

ANALISIS ALIRAN SUNGAI CIMANDIRI DENGAN METODE HEC-RAS

Oties T TSarwan, Acep Hidayat dan Diana Yusuf

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Mercu Buana

Jalan Meruya Selatan No.1, Joglo, Kembangan, RT.4/RW.1, Meruya Selatan, Jakarta Barat, 11650

Email: oties_tsarwan@yahoo.com, acep_hidayat@mercubuana.ac.id, retnoajeng41@gmail.com

ABSTRAK

Kondisi alur sungai terbentuk secara alamiah sesuai dengan kondisi alam yang dilalui oleh aliran air tersebut. Kondisi alam berupa faktor geologi, morfologi, vegetasi, iklim, curah hujan menjadi penyebab adanya perbedaan bentuk sungai yang menyebabkan adanya perbedaan karakteristik sungai. Dalam penelitian kali ini dilakukan analisis karakteristik aliran Sungai Cimandiri Cireunghas Sukabumi dengan menggunakan program HEC-RAS. Dari hasil analisis HEC-RAS, pada periode ulang 25 tahun dan 50 tahun disepanjang sungai dari hulu ke hilir didapat nilai Froude (FR) < 1 . Nilai ini menunjukkan bahwa jenis aliran yang terjadi adalah aliran subkritis. Selain itu, dari hasil analisis HEC-RAS dan analisis perhitungan didapat sepanjang saluran sungai dari STA 20 – STA 1 nilai Reynolds (Re) < 2100 , ini menunjukkan bahwa aliran yang terjadi yaitu aliran laminer, dimana aliran mengalir dengan kecepatan yang rendah. Dengan jenis aliran tersebut pada periode ulang 25 dan 50 tahun terjadi limpasan air banjir di beberapa titik, yang mengakibatkan kurang optimalnya pemanfaatan sungai Cimandiri, Cireunghas Sukabumi.

Kata kunci: Sungai, Aliran, Laminer, HEC-RAS, Subkritis, Banjir, Reynold, Froude

ABSTRACT

The condition of the river channel is formed naturally in accordance with the natural conditions traversed by the water flow. Natural conditions like geological, Morphological, vegetation, climate, rainfall caused different form of river that make different characteristics of the river. In this research, object that used for analysis of flow characteristic used HEC-RAS program is Cimandiri River that located at Cireunghas Sukabumi. From the result of HEC-RAS analysis, in the 25 year period and 50 year period, obtained value of Froude (Fr) < 1 along the river from upstream to downstream. The value of Froude (Fr) indicated that type of flow along the river is subcritical. Moreover, from the results of HEC-Ras analysis and calculation analysis obtained Reynold (Re) Value along Cimandiri River from STA 20 until STA 1 < 2100 . From this value can be identified that type of flow is Laminer with low flow velocity. With this type of flow during 25 year period and 50 year period occurrence of flood water discharge at some point, which make unoptimally utilization of Cimandiri River at Cireunghas Sukabumi.

Keywords: River, Flow, Laminer, HEC-RAS, Subcritical, Discharge, Reynold, Froude

1. PENDAHULUAN**1.1. Latar Belakang Masalah**

Fungsi sungai pada dasarnya adalah sebagai pengaliran sejumlah air dan sejumlah sedimentasi yang dibawa oleh aliran air dari hulu ke hilir. Kondisi alur sungai terbentuk secara alamiah sesuai dengan kondisi alam yang dilalui oleh aliran air tersebut. Kondisi alam berupa faktor geologi, morfologi, vegetasi, iklim, curah hujan dan sebagainya menjadi penyebab adanya perbedaan bentuk sungai tersebut.

Dengan perbedaan bentuk ini, tentu menyebabkan perbedaan karakteristik sungai. Secara rinci, perbedaan karakteristik sungai ini dipengaruhi morfologi sungai yang terdiri dari arah utama pengaliran, debit air, lebar saluran sungai, kedalaman sungai, gradien sungai serta koefisien kekasaran dasar sungai..

Adanya kajian karakteristik aliran sungai Cimandiri ini diharapkan mampu mengetahui

bagaimana karakteristik aliran sungai tersebut dalam kondisi terkini, sehingga dalam pemanfaatannya untuk masyarakat baik dalam menentukan lokasi bangunan hidrolis maupun ketahanan sungai dalam pengaliran airnya dapat dilakukan secara baik dan optimal.

1.2. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, maka dapat diidentifikasi masalah yang akan dibahas dalam tugas akhir ini, yaitu :

1. Analisis Jenis Aliran Sungai Cimandiri
2. Pengaruh Aliran Sungai Cimandiri terhadap kondisi yang terjadi di sekitar aliran Sungai Cimandiri

1.3. Batasan Masalah

Dari identifikasi masalah di atas, yang akan dibahas pada tugas akhir ini yaitu :

1. Lokasi penelitian yang dilakukan di Wilayah Sungai Cimandiri sejauh 1500 meter

2. Analisis aliran yang dikaji dan dibandingkan yaitu pada periode ulang 25 tahun dan periode ulang 50 tahun
3. Analisis hidrologi untuk mendapatkan nilai debit banjir rencana sebagai nilai input ke dalam program HEC-RAS
4. Analisis hidrolika dengan menggunakan dua batas (*boundary*) di hulu dengan *flow hydrograph* dan di hilir dengan menggunakan *Normal Depth*
5. Analisis jenis aliran Sungai Cimandiri melalui parameter karakteristik nilai *Froude* dan nilai *Reynold*

1.4. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana jenis aliran air yang mengalir di Sungai Cimandiri?
2. Bagaimana pengaruh aliran sungai terhadap kondisi Sungai Cimandiri?
3. Bagaimana solusi dari karakteristik aliran sungai untuk mengoptimalkan kondisi Sungai Cimandiri?

1.5. Maksud dan Tujuan Penelitian

Adapun maksud dan tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji karakteristik aliran Sungai Cimandiri dan pengaruh aliran tersebut terhadap kondisi sungai.

2. Tinjauan pustaka

2.1. Analisis Hidrologi

2.1.1 Analisis Curah Hujan Wilayah

Dari beberapa stasiun hujan yang berpengaruh dan digunakan, harus ditentukan suatu harga sebagai harga rata-rata kawasan yang mewakili suatu daerah pengaliran. Ada beberapa cara untuk menentukan curah hujan rata-rata ini, antara lain:

a. Cara rata-rata arithmatik

Cara ini digunakan bila daerah pengaruh dan curah hujan rata-rata dari tiap stasiun hampir sama atau bila stasiun hujannya memang terbatas. Besar curah hujan rata-rata dapat dihitung sebagai berikut:

$$R = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n} = \frac{\sum_1^n R_i}{n}$$

Keterangan:

- \bar{R} = Curah hujan rata-rata kawasan (mm)
- R = Curah hujan pengamatan ke I (mm)
- i = Jumlah pengamatan n

b. Cara Poligon Thiessen

Cara ini terutama dipakai bila daerah pengaruh dan besaran curah hujan rata-rata tiap stasiun jauh berbeda. Cara perataannya adalah sebagai berikut:

Mula-mula posisi masing-masing stasiun diplot pada peta daerah pengaliran. Setiap stasiun saling dihubungkan satu sama lain sehingga terbentuk suatu jaringan segitiga atau poligon. Selanjutnya buat garis berat dari masing-masing sisi segitiga, sehingga saling bertemu pada suatu titik. dengan demikian masing-masing stasiun hujan mempunyai daerah pengaruh dengan luas tertentu. Selanjutnya curah hujan rata-rata kawasan dihitung sebagai berikut:

$$\bar{R} = \frac{R_1 \cdot A_1 + R_2 \cdot A_2 + \dots + R_n \cdot A_n}{A_{total}} = \frac{\sum_1^n R_i \cdot A_i}{\sum A}$$

Keterangan:

- \bar{R} = Curah hujan rata-rata kawasan (mm)
- R_n = Curah hujan stasiun ke n (mm)
- A_n = Luas daerah pengaruh stasiun ke n (mm)

c. Cara Isohiet

Isohiet adalah garis yang menyatakan/menghubungkan titik-titik di atas permukaan bumi yang mempunyai harga curah hujan yang sama besar (seperti garis tinggi pada peta topografi). Berdasarkan data curah hujan yang tersebar pada masing-masing stasiun, dibuatkan garis-garis isohiet dengan cara menginterpolasi harga-harga antar stasiun tersebut, sehingga diperoleh suatu peta isohiet. Dari peta tersebut diambil curah hujan rata-rata antara dua garis isohiet yang mempunyai daerah pengaruh seluas daerah yang terdapat di antara dua garis isohiet bersangkutan. Selanjutnya curah hujan rata-rata dihitung dengan rumus:

$$\bar{R} = \frac{R_1 \cdot A_1 + R_2 \cdot A_2 + \dots + R_n \cdot A_n}{A_{total}} = \frac{\sum_1^n R_i \cdot A_i}{\sum A}$$

Keterangan:

- \bar{R} = Curah hujan rata-rata kawasan (mm)
- R_n = Curah hujan stasiun ke n (mm)
- A_n = Luas daerah pengaruh stasiun ke n (mm)

2.1.2 Pemilihan Distribusi Curah Hujan

Dalam statistik terdapat beberapa jenis sebaran (distribusi), diantaranya yang sering digunakan dalam hidrologi adalah distribusi Normal, distribusi *Log-Person III*, *Log Normal*, dan distribusi *Gumbel*.

a. Distribusi Normal

Fungsi densitas peluang normal dari variabel acak kontinyu X, dapat ditulis sebagai berikut:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Keterangan:

- $P(x)$ = fungsi densitas peluang normal (ordinat kurva normal)
- X = variabel acak kontinyu

μ = rata-rata dari nilai X
 σ = standar deviasi dari nilai X

b. Distribusi Log Pearson III

Perkiraan besarnya probabilitas hujan rencana dengan periode ulang T tahun dengan metode ini menggunakan perumusan:

$$\text{Log } X_{Tr} = \overline{\text{log } \bar{X}} + k \cdot \overline{S \cdot \text{log } \bar{X}}$$

Keterangan:

X_T = Curah hujan rencana periode ulang T tahun (mm)

S = Standar Deviasi

n = Jumlah Data

Cs = Koefisien Kemencengan

c. Distribusi Log Normal

Transformasi dari disrtibusi normal dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X, dapat juga dari distribusi Log Pearson Te III.

Koefisien kemencengan atau $Cs = 3 Cv + Cv^3$, dan nilai kortosis:

$$Ck = Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$$

d. Distribusi Gumbel

Untuk ini diperlukan data tahunan dengan masa pengamatan minimum 10 tahun. Persamaan Gumbel untuk periode ulang Tr :

$$X_T = X + K \cdot S_x$$

dimana:

X_t = besaran yang diharapkan terjadi dalam t tahun

T = periode ulang

\bar{X} = harga pengamatan rata-rata

K = faktor frekuensi

S_x = standar deviasi

2.1.3 Uji Kesesuaian Pemilihan Distribusi

Uji kesesuaian pemilihan distribusi dapat dihitung dengan dua metode yaitu sebagai berikut:

a. Uji Kesesuaian Smirnov – Kolmogorov

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara horizontal, yaitu merupakan selisih simpangan maksimum antara distribusi teoritis dan empiris (D_0). Prosedur perhitungan dari Smirnov – Kolmogorov adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut.
2. Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan ditribusinya).
3. Berdasarkan tabel nilai kritis Smirnov – Kolmogorov test tentukan harga D_0 .

Apabila $D < D_0$ maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila $D > D_0$ maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima

b. Uji Chi-Kuadrat

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara vertikal apakah distribusi pengamatan dapat diterima secara teoritis. Pada penggunaan Uji Smirnov- Kolmogorov, meskipun menggunakan perhitungan matematis namun kesimpulan hanya berdasarkan bagian tertentu (sebuah varian) yang mempunyai penyimpangan terbesar.

Sedangkan Uji Chi-Kuadrat menguji penyimpangan distribusi data pengamatan dengan mengukur secara matematis kedekatan antara data pengamatan dan seluruh bagian garis persamaan distribusi teoritisnya. Uji Chi-Kuadrat dapat diturunkan menjadi persamaan sebagai berikut (Soewarno, 1995: 194):

$$X^2 = \sum_{t=1}^n \frac{(Of - Ef)^2}{Ef}$$

Keterangan:

X^2 = parameter Chi-Kuadrat terhitung

Ef = frekuensi (banyaknya pengamatan) yang diharapkan, sesuai dengan pembagian kelasnya.

Of = frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama.

N = jumlah sub kelompok dalam satu grup.

2.1.4 Analisis Hujan Efektif

Hujan efektif adalah bagian dari hujan yang menjadi aliran langsung di sungai. Hujan efektif ini sama dengan hujan total yang jatuh di permukaan tanah dikurangi dengan kehilangan air. Analisis hujan efektif dapat dihitung dengan beberapa metode seperti metode SCS.

The Soil Conservation Service (SCS,1972, dalam Chow 1988) telah mengembangkan metode untuk menghitung hujan efektif dari hujan deras, dalam bentuk persamaan berikut:

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Keterangan:

Pe = Kedalaman hujan efektif (mm)

P = Kedalaman hujan (mm)

S = retensi potensial maksimum air oleh tanah, yang sebagian besar adalah karena infiltrasi (mm).

2.1.5 Analisis Hidrograf Sintetik Satuan

Analisis Hidrograf Sintetik Satuan bisa dilakukan dengan metode Nakayasu. Persamaan umum hidrograf satuan sintetik Nakayasu merupakan suatu cara untuk mendapatkan hidrograf banjir rancangan pada suatu DAS. Untuk membuat suatu hidrograf banjir apda sungai, perlu dicari karakteristik daerah pengaliran tersebut. Adapun karakteristik tersebut adalah sebagai berikut:

- Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidograf (*time log*).
- Tenggang waktu hidograf (*time base of hydrograf*).
- Luas daerah pengaliran.
- Panjang alur sungai utama (*length of the longest channel*).

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

$$T_{0,3} = \alpha \cdot T_g$$

$$T_r = 0,5 \cdot T_g$$

Keterangan:

- Q_p = debit puncak (m³/det).
 R_e = curah hujan efektif (mm).
 A = luas daerah aliran sungai (km²).
 T_p = tenggang waktu (jam).
 T_{0,3} = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam).
 T_r = satuan dari curah hujan (jam).
 α = koefisien karakteristik DAS biasanya diambil (1,5 – 3,5).
 L = panjang sungai utama (km).

2.2. Pemodelan HEC-RAS

Secara umum perangkat lunak ini menyediakan fungsi-fungsi sebagai berikut:

- Manajemen File
- Input Data dan Pengeditan
- Analisa Hidraulika
- Keluaran (tabel, grafik, gambar)

Pada HEC-RAS versi 4.1 analisis hidraulika yang disediakan meliputi dua analisis, yaitu *steady flow* dan *unsteady flow*. Aliran *steady* adalah sebuah aliran di mana jumlah cairan yang mengalir per detik melalui bagian apapun, adalah konstan.

Sedangkan *Unsteady Flow* adalah sebuah aliran di mana jumlah cairan yang mengalir per detik melalui bagian apapun, adalah tidak konstan. Analisis dilakukan untuk mengetahui kemampuansaluran dalam mengalirkan debit.

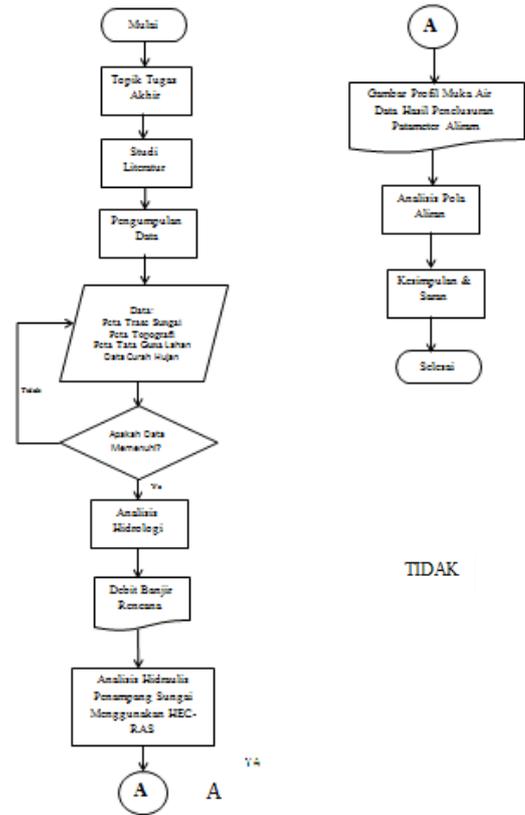
Langkah-langkah pemodelannya adalah sebagai berikut:

- Membuat skematik jaringan saluran yang akan dimodelkan berdasarkan hasil pengukuran lapangan.
- Memasukkan data geometri saluran.
- Mendefinisikan kondisi-kondisi batas/*boundary conditions* yang akan digunakan dalam analisa.
- Menjalankan program pemodelan.
- Mencetak hasil/*output*.

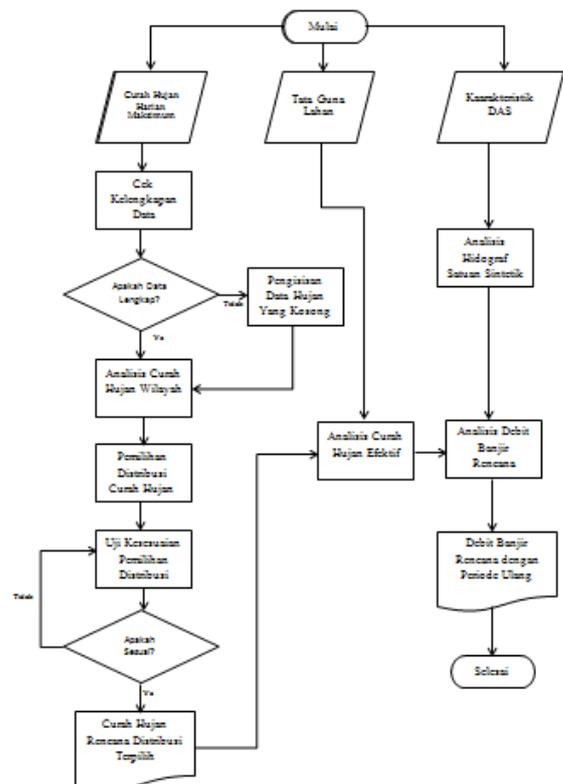
3.3 Diagram Alir

Untuk memenuhi dan memudahkan pengerjaan tugas akhir ini, disusun metode penelitian

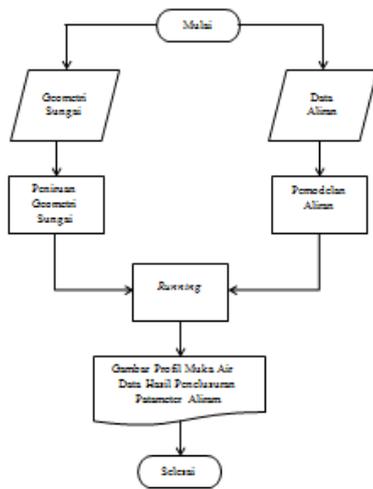
menggunakan diagram alir/flowchart sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Keseluruhan



Gambar 2. Diagram Alir Pengerjaan Analisis Hidrologi



Gambar 3. Diagram Alir Pengerjaan Hidraulis Sungai Menggunakan HEC-RAS

4. Hasil dan Analisis

4.1 Analisis Hidrologi

4.1.1 Menghitung Luas Daerah Aliran Sungai

Untuk menghitung luas daerah aliran Sungai Cimandiri dibutuhkan Peta Rupa Bumi daerah pengaliran Sungai Cimandiri. Hal ini digunakan sebagai input analisis hidrologi dalam mengetahui *catchment area* atau daerah tangkapan yang bertujuan untuk mengetahui besarnya curah hujan rata-rata yang terjadi pada daerah tangkapan hujan yang mempengaruhi debit aliran Sungai Cimandiri. Adapun lembar peta Rupa Bumi Indonesia yang digunakan dalam bentuk *softfile* yang terdiri atas:

- a. Lembar 1209-211 Geger Bitung
- b. Lembar 1209-533 Takokak



Gambar 4. Daerah Aliran Sungai Cimandiri, Cirebon

Untuk mendapatkan luasan suatu daerah permukaan bumi dipeta maka diadakan pengukuran dengan metode diatas dari titik awal x_0 dengan titik akhir. Lalu gunakan rumus berikut:

$$Luas DAS = \frac{H \times Skala^2}{10^{12}}$$

Dimana:

H = Luas hasil dari pengukuran luas (dalam mm²)

$$Luas DAS = \frac{444456,2855 \times 10000^2}{10^{12}} = 44,446 \text{ km}^2$$

4.1.2 Curah Hujan Harian Maksimum

Dalam Analisis Hidrologi kali ini digunakan data hujan harian maksimum selama sepuluh tahun yang diperoleh dari stasiun pengukuran hujan di tiga lokasi, yaitu:

1. Stasiun P0301Batukarut berada pada koordinat 6°53'8.50"LS dan 106°59'7.47"BT
2. Stasiun P0303Bitung-Bongas berada pada koordinat 7° 00'34"LS dan 106° 59'26"BT
3. Stasiun P0317 Sukanagara berada pada koordinat 7° 6'6.63"LS dan 107° 7'10.63"BT

Di bawah ini merupakan tabel yang menunjukkan curah hujan maksimum dari data pos hujan yang didapat dan berpengaruh pada Daerah Aliran Sungai Cimandiri

Tabel 1. Curah Hujan Maksimum

No	Tahun	Pos Hujan		
		St. Sukanagara	St. Bitung Bongas	St. Batukarut
1	2004	95	75	95
2	2005	57	75	86
3	2006	96	123	54
4	2007	89	77	112
5	2008	97	84	120
6	2009	110	99	102
7	2010	113	280	90
8	2011	71	72	110
9	2012	173	148	136
10	2013	158	88	71

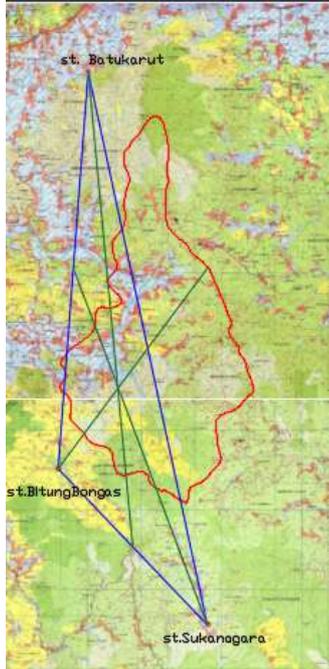
4.1.3 Analisis Curah Hujan Wilayah

Stasiun hujan yang berpengaruh dan digunakan pada DAS Cimandiri yang yang ditinjau ada tiga pos, maka untuk menentukan curah hujan wilayahnya digunakan cara polygon Thiessen. Cara perataannya adalah sebagai berikut:

- a. Mula-mula posisi masing-masing stasiun diplot pada peta daerah pengaliran. Setiap stasiun saling dihubungkan satu sama lain sehingga terbentuk suatu jaringan segitiga

- b. Buat garis berat dari masing-masing sisi segitiga, sehingga saling bertemu pada suatu titik, dengan demikian masing-masing stasiun hujan mempunyai daerah pengaruh dengan luas tertentu.

Berikut gambar dan hasil pengukuran polygon Thiessen terhadap 3 (tiga) stasiun pos hujan



Gambar 5. Luas Pengaruh Setiap Pos Hujan pada DAS Cimandiri

Tabel 2. Luas Daerah Pengaruh Stasiun Pos Hujan

No Pos	Nama Stasiun	Luas Km2	Bobot %
PO317	Sukanagara	20,415	45,932
PO303	Bitung Bongas	7,512	16,901
PO301	Batukarut	16,519	37,167
Total		44,446	100

Berikut hasil analisis curah hujan rata-rata dengan menggunakan metode Thiessen yang tersajikan dalam tabel

Tabel 3. Analisis Curah Hujan Rata-Rata

No	Tahun	Pos hujan			Curah hujan rata-rata kawasan (mm)
		St. Sukanagara	St. Bitung bongas	St. Batukarut	
		20,415	7,512	16,519	
1	2004	95	75	95	91,620
2	2005	57	75	86	70,821
3	2006	96	123	54	84,953
4	2007	89	77	112	95,520
5	2008	97	77	120	102,168
6	2009	110	77	102	101,449
7	2010	113	77	90	98,367
8	2011	71	77	110	86,509
9	2012	173	77	136	143,023
10	2013	158	77	71	111,975

4.1.4 Pemilihan Distribusi Curah Hujan

Penentuan jenis sebaran (distribusi) curah hujan dapat diketahui dari pengukuran deviasi standar dan koefisien varian yang terdiri dari koefisien kemencengan (Cs), koefisien kurtosis (Ck) dan koefisien variasi (Cv) yang dihitung dengan pengukuran dispersi, pengukuran dispersi logaritma dan pengujian kesesuaian distribusi. Berikut hasil perhitungan parameter statistik

Tabel 4. Hasil Pengukuran Dispersi

Parameter	Nilai
Xr	98,641
Xmax	143,023
Xmin	70,821
S	19,251
Cs	1,238158282
Ck	6,601907801
Cv	0,195166305

Tabel 5. Pengukuran Dispersi Logaritma

Parameter	Nilai
Log Xr	1,98714266
S	0,080524461
Cs	0,562083955
Ck	5,600708525
Cv	0,040522738

Setelah dilakukan pengukuran dispersi dan pengukuran dispersi logaritma, selanjutnya adalah menentukan jenis distribusi yang akan dipakai pada langkah selanjutnya. Untuk menentukan jenis distribusi, perlu dilakukan perbandingan syarat-syarat distribusi. Berikut perbandingan syarat distribusi yang disajikan dalam tabel.

Tabel 6. Perbandingan Syarat Distribusi

No	Distribusi	Persyaratan	Hasil Hitungan	Keterangan
1	Normal	$C_s = 0$	1,23816	Tidak Memenuhi
		$C_k > 3$	6,60191	Tidak Memenuhi
2	Log Normal	$C_s = C_s^2 + 3C_v$	0,56208	Tidak Memenuhi
		$C_k = C_k^2 + 6C_s^2 - 15C_v^2 + 16C_v^2 - 3$	5,60071	Tidak Memenuhi
3	Gumbel	$C_s = 1,14$	1,14	Tidak Memenuhi
		$C_k = 5,4$	5,4	Tidak Memenuhi
4	Log Pearson III	Selain dari nilai di atas ($C_s \neq 0$)	0,56208	Memenuhi

Dari tabel 6 mengenai perbandingan syarat distribusi, terlihat bahwa parameter statistik dari data curah hujan yang telah dilakukan analisis hanya sesuai dengan distribusi Log Pearson III.

4.1.5 Uji Kesesuaian Pemilihan Distribusi

Untuk menguji apakah distribusi memenuhi syarat, maka perlu dilakukan uji kesesuaian pemilihan distribusi yang dapat dihitung dengan menggunakan dua metode yaitu uji kesesuaian Smirnov-Kolmogorv serta uji Chi Kuadrat.

Dalam penggunaannya, jika salah satu uji kesesuaian distribusi sudah sesuai, maka tidak perlu melakukan lagi uji kesesuaian distribusi yang lain. Pada uji kesesuaian pemilihan distribusi kali ini, menggunakan uji Chi-Kuadrat.

Uji Chi-Kuadrat menguji penyimpangan distribusi data pengamatan dengan mengukur secara matematis kedekatan antara data pengamatan dengan mengukur secara matematis kedekatan antara data pengamatan dan seluruh bagian garis persamaan distribusi teoritisnya.

$$X^2Cr = \sum \frac{(EF - OF)^2}{EF}$$

Bandingkan X^2Cr hasil tabel dengan X^2Cr hasil hitungan
 X^2Cr tabel = 7,815
 X^2Cr hasil hitungan = 5

Syarat:
 X^2Cr hitungan < X^2Cr tabel
 5 < 7,815..... OK!

Untuk DK= 3 dengan menggunakan signifikansi = 0,05, diperoleh harga Chi-Kuadrat kritis X^2Cr tabel = 7,815 dimana harga Chi-Kuadrat kritisnya lebih besar dari X^2Cr hitungan = 5. Sehingga data-data curah hujan dengan distribusi *Log Pearson III* dapat digunakan.

4.1.6 Analisis Curah Hujan Rencana Periode Ulang T Tahun

Menurut analisis syarat pemilihan distribusi dan uji kecocokan distribusi curah hujan diatas maka digunakan distribusi log Pearson. Perkiraan besarnya probabilitas hujan rencana dengan periode ulang T tahun dengan metode Log Pearson III menggunakan perumusan:

$$\log X_T = \overline{\log X} + k \cdot \overline{S} \cdot \log X$$

Tabel 7. Distribusi Log Pearson III

Variabel	Periode Ulang (tahun)					
	2	5	10	25	50	100
K	-0,08907	0,803033	1,324896	1,928004	2,3292	2,728838
Log Xr	1,987142663					
S	0,080524461					
Log XTr	1,979971	2,051806	2,093829	2,142394	2,1747	2,206881
XTr	95,4928	112,6695	124,1164	138,8015	149,5203	161,0204

4.1.7 Analisis Hujan Efektif

Hujan efektif adalah bagian dari hujan yang menjadi aliran langsung di sungai. Hujan efektif ini sama dengan hujan total yang jatuh di permukaan tanah dikurangi dengan kehilangan air. Analisis hujan efektif dihitung menggunakan metode SCS dengan persamaan sebagai berikut:

$$Pe = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Tabel 8. Kedalaman Hujan Efektif dalam Setiap Periode

CN	S	Periode Ulang (Tahun)	P (mm)	Pe (mm)
64,6466	138,905	2	95,4928	22,1902
		5	112,67	32,1995
		10	124,116	39,451
		25	138,802	49,3168
		50	149,52	56,8607
		100	161,02	65,2326

4.1.8 Distribusi Hujan Jam-Jaman

Alternating Block Method (ABM) adalah cara sederhana untuk membuat *hyetograph* rencana yang dari kurva IDF (Chow et al., 1988). *Hyetograph* rencana yang dihasilkan oleh metode ini adalah hujan yang terjadi dalam n rangkaian interval waktu yang berurutan dengan durasi Δt selama waktu $T_d = n\Delta t$.

Untuk periode ulang tertentu, intensitas hujan diperoleh dari kurva IDF pada setiap durasi waktu $\Delta t, 2\Delta t, 3\Delta t, \dots, n\Delta t$. Ketebalan hujan diperoleh dari perkalian antara intensitas hujan dan durasi waktu tersebut.

Perbedaan antara nilai ketebalan hujan yang berurutan merupakan pertambahan hujan dalam interval waktu Δt . Pertambahan hujan tersebut (blok-blok), diurutkan kembali ke dalam rangkaian waktu dengan intensitas maksimum berada pada tengah-tengah durasi hujan T_d dan blok-blok tengah.

Tabel 8. *Hyetograph* dengan Metode ABM untuk Periode Ulang 25 Tahun

T (jam)	R. 24 (mm)	I (mm-jam)	P (mm)	Δ (mm)	Hyetograph		
					Pt (%)	(%)	(mm)
1	49,3167617	17,097166	17,09717	17,09717	122,3065	14,99171	3,32669
2	49,3167617	10,77034	21,54108	4,443913	31,79003	22,29996	4,948407
3	49,3167617	8,2194603	24,65838	3,117301	22,29996	122,3065	27,14006
4	49,3167617	6,785015	27,14006	2,481679	17,73297	31,79003	7,054273
5	49,3167617	5,8471487	29,23574	2,095683	14,99171	17,73297	3,93942
6	49,3167617	5,1779355	31,06761	1,83187	13,10449	13,10449	2,907912
				31,06761	222,2457		49,31676

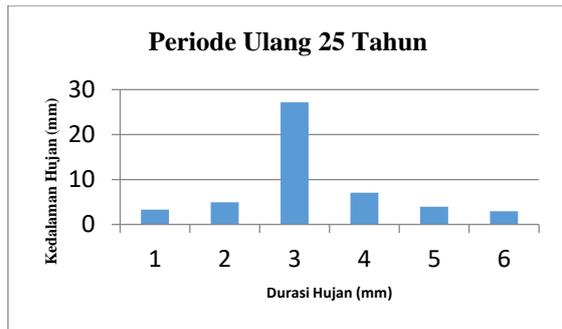
Gambar 8. Grafik HSS Nakayasu

Tabel 9. Hyetograph dengan Metode ABM untuk Periode Ulang 50 Tahun

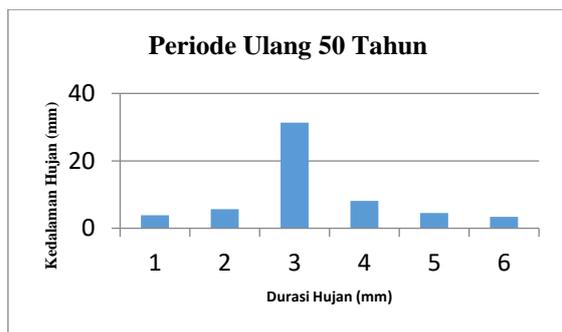
T (jam)	R 24 (mm)	I (mm/jam)	P (mm)	Δ (mm)	Hyetograph		
					Pt (%)	(%)	(mm)
1	56.8607114	19.712508	19.71251	19.71251	141.0156	17.28498	3.835571
2	56.8607114	12.418102	24.8362	3.123696	36.65293	25.71117	5.705361
3	56.8607114	9.4767852	28.43036	3.594152	25.71117	141.0156	31.29166
4	56.8607114	7.8229138	31.29166	2.8613	20.46863	36.65293	8.13336
5	56.8607114	6.7415828	33.70791	2.416239	17.28498	20.46863	4.54203
6	56.8607114	5.9700006	35.82	2.11209	15.10907	15.10907	3.352733
				35.82	256.2424		56.86071

4.1.10 Analisis Debit Banjir Rencana

Analisis debit banjir rencana dilakukan dengan penurunan hidrograf satuan menggunakan data hidrograf hasil perhitungan HSS Nakayasu dan data hujan yang telah didapat.



Gambar 6. Grafik Hyetograph Pada Periode Ulang 25 Tahun

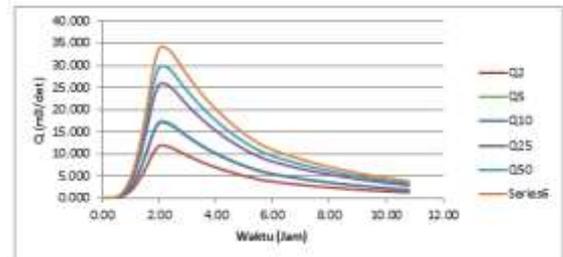
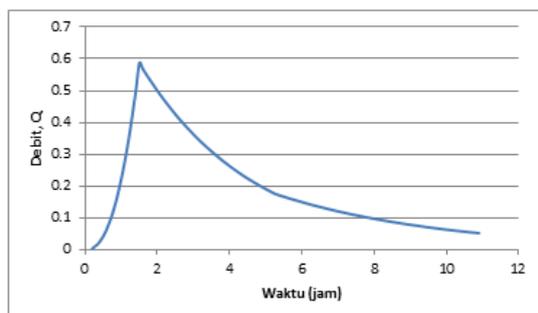


Gambar 7. Grafik Hyetograph Pada Periode Ulang 50 Tahun

4.1.9 Analisis Hidrograf Sintetik Satuan

Hidrograf satuan sintetik Nakayasu dikembangkan berdasar beberapa sungai di Jepang (Soemarto,1987). Bentuk HSS Nakayasu didapatkan dari persamaan berikut ini:

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



Gambar 9. Grafik Debit Banjir Rencana Setiap Periode Ulang

Tabel 10. Resume Debit Banjir Rencana Setiap Periode Ulang

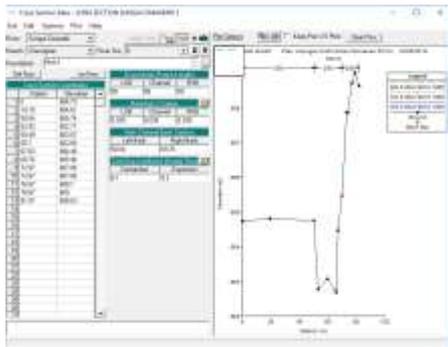
No	Periode (tahun)	R (mm)	Qmax (m³/det)
1	2	95.493	11.925
2	5	112.670	17.092
3	10	124.116	17.322
4	25	138.802	25.929
5	50	149.520	29.824
6	100	161.020	34.146

4.2 Analisis Hidrolika Sungai dengan Menggunakan HEC-RAS 4.1

4.2.1 Langkah-Langkah Pemodelan Menggunakan HEC-RAS

Untuk analisis hidrolika ini digunakan HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's-River Analysis System) yang merupakan perangkat lunak untuk memudahkan mengetahui fenomena perilaku hidrolika suatu saluran.

Pada analisis penampang eksisting, digunakan simulasi aliran tidak tetap (Unsteady Flow Simulation) karena debit yang masuk sungai berbeda setiap waktu. Analisis hidrolika terhadap penampang eksisting sungai menggunakan HEC-RAS 4.1.0 digunakan input data-data sebagai berikut:



Gambar 11. Tampang Lintang pad River STA 8

3) Peniruan Hidraulika (Syarat Batas dan Syarat Awal)

Setelah bentuk fisik sungai atau saluran pada model selesai dibuat, ke dalamnya dialirkan air dengan debit sesuai dengan besaran debit aliran sesungguhnya. Pada model fisis, debit di model tentu saja dikecilkan sesuai dengan skala model.

Umumnya, air dialirkan dari batas hulu dan muka air (kedalaman aliran) diatur di batas hilir model. Pada model matematis, seperti halnya geometri sungai, debit aliran sama dengan debit aliran sesungguhnya di prototipe (skala debit adalah 1:1) (Istiarto, 2014).

Pada kajian kali ini akan dilakukan peniruan hidraulika melalui penelusuran aliran tak permanen (unsteady flow). Pada penelusuran kali ini akan dilakukan syarat batas yaitu perubahan debit aliran di batas hulu (flow hydrograph) dan kemiringan sungai (normal depth) di batas hilir.

Berikut langkah-langkah yang dilakukan untuk membuat data aliran:

- Aktifkan layar editor data aliran tak permanen dengan memilih menu Edit – Unsteady Flow Data atau mengklik tombol Edit/Enter unsteady flow data (ikon ke-4 dari kiri pada papan tombol)
- Klik tombol Flow Hydrograph sebagai pilihan boundary condition type pada RS 20. Layar editor hidrograf debit akan aktif. Masukkan nilai-nilai koordinat hidrograf (t,Q) dalam satuan jam dan m³/s. Atur date interval 12 menit
- Selanjutnya memasukkan syarat batas hilir di RS 1, masukkan nilai kemiringan 0,007, diman nilai ini didapat dari elevasi dasar sungai di hulu dikurangi elevasi dasar sungai di hikir dibagi jarak dari hulu ke hilir
- Klik tombol Normal Depth, lalu akan muncul Tab Normal Depth ddownstream Boundary , masukkan nilai Friction Slope sesuai dengan hasil hitungan kemiringan yang didapat.
- Klik Ok

4). Running Program

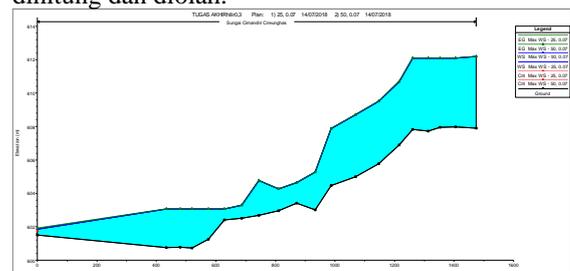
Running program pada HEC-RAS merupakan perhitungan hidrolika. Setelah data-data skematik, data cross section, dan syarat batas aliran di hulu serta hilir, dilanjutkan dengan melakukan running program.

Kriteria-kriteria yang harus ditetapkan dalam melakukan running program adalah: jangka waktu perhitungan/simulasi, interval waktu perhitungan, interval waktu pencetakan output untuk penggambaran hidrograf. Berikut langkah-langkah untuk melakukan hitungan penelusuran aliran tak permanen:

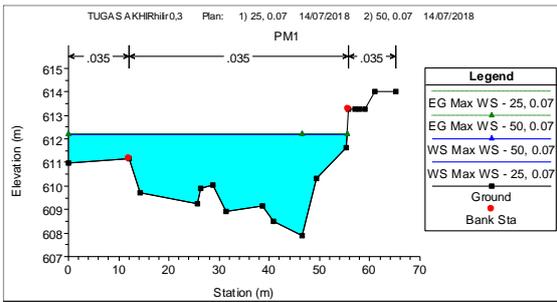
- Aktifkan layar hitungan aliran tak permanen dengan memilih menu **Run – Unsteady Flow Analysis** atau mengklik tombol **Perform an unsteady flow analysis**
- Pada layar hitungan aliran tak permanen, pilih **Geometry File** sesuai dengan data geometri yang telah disimpan pada kasus ini yaitu ‘LONG SECTION SUNGAI CIMANDIRI 2’
- Lalu pilih data **Unsteady Flow File** sesuai dengan data aliran yang akan di *running* pada kasus ini yaitu ‘Hidrograf periode ulang 25 tahun & slope’
- Pada **Programs to Run checklist Geometry Preprocessor, Unsteady Flow Simulation dan Post Processor**
- Atur **Simulation Time Window** pada kasus ini *starting date* 21 May 2018 dan *starting time* 0600 lalu *ending time* 0800
- Pada **Computation Interval** masukkan 12 menit dan biarkan **Hydrograph Output Interval** serta **Detailed Output Interval** mengikuti *settingan* program, lihat Gambar 4.15
- Klik Compute

4.2.1 Presentasi Hasil Hitungan (Running)

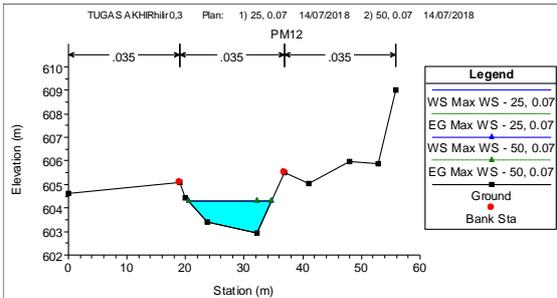
Pada kajian analisis aliran Sungai Cimandiri dilakukan kajian aliran terhadap 2 periode ulang yaitu Periode ulang 25 tahun dan Periode ulang 50 tahun. Berikut hasil *running* dari data yang telah dihitung dan diolah.



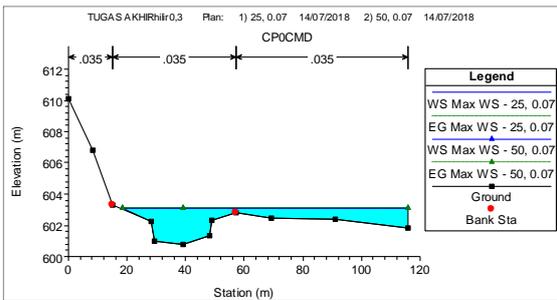
Gambar 12. Profile Plot Periode Ulang 25 dan 50 Tahun



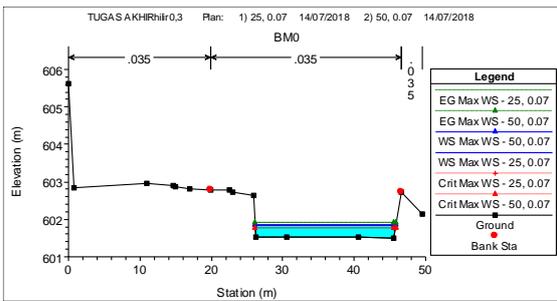
Gambar 13. Cross Section STA 20



Gambar 14. Cross Section STA 9



Gambar 15. Cross Section STA 2



Gambar 16. Cross Section STA 1

Tabel 11. Profile Output Table

Reach	River STA	Profile	Plan	Qtotal	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude/Crit
				(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m ²)	(m)		
Cireunghas	20	Max WS	US0	11.04	607.91	612.2	612.2	0.000003	0.09	132.54	55.48	0.02	
Cireunghas	20	Max WS	US21	11.04	607.91	612.2	612.2	0.000003	0.09	132.54	55.48	0.02	
Cireunghas	19	Max WS	US0	15.43	607.99	612.08	612.08	0.000002	0.08	187.49	54.89	0.01	
Cireunghas	19	Max WS	US21	15.43	607.99	612.08	612.08	0.000002	0.08	187.49	54.89	0.01	
Cireunghas	18	Max WS	US0	12.86	607.95	612.08	612.08	0.000003	0.06	232.11	64.96	0.01	
Cireunghas	18	Max WS	US21	12.86	607.95	612.08	612.08	0.000003	0.06	232.11	64.96	0.01	
Cireunghas	17	Max WS	US0	10.47	607.73	612.08	612.08	0	0.04	277.44	84.09	0.01	
Cireunghas	17	Max WS	US21	10.47	607.73	612.08	612.08	0	0.04	277.44	84.09	0.01	
Cireunghas	16	Max WS	US0	6.34	607.82	612.08	612.08	0	0.02	367.35	105.56	0	
Cireunghas	16	Max WS	US21	6.34	607.82	612.08	612.08	0	0.02	367.35	105.56	0	
Cireunghas	15	Max WS	US0	17.63	606.9	610.7	610.7	0.000001	0.05	363.5	112.42	0.01	
Cireunghas	15	Max WS	US21	17.63	606.9	610.7	610.7	0.000001	0.05	363.5	112.42	0.01	
Cireunghas	14	Max WS	US0	2.19	605.78	609.51	609.51	0	0.01	372.84	135.41	0	
Cireunghas	14	Max WS	US21	2.19	605.78	609.51	609.51	0	0.01	372.84	135.41	0	
Cireunghas	13	Max WS	US0	1.98	604.99	608.7	608.7	0	0.01	325.48	127.23	0	
Cireunghas	13	Max WS	US21	1.98	604.99	608.7	608.7	0	0.01	325.48	127.23	0	
Cireunghas	12	Max WS	US0	16.16	604.47	607.88	607.88	0.000001	0.05	334.81	127.2	0.01	
Cireunghas	12	Max WS	US21	16.16	604.47	607.88	607.88	0.000001	0.05	334.81	127.2	0.01	
Cireunghas	11	Max WS	US0	6.65	603.01	605.26	605.26	0.000122	0.32	22.41	60.22	0.1	
Cireunghas	11	Max WS	US21	6.65	603.01	605.26	605.26	0.000122	0.32	22.41	60.22	0.1	
Cireunghas	10	Max WS	US0	0.19	603.42	604.64	604.64	0.000001	0.01	16.88	46.9	0.01	
Cireunghas	10	Max WS	US21	0.19	603.42	604.64	604.64	0.000001	0.01	16.88	46.9	0.01	
Cireunghas	9	Max WS	US0	0.06	602.95	604.27	604.27	0	0	12.19	14.07	0	
Cireunghas	9	Max WS	US21	0.06	602.95	604.27	604.27	0	0	12.19	14.07	0	
Cireunghas	8	Max WS	US0	3.69	602.68	604.76	604.76	0.000012	0.13	28.47	31.38	0.03	
Cireunghas	8	Max WS	US21	3.69	602.68	604.76	604.76	0.000012	0.13	28.47	31.38	0.03	
Cireunghas	7	Max WS	US0	1.83	602.52	603.28	603.28	0.000151	0.33	7.95	14.18	0.1	
Cireunghas	7	Max WS	US21	1.83	602.52	603.28	603.28	0.000151	0.33	7.95	14.18	0.1	
Cireunghas	6	Max WS	US0	0.44	602.41	603.06	603.06	0.000007	0.06	7.45	29.75	0.04	
Cireunghas	6	Max WS	US21	0.44	602.41	603.06	603.06	0.000007	0.06	7.45	29.75	0.04	
Cireunghas	5	Max WS	US0	0.43	601.25	603.05	603.05	0	0.01	42.86	42.82	0	
Cireunghas	5	Max WS	US21	0.43	601.25	603.05	603.05	0	0.01	42.86	42.82	0	
Cireunghas	4	Max WS	US0	0.41	600.72	603.05	603.05	0	0.01	32.65	57.75	0	
Cireunghas	4	Max WS	US21	0.41	600.72	603.05	603.05	0	0.01	32.65	57.75	0	
Cireunghas	3	Max WS	US0	0.39	600.78	603.05	603.05	0	0.01	53.53	67.9	0	
Cireunghas	3	Max WS	US21	0.39	600.78	603.05	603.05	0	0.01	53.53	67.9	0	
Cireunghas	2	Max WS	US0	0.38	600.76	603.05	603.05	0	0.01	93.04	97.54	0	
Cireunghas	2	Max WS	US21	0.38	600.76	603.05	603.05	0	0.01	93.04	97.54	0	
Cireunghas	1	Max WS	US0	7.33	601.51	601.85	601.76	0.006946	1.12	6.53	19.74	0.62	
Cireunghas	1	Max WS	US21	7.33	601.51	601.85	601.76	0.006946	1.12	6.53	19.74	0.62	

Dari hasil running, didapat *profile output table* dimana diketahui nilai kecepatan di saluran sungai serta nilai bilangan froude pada saluran. Sehingga dapat dilakukan identifikasi jenis aliran yang terjadi di saluran sungai Cimandiri Cireunghas. Adapun berdasarkan bilangan Froude aliran dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

- Aliran sub kritis, aliran lambat, $Fr < 1$
- Aliran kritis, $Fr = 1$
- Aliran super kritis, aliran cepat $Fr > 1$

Dari Tabel *profile output table* dengan kondisi permukaan air maksimum dapat disimpulkan pada periode ulang 25 tahun dan periode ulang 50 tahun disepanjang sungai Cimandiri dari STA 20 hingga STA 1 didapat nilai *Froude (Fr)* < 1 yang berarti bahwa jenis aliran yang terjadi di sepanjang aliran sungai yaitu aliran subkritis.

Keadaan aliran berdasarkan bilangan *Reynold (Re)* dapat dibedakan menjadi:

- Aliran laminar, dimana $Re < 2100$
- Aliran transisi, dimana $2100 < Re < 2400$
- Aliran turbulen, dimana $Re > 2400$

Dari hasil analisis HEC-RAS, nilai output yang digunakan adalah kecepatan aliran sungai serta parameter hidrolika penampang sungai yaitu luas penampang basah saluran, keliling basah saluran sungai. Untuk mengetahui nilai parameter hidrolika tersebut dapat diketahui secara langsung dari analisa program HEC-RAS, dengan memilih tombol *View*

Detailed Output

Tabel 12. Analisis Jenis Aliran Berdasarkan Nilai Reynold (Re)

Reach	River STA	Profile	Plan	Vel Chnl (m/s)	Area m ²	Wetted Per. m	R	Re	Jenis Aliran
Cireunghas	20	Max WS	U50	0.09	416.67	47.14	8.83899	795.5091	LAMINER
Cireunghas	20	Max WS	U251	0.09				795.5091	LAMINER
Cireunghas	19	Max WS	U50	0.08				660.7977	LAMINER
Cireunghas	19	Max WS	U251	0.08	571.59	69.2	8.259971	660.7977	LAMINER
Cireunghas	18	Max WS	U50	0.06				507.8478	LAMINER
Cireunghas	18	Max WS	U251	0.06	640.65	75.69	8.46413	507.8478	LAMINER
Cireunghas	17	Max WS	U50	0.04				94.88632	LAMINER
Cireunghas	17	Max WS	U251	0.04	178.41	75.21	2.372158	94.88632	LAMINER
Cireunghas	16	Max WS	U50	0.02				47.56751	LAMINER
Cireunghas	16	Max WS	U251	0.02	235.15	98.87	2.378376	47.56751	LAMINER
Cireunghas	15	Max WS	U50	0.05				86.9109	LAMINER
Cireunghas	15	Max WS	U251	0.05	198.8	114.37	1.738218	86.9109	LAMINER
Cireunghas	14	Max WS	U50	0.01				24.01422	LAMINER
Cireunghas	14	Max WS	U251	0.01	334.35	139.23	2.401422	24.01422	LAMINER
Cireunghas	13	Max WS	U50	0.01				5.947084	LAMINER
Cireunghas	13	Max WS	U251	0.01	69.23	116.41	0.594708	5.947084	LAMINER
Cireunghas	12	Max WS	U50	0.05				100.4005	LAMINER
Cireunghas	12	Max WS	U251	0.05	45.12	22.47	2.008011	100.4005	LAMINER
Cireunghas	11	Max WS	U50	0.32				495.2179	LAMINER
Cireunghas	11	Max WS	U251	0.32	40.84	26.39	1.547556	495.2179	LAMINER
Cireunghas	10	Max WS	U50	0.01				16.1016	LAMINER
Cireunghas	10	Max WS	U251	0.01	150.55	93.5	1.61016	16.1016	LAMINER
Cireunghas	9	Max WS	U50	0				0	LAMINER
Cireunghas	9	Max WS	U251	0	43.93	18.94	2.31943	0	LAMINER
Cireunghas	8	Max WS	U50	0.13				209.8451	LAMINER
Cireunghas	8	Max WS	U251	0.13	32.3	20.01	1.614193	209.8451	LAMINER
Cireunghas	7	Max WS	U50	0.23				99.51057	LAMINER
Cireunghas	7	Max WS	U251	0.23	22.1	51.08	0.432655	99.51057	LAMINER
Cireunghas	6	Max WS	U50	0.06				45.27347	LAMINER
Cireunghas	6	Max WS	U251	0.06	33.11	43.88	0.754558	45.27347	LAMINER
Cireunghas	5	Max WS	U50	0.01				4.896724	LAMINER
Cireunghas	5	Max WS	U251	0.01	13.75	28.08	0.489672	4.896724	LAMINER
Cireunghas	4	Max WS	U50	0.01				16.77949	LAMINER
Cireunghas	4	Max WS	U251	0.01	33.71	20.09	1.677949	16.77949	LAMINER
Cireunghas	3	Max WS	U50	0.01				5.681965	LAMINER
Cireunghas	3	Max WS	U251	0.01	8.79	15.47	0.568197	5.681965	LAMINER
Cireunghas	2	Max WS	U50	0				0	LAMINER
Cireunghas	2	Max WS	U251	0	10.93	19.89	0.549522	0	LAMINER
Cireunghas	1	Max WS	U50	1.12				73.86503	LAMINER
Cireunghas	1	Max WS	U251	1.12	1.29	19.56	0.065951	73.86503	LAMINER

Karena $Re < 2100$, maka termasuk aliran laminar

Berdasarkan tabel 4.31 didapat bahwa aliran sungai yang terjadi disepanjang sungai Cireunghas dari STA 20 hingga STA 1 pada periode ulang 25 tahun dan 50 tahun adalah aliran laminar. Aliran laminar memiliki kecepatan yang rendah serta fluidanya bergerak sejajar. Partikel sedimen yang terbawa pada aliran laminar biasanya berpindah dengan menggelinding (*rolling*) ataupun terangkat (*saltation*).

Hal ini dapat menyebabkan adanya penumpukan partikel sedimen pada saluran sungai yang menyebabkan adanya pendangkalan dasar sungai sehingga menyebabkan banjir.

Adapun pengaruh aliran tersebut yang menyebabkan:

- Pada STA 12 terjadi banjir yang melimpas ke kanan (ROB) dan kiri (LOB) bantaran sungai.
- Banjir yang melimpas ke kanan bantaran sungai (ROB) yaitu STA 3 dan STA 2
- Banjir yang melimpas ke kiri bantaran sungai (LOB) yaitu STA 20, STA 19, STA 18, STA 17, STA 16, STA 15, STA 14, STA 13, STA 11, STA 10 dan STA 4
- Tidak terjadi banjir di STA 1, STA 5, STA 6, STA 7, STA 8 dan STA 9

Dari kondisi Rupa Bumi Indonesia diketahui bahwa disepanjang aliran sungai Cimandiri terdapat banyak petak sawah. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan aliran air yang terdapat di Sungai Cimandiri maka bisa dilakukan pembuatan tanggul atau normalisasi sungai di daerah yang terjadi banjir. Adapun untuk pembuatan tanggul dapat dilakukan pada ketentuan berikut:

- Pada STA 12 dilakukan pembuatan tanggul di kanan dan kiri bantaran sungai
- Pada STA 3 dan STA 2 dapat dibangun tanggul di kanan bantaran sungai
- Pada STA 20, STA 19, STA 18, STA 17, STA 16, STA 15, STA 14, STA 13, STA 11, STA 10 dan STA 4 dapat dibangun tanggul di kiri bantaran sungai

4. Kesimpulan

Dari hasil analisis perhitungan dan program HEC-RAS Versi 4.1 pada sungai Cimandiri Cireunghas Sukabumi didapat kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan nilai *Froude*, analisis aliran didapat
 - Periode ulang 25 tahun, $Fr < 1$ terjadi aliran sub kritis dari STA 20 hingga STA 1
 - Periode ulang 50 tahun, $Fr < 1$ terjadi aliran sub kritis dari STA 20 hingga STA 1
- Berdasarkan nilai *Reynold*, analisis aliran didapat $Re < 2100$ pada periode ulang 25 dan 50 tahun pada STA 20 hingga STA 1 terjadi aliran laminar
- Pengaruh aliran yang menyebabkan banjir pada beberapa titik daerah aliran sungai yaitu :
 - Pada STA 12 terjadi banjir yang melimpas ke kanan (ROB) dan kiri (LOB) bantaran sungai
 - Banjir yang melimpas ke kanan bantaran sungai (ROB) yaitu STA 3 dan STA 2
 - Banjir yang melimpas ke kiri bantaran sungai (LOB) yaitu STA 20, STA 19, STA 18, STA 17, STA 16, STA 15, STA 14, STA 13, STA 11, STA 10 dan STA 4
 - Tidak terjadi banjir di STA 1, STA 5, STA 6, STA 7, STA 8 dan STA 9
- Dengan adanya titik rawan banjir akibat aliran sungai yang terjadi diperlukan solusi penangan yang tepat baik berupa pembangunan tanggul maupun normalisasi sungai. Dalam kajian ini tidak dibahas lebih berkenaan solusi detail mengenai penanggulangan banjir tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- Budiadi,E, Listyani, T, 2016, 'Morfologi dan Karakteristik Sungai Sebagai Pendukung Panas Bumi di Daerah Lereng Selatan Gunung Api Unggaran', *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) ISSN:1979-911X*, hh. 47-53
- Chow, V, Nensi,E, 1992, *Hidrolika Saluran Terbuka*, Jakarta, Erlangga
- David, S, Gene,W, Todd, A, 2004, 'Evaluation of Streamflow Requirements for Habitat Protection by Comparison to Streamflow Characteristics at Index Streamflow-Gaging Stations in Southern New England', *Water Resources investigations 03-4332*, hh.5-71

- Darshan, J, Ramani, M ,Joshi, M, 2014, 'Application of 1-D HEC-RAS Model in Design of Channels', *International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE) ISSN:2349-2163*, Vol.1, issue 7, hh. 103-107
- Effendi, E, 2016, 'Kajian Model Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Terpadu', *Direktorat Kehutanan dan Konservasi Sumberdaya Air*, hh. 1-19
- Husain, A, 2017, 'Flood Modelling by Using HEC-RAS', *Internasional Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*, Vol. 50, No. 1, hh. 1-7
- Imliyani, Junaidi, 2015, 'Studi Karakteristik Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS) Sengarit pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Kapuas Kabupaten Sanggau', *Universitas Tanjungpura*, hh.1-14
- Inquirer, S, 2017, *Pola Aliran Daerah Sungai*, Wordpress, dilihat 5 Maret 2018, <https://skepticalinquirer.wordpress.com>. (Disarikan dari berbagai sumber)
- Lina, A, Suyanti, Yusuf, A, 2015, 'Analisis Pola Aliran Permukaan Sungai Dengkeng Menggunakan *Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS)*', *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, hh.125-132
- Muhammad, A, 2017, 'Analisis Hidrolika Aliran Sungai Bolifar Dengan Menggunakan HEC-RAS', *Universitas Hasanuddin Makassar*, hh. 1-4
- Oehadijono, 1993, *Dasar-Dasar Teknik Sungai*, Universitas Hasanuddin
- Polontalo, S, 2008, *Daerah Aliran Sungai*, Wordpress, dilihat 5 Maret 2018, <https://bebasbanjir2025.wordpress.com>. (Disarikan dari berbagai sumber)
- Saadaturohmah, M, Isyadiyah, W, 2016, 'Perhitungan Kapasitas Penampang Sungai Ciasem, Kabupaten Subang dengan Menggunakan Program HEC-RAS versi 4.1.0', *Politeknik Negeri Bandung*
- Sari, I, Hidayat, A, Indah, N, 2018, 'Identification of Renewable Energy z\Potential in Ciberang River, Cisarua Village, Bogor, West Java', *IOP Conf. Series: Material Science and Engineering 343*
- SDA-net, 2018, Pola dan Rencana, TKPSDA WS Citanduy, dilihat 5 Maret 2018, <http://sda.pu.go.id/tkpsda/citanduy/menu/56/pola-dan-rencana>. (Disarikan dari berbagai sumber)
- Soewarno, 1991, *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*, Bandung, Nova
- Suryadi, A, Wiyanti, Dibia, I, 2016, 'Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai dan Kemampuan Lahan untuk Menyusun Arahan Penggunaan Lahan pada Sub DAS Gunggung', *E-jurnal Agroteknologi Tropika ISSN:2301-6515*, Vol.5, No.2, hh. 202-211
- Triatmodjo, B, 2006, *Hidrologi Terapan*, Yogyakarta, Beta Offset
- Wigati, R, Suudarsono, Dwi, I, 2016, 'Analisis Banjir Menggunakan *Software HEC-RAS 4.1* (Studi kasus Sub DAS Cisimeut hilir HM 0+00 sampai HM 69+00)', *Jurnal Fondasi*, Vol. 5, No 1, hh.13-23
- Peraturan Pemerintah No. 25 Tahun 1991 tentang Sungai