

STUDI PENGENDALIAN BANJIR KALI WRATI KABUPATEN PASURUAN

Rizal Arifuddin K.¹, Donny Harisuseno², Very Dermawan²

¹⁾ Mahasiswa Magister Sumber Daya Air, Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya, Malang, Jawa Timur, Indonesia;
rizalarifuddin@gmail.com

²⁾ Dosen Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya Malang.

Abstrak: Kali Wrati merupakan muara dari Kali Sangar, Nyangkring, Pagak dan Bangiltak yang terletak di Kecamatan Beji, Kabupaten Pasuruan, Provinsi Jawa Timur. Banjir yang menggenangi permukiman dan lahan pertanian di daerah aliran Kali Wrati merupakan permasalahan di setiap musim hujan. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui kala ulang banjir yang terjadi serta sistem pengendalian banjir yang bisa dilakukan. Hasil kajian menunjukkan banjir yang terjadi pada Genangan Kali Wrati adalah sebesar 17,294 m³/detik setara dengan debit banjir 25 tahunan. Alternatif pertama untuk sistem pengendalian banjir yang diusulkan berdasarkan hasil analisa dengan bantuan aplikasi *Hydrologic Engineering Centers River Analysis System 4.1* (HEC-RAS 4.1) adalah normalisasi sungai, tanggul dan interkoneksi antara Kali Wrati dan Bangiltak. Interkoneksi kedua sungai dihubungkan dengan dua bendung samping di Patok 125 dan Patok 165 dengan lebar 5 m dan 9 m yang mengalirkan debit 14 m³/detik dan 30 m³/detik. Alternatif kedua untuk menyelesaikan masalah banjir adalah membuat 2 buah *retarding basin*. Kapasitas *retarding basin* adalah sebesar 1.603.425,65 m³ dan 3.201.424,83 m³.

Kata Kunci: pengendalian banjir, sungai, interkoneksi, *retarding basin*, HEC-RAS

Abstract: *Wrati River is a collector of Sangar River, Nyangkring River, Pagak River, and Bangiltak River, that located in Beji Sub Regency, Pasuruan Regency, East Java Province. Inundation in settlement and agricultural areas that caused by flood from Wrati River is a problem that occurs every rainy season. This study aims to determine the return period of flood and the alternative of flood control system. Result of the study shows that the amount of Wrati River's flood is 17,294 m³/s equal to return period 25-year flood discharge. The first alternative of flood control system by using Hydrologic Engineering Centers River Analysis System 4.1 (HEC-RAS 4.1) are river normalization and dyke construction that is combined with interconnection between Wrati River and Bangiltak River. Interconnection are connected by two side weirs in Stations 125 and Stations 165 with 5-m-wide and 9-m-wide, which discharge capacity are 14 m³/s and 30 m³/s. The second alternative of flood control system is constructing two retarding basins. Capacity of the retarding basins are 1.603.425,65 m³ and 3.201.424,83 m³.*

Keyword: *flood control, river, interconnection, retarding basin, HEC-RAS*

DAS Kali Wrati membelah Kecamatan Beji dan letak sungai berada di antara permukiman dan persawahan, hal tersebut membuat Kali Wrati menjadi salah satu sungai penting di Kabupaten Pasuruan. Namun sungai ini mempunyai permasalahan banjir. Hampir setiap tahun dimusim penghujan terjadi banjir pada Kali Wrati yang disertai gerusan tebing dan putusnya tanggul di beberapa tempat yang mengakibatkan timbulnya genangan banjir di beberapa tempat di wilayah Kabupaten Pasuruan yang mengganggu kegiatan perekonomian daerah tersebut. Banjir yang terparah terjadi di wilayah Kecamatan Beji.

Baru-baru ini, 16 Maret 2013 banjir kembali menerjang dengan lama banjir mencapai 3 hari. Selama musim penghujan, warga Desa Kedungringin di Kecamatan Beji Kabupaten Pasuruan 2 kali mengalami banjir. Akibatnya 600 kepala keluarga terdampak luapan banjir Sungai Wrati yang bertemu dengan Sungai Kedunglarangan. (<http://www.detik.com>).

Kali Wrati merupakan bermuaranya Kali Sangar, Nyangkring, Pagak serta Bangiltak. Dengan bermuaranya sungai tersebut otomatis Kali Wrati juga sebagai saluran kolektor anak sungai. Permasalahan timbul karena di hilir Kali Wrati adalah Kali Kedung

Larangan, yang jika terjadi debit maksimum pada Kali Kedung Larangan, maka air pada Kali Wrati tidak bisa bebas mengalir ke Kali Kedung Larangan, sehingga air menggenang pada pertemuan sungai tersebut.

Berdasarkan PP No. 38 Tahun 2011 yang mengatur tentang sungai, menjelaskan bahwa pengelolaan sumber daya air adalah upaya merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi penyelenggaraan konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, dan pengendalian daya rusak air. Oleh karena itu, permasalahan banjir pada Kali Wrati perlu mendapat perhatian dan sebagai langkah konkrit adalah dilakukan kajian terhadap penyebab dan alternatif penyelesaian banjir tersebut.

Sasaran utama kajian ini adalah menganalisis kala ulang kejadian banjir yang pernah terjadi di Kali Wrati, upaya-upaya pengendalian banjir yang bisa dilakukan pada sungai tersebut serta besarnya biaya yang dikeluarkan untuk pembangunan pengendalian banjir di Kali Wrati.

Manfaat dari dilakukannya studi ini adalah mendapatkan upaya dalam menanggulangi banjir serta mengetahui biaya konstruksi yang dikeluarkan dalam upaya pengendalian banjir Kali Wrati di tinjau dari segi teknis.

METODE PENELITIAN

Secara administrasi Kali Wrati berada pada Kabupaten Pasuruan Propinsi Jawa Timur. Secara Geografis Kabupaten Pasuruan terletak pada 112° 33' 55" hingga 113° 30' 37" Bujur Timur dan antara 7° 32' 34" hingga 8° 30' 20" Lintang Selatan.

Pengumpulan data

Data-data yang digunakan untuk kajian ini adalah sebagai berikut: data hidrologi, data yang dibutuhkan adalah data hujan harian selama 14 tahun terakhir (tahun 1999 sampai dengan tahun 2012). Data hujan digunakan untuk Analisis debit banjir.

Peta rupa bumi mencakup Daerah Aliran Sungai Kali Wrati yang dikeluarkan oleh Bakosurtanal. Peta rupa bumi digunakan sebagai dasar untuk penentuan luas Daerah Aliran Sungai dan sistem sungai. Peta tata guna lahan, digunakan untuk menentukan limpasan yang mengakibatkan banjir pada Sungai Wrati.

Data pengukuran penampang sungai (*cross section*) digunakan untuk analisis kapasitas sungai. Data genangan banjir yang digunakan untuk pendekatan analisis kala ulang banjir yang pernah terjadi di Kali Wrati.

Data tinggi genangan, topografi dan peta genangan banjir untuk menganalisis volume banjir yang pernah terjadi. Dilakukan analisis ini dengan harapan perencanaan yang dilakukan mendekati keadaan sebenarnya.

Metodologi

Hujan daerah metode rata-rata aljabar. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungan hujan kawasan karena di dasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Cara ini cocok untuk kawasan dengan topografi rata atau datar, alat penakar tersebar merata, dan harga individual curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya. Curah hujan rerata daerah diperoleh dari persamaan (Suri-pin, 2004):

$$P = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n}$$

Dengan $P_1, P_2, \dots, P_n$ merupakan curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, 3, ..., n dan n adalah banyaknya pos penakar hujan.

Curah Hujan Rancangan Metode Log Person Type III. Perhitungan curah hujan rancangan dalam kajian ini menggunakan metode Log Pearson Type III, dengan persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995):

$$\text{Log } X = \overline{\text{Log } X} + k (\overline{S \text{Log } X})$$

dengan:

$\text{Log } X$ = nilai logaritma curah hujan rencana

$\overline{\text{Log } X}$ = nilai rata-rata logaritma dari curah hujan maksimum tahunan

$\overline{S \text{Log } X}$ = nilai deviasi standar dari $\text{Log } X$

k = karakteristik dari distribusi Log Pearson Type III

Uji keseuaian distribusi frekwensi. Pemeriksaan uji kesesuaian dapat dilakukan dengan uji *Chi Square* dan uji *Smirnov Kolmogorov* (Soewarno, 1995).

Uji Chi Square. Dapat dihitung dengan persamaan (Soewarno, 1995):

$$\chi_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

dengan:

χ_h^2 = parameter chi-kuadrat terhitung

G = jumlah sub-kelompok

O_i = jumlah nilai pengamatan sub-kelompok ke i

E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke i

Uji Smirnov Kolmogorov. Digunakan untuk menguji kesesuaian distribusi secara horizontal dari probabilitas. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan probabilitas tiap data antara sebaran empiris dengan sebaran teoritis. Rumus yang digunakan adalah (Soewarno, 1995):

$$D = \max |P(X_m) - P'(X_m)|$$

dengan:

D = selisih terbesar antara peluang pengamatan dan peluang teoritis

P(X_m) = peluang pengamatan

P'(X_m) = peluang teoritis dari persamaan distribusi yang dipakai.

Koefisien Pengaliran. Koefisien pengaliran atau sering disingkat C adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya air yang melimpas terhadap besarnya curah hujan. Angka koefisien pengaliran ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan apakah suatu DAS telah mengalami gangguan (fisik) (Asdak, 2001). Apabila tata guna lahan suatu daerah termasuk campuran, maka nilai tetapan C harus diberi bobot (*weighted*) untuk memperoleh nilai rata-rata tertimbang (Asdak, 2001):

$$C_{\text{tertimbang}} = \sum_{i=1}^n \frac{A_i \cdot C_i}{A_i}$$

Intensitas Hujan. Penentuan besarnya sebaran hujan jam-jaman dapat secara langsung diamati dilapangan melalui alat. Das Kali Wraati tidak terdapat alat penakar hujan otomatis, sehingga data hujan jam-jaman diambil dari stasiun terdekat yaitu stasiun BMKG Tretes II.

Curah hujan efektif. Hujan efektif adalah bagian hujan total yang menghasilkan limpasan langsung (*direct run-off*). Besarnya curah hujan efektif dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$R_n = C \cdot I$$

dengan:

R_n = hujan efektif (mm/hari)

C = koefisien pengaliran

I = Intensitas curah hujan (mm/hari)

Debit banjir rancangan. Pada kajian ini debit banjir di hitung dengan menggunakan metode hidrograf satuan sintetis Nakayasu. Nakayasu menurunkan rumus hidrograf satuan sintetis berdasarkan hasil pengamatan dan penelitian pada beberapa sungai. Besarnya nilai debit puncak hidrograf satuan dihitung dengan rumus (Soemarto, 1987):

$$Q_p = \frac{A \cdot R_o}{3,6 \cdot (0,3 T_p + T_{0,3})}$$

dengan:

Q_p = debit puncak banjir (m³/det)

A = luas daerah aliran sungai (sampai ke *outlet*) (km²)

R_o = curah hujan satuan (mm)

T_p = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf satuan (jam)

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

Analisis Profil Aliran. Analisis profil aliran dalam kajian ini menggunakan bantuan program Hec-Ras 4.1. Perhitungan pada program ini berdasarkan pada penyelesaian persamaan aliran satu dimensi melalui saluran terbuka. Persamaan energi digunakan sebagai dasar perhitungan untuk aliran *steady* dalam saluran terbuka, diberikan oleh persamaan berikut ini (Chow, 1997):

$$y_1 + \alpha \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = y_2 + \alpha \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + h_f + h_e$$

dengan:

g = percepatan gravitasi (m/det²)

h_f = kehilangan tinggi akibat gesekan (m)

h_e = kehilangan tinggi akibat perubahan penampang (m)

V = kecepatan rerata (m/detik)

α = koefisien energi

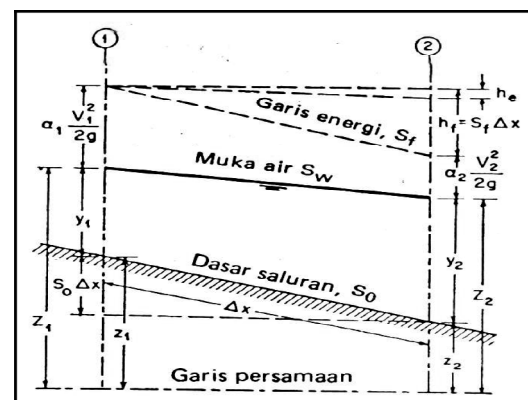
S_o = kemiringan dasar

S_f = Kemiringan gesek

z = ketinggian air dari datum (m)

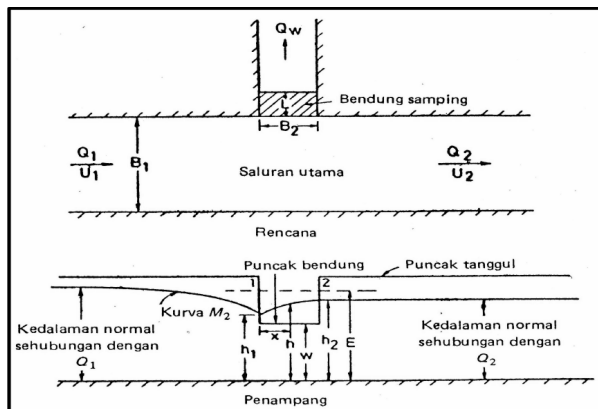
y = kedalaman air (m)

Sketsa persamaan energi di saluran terbuka ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Energi dalam Saluran Terbuka

Debit melalui bendung samping. Bendung samping adalah suatu cara yang cukup umum dalam penuangan kelebihan aliran dalam sistem penyaluran air. Dalam teknik irigasi, perencanaan bendung samping dengan puncak lebar digunakan sebagai bangunan sadap utama dari saluran sekunder dan pembuang (Raju, 1986). Ilustrasi perencanaan bendung samping ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Perencanaan Bendung Samping Dengan Puncak Lebar, Mengalirkan Ke Dalam Saluran, Dipasang Sudut Siku Terhadap Saluran Utama (Raju, 1986).

Suatu bendung samping yang dipasang pada saluran empat persegi, dapat dirumuskan (Raju, 1986):

$$E = h + \frac{Q^2}{2gB^2h^2}$$

Menentukan dimensi lebar bendung samping digunakan persamaan:

$$B_2 = \frac{3}{2} \frac{B_1}{C} (\phi_2 - \phi_1)$$

$$\phi = \frac{2E - 3W}{E - W} \sqrt{\frac{E - h}{h - W}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E - h}{h - W}}$$

dengan:

E = energi spesifik aliran (m)

h = kedalaman aliran (m)

Q = debit (m³/det)

g = percepatan gravitasi (m/det²)

B = lebar dasar saluran (m)

W = tinggi pelimpah (m)

Boezem atau *retarding basin*. *Boezem* atau *retarding basin* merupakan suatu usaha pengendalian banjir yang sekaligus bertujuan memaksimalkan daerah resapan air dalam suatu DAS. Konsep pemecahan masalah banjir dengan *retarding basin* pada dasarnya adalah meningkatkan nilai rasio badan perairan dalam suatu kawasan sehingga waktu tinggal

air di daratan relatif lebih lama serta meningkatkan kapasitas *recharge aquifer* (sumber: www.opi.lipi.go.id/ ; 11 Maret 2012).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Curah Hujan Daerah

Kali Wрати mempunyai luas DAS kurang Lebih 76,302 km² untuk menentukan hujan daerah menggunakan rata-rata aljabar, karena daerah dengan luas DAS kurang dari 500 km² hujan daerahnya bisa menggunakan rata-rata aljabar (Suripin, 2004). Berikut langkah-langkah mendapatkan hujan daerah dengan metode rata-rata aljabar: (a) Mencatat hujan harian maksimum tahunan pada satu stasiun hujan dan mencatat tinggi hujan harian di stasiun lain di waktu yang sama; (b) Mengulang proses yang sama namun dengan stasiun yang berbeda sehingga tercatat hujan harian maksimum tahunan pada semua stasiun hujan; (c) Merata-rata hujan di tanggal yang sama; (d) Memilih data hujan yang paling maksimum sebagai hujan harian daerah maksimum tahunan.

Dalam kajian ini menggunakan data hujan selama 14 tahun dari tahun 1999 sampai tahun 2012. Curah hujan daerah DAS Kali Wрати ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Curah Hujan Daerah DAS Kali Wрати

No.	Tahun	Rn (mm)
1	2005	63,86
2	2011	68,00
3	2002	70,29
4	2004	72,57
5	2006	73,71
6	1999	75,43
7	2008	83,86
8	2007	84,29
9	2009	90,71
10	2012	91,71
11	2000	94,00
12	2003	95,14
13	2001	97,86
14	2010	109,71

Sumber: hasil analisis

Curah Hujan Rancangan Metode Log Person Type III

Metode yang digunakan dalam kajian ini adalah Log Pearson Tipe III dengan pertimbangan bahwa distribusi ini lebih fleksibel karena tidak mempunyai batasan keofisien kepencengan (*skewness*) maupun koefisien puncak (*kurtosis*). Hasil analisis curah hujan rancangan ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Curah Hujan Rancangan

Tr (tahun)	P _{Tr} (%)	X _T (mm)
2	50	82,61
5	20	94,59
10	10	101,57
20	5	108,21
25	4	109,59
50	2	115,12
100	1	120,34
200	0,5	125,35

Sumber: hasil analisis

Uji Kesesuaian Distribusi Frekwensi

Ada dua uji yang bisa dilakukan dalam hal ini yaitu uji Smirnov-Kolmogorov atau Uji Chi Square (Limantara, 2010).

Uji Smirnov-Kolmogorov. Uji Smirnov-Kolmogorov merupakan pengujian terhadap penyimpangan data kearah horizontal. Uji ini sering disebut uji kecocokan *non-parametric*. Analisis pengujian Smirnov-Kolmogorov ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Uji Smirnov-Kolmogorov

α (%)	D kritis	D max	Keterangan
1	0,4180	0,1072	Diterima
5	0,3490	0,1072	Diterima
10	0,3140	0,1072	Diterima
15	0,2920	0,1072	Diterima

Sumber: hasil analisis

Uji Chi Square. Seperti halnya uji Smirnov-Kolmogorov, uji Chi-Square juga digunakan untuk uji kesesuaian distribusi. Hasil analisis uji Chi Square ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Uji Chi Square

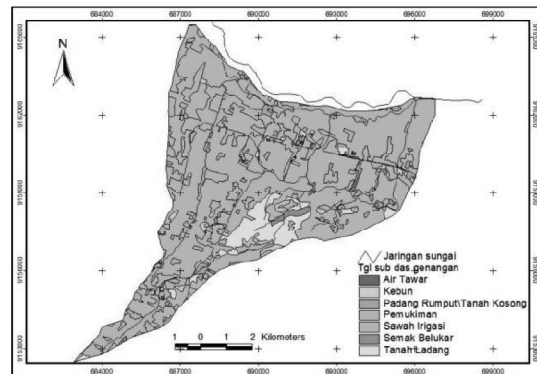
No	Batas Kelas	Jumlah Data		OF-EF	(OF-EF) ² /EF
		OF	EF		
1	2	3	4	5	6
1	0,0 - 72,2	3	2,8	0,2	0,0
2	72,2 - 79,0	3	2,8	0,2	0,0
3	79,0 - 86,4	2	2,8	-0,8	0,2
4	86,4 - 94,6	3	2,8	0,2	0,0
5	94,6 - ~	3	2,8	0,2	0,0
Jumlah		14	14,0		0,3

Sumber: hasil analisis

Dengan derajat bebas (dk) = 1, dan derajat kepercayaan (α) = 5 %, didapat $\chi^2_{cr} = 3,841 > \chi^2_{hitung}$ maka distribusi diterima.

Analisis Kala Ulang Kejadian Banjir

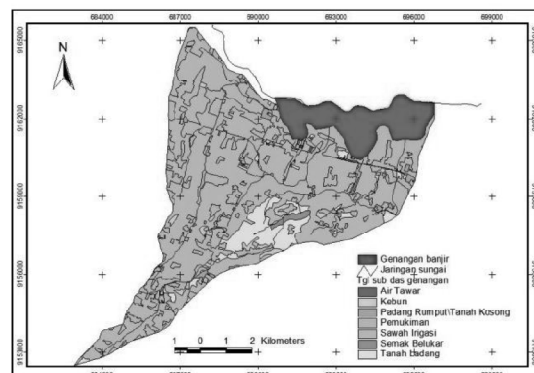
Menganalisis tahun kala ulang banjir, dimulai dengan mendapatkan peta genangan banjir dan diplotkan pada peta bakosurtanal. Proses selanjutnya adalah: menentukan batas DAS dari genangan yang terjadi, dengan lokasi genangan paling hilir sungai merupakan titik *outlet* dari Sub DAS tersebut. Sub DAS baru selanjutnya dinamakan Sub DAS Genangan Kali Wrati. Sub DAS Genangan Kali Wrati ditampilkan Gambar 3.



Gambar 3. Peta Tata Guna Lahan Sub DAS Genangan Kali Wrati.

Tata guna lahan pada Sub DAS Genangan Kali Wrati merupakan tata guna lahan campuran. Apabila tata guna lahan suatu daerah termasuk tata guna lahan campuran, maka nilai C harus diberi bobot (*weighted*) untuk memperoleh nilai rata-rata tertimbang (Asdak, 2001). Nilai C gabungan Sub DAS Genangan Kali Wrati adalah 0,58.

Menentukan volume genangan berdasarkan peta genangan banjir yang sudah diplotkan pada peta topografi. Peta genangan Kali Wrati ditampilkan pada Gambar 4. Cara menghitung volume genangan adalah menghitung luasan kontur dengan prinsip perhitungan trapesium, semakin detail interval kontur maka semakin baik hasil perhitungannya. Berdasarkan analisis volume genangan, didapatkan volume genangan 5.428.688,43 m³.



Gambar 4. Peta Genangan Kali Wrati.

Menghitung debit banjir rancangan pada Sub DAS Genangan Kali Wрати dengan berbagai kala ulang. Debit banjir rancangan Sub DAS Genangan Kali Wрати ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Debit Banjir Rancangan Sub DAS Genangan Kali Wрати

No	Kala Ulang (tahun)	Debit banjir (m ³ /dt)
1	5	145,204
2	10	155,733
3	25	167,851
4	50	176,204
5	100	184,086

Sumber: Hasil analisis

Menghitung debit banjir yang pernah terjadi, dengan cara membagi volume genangan dengan waktu banjir. Berdasarkan hasil survei di lapangan, genangan yang pernah terjadi pada elevasi + 3 meter. Pada elevasi tersebut, didapat volume genangan banjir mencapai 5.428.688,43 m³. Daerah yang tergenang banjir diasumsikan sebesar 86,38 % dari lahan keseluruhan yang tergenang. Hasil tersebut nantinya dikurangkan dengan kapasitas sungai eksisting, sehingga volume air dapat dihitung dengan pendekatan:

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= (\text{genangan total} \times \text{prosentase daerah tergenang}) - \text{kapasitas sungai} \\ &= (5.428.688,43 \text{ m}^3 \times 86,38 \%) - 206.572,93 \text{ m}^3 \\ &= 4.482.599,27 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Besarnya debit banjir:

$$\begin{aligned} Q &= \text{volume air} / \text{lama genangan} \\ &= 4.482.599,27 \text{ m}^3 / 24 \times 60 \times 60 \times 3 \\ &= 17,294 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Menghitung debit banjir pada genangan. Debit banjir ini didapat dengan metode perbandingan DAS. DAS yang digunakan sebagai pembanding adalah Sub DAS Genangan Kali Wрати, mengingat genangan tersebut merupakan bagian dari sistem yang ada pada Sub DAS Genangan Kali Wрати.

Metode yang digunakan pada perbandingan DAS, adalah Metode Rasional (Limantara, 2010).

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{C_1 \times I_1 \times A_1}{C_2 \times I_2 \times A_2}$$

dengan:

$$Q_1 = \text{Debit Sub DAS Genangan Kali Wрати (m}^3/\text{det)}$$

$$Q_2 = \text{Debit Genangan Kali Wрати (m}^3/\text{detik)}$$

$$C_1 = \text{Koefisien limpasan Sub DAS Genangan Kali Wрати (C = 0,58)}.$$

$$C_2 = \text{Koefisien limpasan Genangan Kali Wрати (C = 0,54)}.$$

$$I_1 = \text{Intensitas hujan Sub DAS Genangan Kali Wрати (mm/jam)}$$

$$I_2 = \text{Intensitas hujan Genangan Kali Wрати (mm/jam)}$$

$$A_1 = \text{Luas Sub DAS Genangan Kali Wрати (km}^2\text{)}$$

$$A_2 = \text{Luas Genangan Kali Wрати (km}^2\text{)}$$

Karena kedua lokasi merupakan bagian dari DAS Kali Wрати, maka besarnya intensitas hujan dianggap sama sehingga persamaannya menjadi:

$$\begin{aligned} \frac{Q_1}{Q_2} &= \frac{C_1 \times A_1}{C_2 \times A_2} \\ \frac{Q_1}{Q_2} &= \frac{0,58 \times 65,803}{0,54 \times 7,473} \\ \frac{Q_1}{Q_2} &= 9,424 \\ Q_2 &= 0,106 Q_1 \end{aligned}$$

Sehingga dengan perbandingan tersebut bisa diketahui debit banjir yang terjadi pada genangan Kali Wрати dengan berbagai kala ulang. Debit banjir genangan Kali Wрати berdasarkan perbandingan DAS ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Debit Banjir Berdasarkan Perbandingan DAS

No	Tr (tahun)	Q1 (m ³ /det)	Q2 (m ³ /det)
1	5	145,204	15,408
2	10	155,733	16,525
3	25	167,851	17,811
4	50	176,204	18,697
5	100	184,086	19,533

Sumber: hasil analisis

Menentukan kala ulang kejadian banjir dengan membandingkan antara debit banjir hasil dari perbandingan DAS dengan perhitungan debit banjir yang pernah terjadi. Berdasarkan Tabel 6. kala ulang banjir yang mendekati atau menyamai debit sebesar 17,294 m³/detik adalah kala ulang 25 tahun. Sehingga dalam kajian ini, debit banjir yang digunakan dalam perencanaan adalah debit banjir dengan kala ulang 25 tahun. Sehingga untuk analisis debit banjir yang dilakukan pada Sub DAS lain memakai kala ulang yang sama dengan Sub DAS Genangan Kali Wрати.

Debit Banjir Rancangan pada Sub DAS di Kali Wrati

Kali Wrati terdiri dari 4 Sub DAS utama yaitu Sub DAS Kali Sangar, Kali Nyangkring, Kali Pagak dan Kali Bangiltak. Kali Bangiltak pada awal perencanaan merupakan pembagi beban Kali Porong, namun pada kenyataannya tidak pernah ada aliran air dari Kali Porong sehingga Kali Bangiltak merupakan kali mati. Berdasarkan penelusuran lapangan ternyata pada hulu Kali Bangiltak sudah ditutup dan menjadi jalan pelintas sehingga air dari Kali Porong tidak pernah mengalir. Sehingga untuk kajian ini Kali Bangiltak dianggap sebagai Sub DAS yang menyumbangkan debitnya ke Kali Wrati.

Tata guna lahan pada Sub DAS di Kali Wrati adalah campuran, berdasarkan peta tata guna lahan didapat nilai C untuk Sub DAS Sangar adalah 0,53, Nyangkring 0,572, Pagak 0,552 dan Bangiltak 0,61. Maka besarnya debit banjir 25 tahunan pada masing-masing Sub DAS di Kali Wrati ditampilkan pada Tabel 7.

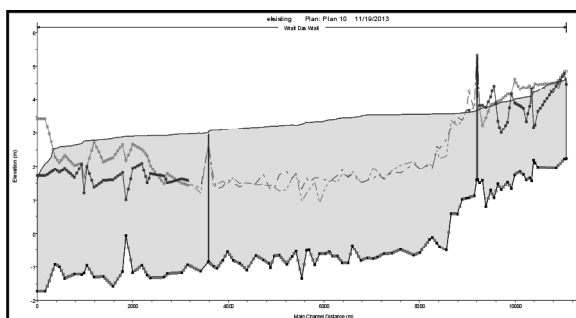
Tabel 7. Debit Banjir Sub DAS Kali Wrati

No.	Sub DAS	Q ₂₅ Tahunan (m ³ /det)
1	Sangar	28,66
2	Nyangkring	49,73
3	Pagak	52,99
4	Bangiltak	16,25

Sumber: hasil analisis

Analisis profil muka air eksisting

Analisis profil muka air dilakukan pada kondisi eksisting terlebih dahulu. Berdasarkan hasil analisis Hec-Ras 4.1., debit banjir dengan kala ulang 25 tahunan membuat Kali Wrati mengalami luberan. Luberan terjadi pada sebagian besar penampang sungai. Profil muka air kondisi eksisting Kali Wrati untuk lebih jelasnya dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Profil Muka Air Kondisi Eksisting.

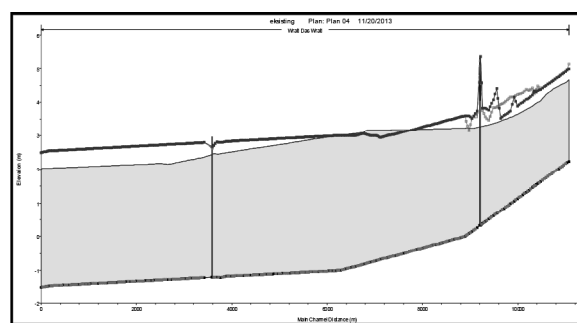
Normalisasi sungai

Normalisasi sungai yang dimaksud adalah dengan melakukan perbaikan penampang sungai yang sempit. Bentuk penampang sungai direncanakan trapesium berganda agar lereng sungai lebih stabil terhadap kelongsoran. Rencana perbaikan alur sungai dimulai dari P 122, karena antara P 122 dan P 125 merupakan outlet dari Sub DAS Sangar. Hulu Kali Wrati P 63 sampai P 120 sebenarnya masih mampu menampung debit banjir karena terdapat pasangan dan parapet eksisting. Normalisasi sungai diawali dari P 122.

Lebar sungai yang masih memungkinkan dilakukan normalisasi adalah 14 meter, sehingga pada P 122 sampai P 253 lebar sungai direncanakan 14 meter. Kali Wrati dan Kali Bangiltak letaknya berhimpitan namun tidak bertemu, kedua Kali tersebut bertemu pada patok WR 2. Patok BT 51 merupakan penampang melintang sungai setelah P 253, direncanakan menggabungkan Kali Wrati dengan Kali Bangiltak untuk memperbesar kapasitas sungai.

Kali Wrati dibagi 3 segmen untuk menganalisis profil muka air. Segmen pertama antara P 63 sampai P 165, kedua P 165 sampai BT 51 dan segmen ketiga BT 51 sampai hilir (WR 9A). Debit segmen 1 adalah debit banjir Sub DAS Sangar sebesar 26,88 m³/det, sedangkan segmen 2 adalah penjumlahan debit pada segmen 1 dengan Sub DAS Nyangkring sebesar 78,39 m³/det. Segmen ketiga merupakan penjumlahan debit banjir semua anak sungai sebesar 147,63 m³/det.

Berdasarkan hasil analisis, normalisasi sungai saja tidak mampu mengendalikan banjir, Profil muka air kondisi normalisasi ditampilkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Profil Muka Air pada Kondisi Normalisasi.

Interkoneksi Kali Wrati dan Bangiltak

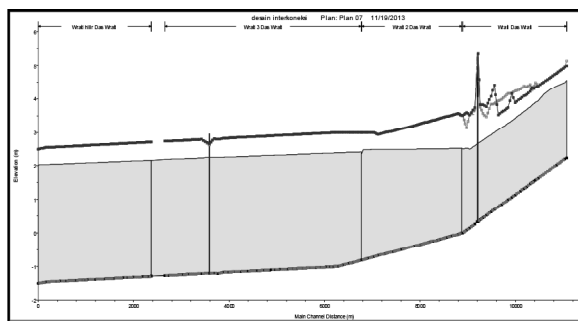
Kali Wrati pada kondisi normalisasi masih mengalami luberan pada beberapa lokasi. Upaya untuk menurunkan elevasi banjir adalah dengan melakukan

interkoneksi antara Kali Wrati dan Kali Bangiltak. Kali Bangiltak yang merupakan sungai mati akan digunakan untuk menampung sementara debit air dari Kali Wrati. Kedua sungai tersebut dihubungkan dengan membuat bendung samping.

Bendung Samping pertama terletak pada P 125. Debit pada penampang ini adalah $28,66 \text{ m}^3/\text{detik}$. Bendung samping direncanakan mengalirkan debit sebesar $14,00 \text{ m}^3/\text{detik}$ sehingga didapat lebar bendung samping adalah 5,00 meter.

Bendung samping kedua direncanakan pada P 165, karena pada penampang tersebut bermuaranya Kali Nyangkring dengan debit puncak Q_{25} adalah sebesar $34,90 \text{ m}^3/\text{detik}$ ditambahkan juga dari limbah debit sisa di P 125 sebesar $14,66 \text{ m}^3/\text{det}$, sehingga pada P 165 debitnya mencapai $64,39 \text{ m}^3/\text{det}$. Bendung samping direncanakan mengalirkan debit sebesar $30,00 \text{ m}^3/\text{detik}$ sehingga didapat lebar bendung samping adalah 9,00 meter.

Hasil analisis profil muka air menunjukkan interkoneksi sungai berhasil menyelesaikan permasalahan banjir. Profil muka air rencana interkoneksi Kali Wrati dengan Kali Bangiltak ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Profil Muka Air Rencana Interkoneksi Sungai.

Patok P 234 Jembatan Kedung Bendo pada kondisi eksisting mengalami luberan dengan elevasi + 3,02 m, setelah dilakukan normalisasi, penanggulangan, serta interkoneksi sungai, elevasi banjirnya menurun 77 cm menjadi +2,25 meter.

Retarding Basin

Interkoneksi Kali Wrati dan Kali Bangiltak bukan merupakan satu-satunya solusi untuk menyelesaikan permasalahan banjir di Kali Wrati. Solusi lain pengendalian banjir untuk Kali Wrati adalah dibuatkannya *boezem* atau *retarding basin*. Terdapat dua lokasi yang potensial untuk dibuatkan *retarding basin*, pertama pada Kelurahan Balongrejo dan kedua pada Kelurahan Pagak. Kedua lahan tersebut adalah sawah yang hanya panen sekali dalam setahun, ka-

rena lokasi sawah tersebut merupakan daerah genangan banjir Kali Wrati sehingga tiap kali terjadi banjir sawah tersebut selalu terendam.

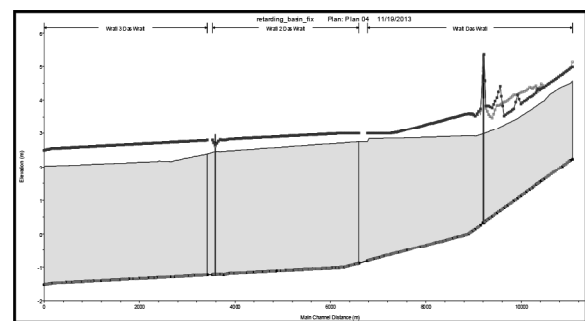
Kapasitas *retarding basin* pertama mencapai $1.603.425,65 \text{ m}^3$ dengan luas genangan 33,208 ha dan *retarding basin* kedua mempunyai kapasitas $3.201.424,83 \text{ m}^3$ dengan luas genangan 65,657 ha. Kedua *retarding basin* tersebut ditanggul pada elevasi + 3,0 m dengan kemiringan lereng 1 : 2 dan elevasi dasar -2 m. Kedua *retarding basin* tersebut dibuat berhubungan untuk memaksimalkan reduksi banjir. Adapun ilustrasi lokasi *retarding basin* ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Ilustrasi Lokasi Retarding Basin.

Banjir yang melewati Kali Wrati dikurangi dengan adanya *retarding basin*. Debit yang masuk ke *retarding basin* melewati bendung samping. Bendung samping direncanakan terletak pada P 165. Debit Banjir Pada lokasi tersebut adalah debit dari Sub DAS Sangar $28,66 \text{ m}^3/\text{det}$ ditambah Sub DAS Nyangkring $49,73 \text{ m}^3/\text{det}$. Bendung samping direncanakan mengalirkan debit sebesar $25,00 \text{ m}^3/\text{detik}$, artinya debit yang berada di Kali Wrati setelah adanya bendung samping adalah $53,39 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Berdasarkan analisis profil muka air, ternyata perencanaan *retarding basin* sukses mereduksi elevasi banjir. Analisis profil muka air rencana pada perencanaan *retarding basin* ditampilkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Profil Muka Air Rencana pada Perencanaan Retarding basin.

Jembatan Kedung Bendo pada kondisi eksisting terjadi luberan dengan elevasi + 3,02 meter, setelah dilakukan normalisasi, penanggulan, serta direncanakan *retarding basin* elevasi banjirnya menurun 57 cm menjadi +2,45 m.

Pemilihan Alternatif Pengendalian Banjir

Pemilihan alternatif pengendalian banjir pada kajian ini berdasarkan beberapa faktor antara lain: (a) Pertimbangan pertama adalah luasnya lahan. Sistem *retarding basin*, meskipun bisa mereduksi banjir tetapi sistem ini memerlukan daerah yang luas untuk pembebasan lahannya, *retarding basin* pertama dengan volume genangan mencapai 1,603 juta m³ memerlukan lahan seluas 33,208 ha dan *retarding basin* kedua mempunyai kapasitas 3,201 juta m³ memerlukan lahan seluas 65,657 ha sedangkan pada interkoneksi Kali Wrati dan Bangiltak tidak memerlukan daerah yang luas untuk pembebasan lahannya karena Kali Bangiltak sendiri kapasitasnya besar sehingga mampu menampung kelebihan air dari Kali Wrati; (b) Pertimbangan kedua adalah reduksi banjir yang diberikan oleh kedua sistem tersebut, dibandingkan sistem *retarding basin* atau *boezem*, interkoneksi Kali Wrati dan Bangiltak memberikan penurunan elevasi banjir yang lebih besar dengan penurunan banjir rata-rata mencapai 0,796 meter sedangkan pada sistem *retarding basin* mampu menurunkan elevasi banjir rata-rata 0,599 m.

Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya dalam kajian ini hanya menghitung biaya konstruksi. Biaya ini berupa kisaran dalam menaksir besarnya biaya yang dikeluarkan untuk pengendalian banjir Kali Wrati. Rencana anggaran biaya pengendalian banjir Kali Wrati ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rencana Anggaran Biaya Pengendalian Banjir Kali Wrati Kabupaten Pasuruan.

No.	Uraian Pekerjaan	Sat	Kuantitas	Harga Satuan (Rp)	Harga Pekerjaan (Rp)
a	b	c	d	e	f = (d x e)
I	PEKERJAAN TANAH				
1	Pekerjaan Galian				
	Galian tanah biasa dengan excavator	m ³	464.902,10	7.590,00	3.528.607.000,00
2	Pekerjaan Timbunan				
	Timbunan tanah dari hasil galian (Mekanis)	m ³	284.224,08	7.090,00	2.015.149.000,00
II	PEKERJAAN PASANGAN				
1	Pasangan batu belah dengan spesi 1 pc : 4 Ps	m ²	310,59	764.090,00	237.320.000,00
2	Plesiran tebal 1,5 cm dengan spesi 1 pc : 3 Ps	m ²	419,92	53.200,00	22.340.000,00
	Jumlah Harga Pekerjaan				5.803.416.000,00

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi pengendalian banjir Kali Wrati Kabupaten Pasuruan dapat disimpulkan sebagai berikut.

Berdasarkan hasil kajian, volume banjir yang terjadi di genangan Kali Wrati adalah sebesar 4.482.599,27 m³. Volume banjir tersebut setara dengan debit 17,294 m³/detik. Kala ulang debit banjir rancangan didapat dengan membandingkan debit banjir genangan Kali Wrati dengan Sub DAS Genangan Kali Wrati. Debit banjir genangan Kali Wrati hasil perbandingan dengan Sub DAS Genangan Kali Wrati yang menyamai debit 17,294 m³/detik yaitu sebesar 17,811 m³/detik dengan kala ulang 25 tahunan, sehingga perhitungan debit banjir rancangan yang dihitung dalam kajian ini digunakan kala ulang 25 tahunan.

Banjir di Kali Wrati bisa diselesaikan dengan sedikitnya dua solusi. (a) Solusi pertama adalah membuat interkoneksi antara Kali Wrati dan Kali Bangiltak. Kedua sungai tersebut dihubungkan dengan membuat pelimpah samping. Bendung samping pertama berada pada patok P 125, dengan lebar 5 meter mampu mengalirkan debit 14 m³/detik. Bendung samping kedua terletak pada P 165, direncanakan mengalirkan debit 30 m³/detik sehingga didapatkan lebar rencana 9 meter. Sistem interkoneksi Kali Wrati dan Kali Bangiltak ini memberikan penurunan elevasi banjir rata-rata mencapai 0,797 meter; (b) *Retarding basin* merupakan solusi kedua untuk menurunkan elevasi banjir. Terdapat dua lokasi yang potensial untuk dibuatkan *retarding basin*, pertama pada Kelurahan Balongrejo dan kedua pada Kelurahan Pagak. Kapasitas *retarding basin* pertama mencapai 1,603 juta m³ dan *retarding basin* kedua mempunyai kapasitas 3,201 juta m³. Kedua *retarding basin* tersebut ditanggul pada elevasi + 3,0 m dengan kemiringan lereng 1 : 2. Kedua *retarding basin* tersebut dibuat berhubungan. Debit yang masuk ke *retarding basin* melewati bendung samping. Bendung samping direncanakan terletak pada P 165. Lebar bendung samping direncanakan selebar 8 meter dengan kemampuan mengalirkan debit 25 m³/detik. Sistem ini mampu menurunkan elevasi banjir rata-rata mencapai 0,599 m.

Alternatif yang dianggap lebih efektif menurunkan elevasi banjir dalam kajian ini adalah interkoneksi Kali Wrati dengan Kali Bangiltak yang mampu menurunkan elevasi banjir rata-rata mencapai 0,797 m. Biaya konstruksi yang dikeluarkan untuk

membangun sistem ini kurang lebih mencapai Rp. 5.803.416.000,00 dengan volume galian sedikitnya 464.902,10 m³, volume timbunan sebesar 284.224,08 m³. Biaya konstruksi ini merupakan pendekatan untuk menaksir biaya pelaksanaan nantinya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada semua pihak yang turut membantu penyelesaian penelitian ini: (1) Kementerian Pekerjaan Umum, yang memberikan kesempatan untuk melanjutkan studi di Fakultas Teknik Universitas Brawijaya; (2) Kepala Balai Besar Wilayah Sungai Brantas yang telah memberikan izin tugas belajar; (3) Rekan-rekan seangkatan di Program Magister Teknik Pengairan Universitas Brawijaya yang telah memberi dukungan dan masukannya.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2011. Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 38 tahun 2011 Tentang Sungai, Jakarta.

- Arifin, M. 2013. Sering Dilanda Banjir, Aktivitas 600 Kepala Keluarga Lumpuh. www.detik.com, 16 Maret 2013.
- Asdak, C. 1995. *Hidrologi dan pengelolaan DAS*. Yogyakarta: University Press, Gajah Mada.
- Chow, V.T. 1992. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta: Erlangga.
- Chrismadha, T. 2008. Konservasi Sumber Daya Air. www.opi.lipi.go.id, 11 Maret 2012.
- Limantara, L.M. 2010. *Hidrologi Praktis*. Bandung: CV. Lubuk Agung.
- Limantara, L.M., dan Widandi, S. 2009. *Statistik Terapan Untuk Pengairan*. Malang: CV. Citra Malang.
- Raju, K.G.R. 1986. *Aliran Melalui Saluran terbuka*. Jakarta: Erlangga.
- Soemarto, C.D. 1986. *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Penerbit Usaha Nasional.
- Soewarno. 2000. *Hidrologi Operasional (Jilid Kesatu)*. Bandung: PT. Citra Aditya Bakti.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi (Aplikasi Metode Statistik untuk analisa Data) jilid 1*. Bandung: Nova
- Sosrodarsono, S., dan Masateru, T. 1994. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.