Analisa Banjir Kali Pekalen Kabupaten Probolinggo Menggunakan Aplikasi HEC-RAS

Muhammad Adnan Maulana^{1*}, Runi Asmaranto¹, Very Dermawan¹

¹ Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya,
Jalan MT. Haryono No. 167, Malang, 65145, INDONESIA

*Korespondensi Email: adnanmaulana@student.ub.ac.id

Abstract: The upstream area of the Pekalen watershed has undergone land-use changes, resulting in sedimentation, which resulted in a reduction in the river's existing ability to accommodate water discharge. Therefore, it caused the problem of flooding around the Kali Pekalen area. Hence, to determine the river's existing capabilities and find alternative solutions to the flood problem, an analysis of the Kali Pekalen's capacity using the HEC-RAS application was carried out by the researcher. The research process was conducted in the upstream, middle, and downstream rivers with a Q50 year return period using the Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph. Based on the analysis results that have been carried out, there are 163 stakes in the area unable to accommodate the discharge. As a solution to the problem, the 163 pegs in Kali Pekalen were installed with embankments with the Concrete Sheet Pile (CCSP) design which had a length of 12 m and a depth of 6.45 m from the riverbed.

Keywords: Design Flood Discharge, Embankment, HEC-RAS

Abstrak: Wilayah hulu DAS Pekalen mengalami perubahan tata guna lahan yang menyebabkan terjadinya sedimentasi pada Kali Pekalen. Dengan adanya sedimentasi tersebut, maka dapat mengakibatkan berkurangnya kemampuan eksisting sungai untuk menampung debit, sehingga menyebabkan masalah banjir di sekitar wilayah Kali Pekalen. Dalam hal ini maka dilakukan analisa kapasitas Kali Pekalen dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk mengetahui kemampuan eksisting sungai dan juga mengetahui alternatif penyelesaian dari masalah banjir tersebut. Untuk melakukan analisa tersebut diperlukan analisa hidrologi untuk mendapatkan debit banjir rancangan. Metode yang digunakan untuk mencari debit banjir rancangan yaitu dengan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu dengan kala ulang Q50 th untuk wilayah hulu, tengah, dan hilir Kali Pekalen. Setelah mendapatkan hasil perhitungan debit banjir rancangan, maka dilakukan analisa aliran dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS 5.0.7. Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan, terdapat 163 ruas patok di wilayah hulu, tengah dan hilir Kali Pekalen yang tidak mampu menampung debit. Sehingga ada 163 ruas patok di Kali pekalen yang dipasang tanggul dengan desain *Concrete Sheet Pile* (CCSP) yang memiliki panjang 12 m, dan kedalaman 6,45 m dari dasar sungai.

Kata kunci: Debit Banjir Rancangan, HEC-RAS, Tanggul

1. Pendahuluan

Salah satu sungai yang sumber dari mata air Gunung Argopuro dan Gunung Lemongan yang melewati Kabupaten Probolinggo dan bermuara di selat Madura adalah Kali Pekalen. Sungai mempunyai peranan yang sangat besar bagi perkembangan manusia di seluruh dunia ini, yakni dengan menyediakan daerah-daerah subur yang umumnya terletak di lembah-lembah sungai dan sumber air sebagai sumber kehidupan yang paling utama bagi manusia. Demikian pula sungai menyediakan dirinya sebagai sarana transportasi guna meningkatkan mobilitas serta komunikasi antar manusia [1]. Menurut PP nomor 38 tahun 1982 Sungai adalah jaringan pengaliran air beserta air didalamnya yang merupakan wadah alami atau buatan yang dimulai dari hulu sampai dengan hilir atau muara dengan kanan kirinya dibatasi oleh garis sempadan [2].

Sungai mempunyai potensi yang begitu banyak yaitu potensi positif yang membantu kehidupan manusia, serta juga bisa menimbulkan potensi negatif yang dapat muncul kapan saja yang dapat mengakibatkan kerusakan-kerusakan disekitarnya [3]. Sepanjang tahun 2017 Badan Penanggulangan Bencana (BNPB) daerah Kabupaten Probolinggo memberitahukan bahwa terdapat 2 kejadian banjir pada tahun 2018, dan juga terdapat 4 kejadian banjir selama tahun 2017. Kabupaten Probolinggo salah satu perkempungan penduduknya telah diterjang banjir bandang pada tanggal 10 Desember 2018. Kawasan yang diterjang banjir bandang yakni Dusun Kedaton, dan Dusun Banjar Baru Desa Andung Biru, Kecamatan Tiris [4]. Penyebab terjadinya banjir yang ada di Probolinggo kemungkinan dikarenakan karena adanya perubahan tata guna lahan yang ada di wilayah hulu DAS Kali Pekalen, selain itu juga banyak terjadi penebangan pohon-pohon yang ada di hulu DAS. Meluapnya kali pekalen kemungkinan juga disebabkan oleh beberapa faktor yang salah satunya adalah ketidakmampuan penampang eksisting untuk menampung debit yang menyebabkan kapasitas penampang berkurang dan menyebabkan banjir.

Potensi banjir setiap tahun selalu ada di beberapa daerah Indonesia khususnya pada wilayah Kabupaten Probolinggo. Maka dengan adanya hal tersebut perlu dilakukan analisis penampang kali Pekalen menggunakan aplikasi HEC-RAS, mengingat dampak resiko dan bahaya yang dapat menimpa penduduk di hulu sampai dengan hilir di wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Pekalen. Tujuan dari analisa yang dilakukan yaitu untuk mengetahui seberapa besar kemampuan penampang eksisting Kali Pekalen dan bagaimana alternatif penyelesaian yang efektif dan bisa dilakukan untuk mengatasi masalah banjir tersebut.

2. Bahan dan Metode

2.1 Bahan

2.1.1. Wilayah Studi

Lokasi kali Pekalen ini berada pada wilayah administrasi Kabupaten Probolinggo Provinsi Jawa Timur, dan berada pada posisi 112°50' – 113°30' Bujur Timur (BT) dan 7° 40' – 8°10' Lintang Selatan (LS), dengan luas wilayah sekitar 169.616,65 Ha atau + 1.696,17 km² (1,07 % dari luas daratan dan lautan Propinsi Jawa Timur). Panjang sungai kali Pekalen yaitu sepanjang 29,994 km. Lokasi studi ditampilkan pada Gambar 1 yang diperoleh melalui citra satelit dari Google Earth dengan alur sungai berwarna biru yang nantinya akan dimodelkan menggunakan aplikasi *HEC-RAS*. Berikut di bawah ini adalah gambaran lokasi studi DAS Pekalen Kabupaten Probolinggo.

Gambar 1. Lokasi studi Kali Pekalen Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur

2.1.2. Data yang dibutuhkan

Pengumpulan data – data adalah langkah awal yang akan dilakukan dalam melakukan analisa banjir. Kebutuhan data yang digunakan adalah data pengukuran hujan 12 pos hujan dengan menggunakan 20 tahun data pengukuran mulai tahun 1999 sampai dengan tahun 2018, kemudian data selanjutnya yang akan digunakan yaitu data topografi yang terdiri dari data pengukuran *cross section* dan *long section* sungai, panjang sungai, peta tata guna lahan, serta luas area dari DAS Pekalen. Data – data tersebut didapatkan dari UPT PSAWS Pekalen Sampean Kota Pasuruan.

2.2 Metode

2.2.1. Tahapan Pengerjaan

Gambar 2. Tahapan Pengerjaan

Pengerjaan analisa ini dilakukan dengan alur dan tahapan – tahapan analisa yang runtut, agar bisa mendapatkan hasil dan tujuan dari analisa yang diinginkan. Tahapan yang dilakukan adalah pengumpulan data, analisis hidrologi, analisis kapasitas penampang sungai dan juga alternatif penyelesaian masalah.

2.2.2. Uji Konsistensi Data

Uji konsistensi data ini dilakukan untuk melihat kebenaran data yang didapat dari lapangan dengan beberapa faktor perubahan yang memungkinkan terjadinya kesalahan pencatatan yang nantinya akan mempengaruhi *trend* pada pencatatan data hujan. Uji kurva massa ganda adalah metode yang akan digunakan dalam uji konsistensi data. Uji kurva massa ganda dilakukan pada stasiun hujan yang saling berdekatan.

2.2.3. Analisa Curah Hujan Daerah Maksimum Tahunan

Dalam analisa hidrologi perlu dilakukan perhitungan hujan daerah maksimum tahunan, cara menentukan curah hujan daerah maksimum tahunan yaitu dengan cara satu persatu tiap tahun secara terurut dari semua stasiun hujan yang ada untuk memilih data hujan yang tertinggi disatu stasiun hujan, kemudian dilihat hujan maksimum tersebut terjadi pada tanggal bulan berapa, setelah itu pada tanggal dan bulan yang sama juga dipilih satu persatu curah hujan di stasiun yang lainnya. Curah hujan daerah maksimum tahunan didapat dari hasil penjumlahan perkalian antara curah hujan di setiap stasiun hujan dengan rasio luasan stasiun hujan. Rasio luasan didapatkan dengan cara metode polygon thiessen,

2.2.4. Analisa Hujan Rancangan

Pada analisis hujan rancangan ini akan menggunakan analisa frekuensi sebagai perhitungannya agar mendapat kala ulang tertentu. Dalam studi kali ini metode yang digunakan adalah metode Log Pearson III. Berikut adalah tahapan untuk melakukan analisa curah hujan rancangan menggunakan metode distribusi Log Pearson III [5].

1. Merubah data curah hujan n buah $X_1, X_2, \dots, X_n$ menjadi $\text{Log } X_1, \text{Log } X_2, \dots, \text{Log } X_n$

2. Mencari nilai rata-rata

$$\overline{\text{Log } X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{Log } X_i \quad \text{Pers. 1}$$

3. Menghitung standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^2}{(n-1)}} \quad \text{Pers. 2}$$

4. Hitung koefisien kepengcengan

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\text{Log } X_i - \overline{\text{Log } X})^3}{(n-1)(n-2)^3} \quad \text{Pers. 3}$$

5. Menghitung curah hujan rancangan

$$\text{Log } X = \overline{\text{Log } X} + G \cdot S \quad \text{Pers. 4}$$

6. Untuk mendapatkan nilai curah hujan rancangan maka dilakukan perhitungan antilog dari logaritma XT.

Dengan:

X_r : curah hujan rancangan (mm)

$\overline{\text{Log } X}$: rata-rata logaritma dari hujan maksimum tahunan

n : jumlah data

S : standar deviasi

C_s : koefisien kepengcengan

G : koefisien frekuensi (diambil dari tabel untuk harga Cs positif dan Cs negatif)

2.2.5. Uji Kesesuaian Distribusi

Pengujian ini melihat penyimpangan terbesar yang terjadi dalam suatu distribusi dan diselesaikan apakah terjadi penyimpangan yang masih dalam batas statistik yang diperbolehkan atau tidak.

1. Chi-Kuadrat

Pengujian ini berdasarkan dari perbedaan nilai frekuensi harapan dengan ordinat empiris. Dibawah ini merupakan rumus yang bisa dipakai dalam menghitung uji Chi-kuadrat [6]:

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad \text{Pers. 5}$$

Dibawah ini adalah rumus yang dapat digunakan untuk menghitung banyaknya kelas distribusi [7]:

$$k = 1 + 3,22 \log G \quad \text{Pers. 6}$$

Dengan:

X^2 : nilai Chi-Kuadrat terhitung

E_i : frekuensi (banyak pengamatan) yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelas

O_i : frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama

G : jumlah sub kelompok pada satu grup

K : jumlah kelas distribusi

Nilai suatu derajat tertentu untuk nilai X^2 hitung harus lebih kecil dari nilai X^2_{cr} yang biasanya sebesar 5%. Berikut adalah rumus untuk menghitung derajat kebebasan [8]:

$$DK = k - (\alpha + 1) \quad \text{Pers. 7}$$

Dengan:

DK : derajat kebebasan

K : banyaknya kelas

α : banyaknya parameter, untuk Chi-Kuadrat adalah

2. Uji Smirnov - kolmogorov

Cara untuk melakukan pengujiannya yaitu probabilitas tiap data dibandingkan dengan sebaran empiris yang akan dinyatakan dengan Δ dalam sebaran empiris. Pengujian ini dianggap sesuai jika $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$. Berikut adalah rumus untuk mencari Δ_{maks} [9]:

$$\Delta_{maks} = [Pe - Pt] \quad \text{Pers. 8}$$

Dengan:

Δ_{maks} : selisih maksimum antara peluang empiris dan teoritis

Pe : peluang empiris

Pt : peluang teoritis

Δ_{cr} : simpangan kritis

Distribusi akan diterima dengan cara membandingkan antara Δ_{maks} dan Δ_{cr} , dengan hasil perbandingan nilai $\Delta_{maks} < \Delta_{cr}$, dan distribusi akan ditolak jika terjadi sebaliknya.

2.2.6. Distribusi Hujan Jam-jaman

Perhitungan distribusi ini akan memberikan perkiraan seberapa besar hujan yang akan turun setiap jamnya dari total keseluruhan hujan yang turun. Mononobe mengusulkan persamaan sebagai berikut [8].

$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \quad \text{Pers. 9}$$

Dengan:

I_t : Intensitas curah hujan untuk lama hujan t (mm/jam)

t : Lamanya curah hujan (jam)

R_{24} : Curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

2.2.7. Debit Banjir Rancangan

Metode hidrograf satuan sintetis (HSS) Nakayasu adalah metode yang akan digunakan dalam analisa debit banjir rancangan dengan input parameter luas DAS, panjang sungai, dan dengan nilai α yang disesuaikan dengan karakteristik DAS. Dibawah ini akan dijelaskan langkah-langkah bagaimana melakukan analisa HSS Nakayasu[10].

1. Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidograf (*time to peak magnitude*).
2. Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time lag*).
3. Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*).
4. Luas daerah aliran sungai.
5. Panjang alur sungai terpanjang (*length of longest channel*).
6. Koefisien pengaliran (*run-off coefficient*) Berikut merupakan persamaan HSS Nakayasu:

$$Q_p = \frac{C A \times R_0}{3,6 (0,3 T_p + T_{0,3})} \quad \text{Pers. 10}$$

Dengan:

Q_p : debit puncak banjir (m³/detik)

R_0 : hujan satuan

T_p : tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$: waktu yang diperlukan oleh penurunan debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)

CA : luas daerah pengaliran sungai (km²)

Berikut adalah rumus yang digunakan untuk menentukan T_p dan $T_{0,3}$ [10]:

$$T_p = T_g + 0,8 T_r \quad \text{Pers. 11}$$

$$T_{0,3} = \alpha \cdot T_g \quad \text{Pers. 12}$$

Untuk mencari nilai T_g dapat dilakukan berdasarkan ketentuan dibawah ini:

- a. Panjang sungai (L) $\geq$ 15 km

$$T_g = 0,4 + 0,058 L \quad \text{Pers. 13}$$

$$T_{0,3} = 0,6 \cdot T_g \quad \text{Pers. 14}$$

- b. Panjang sungai (L) $\leq$ 15 km

$$T_g = 0,2 L^{0,7} \quad \text{Pers. 15}$$

$$T_r = 0,5 \cdot T_g \quad \text{Pers. 16}$$

Dengan:

T_g : waktu antara hujan sampai puncak debit (jam)

L : panjang sungai

α : parameter hidrograf

: pengaliran biasa $\alpha = 1$

: bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat $\alpha = 1,5$

: bagian menurun hidrograf yang lambat dan bagian naik yang cepat $\alpha = 3$

T_r : satuan waktu dari curah hujan yang besarnya $(0,5 - 1) \times T_g$

Berikut adalah cara untuk melakukan pembagian persamaan hidrograf satuan [10]:

a. Pada waktu naik

$$0 \leq t \leq T_p$$

$$Q_a = Q_p \cdot \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \quad \text{Pers. 17}$$

b. Pada waktu turun

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

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{(t-T_p)/(T_{0,3})} \quad \text{Pers. 18}$$

$$(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t-T_p)+(0,5T_{0,3})]/(1,5T_{0,3})} \quad \text{Pers. 19}$$

$$t \geq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$$

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t-T_p)+(1,5T_{0,3})]/(2T_{0,3})} \quad \text{Pers. 20}$$

Hasil perhitungan hidrograf satuan telah didapatkan, maka perhitungan selanjutnya yaitu melakukan perhitungan debit banjir rancangan yang juga didasarkan atas nilai hujan jam-jaman pada kala ulang tertentu yang sudah dirancang. Berikut adalah persamaan yang akan digunakan [1]:

$$Q_k = U_1 R_i + U_2 R_{i-1} + U_3 R_{i-2} + \dots + U_n R_{n-1} \quad \text{Pers. 21}$$

Dengan:

Q_k : Ordinat hidrograf banjir pada jam ke-k

U_n : Ordinat hidrograf satuan

R_i : Hujan netto pada jam ke-i

B_f : Aliran dasar (*base flow*)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Hidrologi

3.1.1. Analisis Curah Hujan Maksimum Daerah Tahunan

Pengujian konsistensi data telah dilakukan, kemudian langkah selanjutnya yaitu menentukan curah hujan maksimum daerah tahunan. Tiap stasiun hujan memiliki cakupan luasan wilayahnya yang berbeda, dalam hal ini maka untuk menentukan rasio luasan wilayah tiap stasiun hujan menggunakan metode polygon thiessen. Berikut adalah hasil perhitungan rasio luasan menggunakan polygon thiessen.

Gambar 3: Pembagian Luasan Wilayah Menggunakan Metode Polygon Thiessen

Kemudian setelah dilakukan pembagian maka dapat dilakukan perhitungan rasio luasan untuk setiap stasiun hujan. Berikut adalah hasil perhitungan rasio luasan tersebut ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 1: Koefisien Thiessen

Stasiun Hujan	Koefisien Thiessen (Kr)	Stasiun Hujan	Koefisien Thiessen (Kr)
Kraksaan	0,005	Jurangjero	0,058
Pajajaran	0,058	Segaran	0,176
Adibiyo	0,005	Tiris	0,128
Jati Ampuh	0,042	Kertosuko	0,109
Pekalen	0,022	Krucil	0,016
Condong	0,115	Bermi	0,266

Hasil rasio luasan yang didapatkan dengan cara metode polygon thiessen dapat diketahui seberapa besar cakupan wilayah tiap stasiun hujan. Berikut adalah rekapitulasi hujan daerah maksimum tahunan selama 20 tahun.

Tabel 3: Rekapitulasi Curah Hujan Daerah Maksimum Tahunan Pada Tahun 1999 - 2018

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)	Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)
1999	74,8	2009	120,2
2000	145,9	2010	112,7
2001	84,4	2011	97,5
2002	95,3	2012	95,3
2003	63,2	2013	108,2
2004	71,1	2014	95,2
2005	55,1	2015	86,7
2006	87,7	2016	79,4
2007	70,1	2017	74,2
2008	44,5	2018	93,5

3.1.2. Analisa Hujan Rancangan

Metode yang tidak memiliki syarat statistik dalam analisa curah hujan rancangan adalah distribusi frekuensi Log Pearson III. Sehingga dalam erhitungan curah hujan rancangan pada studi ini yaitu menggunakan distribusi frekuensi Log Pearson III dengan kala ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun. Dibawah ini adalah hasil dari analisa perhitungannya.

Tabel 4: Perhitungan Curah Hujan Rancangan Distribusi Log Pearson III

Kala Ulang (Tahun)	Hujan Rancangan (mm)
2	86,34
5	107,12
10	118,70
25	131,49
50	139,93

3.1.3. Uji Kesesuaian Distribusi

Metode yang dapat dilakukan dalam pengujian ini adalah Chi-kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov. Dua metode ini akan melihat penyimpangan terbesar yang terjadi dalam suatu distribusi dan diselesaikan apakah masih dalam batas wajar penyimpangan yang terjadi.

Tabel 5: Uji Kesesuaian Distribusi

Jenis Distribusi	X^2_{hitung}	ΔP_{max}	Uji Chi Square		Uji Smirnov Kolmogorof	
			$\alpha = 1\%$ $X^2_{cr} = 9,21$	$\alpha = 5\%$ $X^2_{cr} = 5,991$	$\alpha = 1\%$ $\Delta P_{kritis} = 0,352$	$\alpha = 5\%$ $\Delta P_{kritis} = 0,294$
Log Pearson	1.000	0,013	diterima	diterima	diterima	diterima

3.1.4. Curah Hujan Jam-jaman

Pada perhitungan kali ini akan dilakukan 5 kala ulang. Dibawah ini adalah hasil dari perhitungan menggunakan metode mononobe.

Tabel 6: Analisa curah hujan jam-jaman metode mononobe

Jam Ke-	Hujan Jam-Jaman (mm/hari)				
	2th	5th	10th	25th	50th
1	23,96	29,73	32,95	36,49	38,84
2	6,23	7,73	8,56	9,49	10,09
3	4,37	5,42	6,01	6,65	7,08
4	3,48	4,32	4,78	5,30	5,64
5	2,94	3,64	4,04	4,47	4,76
6	2,57	3,19	3,53	3,91	4,16
Hujan Efektif (mm/hari)	43,54	54,02	59,87	66,32	70,57

3.1.5. Analisa Debit Banjir Rancangan

Metode hidrograf satuan sintetis (HSS) Nakayasu adalah metode yang digunakan dalam perhitungan ini. Dibawah ini adalah hasil perhitungannya.

Tabel 7: Debit Banjir Rancangan Metode HSS Nakayasu

Tr (tahun)	Qp (m ³ /det)				
	2	5	10	25	50
Qp (m ³ /det)	299,608	371,146	411,025	455,052	484,090

3.2 Pembahasan

3.2.1. Analisis Kapasitas Penampang Sungai Kondisi Eksisting

Analisa ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi *HEC-RAS* dengan simulasi aliran *steady flow* dan menggunakan debit banjir rancangan dengan kala ulang Q50 th. Bagian sungai dibagi menjadi tiga ruas sungai yaitu ruas sungai bagian hulu, tengah dan hilir. Berikut adalah hasil simulasi aliran kondisi eksisting.

Gambar 4: Kondisi eksisting yang mengalami limpasan

Gambar 5: Hasil simulasi HEC-RAS potongan memanjang

Dari gambar 4 dan gambar 5 menunjukkan bahwa terjadi limpasan, rata-rata tinggi limpasan yang terjadi di Kali Pekalen dari ruas sungai hulu, tengah dan hilir adalah setinggi 1,18 m, dan ada sebanyak 163 ruas patok yang mengalami limpasan diruas Kali Pekalen.

3.2.2. Alternatif Penyelesaian Masalah Banjir

Untuk mengatasi masalah banjir yang terjadi salah satu alternatif penyelesaiannya adalah dengan memasang tanggul di ruas kali pekalen, dalam hal ini tanggul yang digunakan adalah jenis tanggul urugan *Concrete Sheet Pile (CCSP)*. Berikut adalah detail desain dari tanggul CCSP [11].

$$\begin{aligned}
 h \text{ (tinggi tanggul)} &= \text{tinggi muka air} + \text{tinggi jagaan} \\
 &= 4,06 + 1 \\
 &= 5,16 \text{ m} \\
 \text{Nilai } NSPT \text{ (asumsi)} &= 11-30 \\
 \text{Klasifikasi (NISP)} &= \text{Sedang} \\
 \text{Kedalaman pemancangan (D)} &= 1,25H \\
 &= 1,25 \times 5,16 \\
 &= 6,45 \text{ m} \\
 \text{Total panjang CCSP} &= h + D \\
 &= 5,16 + 6,45 \\
 &= 11,61 \text{ m} \\
 &\approx 12,00 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan untuk dimensi panjang dari CCSP adalah sebesar 11,61 meter. Kemudian untuk jenis CCSP yang nantinya akan digunakan yaitu mengacu pada katalog PT. Wika Beton (Persero) Tbk. Dalam katalognya tersebut tertulis bahwa dengan dimensi dan panjang yang dibutuhkan maka untuk desain CCSP yang dapat direkomendasikan untuk digunakan adalah tipe W-400 dengan kelas A. Berikut adalah detail data teknis dari CCSP W-400 [12].

$$\begin{aligned}
 \text{Tipe} &= \text{W-400} \\
 \text{Kelas} &= \text{A} \\
 \text{Lebar total} &= 996 \text{ mm} \\
 \text{Luas Cross Section} &= 1598 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Panjang total = 10-18 m

Gambar 6: Detail CCSP W-400

Sumber: Katalog PT. Wika Beton Tbk.

Desain tanggul dan jenis tanggul CCSP yang akan digunakan sudah didapat, selanjutnya adalah mensimulasikan aliran Kali Pekalen dengan menggunakan desain tanggul yang sudah direncanakan.

Gambar 7: Penampang dengan dipasang tanggul CCSP

Desain dari yang telah direncanakan, serta penggunaan jenis tanggul CCSP yang sesuai desain. Dan juga telah disimulasikan menggunakan aplikasi *HEC-RAS* menunjukkan bahwa dari 163 ruas patok yang mengalami limpasan dan dipasangi dengan tanggul CCSP, hasilnya adalah efektif untuk menahan limpasan yang terjadi pada seluruh ruas Kali Pekalen.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa perhitungan hidrologi dan hidrolika yang disimulasikan di *HEC-RAS* 5.0.7. didapat bahwa kemampuan eksisting ruas sungai Pekalen beberapa tidak mampu menerima Q50 th sebesar 484,090 m³/dt. Sehingga mengakibatkan sebanyak 163 ruas patok dari ruas sungai hulu, tengah dan hilir yang mengalami limpasan, dengan total panjang ruas sungai yang mengalami limpasan yait sepanjang 18,847 km. Salah satu alternatif penyelesaian yang efektif dari masalah banjir tersebut adalah dengan memasang tanggul *Concrete Sheet Pile* (CCSP) disetiap ruas patok yang mengalami

limpasan, total CCSP yang dipasang yaitu sebanyak 13903 buah pada ruas sungai yang mengalami banjir.

Daftar Pustaka

- [1] S. Sosrodarsono and M. Tominaga, Perbaikan dan Pengaturan Sungai, Jakarta: Pradnya Paramita, 2008.
- [2] S. Harto, Analisis Hidrologi, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka, 1993.
- [3] L. M. Limantara, Hidrologi Praktis, Bandung: Lubuk Agung, 2010.
- [4] Soemarto, Hidrologi Teknik, Surabaya: Usaha Nasional, 1987.
- [5] Soewarno, Hidrologi Aplikasi Model Statistik untuk Analisa Data, Bandung: NOVA, 1995.
- [6] B. Triatmodjo, Hidrologi Terapan, Yogyakarta: Beta Offset Yogyakarta, 2013.
- [7] A. B. Ulum, D. Priyantoro and A. W. , "Studi Pengendalian Banjir Kali Pekalen Kabupaten Probolinggo," *Jurnal Pengairan*, p. 10, 2015.
- [8] R. S. Indrajayatama, M. S. and V. D. , "Studi Penanganan Teknis Banjir di Das Kali Lamong," *Jurnal Pengairan*, 2020.
- [9] B. S. N. Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana, Jakarta: Badan Standarisasi Nasional, 2016.
- [10] P. R. I. Peraturan Pemerintah Nomor 38 Tentang Sungai, Jakarta, 2011.
- [11] P. W. K. B. T. Brochure Wika Beton, Jakarta, 2019.
- [12] R. "Banjir Bandang Terjang Probolinggo, 1 Orang Tewas dan 1 Orang Meninggal," 11 Desember 2018. [Online]. Available: <https://news.detik.com/berita-jawa-timur/d-4337711/banjir-bandang-terjang-probolinggo-1-warga-tewas-dan-1-hilang>.