

PREDIKSI TITIK BANJIR BERDASARKAN KONDISI GEOMETRI SUNGAI

Agus Suharyanto

Dosen / Jurusan Teknik Sipil / Fakultas Teknik Universitas Brawijaya

Jl. MT. Haryono No. 167 Malang, 65145, Jawa Timur

Korespondensi : agus.s@ub.ac.id

ABSTRAK

Banjir merupakan salah satu fenomena alam yang terjadi pada saat musim hujan. Pada umumnya banjir terjadi karena ketidakmampuan sungai dalam menampung debit aliran permukaan yang masuk ke dalam sungai. Kemampuan sungai dalam menampung debit aliran permukaan disebut dengan kapasitas aliran sungai. Besar kecilnya kapasitas aliran sungai tergantung dari dimensi penampang melintang sungai dan kecepatan aliran sungai. Kecepatan aliran sungai tergantung dari kemiringan memanjang dasar sungai, kekasaran badan sungai, dan jari-jari penampang basah sungai. Dengan kata lain kapasitas aliran sungai tergantung dari geometri sungai. Apabila debit aliran permukaan yang masuk ke sungai melebihi kapasitas aliran sungai, maka akan terjadi luapan aliran dari sungai. Luapan aliran sungai inilah merupakan salah satu penyebab terjadinya banjir di suatu wilayah. Analisis debit aliran permukaan yang terjadi akibat curah hujan yang turun di suatu wilayah dilakukan dengan HHS Nakayasu. Penelusuran banjir yang di badan sungai dianalisa dengan persamaan kontinuitas dua dimensi. Hasil analisis menunjukkan bahwa ada tiga lokasi yang luapan aliran sungai yang disebabkan oleh tinggi aliran melebihi tanggul sungai. Konsekuensinya, lokasi sekitar titik luapan akan terjadi banjir. Berdasarkan data lapangan, lokasi-lokasi yang terjadi luapan memang terjadi banjir pada saat terjaddi hujan pada hari dan tanggal yang sama.

Kata kunci: kapasitas aliran, banjir, geometri sungai, penelusuran banjir

1. PENDAHULUAN

Banjir adalah suatu fenomena alam yang terjadi pada saat musim hujan. Banjir bisa disebabkan oleh ketidakmampuan sungai dalam menampung debit aliran permukaan atau terhalangnya aliran permukaan untuk masuk ke saluran alami yang umumnya berupa sungai. Terhalangnya aliran permukaan untuk masuk ke sungai umumnya dikarenakan sistem drainase yang ada belum memadai atau tidak sesuai dengan kondisi lapangan. Ketidakmampuan sungai dalam menampung debit aliran permukaan dapat disebabkan oleh tingginya debit aliran permukaan atau dimensi sungai yang tidak memadai. Kemampuan sungai dalam menampung debit aliran permukaan disebut dengan kapasitas sungai (Sosrodarsono, 2003). Kapasitas sungai tergantung dari besarnya luas penampang melintang sungai dan kecepatan aliran sungai. Kecepatan aliran sungai tergantung dari material

penyusun badan sungai, kemiringan dasar sungai, dan jari-jari penampang basah sungai (Mays, 2005). Material penyusun badan sungai akan menentukan angka kekasaran saluran yang sering disebut dengan angka kekasaran Manning's.

Besar kecilnya kapasitas aliran sungai ditentukan oleh luas penampang basah dari penampang melintang sungai. Karena adanya sedimentasi, tanaman gulma yang tumbuh di badan sungai, sampah, dan yang lain pada umumnya kapasitas aliran sungai menurun dari waktu ke waktu. Sementara itu, debit aliran permukaan yang masuk ke sungai dari waktu ke waktu makin besar. Peningkatan besarnya debit aliran permukaan disebabkan oleh peningkatan lapisan yang tidak tembus air, tingginya curah hujan, dan turunnya jumlah penampungan air hujan di lahan (Suharyanto, 2006). Peningkatan lapisan yang tidak tembus air disebabkan oleh pembangunan yang menutup lapisan yang

tembus air menjadi lapisan yang tidak tembus air, misalnya rumah, jalan, parkir, dan material lain yang tidak tembus air. Penurunan daya tampung lahan terhadap air hujan disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan dari guna lahan yang mampu menampung air hujan menjadi lahan yang kurang mampu untuk menampung air hujan. Misalnya, lahan hutan yang masih banyak humus atau seresahnya akan mampu menyimpan air hujan yang lebih besar bila dibandingkan dengan lahan yang bukan hutan (Plate, 2002). Sebaliknya lahan pemukiman tanpa sumur resapan atau bentuk *detention pond* yang lain sudah tidak bisa menyimpan air hujan. Semua curah hujan akan menjadi aliran permukaan. Peningkatan debit aliran permukaan juga disebabkan oleh peningkatan curah hujan yang akhir-akhir ini peningkatannya cukup signifikan. Hal ini dikarenakan adanya perubahan iklim yang cukup besar pengaruhnya terhadap intensitas curah hujan (Shrestha et al., 2014)

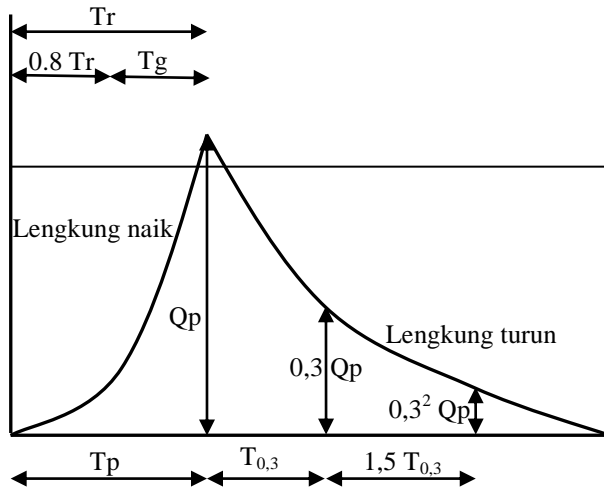
Berdasarkan pengamatan sepintas, hampir semua kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS) yang ada di pulau Jawa kondisi penggunaannya sudah banyak berubah dari vegetasi ke bukan vegetasi. Akibatnya dengan intensitas curah hujan yang sama, debit aliran permukaan yang terjadi semakin besar. Disisi lain, dengan perubahan penggunaan lahan dari vegetasi ke non vegetasi, maka erosi lahan yang terjadi semakin besar dan sedimentasi di sungai juga makin besar. Konsekuensinya dimensi penampang sungai akan semakin kecil, sehingga kapasitas aliran sungai akan semakin turun. Dengan kondisi yang demikian, maka diperlukan penelitian tentang hubungan antara debit aliran permukaan dengan tinggi muka air di sungai. Tinggi muka air di sungai tergantung dari besarnya kecilnya debit aliran permukaan yang masuk ke sungai dan besar kecilnya penampang melintang sungai. Bila tinggi muka air yang terjadi melebihi tinggi penampang sungai yang ada (tanggul), maka akan terjadi

luapan dan akan terjadi banjir disekitar lokasi tersebut. Untuk itu diperlukan penelitian tentang hubungan antara tinggi muka air di sungai berdasarkan geometri sungai akibat dari debit aliran permukaan yang masuk ke sungai. Geometri sungai yang dimaksud disini ialah penampang melintang dan memanjang sungai. Penampang melintang akan mempengaruhi luas penampang basah sungai dan penampang memanjang sungai akan mempengaruhi kecepatan aliran sungai. Luas penampang basah, kemiringan memanjang sungai, dan material badan sungai akan mempengaruhi kapasitas aliran sungai yang sesuai dengan hukum kontinuitas (Chow, 1997)

Dengan melihat latar belakang permasalahan yang telah dijelaskan di atas, maka tujuan dari penelitian ini ialah untuk mengetahui pada titik-titik mana luapan akan terjadi pada sebuah ruas sungai bila sebuah debit aliran permukaan masuk ke sungai.

Ada tiga parameter yang diperlukan dalam analisis luapan sungai yaitu, debit aliran permukaan, geometri sungai, dan material badan sungai. Ada beberapa metode dalam analisis debit aliran permukaan diantaranya metode rasional, Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu, dan Melchior. Di Indonesia, terutama di pula Jawa HSS Nakayasu sering digunakan untuk analisis debit aliran permukaan. Hal ini dikarenakan jumlah dan distribusi stasiun pengamatan curah hujan dan stasiun pengamatan tinggi muka air sungai yang masih kurang. Disamping itu, HSS Nakayasu dibangun di Jepang yang mempunyai bentuk topografi yang mirip dengan pulau Jawa, yaitu sungainya relatif pendek dan mempunyai beda tinggi yang cukup besar antara hulu dengan hilir. Sebagai gambaran, grafik hidrograf HSS Nakayasu ditunjukkan pada **Gambar 1**. Bagian-bagian dari hidrograf HSS Nakayasu ialah :

$$: Qd = Qp \cdot 0,3^{\frac{t - Tp + 0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}}}$$



Gambar 1. HSS Nakayasu

lengkung naik, lengkung turun, debit puncak (Q_p), Durasi hujan (T_r), waktu konsentrasi (T_g), waktu dari puncak sampai dengan debit turun 30% dari debit puncak. Rumus HSS Nakayasu ditunjukkan pada persamaan 1 (Soemarto, 1986).

$$Q_p = \frac{C A R_o}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \dots\dots\dots 1$$

dimana :

- Q_p = debit puncak banjir ($m^3/detik$)
- C = koefisien aliran permukaan
- A = luas DAS (km^2)
- R_o = hujan satuan (mm)
- T_p = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam).
- $T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam).

Untuk lengkung naik dan lengkung turun dihitung dengan rumus 2 dan rumus 3. Untuk lengkung naik:

$$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \dots\dots\dots (2)$$

Untuk lengkung turun:

Pada $Q_d > 0,3Q_p$: $Q_d = Q_p \cdot 0,3^{\frac{t - T_p}{T_{0,3}}}$
 Pada $0,3Q_p > Q_d > 0,3^2Q_p$ (3)

Pada $0,3^2Q_p > Q_d$

$$: Q_d = Q_p \cdot 0,3^{\frac{t - T_p + 1,5T_{0,3}}{2T_{0,3}}}$$

$$T_p = t_g + 0,8 tr$$

$$\text{Bila } L < 15 \text{ km, } t_g = 0,21 L^{0,7}$$

$$\text{Bila } L > 15 \text{ km } t_g = 0,4 + 0,058 L$$

Dimana:

L = panjang alur sungai (km)

t_g = waktu konsentrasi

tr = 0,5 t_g sampai t_g (jam)

$T_{0,3}$ = αt_g (jam)

tr = satuan waktu banjir (jam)

α = parameter hidrograf

- untuk DAS biasa $\alpha = 2$
- untuk hidrograf yang bagian naik cepat dan yang bagian menurun lambat, maka $\alpha = 1.5$
- untuk hidrograf yang bagian naik lambat dan yang bagian menurun cepat, maka $\alpha = 3$

Harga α dapat juga dihitung dengan menggunakan persamaan 4.

$$\alpha = \frac{0,47 (A.L)^{0,25}}{t_g} \dots\dots\dots (4)$$

Harga-harga parameter HSS Nakayasu dapat dianalisis dengan berbagai data pendukung. Koefisien aliran permukaan (C) tergantung dari data penggunaan lahan, luas DAS dianalisis dari peta topografi, panjang alur sungai dianalisis dari peta topografi.

Setelah hidrograf satuan dapat dihitung, kemudian dianalisis data debit aliran permukaan dengan menggunakan dalil penyusunan hidrograf yaitu dalil lebar dasar konstan, dalil linieritas, dan dalil superposisi. Untuk analisis hidrograf aliran permukaan ini diperlukan data curah hujan yang dapat berupa hujan tahunan maupun hujan rancangan.

Pada umumnya data curah hujan yang tersedia berupa data hujan harian. Untuk dapat digunakan dalam rumus HSS Nakayasu, maka data curah hujan harian

perlu dirubah menjadi data curah hujan jam-jaman. Agar mendapatkan hasil yang teliti, stasiun hujan yang digunakan untuk menganalisis data hujan dipilih stasiun yang ada di dalam DAS yang menyebar secara merata. Data hujan yang digunakan ialah data hujan 10 tahun terakhir. Dari data hujan harian yang tersedia, dipilih data hujan harian maksimum dalam satu bulan. Dengan demikian dalam satu tahun akan didapat 12 data hujan harian maksimum. Dari data yang diperoleh kemudian dilakukan uji konsistensi. Dengan menggunakan data yang sudah konsisten, kemudian dilakukan perhitungan curah hujan rata-rata dengan metode rata-rata arimatik atau rata-rata dengan poligon Thiessen. Dari data curah hujan rata-rata harian maksimum yang diperoleh, kemudian dilihat model distribusinya yang sesuai, apakah data mengikuti distribusi normal, log normal, log Perason III, atau Gumbel. Setelah ditemukan model distribusi yang sesuai, kemudian dihitung curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu, 5, 10, 25, 50, 100, dan 200 tahun. Hasil perhitungan yang diperoleh adalah curah hujan rancangan dengan kala ulang tertentu dengan satuan mm per hari. Untuk merubah data curah hujan harian menjadi curah hujan jam-jaman digunakan metode *Mononobe* (Subarkah, 1979 :20), sehingga data hujan menjadi mm per jam. Persamaan *Mononobe* ini dapat dilihat pada persamaan 5 (Sosrodarsono, 2003).

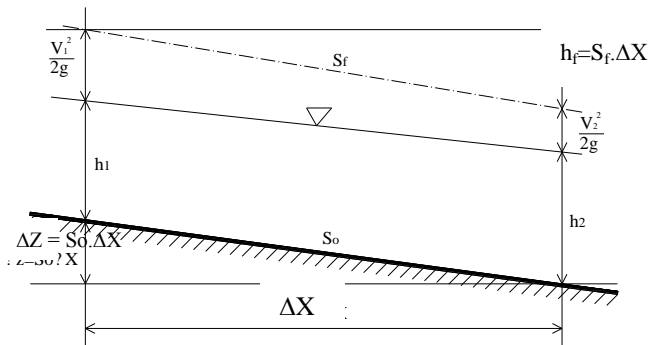
$$I = \frac{R_{24}}{24} \left[\frac{24}{t_c} \right]^{2/3} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- R_{24} = Curah hujan harian (mm/hari)
- t_c = waktu konsentrasi atau durasi hujan (jam)

Untuk analisis aliran di dalam sungai, kaidah hidrolika akan diberlakukan. Analisis profil muka air di sungai akan digunakan metode tahapan langsung dan

metode tahapan standard. Metode tahapan langsung dapat dilihat pada persamaan 6 dan 7 di bawah. Dan gambar skema profil aliran dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Profil aliran di sungai

Dari **Gambar 2** dapat diturunkan persamaan berikut.

$$h_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \Delta z = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f \dots\dots\dots (6)$$

$$E_1 + S_o \Delta X = E_2 + S_f \Delta X \dots\dots\dots (7)$$

Atau

$$\Delta X = \frac{E_2 - E_1}{S_o - \bar{S}_f}$$

Dimana

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$$

$$S_f = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{\frac{4}{3}}} \text{ (Manning)}$$

$$S_f = \frac{Q^2}{C^2 A^2 R} \text{ (Chezy)}$$

Prosedur perhitungannya dimulai dengan kedalaman yang diketahui h_1 , yang diperoleh dari hubungan kedalaman debit. Asumsikan kedalaman berikutnya h_2 , baik di hulu atau di hilirnya tergantung pada jenis aliran subkritis atau superkritis, dan hitung jarak ΔX antara kedua kedalaman tersebut. Disarankan untuk mengambil h_2 sedekat mungkin dengan h_1 , sehingga harga ΔX yang diperoleh tidak terlalu jauh untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat.

Metode yang kedua yaitu metode tahapan standar. Metode ini dikembangkan dari persamaan energi total dari aliran pada saluran terbuka. Dari persamaan tersebut

dapat diturunkan menjadi persamaan sebagai berikut.

$$z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$
$$E_1 = E_2 + h_f$$

Cara perhitungannya dimulai dengan mengetahui tinggi energi total di titik kontrol E_1 , dimana kedalaman air h_1 dan ketinggian dasar saluran dari titik referensi z_1 diketahui. Setelah itu tentukan jarak dari titik kontrol ke hulu atau ke hilir (tergantung letak titik kontrol) sepanjang ΔX . Parameter sebelah kanan yang dapat langsung dihitung adalah $z_2 = z_1 + \Delta z$, dimana Δz adalah perkalian antara kemiringan dasar saluran dan selisih jarak kedua titik yang akan dihitung ($\Delta z = S_0 \Delta X$). Tiga parameter lainnya merupakan fungsi kedalaman air h_2 , sehingga dengan mengasumsikan kedalaman air di titik (2), tinggi energi di titik (2) dapat dihitung. Jika E_1 belum dipenuhi, maka dicoba dengan harga h_2 baru sampai persamaan E_1 terpenuhi. Sampai disini satu tahap perhitungan telah diselesaikan. Cara ini diulangi dengan titik-titik selanjutnya.

2. METODE PENELITIAN

Ada beberapa langkah yang harus ditempuh untuk menyelesaikan penelitian ini. Langkah-langkah tersebut dirangkum menjadi satu kesatuan menjadi metode penelitian. Dalam penelitian ini, langkah-langkah yang harus ditempuh secara prinsip akan dijelaskan dalam paragraf-paragraf berikut ini.

Langkah pertama penelitian ini ialah berupa pengumpulan data, yaitu data curah hujan, data kondisi fisik DAS, dan data geometri sungai. Data hujan yang dikumpulkan berupa data curah hujan harian selama 10 tahun. Yang dimaksud dengan data kondisi fisik DAS ialah panjang sungai, luas DAS, penggunaan lahan, dan kemiringan lahan DAS. Data geometri sungai yang dikumpulkan ialah data penampang melintang dan memanjang

sungai dan jenis material penyusun badan sungai.

Analisa pertama yang dilakukan ialah analisa data hujan. Langkah-langkah analisis yang dilakukan ialah:

- Uji konsistensi data hujan
- Pemilihan data curah hujan harian maksimum setiap bulan setiap stasiun hujan
- Perhitungan curah hujan rata-rata maksimum harian di DAS.
- Uji distribusi data curah hujan
- Perhitungan hujan rancangan sesuai dengan keperluan (5, 50, 100 tahunan)
- Perhitungan curah hujan jam-jaman dengan metode *Mononobe*.

Langkah kedua yang perlu dilakukan ialah perhitungan debit aliran permukaan. Perhitungan dilakukan dengan metode HSS Nakayasu. Langkah-langkah analisis yang diperlukan antara lain ialah:

- Penentuan dan perhitungan luas DAS
- Perhitungan panjang sungai utama
- Perhitungan koefisien aliran permukaan berdasarkan tata guna lahan
- Perhitungan hidrograf satuan dengan HSS Nakayasu
- Perhitungan debit aliran permukaan dengan data hujan rancangan menggunakan HSS Nakayasu.

Langkah ketiga dari metode penelitian yang telah didesain ialah perhitungan tinggi muka air di sungai akibat debit aliran permukaan yang telah dianalisis pada langkah kedua. Langkah perhitungan tinggi muka air di sungai secara prinsip adalah sebagai berikut.

- Perhitungan kemiringan memanjang dasar sungai.
- Perhitungan angka kekasaran Manning's badan sungai.
- Penentuan interval penampang melintang sungai
- Perhitungan tinggi muka air sungai berdasarkan persamaan 6 dan 7.
- Plotting elevasi muka air sungai hasil perhitungan pada data penampang melintang sungai

- Bila elevasi muka air sungai melebihi elevasi tanggul berarti terjadi banjir.

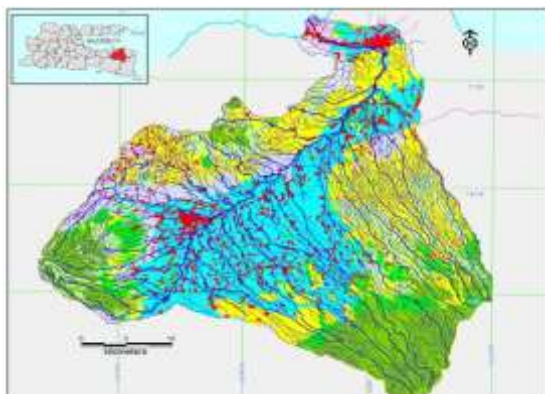
Dengan ditetapkannya metode penelitian yang telah dijelaskan di atas diharapkan penelitian akan berjalan lancar dan menghasilkan analisis yang tepat dan teliti.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan di sebuah DAS yang terletak di kabupaten Bondowoso dan Situbondo, provinsi Jawa Timur yaitu DAS Kali Sampean. Di dalam DAS Kali Sampean mengalir sungai Kali Sampean yang mempunyai hulu di kabupaten Bondowoso dan mempunyai hilir (*outlet*) di kabupaten Situbondo. Outlet sungai Kali Sampean lokasinya di kota Situbondo yaitu di laut Jawa. Secara geografis lokasi DAS Sampean terletak antara $7,65^{\circ}$ - $8,125^{\circ}$ LS dan $113,65^{\circ}$ - $114,125^{\circ}$ BT. **Gambar 3** menunjukkan lokasi DAS Sampean.

Dari analisis data peta topografi yang telah dikumpulkan, dapat dihasilkan data fisik DAS antara lain luas DAS Sampean ialah $1.239,77 \text{ km}^2$, panjang sungai Kali Sampean 75,5 km, dan kemiringan lahan antara 0% sampai dengan lebih besar dari 40%.

Di dalam DAS Sampean terdapat 27 stasiun hujan yang digunakan dalam penelitian ini. Data curah hujan yang digunakan ialah data tahun 2000 - 2009. Setelah dilakukan uji konsistensi, kemudian dihitung curah hujan rata-rata dengan metode poligon Thiessen.



Gambar 3. DAS Sampean

Nama stasiun curah hujan dan luas daerah pengaruh masing-masing stasiun curah hujan dapat dilihat pada **Tabel 1**. Hasil perhitungan curah hujan rata-rata dengan poligon Thiessen pada DAS Sampean dapat dilihat pada **Tabel 2**. Hasil analisis curah hujan rata-rata ini kemudian dilakukan uji distribusi yang untuk menentukan jenis distribusi yang sesuai.

Tabel 1. Nama stasiun curah hujan

| No. | Nama Stasiun | Luas Pengaruh (km^2) |
|-----|-----------------|---------------------------------|
| 1 | Ancar | 32,690 |
| 2 | Klabang | 90,490 |
| 3 | Selolembu | 69,480 |
| 4 | Pengairan | 28,750 |
| 5 | Wonosari | 40,790 |
| 6 | Maskuning Wetan | 7,770 |
| 7 | Pakistan | 9,390 |
| 8 | Pinang Pahit | 43,560 |
| 9 | Tlogosari | 82,950 |
| 10 | Grujugan | 32,560 |
| 11 | Maesan | 25,850 |
| 12 | Sukokerto | 33,130 |
| 13 | Dam Bluncong | 77,880 |
| 14 | Dam Glendengan | 31,300 |
| 15 | Dam Kolpoh | 24,740 |
| 16 | Dam Pring Duri | 11,260 |
| 17 | Jero | 37,060 |
| 18 | Prajeakan | 29,550 |
| 19 | Taal | 23,430 |
| 20 | Talep | 24,140 |
| 21 | Suling Wetan | 13,800 |
| 22 | Pandan | 24,850 |
| 23 | Kejayan | 9,090 |
| 24 | Kasemeg | 18,600 |
| 25 | Sumber Gading | 297,970 |
| 26 | Wonosari II | 118,470 |
| 27 | Wonosroyo | 30,220 |

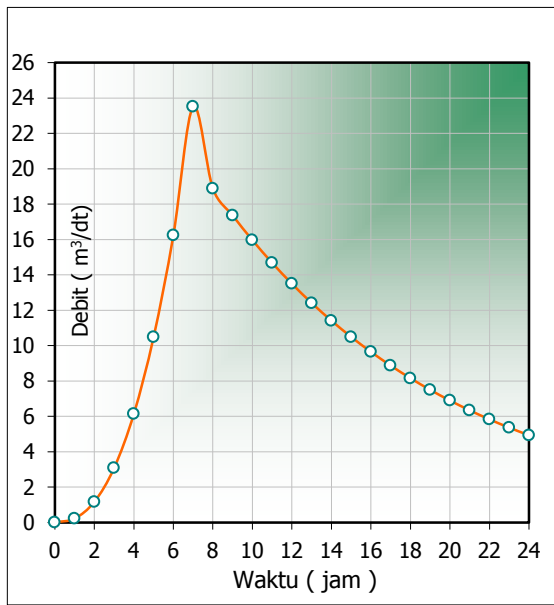
Tabel 2. Tinggi curah hujan rata-rata

| Tahun | R (mm) | Tahun | R (mm) |
|-------|--------|-------|--------|
| 2000 | 87 | 2005 | 100 |
| 2001 | 84 | 2006 | 94 |
| 2002 | 90 | 2007 | 93 |
| 2003 | 139 | 2008 | 83 |
| 2004 | 85 | 2009 | 149 |

Hasil uji menunjukkan bahwa data curah hujan terdistribusi menurut Log Perason Type III. Konsekuensinya analisis curah hujan rancangan menggunakan kaidah distribusi log Pearson type III. Hujan rancangan dihitung dengan kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, 100, 200 tahun. Berdasarkan tinggi hujan rata-rata (R) yang dihasilkan, kemudian dianalisis tinggi curah hujan rancangan dengan mengikuti kaidah log Pearson type III. Hasil analisis dapat disajikan dalam **Tabel 3**.

Tabel 3. Curah hujan rancangan

| Kala Ulang | I (mm/hari) | Kala Ulang | I (mm/hari) |
|------------|-------------|------------|-------------|
| 2 | 93 | 50 | 175 |
| 5 | 113 | 100 | 198 |
| 10 | 130 | 200 | 224 |
| 25 | 154 | | |



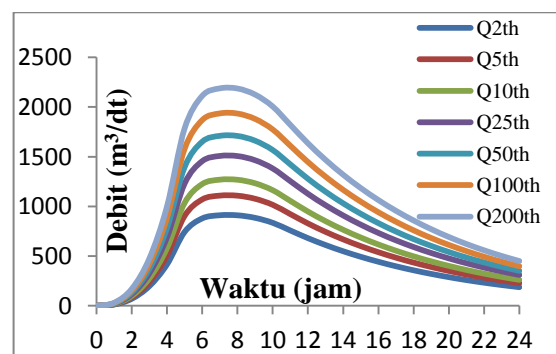
Gambar 4. Hidrograf Satuan Nakayasu

Tabel 4. Debit banjir maksimum

| Kala Ulang | Debit Banjir (m ³ /dtk) | Kala Ulang | Debit Banjir (m ³ /dtk) |
|------------|------------------------------------|------------|------------------------------------|
| 2 | 863,119 | 50 | 1.619,935 |
| 5 | 1.050,306 | 100 | 1.833,594 |
| 10 | 1.202,208 | 200 | 2.072,368 |
| 25 | 1.428,156 | | |

Langkah berikutnya ialah analisis debit aliran permukaan. Analisis dilakukan dengan metode HSS Nakayasu. Setelah memasukkan semua nilai parameter yang diperlukan berdasarkan data yang diperoleh, dihasilkan hidrograf satuan Nakayasu yang ditunjukkan pada **Gambar 4**. Untuk mendapatkan hidrograf banjir rancangan, diperlukan data hujan sebagai input utama. Analisis debit dilakukan untuk 7 kala ulang hujan rancangan. Data curah hujan rancangan dirubah dari intensitas mm/hari menjadi mm/jam dengan menggunakan persamaan 5 (metode *Mononobe*) dengan waktu konsentrasi ialah 6 jam. Dengan data hidrograf satuan dari Nakayasu dan curah hujan jam-jaman yang dihasilkan dari *Mononobe*, kemudian dihitung debit aliran permukaan yang masuk ke sungai Kali Sampean dengan metode yang telah dijelaskan di atas. Hasil analisis hidrograf banjir untuk setiap kala ulang di sungai Kali Sampean dapat dilihat pada **Gambar 5**, dan besarnya debit maksimum ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Dari 7 kala ulang yang dianalisis, dipilih data curah hujan dengan kala ulang 100 tahun. Hal ini dikarenakan berdasarkan data banjir yang terjadi pada tahun 2002 dan 2008, debit yang mengalir di sungai Kali Sampean saat itu berkisar 2.000m³/detik (Anonim, 2013). Curah hujan yang tercatat di beberapa stasiun curah hujan lebih dari 100 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa curah hujan dan debit banjir dengan kala ulang 100 tahun berturut-turut sebesar 198 mm/hari dan 1.833,594 m³/detik.

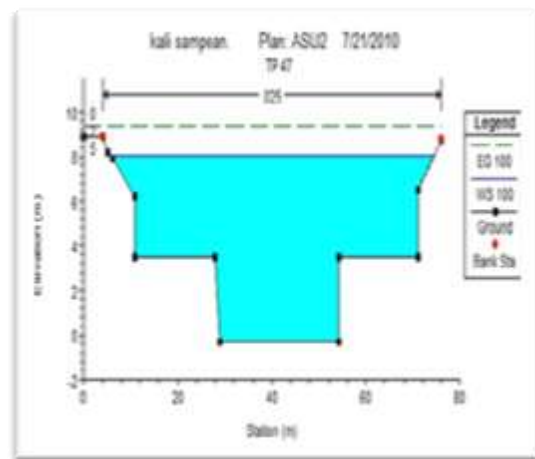


Gambar 5. Hidrograf banjir kali Sampean

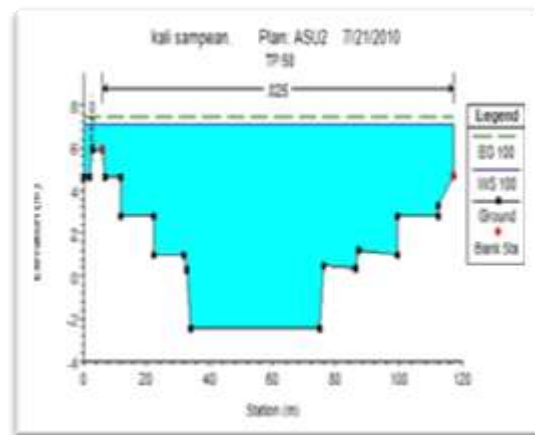
Sedangkan debit banjir dengan kala ulang 200 tahun sebesar 2,027,368 m³/detik. Dengan melihat data ini, maka analisis profil aliran permukaan di sungai Kali Sampen digunakan data debit banjir dengan kala ulang 100 tahun. Debit banjir dengan kala ulang 100 tahun mendekati debit sungai Kali Sampen pada banjir 8 Pebruari 2008, yaitu sekitar 2.000 m³/detik. Debit banjir dengan kala ulang 200 tahun lebih dari 2.000 m³/detik, yaitu 2,072,368 m³/detik. Bila terjadi luapan di sungai Kali Sampen pada analisis profil aliran permukaan menggunakan data curah hujan dengan kala ulang 100 tahun, maka dapat dipastikan juga akan terjadi luapan yang lebih besar bila terjadi hujan dengan kala ulang 200 tahun.

Analisis profil aliran permukaan di sungai Kali Sampen menggunakan metode tahapan standard. Dalam penelitian ini untuk membantu perhitungan profil aliran permukaan digunakan perangkat lunak HEC-RAS 4.0 (*Hydrologic Engineering Centers River Analysis System*). Program ini merupakan paket program dari USCE (*United State Corps of Engineers*). Program ini menggunakan cara langkah standard sebagai dasar perhitungannya. Secara umum HEC-RAS dapat dipakai untuk perhitungan aliran tunak berubah perlahan dengan penampang saluran prismatic atau non-prismatic, baik untuk aliran sub-kritis maupun super-kritis. Disamping itu, HEC-RAS juga dapat dipakai untuk menghitung saluran gabungan. Data yang diperlukan untuk analisis ini ialah penampang melintang sungai, angka kekasaran Manning's, debit inflow (aliran permukaan yang masuk ke sungai), kemiringan memanjang sungai, dan jarak antar penampang melintang. Hasil perhitungan profil aliran permukaan dituangkan dalam bentuk grafik penampang melintang sungai untuk setiap titik. Data hasil survei topografi, ruas sungai Kali Sampen dibagi menjadi 75 titik penampang melintang (*cross section*). Jarak antar penampang melintang ialah 1 km. Dari hasil analisis, dapat diketahui

bahwa pada titik penampang nomor 58 - 75 merupakan titik-titik dimana terjadi luapan akibat debit sungai dengan kala ulang hujan 100 tahun. Contoh profil penampang sungai yang digabung dengan profil aliran sungai pada setiap penampang dapat dilihat berturut-turut pada **Gambar 6 dan 7**.



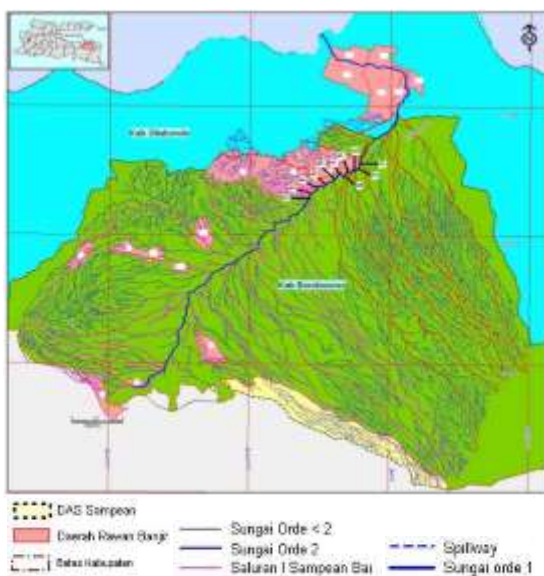
Gambar 6. Profil muka air titik 47



Gambar 7. Profil muka air titik 58

Gambar 6 menunjukkan bahwa muka air pada titik 47 tidak melampaui elevasi tanggul sungai, artinya pada titik tersebut tidak terjadi luapan. Sebaliknya, pada **Gambar 7** memperlihatkan bahwa pada titik 58 elevasi muka air melebihi tanggul sungai, artinya pada titik tersebut terjadi luapan air sungai. Dari titik inilah diperkirakan luapan sungai akan menggenangi daerah sekitar sungai. Berdasarkan data elevasi muka air sungai yang ada, kemudian ditelusuri elevasi yang sama dari peta topografi lokasi sekitar

sungai. Hasil penelurusan kemudian dapat ditetapkan sebagai prediksi daerah banjir akibat hujan dengan kala ulang 100 tahun pada DAS Sampean. Peta prediksi lokasi banjir untuk DAS Sampean akibat hujan dengan kala ulang 100 tahun dapat dilihat pada **Gambar 8**. Berdasarkan data survei yang dilakukan oleh Dinas Pengairan Kabupaten Bondowoso dan Dinas Pengairan Kabupaten Situbondo pada banjir yang terjadi pada tahun 2002 dan 2008, lokasinya sebagian besar sama dengan lokasi banjir hasil prediksi dari penelitian ini. Input data curah hujan yang digunakan, yaitu data hujan dengan kala ulang 100 tahun kurang lebih sama dengan curah hujan yang terjadi pada saat terjadi banjir tahun 2008. Banjir pada tahun 2008 pada ruas hulu terjadi disekitar titik 8 sampai dengan titik 11. Sedangkan pada bagian hilir banjir terjadi disekitar titik 42 sampai dengan titik 52 dan titik 70 keatas. Titik 70 sampai terakhir yaitu titik 75 lokasinya berada disekitar kota Situbondo. Pada saat itu, kota Situbondo mengalami genangan air dan lumpur yang sangat parah akibat luapan sungai Kali Sampean pada titik 70 sampai dengan titik 75. Dengan melihat profil penampang melintang seperti pada gambar 6 dan 7, maka dapat disimpulkan bahwa geometri sungai pada titik-titik tersebut cukup memadai.



Gambar 8. Prediksi lokasi banjir

Namun demikian, profil melintang yang ada tidak mencukupi debit aliran sungai yang harus dialirkan. Dengan demikian bila terjadi hujan minimal dengan intensitas 100 mm atau mendekati dengan kala ulang 100 tahun, maka kemungkinan besar kota Situbondo atau sungai Kali Sampean bagian hilir akan terjadi banjir. Untuk mengurangi kerentanan ini, maka diperlukan rekayasa penanganan banjir dengan normalisasi sungai, pembuatan *detention pond*, atau dengan cara yang lain.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil dan pembahasan yang telah diuraikan dalam tulisan ini, maka dari penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran. Kesimpulan yang dapat diambil ialah:

1. Curah hujan yang menyebabkan banjir di sungai Kali Sampean pada tahun 2002 dan 2008, merupakan curah hujan dengan kala ulang 100 tahun.
2. Bila di DAS Kali Sampean terjadi hujan dengan intensitas yang besarnya sama atau lebih dari hujan dengan kala ulang 100 tahun, maka akan terjadi luapan di ruas sungai bagian hulu dan bagian hilir.
3. Penampang melintang sungai Kali Sampean pada titik-titik yang terjadi luapan, mempunyai dimensi yang relatif kecil, sehingga tidak mampu menampung debit hujan dengan kala ulang 100 tahun.
4. Dari hasil analisis menunjukkan bahwa debit aliran permukaan lahan yang masuk ke sungai akibat hujan dengan kala ulang 100 tahun ialah 1.833,594 m³/detik.
5. Hasil perhitungan curah hujan dengan kala ulang 100 tahun ialah sebesar 198 mm. Nilai ini mendekati dengan besarnya curah yang terjadi pada banjir tahun 2002 dan 2008.

Beberapa kelemahan masih dijumpai dalam penelitian ini. Kelemahan tersebut diantaranya belum dianalisis upaya-upaya untuk menghilangkan banjir sungai Kali Sampean. Guna menghilangkan atau

mengurangi banjir yang terjadi di DAS Kali Sampean maka dapat disarankan hal-hal sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan penelitian untuk menganalisis efektifitas normalisasi sungai Kali Sampean guna mengurangi luapan yang ditimbulkan akibat hujan dengan kala ulang minimal 100 tahun.
2. Perlu dilakukan kajian pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap perubahan debit aliran permukaan yang terjadi.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada Dinas Pengairan Kabupaten Situbondo dan Kabupaten Bondowoso yang telah mendukung data untuk penelitian ini. Dan ucapan terimakasih kepada semua pihak yang telah mendukung demi kelancaran penelitian ini. Tidak lupa kepada segenap sejawat jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya yang telah memberi kesempatan untuk menulis jurnal ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2013, Penanganan Banjir Kali Sampean Situbondo, <http://www.dpuair.jatimprov.go.id/>.
- Chow, Ven Te., 1997. *Hidrologi Saluran Terbuka*, terjemahan Nensi Rosalina, Jakarta Erlangga.
- Mays L. W., 2005. *Water Resources Engineering*, John Wiley and Sons, USA.
- Plate E J., 2002, Flood Risk and Flood Management, *Journal of Hydrology*, 267, pp: 2–11.
- Shrestha B.B., Okazumi T., Miyamoto M., Nabesaka S., Tanaka S., and Sugiura A., 2014, Fundamental Analysis for Flood Risk Management in the Selected River Basins of Southeast Asia, *Journal of Disaster Research*, Vol.9, No.5, pp: 858-868.
- Soemarto, CD., 1986. *Hidrologi Teknik*, Usaha Nasional, Surabaya,
- Sosrodarsono, Suyono, 2003, *Hidrologi Untuk Pengairan*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Subarkah, Imam, 1980, *Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air*, Idea Dharmas, Bandung.
- Suharyanto, A., 2006, Application of Satellite Remote Sensing Data and GIS to Predict the Flood Discharge, *The 9th International Conference on Quality in Research (QiR)*, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, 6-7 September, pp: EPE 17/1-5.