



Kajian Hidrologi Debit Puncak Penyebab Banjir Bandang Menggunakan Pemodelan Hidrograf Satuan Sintesis-SCS (HSS-SCS)

Hydrological Assessment of Peak Flood Discharge Causes of Flashflood Using SCS Synthetic Unit Hydrograph Modeling (SCS-SUH)

Deni Sabriyati¹✉, M. Pramono Hadi^{2,3}

¹ Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia 29111

² Geo-information for Spatial Planning and Disaster Risk Management, Ilmu Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia 55281

³ Pusat Studi Lingkungan Hidup, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia 55281

Info Artikel:

Diterima: 1 Maret 2022

Revisi: 13 April 2022

Disetujui: 20 Mei 2022

Dipublikasi: 28 Mei 2022

Keyword:

Peak Discharge, Hydrological Analysis, Synthetic Unit Hydrograph (SUH), HEC-HMS, Flood Modelling

Penulis Korespondensi:

Deni Sabriyati

Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Tanjungpinang, Indonesia 29111

Email: denisabriyati@umrah.ac.id

ABSTRAK. Siklus hidrologi merupakan hal terpenting dalam memahami proses fisik yang mengendalikan distribusi dan pergerakan air. Salahsatu proses siklus hidrologi yang paling berbahaya adalah hujan karena mampu menyebabkan bencana di lingkungan perairan seperti banjir dan banjir bandang. Penelitian ini merupakan sebuah kajian hidrologi di Sub-DAS Bt. Kuranji, Provinsi Sumatera Barat. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui debit puncak penyebab banjir bandang akibat curah hujan harian melalui analisis karakteristik hidrograf banjir (HSS) menggunakan pemodelan hidrologi berbasis SIG dan HEC-HMS. Data yang digunakan yaitu DEM IFSAR, data hujan selama 38 tahun, dan citra satelit Quickbird. Data diolah menggunakan perangkat lunak HEC-HMS dan HEC-GeoHMS pada Arc-GIS untuk mendapatkan nilai hujan rerata kawasan (MAP), SCS-CN dan Hidrograf banjir dari debit puncak. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hujan terkonsentrasi selama 3 jam dengan Puncak hujan efektif (P_e) pada periode ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun rata-rata terjadi antara jam ke-2 dan jam ke-3 turunnya hujan. Debit puncak (Q) tiap periode ulang secara berurutan yaitu 168,4 m³/dt, 287,9 m³/dt, 381,5 m³/dt, 479,6 m³/dt, 616,4 m³/dt, dan 724,9 m³/dt.

ABSTRACT. Understanding the hydrologic cycle is essential in studying the physical processes that control the distribution and movement of water. One of the most dangerous processes of the hydrological cycle is rain because it is able to cause disasters in the aquatic environment such as floods and flash floods. This research is a hydrological assessment in the Bt. Kuranji Sub-Watershed, West Sumatra Province. The purpose of this study was to determine the peak discharge of flood that caused flashflood due to daily rainfall by analyzing characteristics of the flood hydrograph (SUH) using GIS-based hydrological modeling and HEC-HMS. The data used are IFSAR DEM, 38 years of rain data, and Quick-bird satellite imagery. The data was processed using HEC-HMS software and HEC-GeoHMS on Arc-GIS to get the value of area mean rainfall (MAP), SCS-CN and flood hydrograph from peak discharge. The results showed that the rain was concentrated for 3 hours with the peak of effective rain (P_e) in the return periods of 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years on average between the 2nd and 3rd hours of rain. Peak discharge (Q) for each return period sequentially is 168.4 m³/s, 287.9 m³/s, 381.5 m³/s, 479.6 m³/s, 616.4 m³/s, and 724.9 m³/s.

How to cite this article:

Sabriyati, D. & Hadi, M.P. (2022). *Kajian Hidrologi Debit Puncak Penyebab Banjir Bandang Menggunakan Pemodelan Hidrograf Satuan Sintesis SCS (HSS-SCS)*. Jurnal Akuatiklestari, 5(2): 80-90. DOI: <https://doi.org/10.31629/akuatiklestari.v5i2.4462>

I. PENDAHULUAN

Banjir terjadi karena intensitas hujan tinggi yang melampaui kapasitas aliran (Wisner, 2004). Secara umum, jenis banjir paling berbahaya adalah banjir bandang karena terjadi dengan cepat sehingga menyebabkan kerugian dan merusak (Yin et al., 2016). Banjir bandang terjadi dalam waktu yang sangat singkat ketika level air di saluran drainase mencapai puncak dalam hitungan menit hingga beberapa jam setelah hujan badai, sehingga menyisakan waktu teramat singkat untuk peringatan dini (Georgakakos et al., 2006; Borga et al., 2011; Marchi et al., 2010).

Keberadaan lokasi, topografi, dan iklim wilayah mampu menimbulkan bahaya hidro-meteorologi, termasuk frekuensi banjir bandang (Azmeri *et al.*, 2016). Hal ini terjadi di wilayah Kota Padang yang merupakan bagian hilir dalam DAS Bt. Kuranji, yaitu daerah dengan intensitas hujan tinggi, dan mengalami alih fungsi lahan dari daerah resapan menjadi kawasan kedap air sehingga memicu terjadinya banjir bandang. Bencana banjir bandang dapat menyebabkan kerugian yang lebih besar mengingat semakin banyaknya penggunaan lahan dan pembangunan di area konservasi. Dalam RTRWK Padang Tahun 2010-2030 menyebutkan terdapat peningkatan pembangunan perumahan serta kegiatan pertanian di sempadan sungai yang memerlukan upaya konservatif.

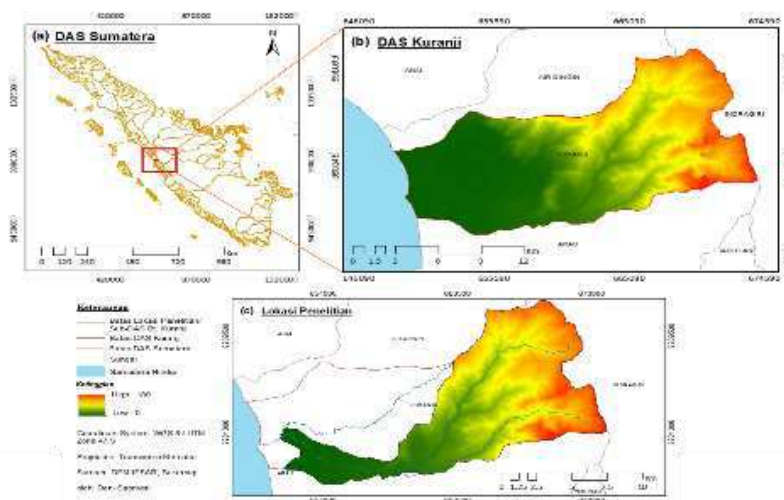
Humas BNPB (2017) menyatakan Pada Juli 2012 banjir bandang menimbulkan kerugian materil berupa kerusakan di 6 titik jalan, 6 jembatan, unit irigasi, tempat ibadah, dan 538 rumah, dimana 95 rumah diantaranya mengalami rusak berat. Sejak tahun 2012 bencana banjir semakin sering terjadi. Hujan deras pada 12 September 2012 di Kecamatan Pauh memicu longsor di tiga titik lokasi yang mengakibatkan galodo atau banjir bandang (Yogi, 2012). Bencana banjir bandang kembali merusak lahan pertanian, saluran irigasi, dan PDAM pada saat kejadian 21-22 Maret 2016. Banjir bandang tersebut disebabkan oleh intensitas hujan yang tinggi dan disertai longoran pada daerah hulu. Oleh karena itu, perlu adanya kajian penyebab dan potensi banjir bandang sebagai salahsatu upaya pengurangan risiko di masa depan. Disamping itu, inventarisasi dan informasi kondisi hidrologi, kondisi sungai rawan banjir, kondisi kapasitas DAS, dan pemetaan DAS sangat penting (PUSDALOPS PB, 2016).

Perkembangan banjir bandang dalam skala ruang dan waktu yang diobservasi dengan metode geomorfologi konvensional saja tidak mampu untuk memantau dinamisasi curah hujan dan debit sungai, meskipun geomorfologi memainkan fungsi utama dalam sistem fluvial (Thorne, 2002). Guna mengetahui penyebab dan akibat banjir bandang sebagai bencana yang ditimbulkan oleh respon hujan ekstrim di suatu DAS, banyak penelitian dilakukan dengan mengkolaborasi analisis hidrologi dan analisis Sistem Informasi Geografis (SIG) (Jonkman, 2005; Garambois *et al.*, 2015). Beberapa penelitian melakukan kolaborasi tersebut dalam pemodelan banjir seperti pengembangan *GIS modelling* berdasarkan hidrograf satuan untuk manajemen banjir di daerah Metropolitan Mekkah (Dawod *et al.*, 2011), dan aplikasi model HEC-HMS untuk simulasi aliran pada DAS beriklim tropis di Sri Lanka (Halwatura, 2013). Oleh karena itu, meningkatkan kemampuan simulasi untuk estimasi banjir serta mengembangkan seperangkat teknologi dan alat untuk sistem peringatan dini yang efektif sangat perlu dilakukan (Horton, 1945; Abuzied, 2016; Borga, 2011). Estimasi bahaya banjir terhadap suatu lahan sangat penting karena berkaitan dengan kelangsungan hidup (Borga *et al.*, 2011). Estimasi tersebut bergantung pada informasi yang tersedia di wilayah landaan banjir, sehingga perlu mengetahui karakteristik banjir bandang dan memperhatikan faktor penyebab banjir. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini melakukan analisis karakteristik hidrograf satuan Sub-DAS Bt. Kuranji, pengaruhnya terhadap debit banjir bandang dan lama durasi waktu tiba banjir ke daerah pemukiman menggunakan perangkat lunak HEC-HMS dan HEC-GeoHMS pada Arc-GIS.

2. BAHAN DAN METODE

2.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilakukan di Sub-DAS Bt. Kuranji yang merupakan bagian dari DAS Kuranji, Provinsi Sumatera Barat, Indonesia (Gambar 1). Daerah ini dipilih berdasarkan beberapa pertimbangan kondisi wilayah, diantaranya: (1) hampir setiap tahun terjadi banjir di wilayah tersebut, dan dalam kurun 10 tahun terakhir kejadian banjir bandang terus berulang yang menyebabkan kehilangan nyawa dan kerugian harta benda; (2) faktor geografis seperti: tinggi curah hujan, topografi beragam, dan luas daerah; (3) faktor geomorfologi seperti: bervariasinya bentuklahan yang terdiri dari perbukitan, dataran alluvial, dan marin dimana tipe tersebut dapat memicu terjadinya banjir bandang. Disamping itu, banyaknya konversi lahan dan kepadatan penduduk yang terjadi juga merupakan alasan pemilihan lokasi penelitian, Banyaknya jumlah penduduk dianggap rentan terkena bencana banjir bandang. Untuk menentukan batasan DAS yang tepat berdasarkan fisiografis, maka batas DAS ditentukan dengan analisis morfometri DEM menggunakan ekstensi HEC-GeoHMS pada ArcGIS, yaitu pada tahapan praproses terrain sebelum pemodelan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian di Sub-DAS Bt. Kuranji

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dikelompokkan berdasarkan tujuan dan fungsinya yaitu alat untuk survei dan alat untuk analisa data. Alat survei diantaranya adalah Gps Garmin untuk menentukan *georeference* lokasi, dan mengumpulkan informasi melintang sungai secara tepat dan akurat. *Lacer distance* (meteran) untuk pengukuran penampang sungai, morfometri, serta cek kedalaman. Abney level untuk cek kemiringan lereng, serta kamera digital dan *checklist* untuk dokumentasi informasi. Adapun alat analisa data adalah seperangkat komputer/leptop untuk mengolah dan menganalisa data, ArcGIS 10.3 dan HEC-GeoHMS untuk analisis SIG, Analisis morfometri dan pramodel hidraulik berupa modifikasi data HEC-MHS, serta HEC-HMS 4.2 untuk pemodelan hidrograf banjir.

2.3. Prosedur Penelitian

Secara umum penelitian ini dilakukan dalam empat tahapan yaitu tahap persiapan untuk menentukan konsep dan lokasi penelitian, tahap lapangan untuk mengumpulkan data, tahap pascalapangan untuk mengoreksi data, dan tahap analisis yang terdiri dari analisis morfometri dan analisis hidrologi.

2.4. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data menggunakan metode survei, yang berarti peneliti langsung mengumpulkan data dari lapangan. Teknik pengumpulan data juga dikategorikan berdasarkan jenis data. Data dalam penelitian ini terdiri dari data sekunder dan data primer. Data sekunder yang dikumpulkan yaitu terdiri dari: (1) data hidrologi berupa data hujan dari tahun 1978 sampai tahun 2015 dan historical banjir bandang, serta (2) data spasial berupa data peta dan citra satelit yang terdiri dari peta RBI, Peta DAS, Peta Geologi, Peta Jenis Tanah, DEM IFSAR (resolusi 4.5 cm x 4.5 cm), Citra Quickbird resolusi 0.5 cm x 0.5 cm. Adapun data primer yaitu pengukuran geometri sungai dari BWS Aquaman, informasi kondisi banjir bandang Sungai Bt. Kuranji, data penggunaan lahan dari identifikasi citra beresolusi tinggi, dan nilai CN. Nilai CN diperoleh dengan membuat peta persebaran SCS-CN melalui analisis CNGrid, karena Peta persebaran SCS-CN merupakan input untuk pemodelan hidrograf banjir bandang menggunakan HEC-HMS. CNGrid dibuat menggunakan data klasifikasi jenis tanah hidrologis menurut USDA (1986) dan data penggunaan lahan, yaitu dengan cara memberikan bobot CN pada berbagai jenis penggunaan lahan dan jenis tanah berdasarkan nilai CN yang ditetapkan oleh National Resource Conservation Service –SCS (1972) seperti yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Nilai CN berdasarkan NLCD Oleh National Resource Conservation Service –SCS (1972).

Penggunaan Lahan	Jenis Tanah Hidrologi (HSG)*			
	A ¹	B ²	C ³	D ⁴
Perairan terbuka	100	100	100	100
Ruang terbuka berkembang	39	61	74	80
Wilayah berkembang, intensitas rendah	57	72	81	86
Wilayah berkembang intensitas sedang	77	85	90	92
Wilayah berkembang intensitas tinggi	98	98	98	98
Tanah tandus, bebatuan, pasir, tanah liat	63	77	85	88
Hutan gugur	36	60	73	79
Hutan campuran	36	60	73	79
Semak belukar	35	56	70	77
Padang rumput, herba	39	61	74	80
Rumput, jerami	49	69	79	84
Tanaman yang dibudidayakan	67	78	85	89
Lahan basah/hutan kayu	36	60	73	79
Lahan basah hutan palustrine	49	69	79	84
Lahan basah herba	49	69	79	84

¹ Tanah dengan tingkat infiltrasi yang tinggi (> dari 0.3 inch/jam), ² Tanah dengan laju infiltrasi sedang (0.15-0.30 inch/jam),

³ Tanah dengan laju infiltrasi lambat (0.05-0.15 inch/jam), ⁴ Tanah dengan laju infiltrasi sangat (< 0.05 inch/jam)

2.5. Analisis Data dan Pemodelan

Tujuan penelitian dicapai melalui dua analisis yaitu analisis morfometri dan analisis hidrologi berupa analisis karakteristik hidrograf banjir DAS berdasarkan periode ulang dengan model HEC-HMS, serta kalibrasi dan validasi model.

Analisis Morfometri

Analisis morfometri berfungsi untuk menentukan aliran sungai dan wilayah DAS Kuranji beserta sub-DAS yang ada didalamnya menggunakan perangkat HEC-GeoHMS

Analisis Hidrologi

Beberapa langkah dalam analisis hidrologi yaitu:

- Menghitung besaran MAP (*Mean Area Precipitation*) atau nilai hujan kawasan menggunakan Metode Polygon Thiessen dengan persamaan a (Harto, 1993).

$$\bar{p} = \frac{\sum(A_1p_1 + A_2p_2 + \dots + A_n p_n)}{\sum A_{tot}} \tag{a}$$

Dimana, p : MAP, A_n : Luas Daerah yang mewakili stasiun, P_n : hujan tiap stasiun, dan A_{tot} : luas total tiap sub-DAS.

- b. Menghitung hujan rencana, proses ini dimulai dengan analisis frekuensi hujan menggunakan model **Anfrek Djoko Luknanto** untuk memperoleh debit rencana pada periode ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun. Selanjutnya adalah menghitung distribusi hujan jam-jaman menggunakan Metode **Mononobe** dengan persamaan b (**Triatmodjo, 2010**).

$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \tag{b}$$

Dimana, I_t : intensitas hujan jam-jaman (mm/jam), t : Lama Hujan (Jam), R_{24} : curah hujan max 24 jam. Hujan jam-jaman diubah ke dalam model **ABM (Alternating Block Method)** untuk dijadikan input pada perangkat **HEC-HMS**. Berikutnya, menghitung hujan efektif menggunakan nilai $CN_{komposit}$ (Tabel 1).

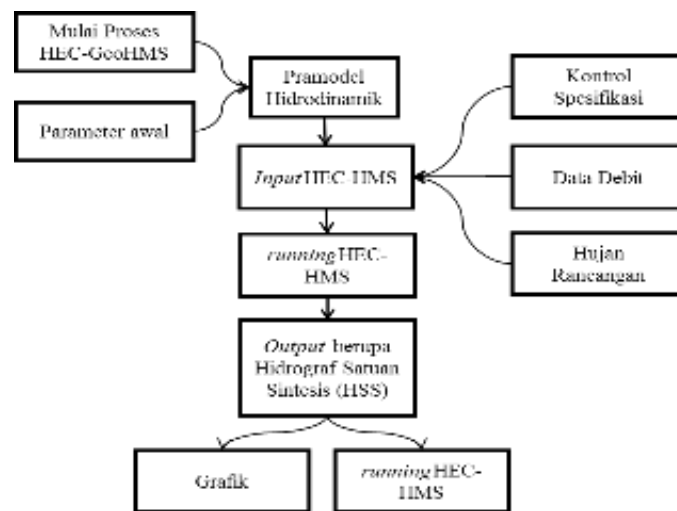
- c. Pemodelan hidrologi dilakukan menggunakan perangkat **HEC-HMS** untuk menghasilkan menghasilkan hidrograf debit banjir rancangan tiap periode ulang, dan mengetahui karakteristik hidrograf banjir bandang. Model hidrograf yang digunakan adalah model **HSS SCS**. Sebelum pemodelan, dihitung besaran aliran dasar tiap sub-DAS pada bagian hulu menggunakan rumus **GAMA 1** dengan persamaan c (**Harto, 2000**).

$$Q_B = 0.4715 A^{0.6444} D^{0.943} \tag{c}$$

Dimana, Q_B = debit aliran dasar (m^3/dt), A = luas DAS (Km^2), D = kerapatan jaringan kuras (Km/Km^2). Karakteristik aliran dasar dihitung menggunakan model **resesi eksponensial** dalam **HEC-HMS** dengan persamaan d (**Feldman, 2000**):

$$Q_t = Q_0 k^t \tag{d}$$

Dimana, Q_t = debit aliran dasar (m^3/dt), Q_0 = aliran dasar awal (*initial baseflow*) pada waktu nol (m^3/dt), k = rasio resesi. Proses pemodelan **HEC-HMS** (**Gambar 2**) diawali dengan pengisian komponen model yang terdiri dari beberapa parameter model, yaitu: *basin mode, meteorological model, control specification, time series*.



Gambar 2. Proses Pemodelan HEC-HMS

Kalibrasi dan validasi parameter HEC-HMS

Analisis morfometri menggunakan **HEC-GeoHMS 10.3** menghasilkan parameter waktu untuk menetapkan waktu puncak dan perkiraan durasi banjir rencana pada **HSS SCS**. Untuk memastikan parameter waktu yang digunakan sesuai dengan kondisi DAS dilakukan kalibrasi parameter waktu menggunakan metode **Kirpich** pada persamaan e. Berikutnya, hasil pemodelan debit banjir dengan **HEC-HMS** divalidasi menggunakan metode (R^2) yang disajikan dalam persamaan f. Metode R^2 menggunakan nilai selisih debit rencana simulasi dengan data *design* **JICA** tahun 1983 yang memakai data 24 tahun sebelum tahun 1980. Jika nilai R^2 mendekati 1 berarti data yang cukup beragam sudah tertangani dengan baik dalam model regresi linear dan hasil model dapat dianggap akurat. Jika nilai R^2 mendekati 0 berarti data tidak dapat digunakan.

$$T_c = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S}\right)^{0,385} \tag{e}$$

Dimana T_c = waktu konsentrasi (jam), L = panjang sungai (Km), dan S = kemiringan rata-rata sungai (%).

$$R^2 = \frac{TSS - RSS}{TSS} \tag{f}$$

$$TSS = \sum(Y_i - \bar{y})^2$$

Dimana, R^2 = koefisien determinasi atau nilai ketepatan variabel yang dihitung. TSS = *Total Sum of Square* (jumlah selisih data yang sudah dikuadratkan). $Y_i - \bar{y}$ = nilai simulasi dikurangi nilai observasi. Sedangkan RSS = *Root Sum of Square* (akar dari TSS).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Gambaran Umum Wilayah Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Sub-DAS Bt. Kuranji yang merupakan sub-DAS terbesar dalam DAS Kuranji. DAS Kuranji terletak di daerah Pegunungan Bukit Barisan, dimana bagian hulu DAS berada di daerah Gunung Sangkai dengan ketinggian 1881 mdpl. Secara keseluruhan DAS Kuranji memiliki luas sekitar 226,08 Km². Secara geografis DAS Kuranji berada pada bentang 0°47'23" LS sampai 0°56'12" LS dan 100°20'06" BT sampai 100°33'52" BT. lokasi penelitian dibagi menjadi dua area, yaitu: bagian hulu sub-DAS sebagai area untuk menganalisis karakteristik hidrograf banjir bandang, dan bagian tengah ke hilir untuk mengkaji potensi bahaya dan tingkat kerentanannya.

Pada kawasan hulu Sub-DAS Bt. Kuranji terdapat anak sungai yang terdiri dari Bt. Limau Manih dengan panjang 16,42 Km dan luas DAS 31,93 Km², serta aliran kembar Bt. Padang Janiah dan Bt. Padang Karuah yang memiliki alur relatif sejajar dari hulu hingga pertemuannya, dengan panjang 18,86 Km dan luas DAS 82,26 Km². Pada saat hujan dan jika terjadi banjir, maka aliran kembar ini akan terjadi akumulasi banjir dengan waktu puncak yang hampir bersamaan. Pada bagian tengah DAS terdapat anak sungai yang terdiri dari Bt. Air Sangkai dengan panjang 3,63 Km dan luas DAS ±6 Km². Kondisi meteorologi dan klimatologi pada sub-DAS Bt. Kuranji dapat dideskripsikan dari jenis sungai dan kondisi curah hujannya. Iklim DAS Kuranji tergolong tipe iklim A berdasarkan klasifikasi Schmidt-Ferguson, yaitu iklim sangat basah dengan hujan cukup tinggi yang berkisar 4000 mm/tahun. Sungai pada Sub-DAS Bt. Kuranji tergolong tipe sungai perennial yang memiliki aliran sepanjang tahun. Kemiringan lereng Sub-DAS Bt. Kuranji tergolong kedalam kategori curam sampai sangat curam di bagian hulu, dan semakin landai sampai ke bagian hilir.

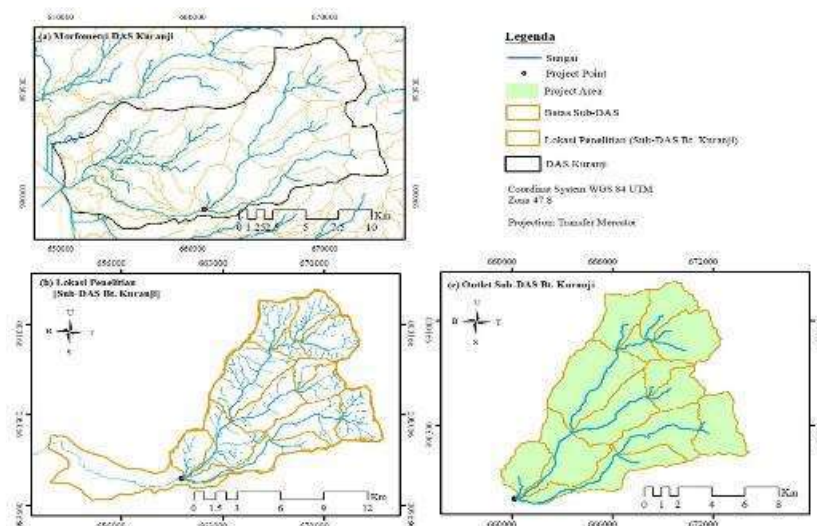
Berdasarkan klasifikasi ordo tanah dalam sistem taksonomi tanah USDA (1975), Pada lokasi penelitian terdapat empat jenis tanah yaitu Entisol (Ent), Histosol (Ist), Inceptisol (Ept), dan Ultisol (Ult) (BBDSL, 2012). Adapun struktur tanah dan batuan Sub-DAS Bt. Kuranji terdiri dari Qf, Qal, QTt, dan QTau, sedangkan penggunaan lahan berdasarkan hasil interpretasi citra Quickbird tahun 2021 yaitu hutan seluas 77,33%, perkebunan seluas 5,08%, permukiman seluas 7,74%, sawah seluas 8,6%, semak belukar seluas 2,71%, peairan 0,72%, dan tegalan seluas 3,64%.

3.2. Analisis Morfometri

Morfometri adalah kriteria yang berkaitan dengan karakteristik DAS dan bersifat kuantitatif. Analisis morfometri dilakukan menggunakan ekstensi Archydro dan HEC-GeoHMS v. 10.3 pada software ArcGIS 10.3 yang menghasilkan aliran sungai dan wilayah DAS Kuranji beserta sub-DAS yang ada didalamnya yang disajikan pada Gambar 3. Morfometri DAS terdiri dari panjang sungai, luas DAS dan sub-DAS, kerapatan drainase, jangkauan aliran, serta outlet DAS yang merupakan dasar untuk perhitungan hidrograf banjir Bandang pada Sub-DAS Bt. Kuranji. Hasil dari pengolahan morfometri DAS di perangkat ArcGIS diimpor ke perangkat HEC-HMS untuk mendapatkan parameter analisis karakteristik hidrograf banjir Sub-DAS Bt. Kuranji. Rincian morfometri tiap sub-DAS disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Morfometri Sub-DAS Bt. Kuranji.

Sub-DAS	Luas (Km ²)	Sungai Utama (m)	Kemiringan Sungai Rata-rata (%)	Kemiringan DAS Rata-rata (%)
W210	8,05	2351,97	0,34	0,53
W250	20,66	2889,26	0,08	0,13
W260	18,10	7131,54	0,05	0,34
W290	21,48	5939,74	0,08	0,22
W350	32,38	14755,86	0,06	0,25
W360	6,65	1624,05	0,01	0,32
W380	12,89	6409,07	0,02	0,28



Gambar 3. Analisis Morfometri: (a) Morfometri DAS Kuranji; (b) Sub-DAS Bt. Kuranji; (c) Outlet Sub-DAS Bt. Kuranji

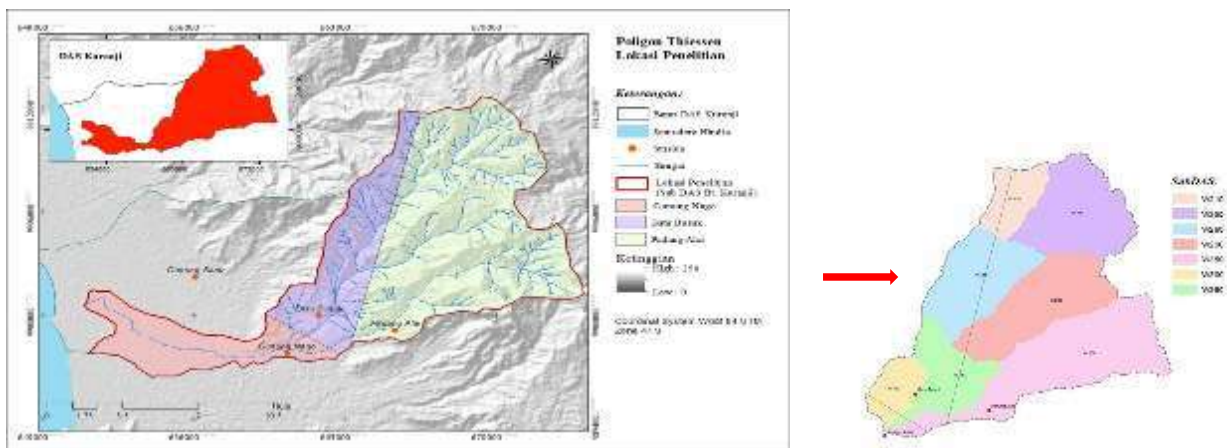
Analisis morfometri menunjukkan bahwa DAS Kuranji memiliki dua sungai besar yaitu Sungai Bt. Kuranji sebagai aliran utama dan Sungai Bt. Belimbing, dimana keduanya bertemu di bagian hilir Sungai Bt. Kuranji. Total seluruh alur permanen pada Sungai Bt. Kuranji adalah 50 Km dengan panjang sungai utama yaitu 15,8 Km. Penelitian ini difokuskan pada lokasi salah satu daerah anak sungai besar di DAS Kuranji, yaitu pada daerah aliran sungai Bt. Kuranji. Luas keseluruhan Sub-DAS Bt. Kuranji adalah 143,5 Km², dimana luas bagian hulunya adalah 120,2 Km². Sub-DAS Bt. Kuranji memiliki beberapa anak sungai di bagian hulu yang bertemu di outlet. Dalam penelitian ini, anak sungai pada bagian hulu DAS dibagi menjadi tujuh sub-DAS kecil, yaitu dengan kode W210, W250, W260, W290, W350, W360, dan W380. Panjang aliran utama dalam Sub-DAS Kuranji dari outlet hulu sampai ke hilirnya yaitu 11, 593 Km.

Berikutnya adalah menentukan skematik penelusuran aliran Sub-DAS Bt. Kuranji. Skema HMS untuk penelusuran aliran pada Sub-DAS Bt. Kuranji dibagi menjadi 4 elemen aliran yang dimulai dari hulu DAS sampai ke outlet, yaitu dengan kode R100, R160, R170, dan R180. Tiap elemen penelusuran aliran mengalirkan air yang terkumpul pada persimpangan di tiap hilir sub-DAS menuju outlet. Pada daerah penelitian ini terdapat 4 persimpangan aliran, yaitu dengan kode J57, J49, J52, dan J60.

3.3. Analisis Hidrologi

a. Hujan rerata Kawasan (MAP), Distribusi hujan dan Hujan efektif (P_e)

Analisis hidrologi diawali dengan mengolah data hujan harian maksimum 38 tahun yaitu data dari rentang Tahun 1978 sampai Tahun 2015 untuk mendapatkan data hujan jam-jaman. Data hujan berasal dari 3 stasiun hujan disekitar lokasi penelitian yaitu dari Sta. Gunung Nago, Sta. Padang Alai, dan Sta. Batu Busuk. Data hujan tersebut diolah menggunakan metode Polygon Thiesen guna mendapatkan hujan rerata kawasan atau MAP (*Mean areal precipitation*) untuk sub-DAS W210, W250, W260, W290, W350, W360, dan W380 yang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Polygon Thiesen hulu untuk MAP Sub-DAS Bt. Kuranji

Data hujan tiap sub-DAS dianalisis menggunakan model analisis frekuensi Djoko Luknanto dalam format Microsoft Excel. Dalam *software* tersebut terdapat beberapa jenis distribusi yang dipakai, yaitu: Distribusi Normal, Log-Normal, Gumbel, dan Log-Pearson III. Semua jenis distribusi diuji menggunakan metode Ci-Kuadrat dan Uji Smirnov-Kolmogorov, hasil dengan delta maksimum itulah yang digunakan. Berikutnya adalah analisis Model Mononobe yang menghasilkan hujan dengan durasi singkat (5 menit sampai 8 jam) pada kala ulang 2, 5, 10, 20, 50 dan 100 tahun sehingga diperoleh besaran hujan jam-jaman. Proses ini diperlukan karena tidak tersedianya data hujan jam-jaman di daerah penelitian. Setelah memperoleh nilai hujan rencana (P_T) menjadi besaran hujan jam-jaman, kemudian didistribusikan menggunakan model ABM (Tabel 3) agar dapat diinput ke dalam model HEC-HMS. Pendistribusian hujan rencana pada beberapa periode ulang diperoleh dengan cara membagi besaran hujan pada setiap periode ulang dengan persentase berdasarkan durasi hujan. Durasi hujan diperoleh dari parameter waktu hasil analisis SCS-CN menggunakan ekstensi HEC-GeoHMS, yang sudah dikalibrasi dengan Metode Kirpich, yaitu berupa waktu konsentrasi hujan (T_c), waktu jeda menuju puncak (T_{lag}), dan waktu puncak banjir (T_p). Hasil kalibrasi yaitu:

Parameter waktu hasil HEC-HMS

$$\begin{aligned} T_c &= 2.3 \\ T_{lag} &= 1.4 \\ T_p &= 1.5 \\ \text{Pembulatan } T_c &= 2,3 = 3 \end{aligned}$$

Parameter waktu dengan Kirpich

$$\begin{aligned} T_c &= 2.5 \\ T_{lag} &= 1.5 \\ T_p &= 1.7 \\ \text{Pembulatan } T_c &= 2,5 = 3 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa hujan di Sub-DAS Bt. Kuranji terkonsentrasi dalam waktu yang relatif singkat yaitu 3 jam, yang mana waktu tersebut adalah salahsatu ciri-ciri karakteristik hujan penyebab banjir bandang. Disamping perhitungan waktu penyebab banjir, kondisi hujan efektif di wilayah penelitian juga menjadi indikator penentu kejadian banjir.

Analisis hujan efektif dilakukan menggunakan metode SCS-CN yang bertujuan untuk memperoleh besaran retensi potensial maksimum (S) dan besaran air yang hilang di awal (I_a). Nilai CN diperoleh dengan meng-overlay Peta Jenis Tanah dan Peta Penggunaan Lahan berdasarkan parameter CN. Jenis tanah Sub-DAS Bt. Kuranji dan kategori HSG yaitu Inceptisol (A), Ultisol (D), Entisol (B), dan Histosol (D). Irisan antara jenis tanah yang telah diklasifikasikan dan jenis penggunaan lahan menghasilkan nilai CN. Nilai CN pada tiap sub-DAS adalah nilai $CN_{komposit}$, dari nilai CN tersebut diperoleh nilai I_a dan S Sub-DAS Bt. Kuranji, dan selanjutnya dihitung besaran hujan efektif (P_e) tiap sub-DAS. Nilai CN, I_a , dan S dapat dilihat pada Tabel 4. Adapun nilai hujan efektif (P_e) tiap sub-DAS berdasarkan periode ulang menunjukkan bahwa dari kejadian hujan yang terkonsentrasi selama 3 jam di Sub-DAS Bt. Kuranji, terdapat perbedaan puncak hujan efektif untuk setiap periode ulang. Puncak hujan efektif di Sub-DAS Bt. Kuranji pada periode ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun rata-rata terjadi antara jam ke-2 sampai jam ke-3 turunnya hujan.

Tabel 3. Distribusi Hujan Rencana menggunakan Model ABM

Sub-DAS	Periode Ulang	P_T (mm)	Distribusi Hujan (mm)			Sub-DAS	Periode Ulang	P_T (mm)	Distribusi Hujan (mm)		
			1	2	3				1	2	3
W210	2	87,77	11,10	60,85	15,82	W350	2	136,82	17,30	94,87	24,66
	5	121,06	15,30	83,94	21,82		5	196,53	24,84	136,26	35,42
	10	142,80	18,05	99,01	25,74		10	236,05	29,84	163,67	42,54
	20	163,43	20,66	113,31	29,45		20	273,97	34,64	189,96	49,37
	50	189,92	24,01	131,68	34,23		50	323,05	40,84	223,99	58,22
	100	209,73	26,51	145,42	37,80		100	359,83	45,49	249,49	64,85
W250	2	157,46	19,91	109,17	28,38	W360	2	101,82	12,87	70,60	18,35
	5	226,36	28,62	156,95	40,79		5	132,71	16,78	92,02	23,92
	10	271,98	34,38	188,58	49,02		10	150,02	18,97	104,02	27,04
	20	315,73	39,92	218,92	56,90		20	164,72	20,82	114,21	29,69
	50	372,38	47,08	258,19	67,11		50	181,52	22,95	125,86	32,71
	100	414,82	52,44	287,62	74,76		100	192,77	24,37	133,66	34,74
W260	2	77,80	9,84	53,94	14,02	W380	2	80,92	10,23	56,11	14,58
	5	98,43	12,44	68,25	17,74		5	100,99	12,77	70,03	18,20
	10	112,09	14,17	77,72	20,20		10	111,49	14,09	77,30	20,09
	20	125,19	15,83	86,80	22,56		20	120,15	15,19	83,31	21,65
	50	142,15	17,97	98,56	25,62		50	129,91	16,42	90,07	23,41
	100	154,85	19,58	107,37	27,91		100	136,41	17,25	94,58	24,58
W290	2	148,02	18,71	102,63	26,68						
	5	212,74	26,89	147,50	38,34						
	10	255,58	32,31	177,21	46,06						
	20	296,68	37,51	205,71	53,47						
	50	349,88	44,23	242,59	63,06						
	100	389,75	49,27	270,24	70,24						

Tabel 4. Nilai CN, S, dan I_a Sub-DAS Bt. Kuranji dari HEC-GeoHMS

Sub-DAS	CN	S (mm)	I_a (mm)	LUAS (Km ²)
W250	36,00	451,56	90,31	20,66
W210	36,00	451,56	90,31	8,05
W290	36,01	451,40	90,28	21,48
W260	36,88	434,72	86,94	18,10
W360	46,38	293,60	58,72	6,65
W350	40,53	372,63	74,53	32,38
W380	51,55	238,76	47,75	12,89

b. Karakteristik Hidrograf Sub-DAS Bt. Kuranji menggunakan HSS-SCS pada HEC-HMS

Hidrograf banjir bandang Sub-DAS Bt. Kuranji merupakan hasil perhitungan antara hujan rencana dan hidrograf satuan, yaitu berupa pengalihragaman hujan menjadi aliran, dimana hidrograf banjir tersebut memperlihatkan potensi debit banjir yang dapat terjadi dalam periode ulang 2 tahun sampai 100 tahun. Dalam penelitian ini hidrograf debit banjir dihitung menggunakan *software* HEC-HMS.

Aliran Dasar (Baseflow)

Aliran dasar (Q_b) adalah limpasan berkelanjutan yang memiliki puncak debit tertentu saat terjadinya hujan, dan merupakan akumulasi aliran sebelum terjadinya banjir yang berpengaruh ketika terjadi banjir. Penghitungan aliran dasar (Q_b) pada Sub-DAS Bt. Kuranji menggunakan Metode GAMA I. Aliran dasar merupakan hubungan antara luas DAS dengan kondisi drainase DAS. Adapun drainase DAS di lokasi penelitian yaitu dari 0,24 Km/Km² sampai 0,55 Km/Km² dengan aliran dasar (Q_b) yaitu berkisar dari 0,42 m³/s sampai 2,53 m³/s.

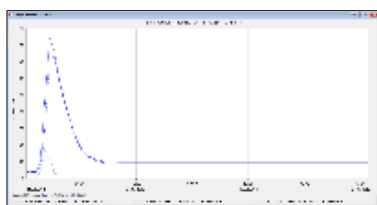
Pemodelan Hidrograf Banjir dengan HEC-HMS

Dalam model HEC-HMS, tahapan simulasi dilakukan secara berurutan. Diawali dari input elemen yang menjadi parameter HSS SCS ke perhitungan *Loss Method* menggunakan *SCS model*, kemudian *outputnya* berupa selisih hujan yang dimasukkan ke perhitungan *Transform Method* menggunakan *SCS UH model*. Hasil dari *Transform Method* berupa *direct flow* dan *baseflow*, dimana *baseflow* ditambahkan dengan *Baseflow Method* menggunakan *recession model*, sehingga diperoleh debit outlet tiap sub-DAS. Terakhir dilakukan proses *routing* dengan *Routing Method* menggunakan *Model Muskingum*, sehingga diperoleh besar debit pada outlet utama Sub-DAS Bt. Kuranji. Input penelusuran aliran diperoleh dari analisis morfometri di ArcGIS yang dilakukan sebelumnya.

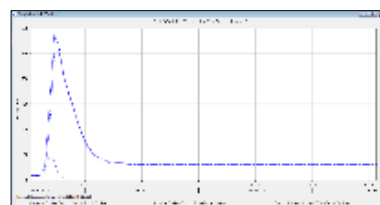
Konsep karakteristik hidrograf banjir menggambarkan semua kombinasi fisik tiap sub-DAS dan karakteristik hujan. Kombinasi fisik tersebut terdiri dari: bentuk DAS, luas, panjang sungai, kemiringan, dan sifat tanah. Karakteristik hujan terdiri dari: pola hujan, intensitas hujan, dan durasi hujan penyebab banjir. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa debit puncak tiap Sub-DAS mengalami kenaikan pada jam Ke-2. Semua aliran *outflow* tiap sub-DAS menjadi *inflow* di outlet, kemudian menjadi *outflow* banjir bandang pada sungai Bt. Kuranji dengan puncak hidrograf yang terjadi pada jam ke-3. Grafik hidrograf masing-masing Sub-DAS pada tiap periode ulang disajikan pada Gambar 5, sedangkan hasil perhitungan debit dalam wujud HSS SCS dengan model HEC-HMS di Sub-DAS Bt. Kuranji untuk periode ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Potensi Debit Banjir bandang di Sub-DAS Bt. Kuranji

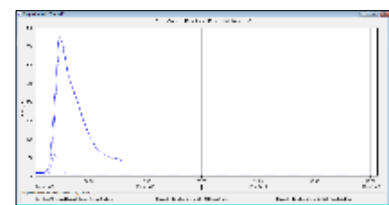
t (jam)	Debit Banjir Berdasarkan T (Periode Ulang) (m ³ /dt)					
	Q 2 tahun	Q 5 tahun	Q 10 tahun	Q 20 tahun	Q 50 tahun	Q 100 tahun
12:30	9	9	9	9	9	9
13:30	9	9	9	9	9	9
14:30	9	9	9	9	9	9
15:30	20,1	23,9	26,2	28,3	31	32,9
16:30	96	147,5	185,8	224,7	277,8	319,2
17:30	168,4	287,9	381,5	479,6	616,4	724,9
18:30	152,8	264	350	439,6	563,5	661,1
19:30	120,5	205,9	273,9	346	447,2	528
20:30	97,6	173,8	237	305,2	402,5	480,9
21:30	77,1	144,7	202,1	264,6	354,2	426,6
22:30	58,2	113,6	161,2	213,1	287,8	348,4
23:30	44,2	87,5	124,9	165,8	224,8	272,8
00:30	34,6	68	96,8	128,5	174,4	211,8
01:30	28,4	54,6	77,1	102	138,2	167,8
02:30	24,6	45,8	64	84,3	113,9	138,1
03:30	22,3	40,3	55,7	73	98,4	119,1
04:30	20,9	37	50,6	66,1	88,7	107,3
05:30	20,1	35	47,5	61,8	82,9	100,1
06:30	19,7	33,8	45,7	59,3	79,4	95,8
07:30	19,4	33,1	44,6	57,9	77,4	93,3
08:30	19,2	32,7	44	57	76,2	91,9
09:30	19,2	32,4	43,7	56,5	75,5	91
10:30	19,1	32,3	43,5	56,3	75,1	90,6
11:30	19,1	32,2	43,4	56,1	74,9	90,3
12:30	19,1	32,2	43,3	56	74,8	90,1
13:30	19,1	32,2	43,3	56	74,7	90,1
maks	168,4	287,9	381,5	479,6	616,4	724,9



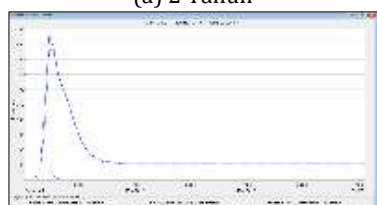
(a) 2 Tahun



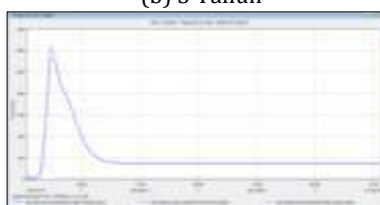
(b) 5 Tahun



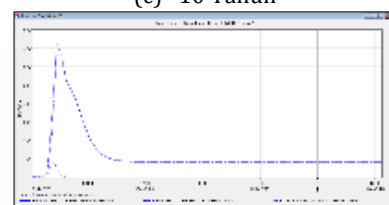
(c) 10 Tahun



(d) 20 Tahun



(e) 50 Tahun



(f) 100 Tahun

Gambar 5. Hidrograf banjir Sub-DAS Bt. Kuranji hasil HEC-HMS periode ulang 2 sampai 100 tahun

Kalibrasi dan Validasi Debit puncak Hidrograf Hasil Pemodelan HEC-HMS

Guna mendapatkan keakuratan optimal dari hasil penelitian, maka debit puncak hasil simulasi HSS SCS dari model HEC-HMS perlu dikalibrasi dan divalidasi dengan data terukur di lapangan, ataupun data yang sudah digunakan sebelumnya. Validasi dan kalibrasi penelitian ini dilakukan menggunakan data design JICA. Pilihan ini diambil dengan pertimbangan bahwa pemantauan DAS Kuranji berada dalam pengawasan BWS Aquaman, dimana dalam pengawasan selama ini pemantauan kondisi DAS mengacu pada design JICA tahun 1983.

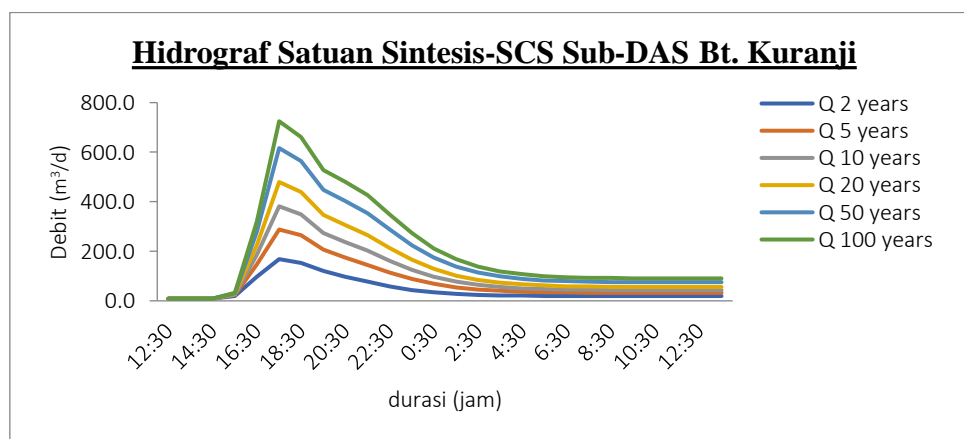
Dalam laporan yang berjudul *Study Report Padang Area Flood Control Project* yang dikeluarkan tahun 1983, *Japan International Cooperation Agency* (JICA) membuat perhitungan debit banjir rencana dibagian hulu DAS Kuranji menggunakan data hujan Stasiun Tabing dengan panjang data 24 tahun sebelum tahun 1980. Perhitungan dilakukan menggunakan Metode analisis Melchior dengan waktu distribusi hujan jam-jaman selama 3 jam. Disamping itu, proses pemurnian Sungai Bt. Kuranji oleh Dinas PU Kota Padang yang dimulai awal tahun 2017 juga mengacu pada *design JICA*. Proses pemurnian Sungai Bt. Kuranji tersebut dilakukan dengan memodifikasi *design JICA* menggunakan data hujan dari tahun 1975 sampai tahun 2012 dengan waktu distribusi hujan 2 jam. Hal ini tertuang dalam Laporan Akhir Studi Mitigasi Bencana Banjir Bandang Kota Padang oleh BWS Aquaman tahun 2014. Besaran debit banjir pada penelitian ini menggunakan data hujan jam-jaman yang terdistribusi selama 3 jam dan sudah sebanding dengan data JICA, sehingga dapat diketahui tingkat kevalidan data dan hasil simulasi. Berdasarkan uji validitas diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,992. Nilai koefisien determinasi (R^2) tersebut mendekati 1 yang menunjukkan bahwa besaran debit rencana hasil simulasi sudah tepat untuk menjelaskan debit banjir pada tiap periode ulang dengan variasi kinerja 99,2 % dari data yang beragam. Mengacu pada hasil R^2 dapat dinyatakan bahwa data yang dipakai untuk simulasi adalah valid dan dapat digunakan untuk simulasi banjir pada periode ulang yang berbeda.

Karakteristik Hidrograf Banjir Bandang

Hasil simulasi menunjukkan bahwa Sub-DAS Bt. Kuranji memiliki bentuk HSS SCS yang ramping dan tajam mendekati puncaknya. Hal ini bermakna bahwa hujan selama 3 jam hanya membutuhkan waktu yang singkat untuk terakumulasi menjadi aliran banjir, dan akan kembali ke aliran normal dalam waktu yang singkat juga. Secara umum, hasil simulasi HSS SCS menunjukkan adanya potensi banjir bandang pada Sub-DAS Bt. Kuranji, sebab salah satu karakteristik banjir bandang yaitu bentuk hidrograf debit yang ramping dan tajam pada puncaknya (Pedzisai, 2010).

Metode SCS digunakan untuk mengetahui hidrograf debit penyebab banjir bandang di bagian hulu Sub-DAS Bt. Kuranji pada periode ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun yang disajikan pada Gambar 6. Dari hujan selama 3 jam, terjadi awal aliran sebesar $9 \text{ m}^3/\text{dt}$. Selama durasi hujan 3 jam terdapat kemungkinan terjadinya sekali atau lebih pengulangan debit puncak sebesar $168,4 \text{ m}^3/\text{dt}$ dalam kurun 2 tahun. Debit puncak sebesar $168,4 \text{ m}^3/\text{dt}$ direncanakan akan terulang atau terjadi sebanyak 50 kali dalam waktu 100 tahun. Sedangkan dalam waktu 100 tahun akan terjadi sekali atau lebih pengulangan debit puncak sebesar $724,9 \text{ m}^3/\text{dt}$.

Debit puncak sebesar $168,4 \text{ m}^3/\text{dt}$ dapat menyebabkan penambahan volume Sub-DAS Bt. Kuranji sebesar 61,91 mm, dan akan terjadi pengulangan yang sama sebanyak satu kali atau lebih dalam waktu 2 tahun. Volume yang sama juga berulang setidaknya 50 kali dalam waktu 100 tahun. Sedangkan dalam waktu 100 tahun terjadi sekali atau lebih pengulangan volume aliran sebesar 289,51 mm, yang berasal dari debit sebesar $724,9 \text{ m}^3/\text{dt}$. Kejadian ini berlaku untuk setiap periode ulang dan diikuti debit puncak beserta volume yang dihasilkannya Hidrograf satuan sintesis SCS untuk tiap periode ulang disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hidrograf Potensi Debit Banjir Sub-DAS Bt. Kuranji

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dapat ditarik kesimpulan bahwa karakteristik Hidrograf Banjir Bandang Sub-DAS Bt. Kuranji dari hujan selama 38 tahun menunjukkan waktu konsentrasi (T_c) hujan penyebab banjir adalah 3 jam. Puncak hujan efektif (P_c) terjadi pada jam ke-2 sampai jam ke-3. Hidrograf menunjukkan Q 2 tahun yaitu $168,4 \text{ m}^3/\text{dt}$, Q 5 tahun yaitu $287,9 \text{ m}^3/\text{dt}$, Q 10 tahun yaitu $381,5 \text{ m}^3/\text{dt}$, Q 20 tahun yaitu $479,6 \text{ m}^3/\text{dt}$, Q 50 tahun yaitu $616,4 \text{ m}^3/\text{dt}$, dan Q 100 tahun yaitu $724,9 \text{ m}^3/\text{dt}$. Hidrograf SCS Sungai Bt. Kuranji ramping dan tajam mendekati puncaknya, yang bermakna

bahwa hujan selama 3 jam hanya membutuhkan waktu singkat untuk terakumulasi menjadi aliran banjir, dan akan kembali menjadi aliran normal dalam waktu yang singkat juga. Hal ini menunjukkan salah satu karakteristik banjir bandang yaitu terjadi dengan cepat dalam waktu relatif singkat.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak terkait yang telah membantu terlaksananya penelitian hingga selesainya penulisan ini. Terkhusus kepada BMKG Sumatera Barat yang sudah memberikan data hujan, BWS Aquaman selaku pengelola sungai di DAS Kuranji, dan BIG/BAKOSURTANAL yang sudah menyediakan Citra satelit beresolusi tinggi.

6. REFERENSI

- Abuzied, S., Yuan, M., Ibrahim, S., Kaiser, M. & Saleem, T. (2016). Geospatial Risk Assessment of Flash Floods in Nuweiba Area, Egypt. *J. Arid Environ.* 133, 54–72.
- Afrianto, Y. (2015). Pemodelan Bahaya Banjir dan Analisis Risiko Banjir. Tesis. UGM: Yogyakarta.
- Albano, R., Mancusi, L., Sole, A., & Adamowski, J. (2015). Collaborative Strategies for Sustainable EU Flood Risk Management: FOSS and Geospatial Tools—Challenges and Opportunities for Operative Risk Analysis. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(4), 2704–2727.
- Atviana, F., Nurritasari, & Jetten, V.G. (2015). OpenLISEM Flash Flood Modelling Application in Logung Sub-Catchment, Central Java. *Indonesian Journal of Geography*, 47(2), 132–141.
- Azmeri, H. & Vadiya, R. (2016). Identification of flash flood hazard zones in mountainous small watershed of Aceh Besar Regency, Aceh Province, Indonesia. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 19(1), pp.143–160.
- BNPB [Badan Nasional Penanggulangan Bencana]. (2012). Peraturan Kepala BNPB No 2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana.
- BNPB [Badan Nasional Penanggulangan Bencana]. (2016). *Bencana Di Indonesia Sampai Mei 2017*. (www.dibi.bnpb.go.id). Diakses 22 Mei 2017.
- Borga, M., Anagnostou, E. N., Blöschl, G., & Creutin, J. D. (2011). Flash flood forecasting, warning and risk management: The HYDRATE project. *Environmental Science and Policy*, 14(7), 834–844.
- Creutin, J.D., & Borga, M. (2003). Radar hydrology modifies the monitoring of flash flood hazard. *Hydrological Processes* 17 (7), 1453–1456
- Dawod, G. M., Koshak, N. A., & Al, E. T. (2011) Developing GIS-Based Unit Hydrographs for Flood Management in Makkah Metropolitan Area, Saudi Arabia, 2011(April), 153–159.
- Dawod, G. M. (2011). GIS-based Spatial Mapping of Flash Flood Hazard in Makkah City, Saudi Arabia. *Journal of Geographic Information System*, (3), 225–231.
- Dip, M., Parikesit, N.A., & Utomo, H. (2012). “Buku Petunjuk Tindakan dan Sistem Mitigasi Banjir Bandang. Dirjen SDA,” Kementerian Pekerjaan Umum, (www.pu.go.id), Diakses Oktober 2016.
- Feldman, A. D. (2000). *Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, HEC, Davis, CA- USA.
- Finkl, C. W. (2000). Identification of Unseen Flood Hazard Impacts in Southeast Florida through Integration of Remote Sensing and Geographic Information System Techniques. *Environmental Geosciences*, 7(3), 119–136.
- Garambois, P. A., Roux, H., Larnier, K., Labat, D., & Dartus, D. (2015). Parameter regionalization for a process-oriented distributed model dedicated to flash floods. *Journal of Hydrology*, 525, 383–399.
- Georgakakos, K. P. (2006). Analytical results for operational flash flood guidance. *Journal of Hydrology*, 317(1–2), 81–103.
- Harto, S. B. & Dip, H. (1993). “*Analisis Hidrologi*,” Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Harto, S. B. (2000). “*Hidrologi: Teori Masalah Penyelesaian*,” Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Horton, R. (1945). Erosional Development of Streams and Their Drainage Basins, Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology, *Geol Soc Am Bull*, (56), 275–370.
- Jonkman, S. N. (2005). Global Perspectives on Loss of Human Life Caused by Floods. *Journal of Natural Hazards*, (34), 151–175.
- Karagiorgos, K., Thaler, T., Hübl, J., Maris, F., & Fuchs, S. (2016). Multi-vulnerability analysis for flash flood risk management. *Natural Hazards*, (82), 63–87.
- Marchi, L., Borga, M., Preciso, E., & Gaume, E. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe and implications for flood risk management. *Journal of Hydrology*, 394(1–2), 118–133.
- Merwade, V. (2012). “*Hydrologic Modeling using HEC-HMS Opening a HEC-HMS Project*,” Purdue University: USA.
- SCS (US Soil Conservation Service). (1985). *National Engineering Handbook*, Washington, US Department of Agriculture, US: Government Printing Office.
- Smith, D. I. (1981). Actual and Potential Flood Damage: A Case Study for Urban Lismore, NSW, Australia. *Journal of Appl. Geography*, (1), 31–39.
- Smith, P. J., Panziera, L. & Beven, K. J. (2014). Forecasting Flash Floods Using Data-Based Mechanistic Models and NORA Radar Rainfall Forecasts Forecasting Flash Floods Using Data-Based Mechanistic Models and NORA Radar Rainfall Forecast. *Journal of Hydrological Sciences*, 59(7), 1403–1417.
- Triatmodjo, B. (2010). “*Hidrologi Terapan*,” Yogyakarta: Beta Offset.
- UCAR [The University Corporation for Atmospheric Research]. (2010). *Flash Flood Early Warning System Reference Guide*, (http://www.meted.ucar.edu), Diakses Agustus 2016.
- USDA-SCS. (1986). *Soil Hydrology Classification*, (http://wmc.ar.nrcs.usda.gov), Diakses November 2016.
- Wisner, B. (2004). *Turning Knowledge into Timely and Appropriate Action: Reflections on IADB/IDEA Program of Disaster Risk Indicators*. IDB/IDEA Program of Indicators for Risk Management, Manizales: National University of Colombia: 18–24.

- Yin, J., Yu, D., Yin, Z., Liu, M., & He, Q. (2016). Evaluating The Impact and Risk of Pluvial Flash Flood on Intra-Urban Road Network: A Case Study in The City Center of Shanghai, China. *Journal of Hydrology*, 537, 138–145.
- Yogi. (2012). Sadar Bencana Masih Retorika, (www.PadangEkspress.co.id), Diakses September 2012.
- Youssef, A. M. & Pradhan, B. (2009). Geomorphological Hazards Analysis Along The Egyptian Red Sea Coast Between Safaga and Quseir. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, (9), 751–766.