sungai terdahulu sudah berubah dan tertutup vegetasi cukup rapat dan bisa dilihat pada Gambar 1. Sungai Citanduy yang terdampak banjir yang merupakan orde 1, dengan jarak hulu hingga titik pengamatan sungai

dengan panjang 17,15 km dan memiliki daerah tangkapan air seluas 75,796 km². Sehingga untuk menarik kesimpulan yang nantinya akan bermuara pada kebijakan akhir perlu dilakukan analisis kondisi Sungai Citanduy di Kawasan Pondok Pesantren Suryalaya setelah, Kabupaten Tasikmalaya – Jawa Barat ditinjau dari aspek hidraulis. Juga menyesuaikan dengan peraturan berlaku di wilayah lokasi studi agar mendapatkan hasil analisis komprehensif.

Mengembalikan alur Sungai Citanduy di Kawasan Pondok Pesantren Suryalaya setelah, Kabupaten Tasikmalaya sebagai solusi dari dampak berpindahnya alur Sungai Citanduy dengan menerapkan prinsip-prinsip hidraulis, ekologis dan disesuaikan dengan peraturan-peraturan yang berlaku di lokasi studi.

METODOLOGI

Gambaran Umum dan Data Pendukung

Lokasi yang dimaksud dalam pembahasan ini yaitu alur Sungai Citanduy dengan titik pengukuran pada koordinat 7° 7'32.2 6"S, 108°13'3.44"E ataupun koordinat E = 192648.54 m dan S = 9211437.58 m Zona 49 S sistem UTM.

Analisis hidrologi dengan isi mulai dari penentuan karakteristik daerah tangkapan air Sungai Citanduy pada lokasi pengukuran, analisis curah hujan harian maksimum rencana, analisis distribusi hujan, analisis hujan efektif, serta analisis debit banjir rencana menggunakan metode hidrograf satuan sintetik Nakayasu.

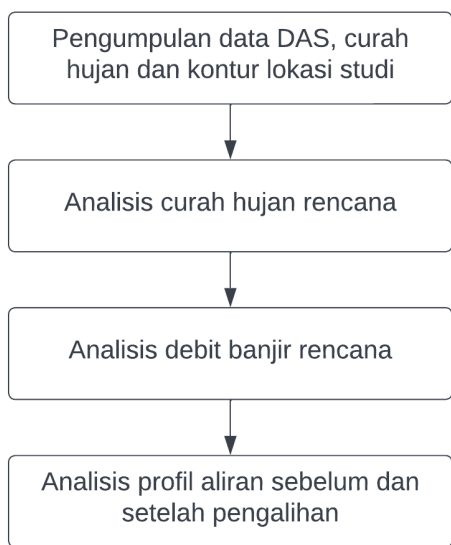


Sumber: Google Earth, 2021

Gambar 1 Ilustrasi alur Sungai Citanduy

Analisis hidraulika dengan isi pemodelan 1 dimensi dengan menggunakan fitur *unsteady flow analysis* menggunakan perangkat lunak HEC-RAS untuk mengetahui besarnya tinggi muka air dan kecepatan aliran sungai setelah berpindah. Kemudian, dilakukan pemodelan secara 2 dimensi untuk mengetahui sebaran lokasi genangan banjir mungkin terjadi. Selain itu akan dilakukan juga perhitungan terhadap luas alur sungai baru serta analisis pengaruh pengalihan alur sungai terhadap tinggi muka air di lokasi pengalihan (Hilmi, 2019).

Perancangan alur sungai meliputi desain konstruksi alur sungai baru, merupakan alternatif solusi dari dampak yang terjadi akibat pengalihan alur Sungai Citanduy. Dengan usulan solusi alternatif desain konstruksi alur sungai baru tersebut disertai dengan perhitungan teknis meliputi dimensi serta perhitungan kestabilan konstruksi bangunan. Dengan merencanakan konstruksi tanggul urugan tanah.



Gambar 2 Alur Pemodelan Banjir

Analisis Curah Hujan Rata-rata DAS

Seperti disebutkan pada pembahasan aspek hidrologi di awal, bahwa untuk mendapatkan besaran hujan di suatu DAS melalui data dari beberapa stasiun pengukuran hujan (ditempatkan secara acak), maka perlu dihitung nilai rata-rata dari besaran hujan tersebut. (Soemarto C, 1986).

Menyesuaikan dengan pendapat para ahli tersebut diatas, metode yang relevan untuk di terapkan pada pembahasan ini yaitu metode polygon thiessen.

Menurut (Soemarto C, 1986), cara poligon ini didasarkan atas cara rata-rata timbang (*weighted average*).

Untuk besaran hujan rata-ratanya, berdasarkan tentang Tata cara perhitungan debit banjir rencana, dapat dihitung dengan rumus:

$$\bar{P} = \frac{A_1P_1+A_2P_2+A_3P_3}{A_{total}} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- \bar{P} : tinggi hujan rata-rata (mm)
- $P1..Pn$: tinggi hujan pada setiap pos (mm)
- $A1..An$: luas yang dibatasi garis poligon (satuan)

Penentuan Distribusi Probabilitas dan Besaran Hujan rencana

Berkenaan dengan probabilitas dan periode ulang, lebih lanjut (Ven Te Chow et al., 1988) menjelaskan, misal suatu kejadian ekstrim didefinisikan terjadi jika sebuah variabel acak X melebihi atau sama dengan suatu nilai x_T ($X \geq x_T$).

Dimana, K_T merupakan faktor frekuensi, σ adalah deviasi standar dari variat, dan μ adalah nilai rata-rata variat. Melalui penggambaran kurva tersebut diatas, Nilai faktor frekuensi K_T dapat dihitung dengan persamaan:

$$K_T = \frac{x_T - \mu}{\sigma} \dots\dots\dots (2)$$

Dan besaran suatu kejadian ekstrim x_T dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$x_T = \bar{y} + K_T S_y \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

- x_T : besaran kejadian yang diharapkan dari periode ulang T tertentu.
- \bar{x} : rata-rata dari set variat.
- K_T : faktor frekuensi yang merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe distribusi probabilitas.
- s : deviasi standar dari set variat.

Sementara, jika variabel yang di analisis merupakan bentuk $y = \log x$, maka perhitungannya menjadi

$$y_T = \bar{y} + K_T S_y \dots\dots\dots (4)$$

Dimana:

- x_T : antilogaritma dari hasil perhitungan y_T .
- K_T : faktor frekuensi yang merupakan fungsi dari periode ulang dan tipe distribusi probabilitas.
- \bar{y} : rata-rata dari set variat $y = \log x$.
- s : deviasi standar set variat $y = \log x$.

Ada 4 metode distribusi probabilitas dalam analisis frekuensi menggunakan faktor frekuensi K_T yang dijelaskan oleh (Ven Te Chow et al., 1988) dalam analisis ini, digunakan Metode Distribusi Pearson III.

Sama halnya dengan metode lognormal, pada metode ini, variat dari variabel hidrologi yang akan dianalisis dirubah kedalam bentuk logaritma, dimana $y = \log x$, dengan x adalah variat. Perhitungan frekuensi faktor pada metode ini bergantung kepada nilai periode ulang T dan koefisien kemencengan C_s . Dimana, untuk $C_s = 0$, frekuensi faktor frekuensi K_T adalah sama dengan variabel normal standar z (Made Kamiana, 2010). Sementara, jika $C_s \neq 0$, faktor frekuensi K_T dihitung melalui persamaan berikut:

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 + zk^4 + \frac{1}{3}k^5 \dots\dots\dots (5)$$

Dengan, $k = \frac{C_s}{6}$

Setelah di plot, kemudian ditarik garis teoritis diatas gambar penyebaran data. Sebelum di plot, seri data hujan hasil pengamatan disusun dalam bentuk distribusi diurutkan dari besar ke kecil atau sebaliknya. Kemudian setelah disusun, probabilitasnya dapat dihitung dengan persamaan Weibull berikut:

$$P = \frac{m}{n+1} 100\% \dots\dots\dots (6)$$

Sementara, untuk periode ulang, perhitungan yang dikemukakan oleh Weibull adalah:

$$T = \frac{n+1}{m} 100\% \dots\dots\dots (7)$$

Dimana:

- P : Probabilitas (%)
- T : periode ulang yang diharapkan
- m : nomor urut data dari seri data yang telah disusun (distribusi)
- n : banyaknya data

Distribusi Probabilitas Data Hujan

Selain itu, (Triatmodjo B., 2008) juga menyebutkan, ada dua cara yang dapat dilakukan untuk menguji apakah distribusi dipilih sesuai dengan data yang ada, yaitu uji Chi-Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov.

Uji Chi-Kuadrat

Uji Chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Pengambilan keputusan uji ini menggunakan parameter χ^2 oleh karena itu disebut dengan uji Chi-Kuadrat (Soewarno, 1995a : 194). Nilai χ^2 dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \dots\dots\dots (8)$$

Dimana:

- χ^2 : Parameter chi-kuadrat terhitung
- E_f : Frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya
- O_f : Frekuensi yang diamati pada kelas yang sama
- n : Jumlah sub kelompok

Uji Smirnov-Kolmogorov

Menurut (Soewarno, 1995), uji kecocokan Smirnov-Kolmogorov disebut juga sebagai uji kecocokan non parametrik (*non parametric test*), karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Perhitungan Intensitas Hujan Rencana

Kaitannya dengan perhitungan debit banjir rencana, menurut (Kamiana, 2011), data hujan rencana diperlukan dalam perhitungan debit banjir rencana dapat berupa (a) intensitas hujan rencana di satu titik waktu dan (b) ketinggian hujan rencana terdistribusi dalam hujan jam-jaman (hietograf hujan rencana). Menurut (Triatmodjo B., 2008), dalam menghitung intensitas hujan rencana, apabila yang tersedia adalah hujan harian, maka intensitas hujan tersebut dapat ditentukan dengan rumus Mononobe sebagai berikut:

$$I_t = \frac{X_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana:

- I_t : intensitas curah hujan untuk lama hujan t (mm/jam)
- t : lamanya curah hujan (jam)
- R_{24} : curah hujan maksimum selama 24 jam

Perhitungan Hidrograf Debit Banjir Rencana

(Triatmodjo B., 2008) mengemukakan bahwa hidrograf satuan didefinisikan sebagai hidrograf limpasan langsung (tanpa aliran dasar) tercatat di ujung hilir DAS yang ditimbulkan oleh hujan efektif sebesar 1 mm terjadi secara merata di permukaan DAS dengan intensitas tetap dalam suatu durasi tertentu.

Selanjutnya, (Triatmodjo B., 2008) memberikan metode dapat digunakan untuk melakukan perubahan durasi hidrograf satuan, salah satunya yaitu dengan Lagging method. Metode ini digunakan pada keadaan dimana durasi dikonversi menjadi durasi yang lebih lama merupakan kelipatan dari durasi aslinya. Apabila hidrograf satuan dengan durasi t_r ditambahkan pada hidrograf satuan identik lainnya dengan keterlambatan t_r , maka

hidrograf yang dihasilkan merupakan hidrograf dari 2 satuan hujan terjadi dalam waktu 2 tr (SNI 2415:2016, Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana, 2016).

HSS Metode Nakayasu

Metode Nakayasu dikembangkan oleh Nakayasu di Jepang. Hidrograf satuan sintetik Nakayasu dikembangkan berdasarkan hasil pengamatan terhadap hidrograf satuan alami berasal dari sejumlah besar DAS yang ada di jepang (Natakusumah, 2014).

Terdapat 2 kondisi dalam perhitungan *time lag* metode Nakayasu, yaitu ketika panjang sungai lebih dari 15 km, dan kurang dari 15 km sebagai berikut:

Untuk $L > 15$ km, $T_g = 0,5279 + 0,058T_L$(10)

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

Sementara, waktu puncak dari metode Nakayasu dapat dihitung melalui persamaan:

$T_p = T_g + 0,8T_R$ (12)

Dimana:

- T_g : *time lag* yaitu waktu terjadinya hujan sampai terjadinya debit puncak (jam)
- T_p : waktu puncak (jam)
- T_R : waktu hujan efektif ($T_R = 0.75 T_g$)
- A_{DAS} : Luas DAS (km²)

Jika harga waktu puncak dan luas DAS diketahui, maka debit puncak hidrograf satuan sintetis akibat tinggi hujan satu satuan $Re = 1$ mm yang jatuh selama durasi hujan satu satuan $Tr = 1$ jam, dapat dihitung sebagai berikut:

$Q_p = \frac{AR_e}{3,6(0,3T_p - T_{0,3})}$ (13)

Dimana:

- Q_p : debit puncak hidrograf satuan (m³/s)
- Re : hujan efektif satuan (1 mm)
- T_p : waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)
- A : luas daerah pengaliran sampai outlet
- $T_{0,3}$: waktu penurunan debit, dari puncak sampai 30% ($T_{0,3} = \alpha T_g$)

Pada waktu kurva naik : $0 < t < T_p$

Bentuk Hidrograf Satuan Nakayasu terdiri dari empat segmen kurva dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

$Q_t = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4}$ (14)

Dimana:

- Q_t : debit limpasan sebelum sampai puncak banjir (m³/s)
- t : waktu (jam)
- T_p : waktu puncak (jam)

Pada waktu kurva turun

Selang nilai : $t \leq (T_p + T_{0,3})$

$Q_t = Q_p 0,3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0,3}}}$ (15)

Selang nilai : $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1.5 T_{0,3})$

$Q_t = Q_p 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}}}$ (16)

Selang nilai : $t \geq (T_p + T_{0,3} + 1.5 T_{0,3})$

$Q_t = Q_p 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5T_{0,3})}{2T_{0,3}}}$ (17)

HSS Metode Snyder

Menurut (Hadisusanto, 2010), HSS Snyder merupakan hasil penelitian banjir yang dilakukan oleh Snyder pada tahun 1938 di sebagian besar daerah dataran tinggi Appalachian, Amerika Serikat. Penelitian tersebut dilakukan terhadap luas daerah aliran bervariasi dari mulai 30 km² hingga 30.000 km².

Time lag untuk metode Snyder dapat dihitung menggunakan rumus *time lag* Snyder sebagai berikut:

$t_p = C_t(LL_c)^n$ (18)

Dimana:

- t_p : *time lag* (jam)
- C_t : koefisien waktu (untuk kalibrasi)
- L : panjang sungai (km)
- L_c : panjang sungai ke pusat DAS (km)
- n : koefisien, nilainya 0.2 – 0.3

Kemudian, waktu puncak T_p pada HSS Snyder dapat dihitung melalui persamaan berikut:

untuk $t_e > T_R$, $T_p = t_p + 0,25(T_r - t_p)$ (19)

untuk $t_e > T_R$, $T_p = t_p + 0,5T_r$ (20)

dengan, $t_e = \frac{t_p}{5,5}$ (21)

Dimana:

- T_p : waktu puncak (jam)
- T_R : satuan waktu curah hujan (jam)
- t_e : lamanya curah hujan efektif (jam)

Sementara, untuk waktu dasar hidrograf satuan (TB) didefinisikan sebagai berikut:

$T_B = 5T_p + \frac{T_r}{2}$ (22)

Jika harga waktu puncak dan luas DAS diketahui, maka debit puncak hidrograf satuan sintesis akibat tinggi hujan satu satuan $Re = 1$ mm yang jatuh selama durasi hujan satu satuan $Tr = 1$ jam (Wigati et al., 2016), dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{0,275C_p}{A} \dots\dots\dots (23)$$

Dimana:

- Q_p : debit puncak (m^3/s)
- A : luas DAS (km^2)
- C_p : koefisien debit puncak (untuk kalibrasi)

Menurut hasil penelitian Badiant dan Huber (1992) di sepanjang Teluk Meksiko, nilai C_p bervariasi antara 0.4 - 0.8.

Persamaan Bentuk Dasar Hidrograf Satuan

Kurva Hidrograf Satuan Snyder berbentuk kurva tunggal dengan Q merupakan fungsi dari t , $Q = f(t)$, dan dinyatakan melalui persamaan berikut:

$$Q_t = Q_p 10^{-a \left(\frac{(1-t)^2}{t} \right)} \dots\dots\dots (24)$$

Dengan,

$$\lambda = \frac{Q_p T_p}{w} \dots\dots\dots (25)$$

Dimana,

$$w = 1000hA \dots\dots\dots (26)$$

Dan,

$$a = 1,32\lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045 \dots\dots\dots (27)$$

$$t = \frac{T}{T_p} \text{ (tak berdimensi)} \dots\dots\dots (28)$$

Dimana:

- H : curah hujan efektif sebesar satu satuan dalam milimeter (1 mm)
- A : luas DAS (km^2)

Aspek Hidraulika

Pada analisis hidraulika sungai Cisadane ini digunakan software HEC-RAS melalui fitur *unsteady flow simulation*. Hasil pemodelan tersebut dapat dilihat secara 1-D dan 2-D melalui fitur *Ras Mapper*. Output dari pemodelan menggunakan HEC-RAS tersebut untuk mengetahui berbagai nilai komponen hidraulik sungai seperti kecepatan aliran, dan profil tinggi muka air. Adapun, dalam hal ini yang menjadi fokus dari tujuan dimodelkannya aliran sungai ialah untuk mengetahui tinggi muka air di hulu Sungai Citanduy, baik dalam keadaan sebelum dan setelah pengalihan. Kemudian dianalisis kaitannya terhadap dampak dari pengalihan sungai tersebut. Adapun, parameter-parameter yang dibutuhkan dalam pemodelan

menggunakan software HEC-RAS yaitu penampang melintang dan memanjang sungai, nilai Manning dasar sungai dan bantaran sungai, hidrograf debit banjir rencana, serta peta kontur wilayah lokasi studi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

1. Analisis Curah Hujan Rata-Rata DAS

Metode analisis curah hujan yang ada hanyalah menggunakan Metode Thiessen. Dengan total daerah tangkapan air memiliki luas sebesar 75,796 km^2 . Curah hujan rata-rata DAS diperoleh dari Metode Thiessen dengan memperhatikan pengaruh stasiun-stasiun curah hujan pada daerah tersebut. Tabel 1 merupakan luasan pengaruh per-stasiun hujan pada DAS Citanduy.

Tabel 1 Luas pengaruh per-stasiun hujan

No.	Stasiun	Luasan (km^2)	-
1	Pagerageung	35,061	km^2
2	Panjalu	40,735	km^2
Jumlah		75,796	km^2

Sumber: BBWS Citanduy, 2021

Berikut merupakan hasil analisis curah hujan metode rata-rata Thiessen dengan menggunakan luasan pengaruh stasiun hujan pada DAS Citanduy pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil analisis curah hujan metode rata-rata Thiessen

No.	Tahun	Curah Hujan (mm)		Curah Hujan Wilayah (mm)
		Pagerageung	Panjalu	
1	2011	68,00	50,00	58,33
2	2012	107,60	61,00	82,56
3	2013	147,50	46,00	92,95
4	2014	107,00	105,00	105,93
5	2015	85,50	75,00	79,86
6	2016	119,00	116,00	117,39
7	2017	85,00	83,00	83,93
8	2018	81,50	113,00	98,43
9	2019	93,00	111,00	102,67
10	2020	113,50	127,00	120,76

2. Analisis Curah Hujan Rencana

Berikut merupakan data curah hujan maksimum hasil perhitungan metode rata-rata Thiessen pada Tabel 3.

Tabel 3 Curah hujan maksimum

No.	Tahun	Thiessen
1	2011	58,33
2	2012	82,56
3	2013	92,95
4	2014	105,93
5	2015	79,86
6	2016	117,39
7	2017	83,93
8	2018	98,43
9	2019	102,67
10	2020	120,76
Jumlah		942,79

Hasil perhitungan Analisis curah hujan rencana dari keseluruhan metode yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Data hasil perhitungan analisis curah hujan rencana

PUH (Tahun)	Metode			
	Dist. Normal	Dist. Log Normal	Dist. Log Pearson III	Dist. Gumbel
2	94,28	97,72	95,23	91,72
5	110,13	115,92	111,20	114,25
10	118,43	126,77	119,28	129,16
25	126,55	138,35	127,55	148,00
50	132,96	148,26	132,66	161,98
100	138,25	156,94	137,07	175,86

Setelah diketahui nilai faktor-faktor perhitungan di atas dapat ditentukan metode distribusi mana yang dapat dipakai, seperti disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5 Persyaratan pemilihan distribusi

No	Distribusi Frekuensi	Syarat	Syarat	Kesimpulan
1	Distribusi Normal	Cs = 0	Cs = -0,41	Tidak Memenuhi
		Ck = 3	Ck = 2,01	
2	Distribusi Log Normal	Cs > 0	Cs = -0,68	Tidak Memenuhi
		Ck > 3	Ck = 1,82	
3	Distribusi Log Pearson III	Cs = 0	Cs = -0,92	Tidak Memenuhi
		Ck = 21,2	Ck = 2,53	
4	Distribusi Gumbel	Cs ≤ 1,139	Cs = -0,41	Memenuhi

No	Distribusi Frekuensi	Syarat	Syarat	Kesimpulan
		Ck ≤ 5,402	Ck = 2,01	

3. Uji Kecocokan Distribusi Data Chi Square

Prinsip pengujian dengan metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut, atau dengan membandingkan nilai chi square (X2) dengan nilai chi square kritis (X2cr) tercantum pada Tabel 6.

Tabel 6 Hitungan X2Cr

No	Probabilitas	Jumlah Data		Ei - Oi	(Ei - Oi)²/Ei
		Ei	Oi		
1	58,33 < Xi < 68,83	2,5	1,0	1,5	0,90
2	68,83 < Xi < 89,83	2,5	3,0	-0,5	0,10
3	89,83 < Xi < 110,83	2,5	4,0	-1,5	0,90
4	110,83 < Xi < 131,83	2,5	2,0	0,5	0,10
Jumlah		10	10	0	2,0

Karena nilai X2Cr analisis < X2Cr tabel (2,0 < 5,991) maka untuk menghitung curah hujan rencana dapat menggunakan distribusi Gumbel.

4. Uji Kecocokan Distribusi Data Smirnov Kolmogorov

Penguatan perkiraan pemilihan distribusi diambil, maka dilakukan pengujian distribusi dengan menggunakan metode Smirnov - Kolmogorov dari masing-masing distribusi, seperti disajikan dalam Tabel 7. Metode ini dikenal dengan uji kecocokan nonparametrik, karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Tabel 7 Hasil uji Smirnov-Kolmogorov

M	X	P(X) = M/(n+1)	P(< X)	P'(<X) = M/(n-1)	P'(< X)	D
1	2	3	4 = 1-3	5	6 = 1-5	7 = 4-6
1	58,3 26	0,091	0,9 09	0,111	0,8 89	0,0 20
2	82,5 56	0,182	0,8 18	0,222	0,7 78	0,0 40
3	92,9 51	0,273	0,7 27	0,333	0,6 67	0,0 61
4	105, 925	0,364	0,6 36	0,444	0,5 56	0,0 81

M	X	$P(X) = \frac{M}{(n+1)}$	$P(< X)$	$P'(<X) = \frac{M}{(n-1)}$	$P'(< X)$	D
5	79,8 57	0,455	0,5 45	0,556	0,4 44	0,1 01
6	117, 388	0,545	0,4 55	0,667	0,3 33	0,1 21
7	83,9 25	0,636	0,3 64	0,778	0,2 22	0,1 41
8	98,4 29	0,727	0,2 73	0,889	0,1 11	0,1 62
9	102, 674	0,818	0,1 82	1,000	0,0 00	0,1 82
10	120, 755	0,909	0,0 91	1,111	- 0,1 11	0,2 02

Sumber: Hasil analisis, 2021

Berdasarkan hasil uji Smirnov-kolmogorov diperoleh beberapa parameter di antaranya. Dmaks = 0,202, data pada peringkat m = 10 dengan derajat kepercayaan 5% maka diperoleh Do = 0,41 untuk n = 10 karena nilai Dmaks lebih kecil dari nilai Do (0,202 < 0,41) maka distribusi yang diperoleh dapat diterima.

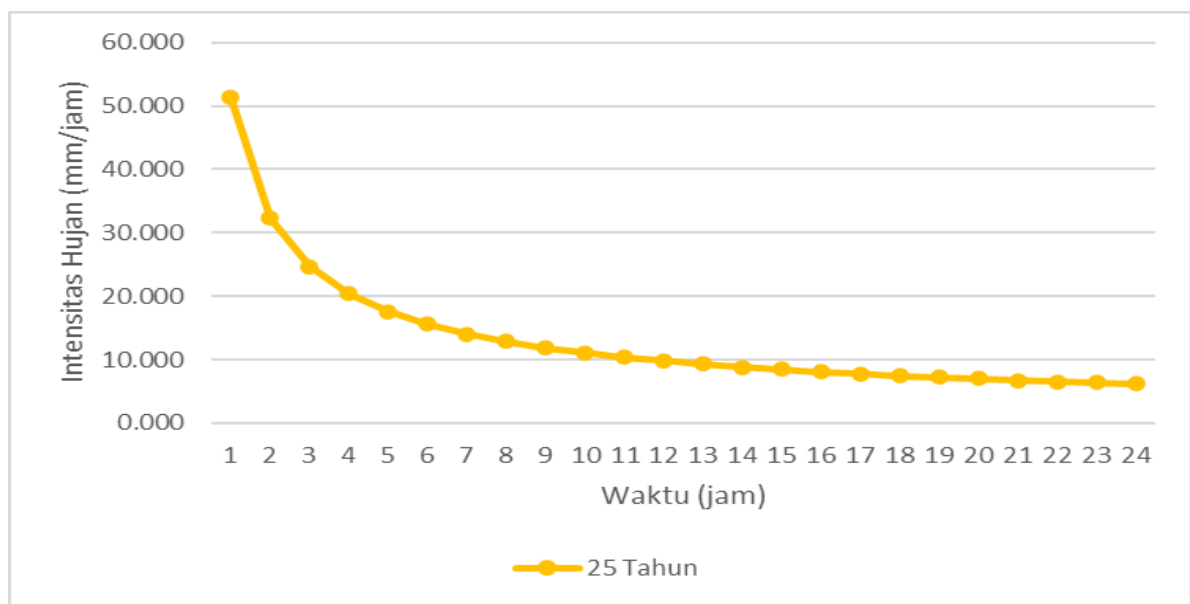
5. Analisis Intensitas Curah Hujan

Kaitannya intensitas hujan rencana dengan perhitungna debit banjir rencana, menurut (Kamiana, 2011), data hujan rencana diperlukan dalam perhitungan debit banjir rencana dapat berupa intensitas hujan rencana di satu titik waktu dan atau ketinggian hujan rencana terdistribusi dalam hujan jam-jaman. Perhitungan intensitas

curah hujan ini menggunakan metode Dr. Mononobe merupakan sebua variasi dari persamaan-persamaan curah hujan jangka pendek, persamaannya sebagai berikut (Soemarto C, 1986), sehingga dihasilkan kurva intensitas-durasi-frekuensi (IDF) sebagaimana grafik yang ditunjukkan di bawah ini, sebagai berikut.

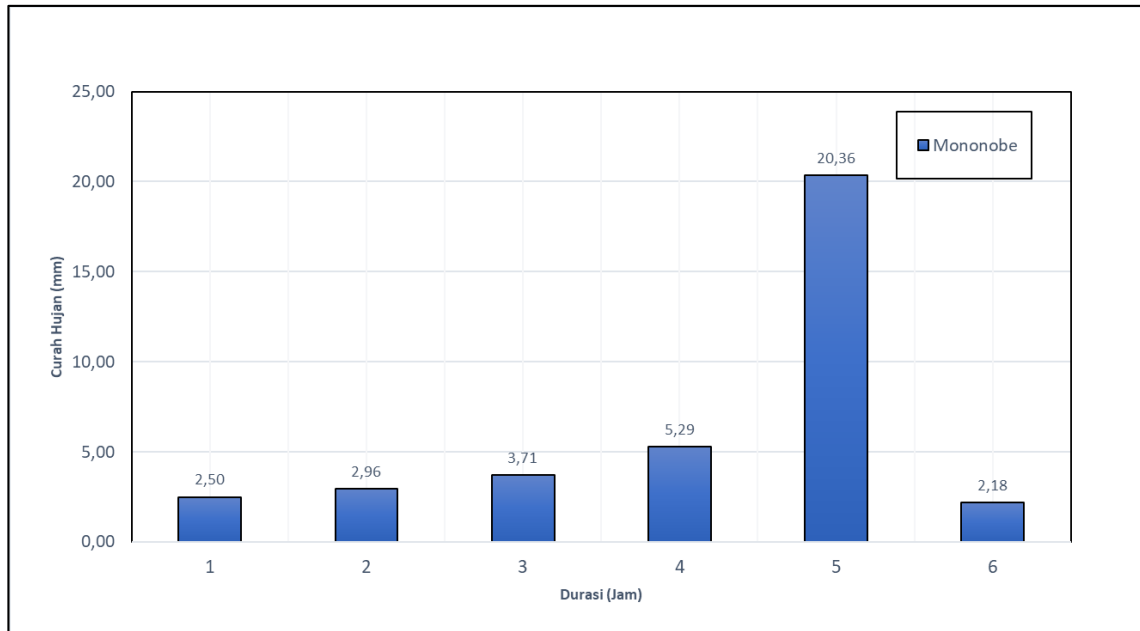
6. Perhitungan Distribusi Hujan Rencana

Setelah sebelumnya dihitung intensitas hujan rencana untuk berbagai periode ulang, kemudian melalui hasil perhitungan tersebut dapat dibuat distribusi hujan kedalam bentuk jam-jaman. Hal tersebut sebagaimana dikemukakan oleh (Triatmodjo B., 2008) bahwa dalam perhitungan banjir rencana, diperlukan masukan berupa hujan rencana yang didistribusikan ke dalam bentuk hujan jam-. Adapun tentang penentuan distribusi hujan jam-jaman sebaiknya disesuaikan dengan kondisi aktual di lapangan dalam Genovez dan Mello, (Ginting, 2017), menyatakan bahwa distribusi waktu hujan desain harus diperoleh dari data yang diamati di lokasi bersangkutan. Namun dalam hal data observasi tersedia terbatas untuk menurunkan Intensity Duration Frequency, digunakan pendekatan dari daerah lain sehingga, ditetapkan bahwa daerah pengaliran di Indonesia biasanya diambil selang waktu 5 s.d. 7 jam. Sebagai pendekatan untuk hujan harian pada DTA Sungai Citanduy diambil menjadi hujan 6 jam-an.



Sumber: Hasil analisis, 2021

Gambar 3 Grafik intensitas hujan rencana jam-jaman



Sumber: Hasil analisis, 2021

Gambar 4 Grafik distribusi hujan rencana ke dalam bentuk jam-jaman

Tabel 8 Perhitungan distribusi hujan rencana

T _d (jam)	Δ _t (jam)	I _t (mm/jam)	I _t T _d (mm)	Δ _p (m)	P _t (%)	Hyetograph	
						%	(mm)
1	0~1	12,8	12,8	13	55,0	6,7	2,5
2	1~2	8,1	16,2	3,3	14,3	8,0	3,0
3	2~3	6,2	18,5	2,3	10,0	10,0	3,7
4	3~4	5,1	20,4	1,9	8,0	14,3	5,3
5	4~5	4,4	21,9	1,6	6,7	55,0	20,4
6	5~6	3,9	23,3	1,4	5,9	5,9	2,2
Jumlah				23	100	100	37

Sumber: Hasil analisis, 2021

7. Hidrograf Debit Banjir Rencana

Setelah didapat nilai hujan efektif untuk masing-masing periode ulang hujan, maka selanjutnya dapat dihitung debit banjir rencana melalui perhitungan hidrograf satuan sintetis. Dalam memperhitungkan debit banjir melalui hidrograf satuan sintetis, beberapa metode yang dapat digunakan, diantaranya (1) Metode Nakayasu, dan (2) Metode Snyder. Terkait perhitungan debit banjir rencana melalui hidrograf satuan sintetis adalah sebagai berikut.

Hidrograf Debit Banjir Rencana Metode Snyder

Adapun, parameter yang harus diinput dalam perhitungan hidrograf debit banjir rencana

menggunakan metode Snyder adalah sebagai berikut.

I. Karakteristik DAS dan Hujan

- Nama Sungai : Citanduy
- Luas DAS (A) : 75,80 km²
- Panjang Sungai (L) : 17,15 km
- Panjang Sungai ke Titik Berat DAS (L_c) : 8,58 km
- Tinggi Hujan Satuan (R) : 1,00 mm
- Durasi Hujan Satuan (Tr) : 1,00 Jam

II. Perhitungan Waktu Puncak (T_p) dan Waktu Dasar (T_b)

- Koefisien Waktu C_t : 1,80
- Koefisien Debit Puncak C_p : 0,85
- Koefisien n : 0,3
- Waktu tenggang (t_p)
 $t_p = C_t(LL_c)^n$: 8,04 Jam
 $t'_p = t_p + 0.25 (T_R - t_e)$: 7,81 Jam
- Waktu lamanya curah hujan efektif (t_e)
 $t_e = t_p / 5.5$: 1,46 Jam
- Waktu Puncak (Time Rise to Peak)
 $T_p = t'_p + 0.25 (T_R - t_e)$: 7,70 Jam

III. Debit Puncak (Q_p)

- Debit Maksimum Total (Q_p)
 $Q_p = (0.275 C_p A) / T_p$: 2,07 m³/s

2. Volume Hujan DAS (V _{DAS})	: 75796	m ³
3. Volume Unit Hidrograph	: 75910	m ³
4. Tinggi Limpasan	: 1,00	mm

Hidrograf Debit Banjir Rencana Metode Nakayasu

Adapun, parameter yang harus diinput dalam perhitungan hidrograf debit banjir rencana menggunakan metode Nakayasu adalah sebagai berikut

IV. Bentuk Hidrograf

1. Koefisien λ		
$\lambda = Q_p T_p / W$: 0,76	
2. Koefisien W		
$W = 1000 h A$: 75796	
3. Koefisien a		
$a = 1.32 \lambda^2 + 0.15 \lambda + 0.045$: 0,9168	
4. Koefisien Y		
$Y = Q/Q_p = 10^{-a((1-x)^2)/x}$		
5. Waktu Dasar (T _B)		
$T_B = 5(T_p + (T_R/2))$: 41,0	

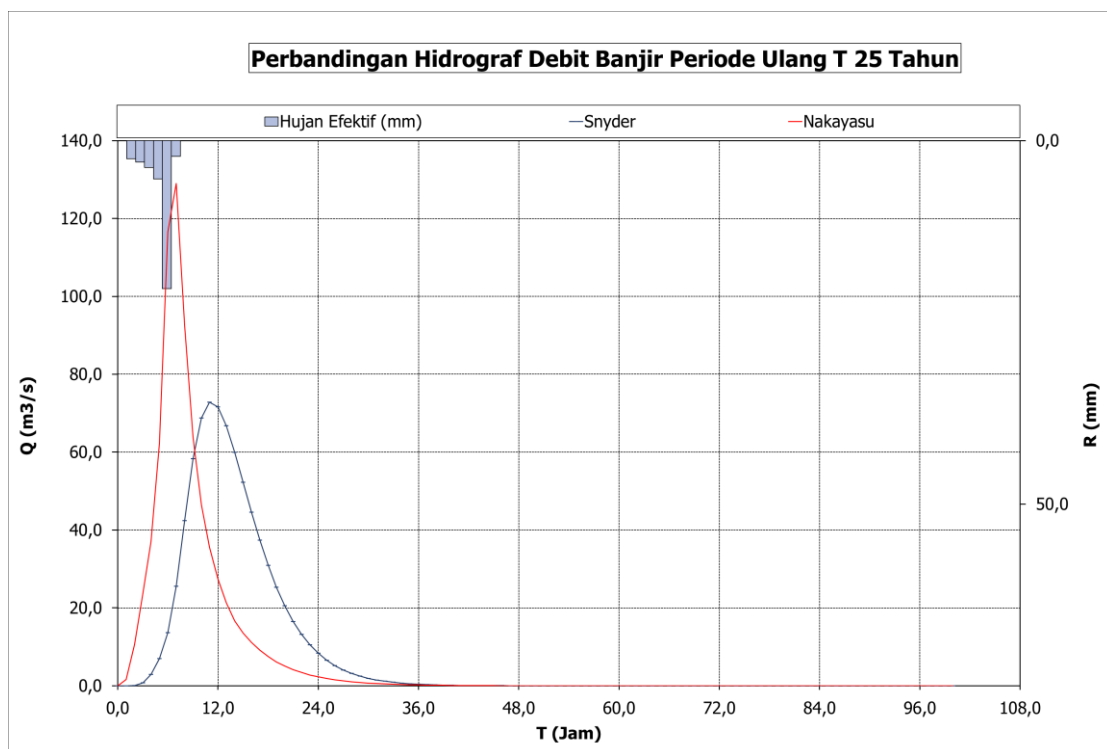
HSS tak berdimensi pada metode Snyder, perhitungannya menggunakan persamaan kurva Alexeyev. Cuplikan hasil perhitungan HSS berdimensi, HSS tak berdimensi, dan superposisi hidrograf (debit rencana dengan periode ulang T = 25 tahun) untuk metode Snyder adalah sebagai berikut.

I. Karakteristik DAS

1. Nama Sungai	: Citanduy
2. Luas daerah aliran Sungai (A)	: 75,80 Km ²
3. Panjang Sungai Utama (L)	: 17,15 Km
4. Tinggi Hujan (R)	: 1,00 mm
5. Durasi Hujan Tr	: 1,00 Jam

II. Parameter hidrograf satuan sintetis :

1. T _g	$0.5279 + 0.058 * L$: 1,52	Jam
2. Tr	$0.75 * T_g$: 1,14	Jam
3. T _{0.8}	$0.8 * T_r$: 0,91	Jam
4. T _p	$T_g + 0.8 * T_r$: 2,44	Jam
5. a		: 2,0	
6. T _{0.3}	$\alpha * T_g$: 3,05	Jam
	$T_p + T_{0.3}$: 5,48	Jam
	$T_p + T_{0.3} + 1.5 * T_{0.3}$: 10,05	Jam
7. Volume Hujan DAS		: 75,8	m ³
8. Q _p		: 5,58	m ³ /s
9. Volume HSS		: 76,84	m ³
10. Tinggi Limpasan		: 1,0	mm



Sumber: Hasil analisis, 2021

Gambar 5 Perbandingan hidrograf debit banjir rencana berbagai metode untuk periode ulang 25 tahun

8. Penentuan Metode Hidrograf Debit Banjir

Untuk metode Snyder, memiliki karakteristik debit puncak lebih kecil dan tercapai dalam waktu relatif lama. Sebaiknya, untuk menentukan metode hidrograf dalam perencanaan perlu adanya kalibrasi terhadap data debit banjir hasil pengamatan. Namun, dalam hal ini tidak berhasil mendapatkan data-data tersebut, sehingga pemilihan hidrograf dilakukan melalui pendekatan terhadap karakteristik DAS dan melakukan pemodelan aliran pada software HEC-RAS untuk debit periode ulang, dimana hasil analisis menunjukkan bahwa DAS Citanduy berpotensi untuk mempunyai limpasan dengan debit puncak tinggi dan tercapai dalam waktu relatif singkat, sehingga ditetapkan untuk metode Snyder untuk digunakan dalam analisis berikutnya.

Adapun sebab perbedaan cukup signifikan dikarenakan nilai debit pada awal waktu untuk superposisi pada HSS Snyder ada pada 0 sehingga hasilnya mempengaruhi pada perbedaan jauh dibandingkan nilai awal pada HSS Nakayasu.

Analisis Hidraulika Sungai Citanduy

1. Peninjauan Terhadap Profil Muka Air Di Hilir Sungai Citanduy Sebelum Dan Setelah Berpindah Pada Kondisi *Bankfull*

Dalam hal mengidentifikasi profil muka air rencana Sungai Citanduy, dilakukan dengan pendekatan melalui kondisi Sungai Citanduy saat keadaan penuh (*bankfull capacity*). Hal tersebut dijadikan kondisi sebagai parameter/ acuan dalam menganalisis apakah alur Sungai Citanduy pada kawasan Pondok Pesantren Suryalaya yang baru (akibat penyodetan) masih mampu untuk menampung debit penampang penuh

Namun, sebelumnya perlu diketahui berapa besaran debit suatu sungai saat berada pada kondisi bankfull.

Pemodelan aliran Sungai Citanduy dilakukan menggunakan software HECRAS. Diasumsikan aliran mengalir di Sungai Citanduy termasuk kedalam aliran tidak mantap (*unsteady flow*), artinya parameter hidraulik di Sungai Citanduy, seperti kedalaman dan kecepatan aliran, mengalami perubahan terhadap waktu.

Dari data hasil pengukuran sungai tersebut, kemudian dibuat penampang memanjang dan melintang sungai untuk interval tertentu menggunakan software AutoCAD Civil 3D. Dalam hal ini penulis menentukan jarak antar penampang melintang yaitu 10 meter. Penampang hasil olah pada AutoCAD Civil 3D kemudian di export kedalam bentuk GIS format, dan diimport pada fitur

Geometry Data di software HEC-RAS. Setelah ditetapkan batas-batas tepi sungai, selanjutnya menetapkan nilai Manning untuk masing-masing zona melintang sungai. Ditetapkan pula angka kekasaran manning n untuk palung Sungai Citanduy yakni 0.035 dan untuk bantaran sungai 0,06, dasar pengambilan nilai Manning ini diambil dari studi terdahulu (Hilmi, 2019) karena karakteristik penampang sungai cukup mendekati sama.

Dalam pemodelan aliran menggunakan HEC-RAS dibutuhkan *boundary*/batasan di bagian hulu dan hilir sungai yang di tinjau. Dalam hal ini, digunakan data hidrograf sebagai kondisi batas hulu dan kemiringan dasar saluran sebagai *boundary* bagian hilir sungai. Hidrograf dimasukkan menyesuaikan terhadap kondisi yang akan dimodelkan, ditetapkan simulasi aliran untuk debit dengan periode ulang 2 tahun hingga 25 tahun. Adapun alasan diambilnya nilai debit awal periode ulang 2 tahun karena memang sungai pada lokasi terdampak sudah mendekati kondisi bankfull. Sementara, untuk kemiringan dasar dihitung dengan membagi perbedaan elevasi dasar hulu sungai dengan elevasi dasar hilir sungai, didapat angka kemiringan 0.05 akan dimasukkan sebagai nilai *Normal Depth* pada *Downstream*. Selain itu, perlu diperhatikan juga kolom Min. Flow pada pojok kiri bawah. Pemodelan menggunakan unsteady flow pada HEC-RAS mensyaratkan untuk adanya aliran minimum. Penulis menetapkan debit minimum pada Sungai Citanduy sebesar $0,001 \text{ m}^3/\text{s}$.

Kemudian, untuk kestabilan saat running model, agar dipertimbangkan untuk memilih interval waktu komputasi dalam durasi pendek. Sementara untuk output interval disesuaikan dengan kebutuhan. Misal, dalam hal ini penulis ingin meninjau kondisi aliran dalam interval waktu hidrograf setiap 1 menit. Dilakukan hal sama seperti pada penjelasan 1, 2, dan 3 untuk melakukan pemodelan aliran Sungai Citanduy eksisting dalam berbagai kondisi debit rencana.

Kondisi penampang melintang Sungai Citanduy lama dan eksisting pada kondisi debit periode ulang 2 tahun hingga 25 tahun. Untuk kondisi debit periode ulang 2 – 5 tahun (rentang Q bankfull) dapat dilihat bahwa baik Sungai Citanduy eksisting, keduanya mencapai kondisi bankfull pada debit dengan periode ulang 2 tahun.

Namun, perlu ditinjau lebih lanjut apakah tinggi muka air pada kedua penampang tersebut berada pada elevasi yang sama atau tidak. Adapun, dalam analisis pada kondisi bankfull ini hanya dipilih beberapa nomor potongan melintang sungai saja, hal ini dikarenakan potongan-potongan tersebut merepresentasikan kondisi sungai eksisting (Gede Putra Wiryawan & Ketut Suputra, 2016).



Sumber: Hasil analisis, 2021

Gambar 6 Hasil Pemodelan Debit Q 25 tahun pada Sungai Citanduy eksisting yang di Overlay Terhadap Peta Topografi dan Satellite Imagery

2. Peninjauan Terhadap Profil Muka Air Di Sungai Citanduy

Pada dokumen Peraturan pemerintah No. 30 Tahun 2011 tentang Sungai. Pada peraturan tersebut, dinyatakan bahwa dalam hal penetapan batas dataran banjir dilakukan dengan pemodelan genangan debit rencana Q50 tahunan. Namun, dalam hal ini digunakan debit rencana Q25 tahunan dikarenakan mempertimbangkan kapasitas & karakteristik geometri Sungai Citanduy eksisting.

Hasil pemodelan aliran Sungai Citanduy eksisting secara visual daerah pada kondisi banjir, yaitu Q25 tahun. Sebelum membahas lebih lanjut, perlu ditinjau kembali dimana pada gambar tersebut memberikan informasi bahwa, Sungai Citanduy eksisting tidak secara penuh dapat menampung debit rencana Q25 tahun. Hal tersebut diindikasikan dengan masih adanya ruas sungai yang mengalami overflow dengan variasi kedalaman $\pm 40 - 80$ cm ketika dimodelkan dengan debit periode ulang 25 tahun. Adapun solusi penanganan banjir pada lokasi tersebut mulai dari normalisasi ataupun dibangun tanggul.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis hidrologi dan hidraulika diterapkan pada objek tinjauan studi, yakni Sungai Citanduy di Kawasan Pondok Pesantren Suryalaya Kab. Tasikmalaya, didapatkan hasil bahwa pemendekan alur sungai akibat penyodetan, menyebabkan pengurangan luas alur sungai pada kondisi *bankfull*. Memendeknya alur sungai tersebut berdampak juga kepada meningkatnya muka air di hilir sungai setelah penyodetan. Adapun, sebenarnya kondisi Sungai

Citanduy setelah penyodetan untuk debit diatas periode ulang 2 tahun, terjadi banjir pada penampang sungai Sta. 400 – 1035. Muka air banjir tertinggi terdapat pada ruas Sungai Citanduy baru, Sta. 1035, dengan ketinggian 2,46 meter. Sungai Citanduy eksisting juga tidak secara penuh dapat menampung debit rencana Q25 tahun. Hal tersebut diindikasikan dengan masih adanya ruas sungai yang mengalami overflow dengan variasi kedalaman $\pm 40 - 80$ cm ketika dimodelkan dengan debit periode ulang 25 tahun. Adapun solusi penanganan banjir pada lokasi tersebut mulai dari normalisasi ataupun dibangun tanggul.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Balai Besar Wilayah Sungai Citanduy beserta seluruh pihak yang telah memberikan banyak bantuan dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 2415:2016, Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*. 1–80. www.bsn.go.id (accessed October 06, 2021)
- Gede Putra Wiryawan, A., & Ketut Suputra, I. (2016). *Tahapan Perhitungan Tinggi Muka Air Di Sungai (Studi kasus bendung Waduk Muara Tukad Unda)*. https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_penelitian_1_dir/43fd4c0c194f6e5e50df16120777bd26.pdf (accessed October 01, 2021)

- Ginting, S. (2017). *Karakteristik Hujan Ekstrim untuk Prediksi Debit Banjir di Jakarta*. https://www.researchgate.net/publication/323616884_KARAKTERISTIK_HUJAN_EKSTRIM_UTUK_PREDIKSI_DEBIT_BANJIR_DI_JAKARTA (accessed October 01, 2021)
- Hadisusanto, N. (2010). *Aplikasi Hidrologi*. Jogja Media Utama.
- Hilmi Fauzan Irfan. (2019). *Perencanaan Pengalihan Sungai Pemanfaatan Bekas Sungai Cisadane di Kawasan Bumi Serpong Daman, Tangerang*. <https://digilib.itb.ac.id/index.php/gdl/view/36883> (accessed October 01, 2021)
- Kamiana, I. M. (2011). *Teknik Perhitungan Debit Rencanan Bangunan Air*. GRAHA ILMU.
- Made Kamiana, I. (2010). *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. https://www.researchgate.net/publication/324860672_TEKNIK_PERHITUNGAN_DEBIT_RENCANA_BANGUNAN_AIR (accessed October 07, 2021)
- Natakusumah, D. K. (2014). *Cara Menghitung Debit Banjir dengan Metoda Hidrograf Satuan Sintetis*. Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan (FTSL) - ITB.
- Soemarto C. (1986). *Hidrologi Teknik*. Usaha Nasional.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi - Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data (1st ed.)* (1st ed.). NOVA.
- Triatmodjo B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset.
- Ven Te Chow, David R. Maiden, & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology Chow 1988.pdf* (Internatio). McGraw-Hill Book Company. http://ponce.sdsu.edu/Applied_Hydrology_Chow_1988.pdf (accessed October 07, 2021)
- Wigati, R., Soedarsono, & Mutia, T. (2016). Analisis Banjir Menggunakan Software HEC-RAS 4.1.0(Studi Kasus Sub-DAS Ciberang HM0+00 - HM34+00). In *Jurnal Fondasi* (Vol. 5, Issue 2) Hal. 51. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.36055/jft.v5i2.1261> (accessed October 01, 2021)