BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Tinjauan Umum

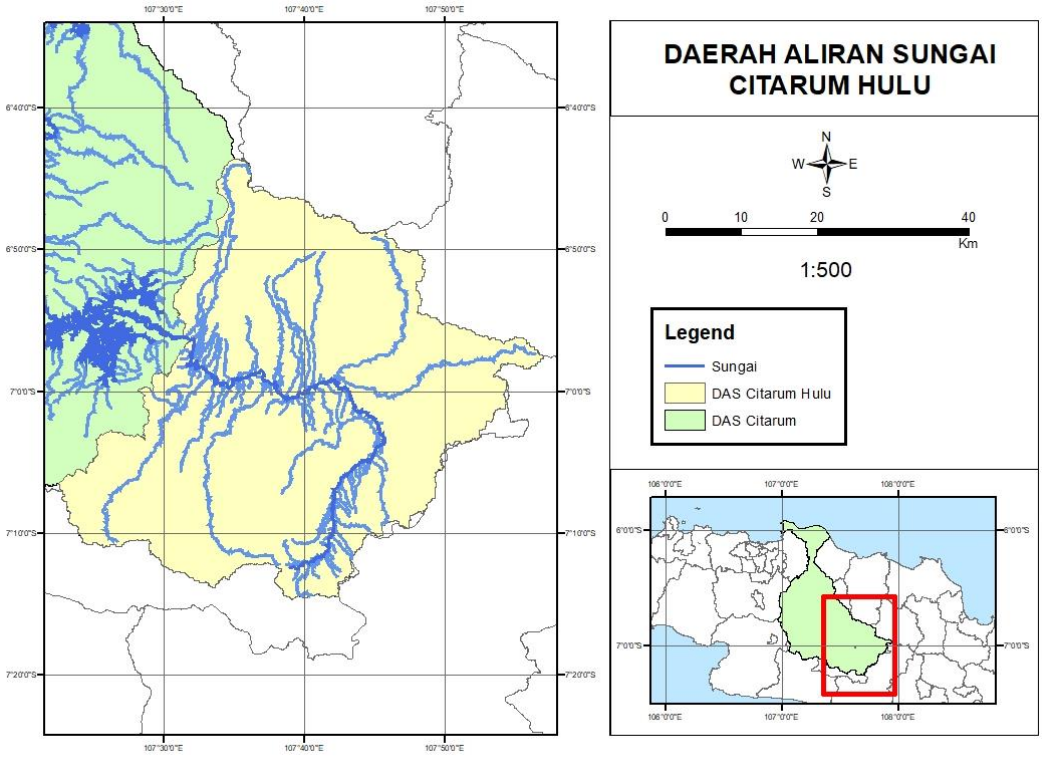
Dalam menganalisis kolam retensi cieunteung ini, langkah awal yang dilakukan adalah pengumpulan data baik data primer maupun data sekunder. Data tersebut kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan evaluasi kapasitas kolam retensi Cieunteung dalam mereduksi banjir. Ada dua analisis yang dilakukan dalam penelitian ini, diantaranya analisis hidrologi dan analisis hidrolika.

4.2 Analisis Hidrologi

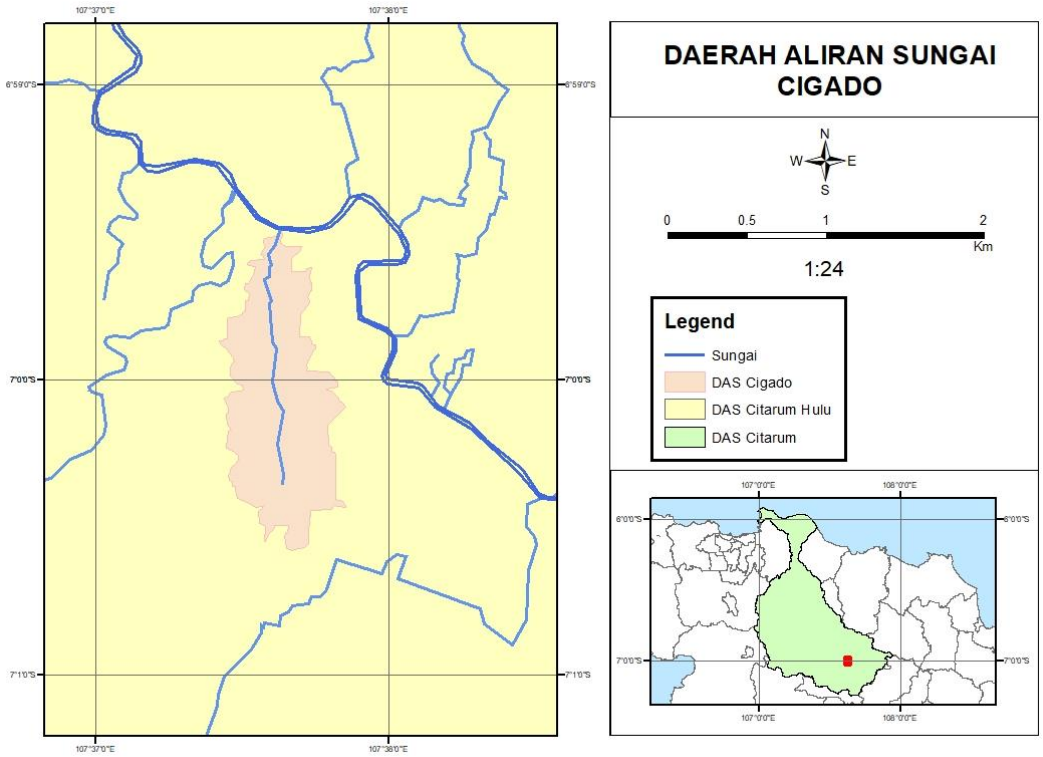
Analisis hidrologi meliputi aliran masuk (inflow) yang mengisi kolam, kapasitas kolam, aliran keluar (outflow) yang dialirkan ke sungai. Data hujan yang digunakan adalah data curah hujan wilayah yang didapat dari beberapa stasiun di sekitar lokasi penelitian, stasiun hujan ini tentunya berada di dalam daerah aliran sungai (cathment area). Data curah hujan yang diperoleh, kemudian dilakukan analisis sehingga menghasilkan debit banjir rencana.

4.2.1 Penentuan Daerah Aliran Sungai

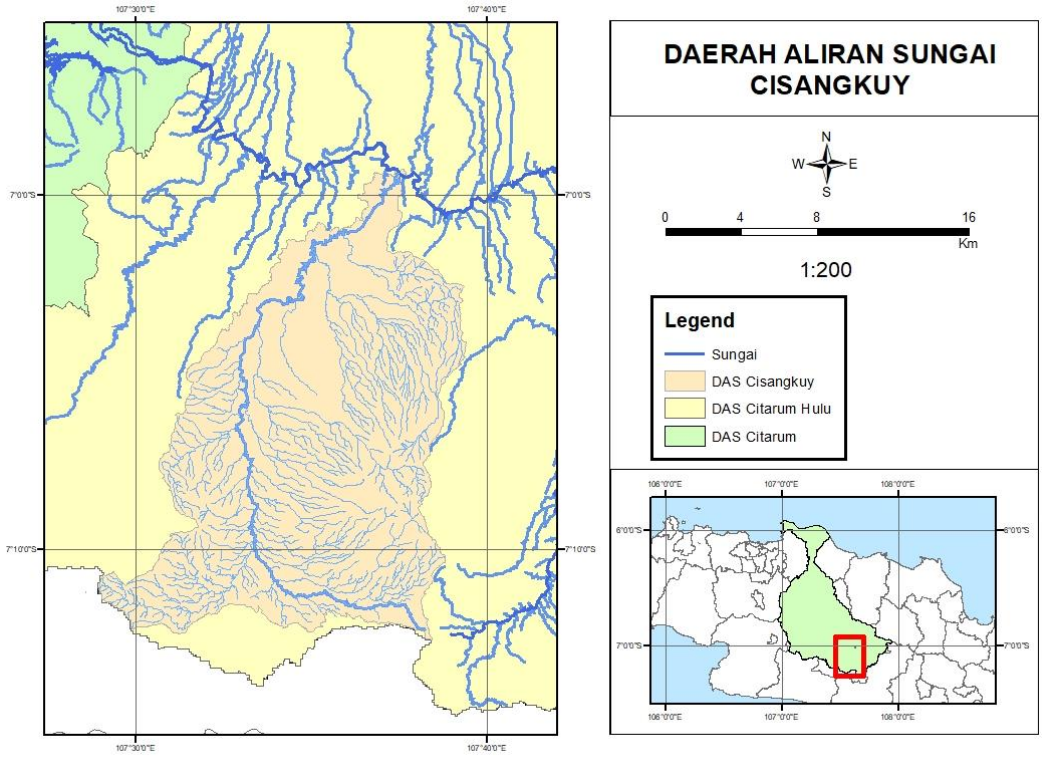
Daerah aliran sungai (DAS) merupakan suatu wilayah satu kesatuan dengan sungai dan sub sungainya. Fungsi DAS yaitu menampung, menyimpan dan mengalirkan air hujan yang kemudian dialirkan menuju dana atau laut. Penentuan DAS dalam penelitian ini menggunakan Peta Rupabumi Indonesia dan program ArcGis 10.4.



Gambar 4. 1 Daerah Aliran Sungai Citarum Hulu



Gambar 4. 2 Daerah Aliran Sungai Cigado



Gambar 4. 3 Daerah Aliran Sungai Cisangkuy

Berdasarkan penentuan daerah aliran sungai menggunakan program ArcGis 10.4, didapatkan hasil sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Karakteristik DAS

NAMA DAS	Luas (km^2)	Panjang Sungai (km)
Citarum Hulu	1849,594	82,20092
Cisangkuy	265,072942	50,58048
Cigado	0,930311	1,712885

4.2.2 Analisis Curah Hujan Wilayah

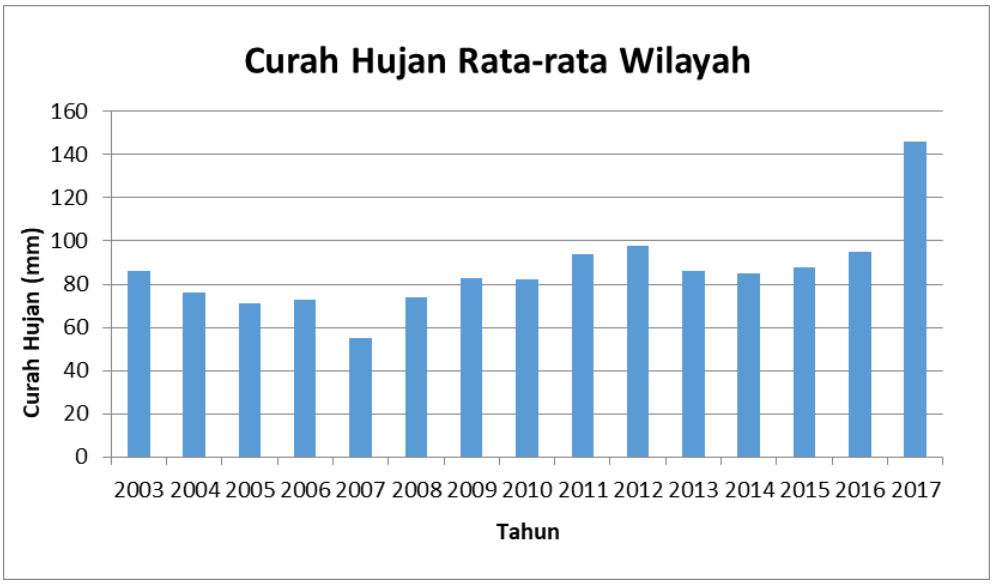
Analisis curah hujan wilayah ini menggunakan stasiun hujan yang berpengaruh di sekitar lokasi penelitian, data curah hujan yang digunakan merupakan data hujan maksimal tahunan yang dicatat selama periode 15 tahun, terhitung dari tahun 2003-2017, data ini didapat dari Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air

(PUSAIR). Adapun stasiun hujan yang digunakan dalam penelitian ini stasiun hujan Cipaku Paseh.

Tabel 4. 2 Data Curah Hujan Stasiun Cipaku-Paseh

TAHUN	Curah Hujan Wilayah (mm)
2003	86,0
2004	76,0
2005	71,0
2006	73,0
2007	55,0
2008	74,0
2009	83,0
2010	82,0
2011	94,0
2012	98,0
2013	86,0
2014	85,0
2015	88,0
2016	95,0
2017	146,0
Maximum	146,0
Minimum	55,0
Rata-rata	86,13
Standar Deviasi	19,85

(Sumber : PUSAIR)



Grafik 4. 1 Curah Hujan Rata-rata Wilayah

Perhitungan standar deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(Xi-\bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{..... (4.1)}$$

Dimana :

X	=	Curah hujan rata – rata (mm)
Xi	=	Curah hujan di stasiun hujan ke “i” (mm)
S	=	Standar deviasi
n	=	Jumlah data

Sehingga didapat nilai standar deviasi sebagai berikut,

$$S = \sqrt{\frac{5517,7}{15-1}}$$

S = 19,85

4.2.3 Analisis Frekuensi Curah Hujan

Analisis frekuensi curah hujan ini bertujuan untuk memperoleh curah hujan dengan kala ulang beberapa tahun. Pada analisis ini digunakan beberapa metoda untuk memperkirakan curah hujan dengan periode ulang tertentu. Kala ulang yang akan dihitung pada masing-masing metode adalah untuk kala ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun.

Dalam menganalisis frekuensi curah hujan digunakan beberapa metode distribusi, diantaranya sebagai berikut :

1. Metode Distribusi Normal

   Perhitungan Distribusi Normal sebagai berikut :

$$X_{Tr} = \bar{X} + K_T \text{ x } S \quad \text{..... (4.2)}$$

Dimana :

X_{Tr} = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tahunan (mm)

$\overline{X}$ = Curah hujan rata-rata (mm)

S = Standar deviasi dari data hujan X (mm)

K_T = Faktor frekuensi (bergantung dari nilai T)

Sample perhitungan nilai X_{Tr}

$$X_{Tr} = \overline{X} + K_T \text{ x } S$$

$$X_{Tr} = 86.13 + (-3.05 \text{ x } 19.85)$$

$$X_{Tr} = 25{,}58$$

Tabel 4. 3 Perhitungan Distribusi Normal

No.	Tahun	No. Urut	X	X_{urut}	Tr (thn)
1	2003	7	86,00	146,00	16,00
2	2004	11	76,00	98,00	8,00
3	2005	14	71,00	95,00	5,33
4	2006	13	73,00	94,00	4,00
5	2007	15	55,00	88,00	3,20
6	2008	12	74,00	86,00	2,67
7	2009	9	83,00	86,00	2,29
8	2010	10	82,00	85,00	2,00
9	2011	4	94,00	83,00	1,78
10	2012	2	98,00	82,00	1,60
11	2013	6	86,00	76,00	1,45
12	2014	8	85,00	74,00	1,33
13	2015	5	88,00	73,00	1,23
14	2016	3	95,00	71,00	1,14
15	2017	1	146,00	55,00	1,07
Jumlah data				n	15
Nilai rata - rata				$\overline{X}$	86,13
Standar deviasi				Sx	19,85

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Distribusi Normal

Tr (tahun)	K_{Tr}	X_{Tr} (mm)	Peluang
1	-3,05	25,58	1,00
2	0,00	86,13	0,50
5	0,84	102,81	0,20
10	1,28	111,54	0,10
25	1,64	118,69	0,04
50	2,05	126,83	0,02
100	2,33	132,39	0,01

(Sumber : Hasil Perhitungan)

2. Metode Distribusi Log Normal 2 Parameter

Perhitungan Distribusi Log Normal 2 Parameter sebagai berikut :

$$X_{Tr} = \overline{X} + K_T \text{ x } S \quad \text{..... (4.3)}$$

$$Cv = \frac{S}{\bar{X}} \quad \text{..... (4.4)}$$

Dimana :

X_{Tr} = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tahunan (mm)

$\overline{X}$ = Curah hujan rata-rata (mm)

S atau SD = Standar deviasi dari data hujan X (mm)

K_T = Nilai karakteristik (bergantung pada nilai Cv)

Cv = Koefisien Variasi

Sample perhitungan nilai X_{Tr} dan nilai koefisien variasi (Cv)

$$X_{Tr} = \overline{X} + K_T \text{ x } S$$

$$X_{Tr} = 86{,}13 + (-0{,}1111 \text{ x } 19{,}85)$$

$$X_{Tr} = 83{,}93$$

$$Cv = \frac{19{,}85}{86{,}13} = 0{,}230$$

Setelah nilai Cv didapat, maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai periode ulang (tabel 4.6), sehingga didapat hasil analisa distribusi log normal 2 parameter (tabel 4.7).

Tabel 4. 5 Perhitungan Distribusi Log Normal 2 Parameter

No.	Tahun	No. Urut	X	X urut	Tr (thn)
1	2003	7	86,00	146,00	16,00
2	2004	11	76,00	98,00	8,00
3	2005	14	71,00	95,00	5,33
4	2006	13	73,00	94,00	4,00
5	2007	15	55,00	88,00	3,20
6	2008	12	74,00	86,00	2,67
7	2009	9	83,00	86,00	2,29
8	2010	10	82,00	85,00	2,00
9	2011	4	94,00	83,00	1,78
10	2012	2	98,00	82,00	1,60
11	2013	6	86,00	76,00	1,45
12	2014	8	85,00	74,00	1,33
13	2015	5	88,00	73,00	1,23
14	2016	3	95,00	71,00	1,14
15	2017	1	146,00	55,00	1,07
Jumlah data				n	15
Nilai rata-rata				$\bar{X}$	86,13
Standar deviasi				Sx	19,85
Koefisien Variasi				Cv	0,230

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 6 Interpolasi Nilai Cv

CV	2	5	10	20	25	50	100
0,25	-0,1194	0,7746	1,3209	1,8183	1,9206	2,4318	2,8805
0,230	-0,1111	0,7785	1,3219	1,8093	1,9085	2,4046	2,8391
0,3	-0,1406	0,7647	1,3183	1,8414	1,9514	2,5015	2,9866

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 7 Hasil Perhitungan Distribusi Log Normal 2 Parameter

Tr (tahun)	K_{Tr}	X_{Tr} (mm)	Peluang
2	-0,1111	83,93	0,50
5	0,7785	101,59	0,20
10	1,3219	112,38	0,10
25	1,9085	124,02	0,04
50	2,4046	133,87	0,02
100	2,8391	142,50	0,01

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 8 Nilai Koefisien Variasi Normal 2 Parameter

Variasi Coef.	RETURN PERIODE(YEAR)						
	2	5	10	20	25	50	100
CV	EXCEEDENCE PROBABILITY						
	0,500	0,200	0,100	0,050	0,040	0,020	0,010
0,05	-0,0250	0,8334	1,2965	1,6863	1,7609	2,1341	2,4570
0,10	-0,0496	0,8222	1,3078	1,7247	1,8061	2,2130	2,5489
0,15	-0,0738	0,8085	1,3156	1,7598	1,8482	2,2899	2,2607
0,20	-0,0971	0,7926	1,3200	1,7911	1,8866	2,3640	2,7716
0,25	-0,1194	0,7746	1,3209	1,8183	1,9206	2,4318	2,8805
0,30	-0,1406	0,7647	1,3183	1,8414	1,9514	2,5015	2,9866
0,35	-0,1604	0,7333	1,3126	1,8602	1,9775	2,5638	3,0890
0,40	-0,1788	0,7100	1,3037	1,8746	1,9990	2,6212	3,1870
0,45	-0,1957	0,6870	1,2920	1,8848	2,0162	2,6731	3,2799
0,50	-0,2111	0,6626	1,2778	1,8909	2,0291	2,7202	3,367
0,55	-0,2251	0,6379	1,2613	1,8931	2,0378	2,7613	3,4488
0,60	-0,2375	0,6129	1,2428	1,8915	2,1475	2,7971	3,5211
0,65	-0,2185	0,5879	1,2226	1,8866	2,0435	2,8279	3,3930
0,70	-0,2582	0,5631	1,2011	1,8786	2,0410	2,8532	3,3663
0,75	-0,2667	0,5387	1,1784	1,8677	2,0353	2,8735	3,7118
0,80	-0,2739	0,5118	1,1548	1,8543	2,0268	2,8891	3,7617
0,85	-0,2801	0,4914	1,1306	1,8388	2,0157	2,9002	3,8056
0,90	-0,2852	0,4686	1,1060	1,8212	2,0012	2,9010	3,8137
0,95	-0,2895	0,4466	1,0810	1,8021	1,9868	2,9103	3,8762
1,00	-0,2929	0,4254	1,0560	1,7815	1,9681	2,9010	3,9035

(Sumber : Suripin, 2004)

3. Metode Distribusi Log Normal 3 Parameter

Perhitungan Distribusi Log Normal 3 Parameter sebagai berikut :

$$X_{Tr} = \bar{X} + K_T \text{ x } S \quad \text{..... (4.5)}$$

$$Cs = \frac{n\sum_{i=1}^{n}(Xi-\bar{X})^3}{(n-1)(n-2).S^3} \quad \text{..... (4.6)}$$

Dimana :

X_{Tr} = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang tahunan (mm)

$\bar{X}$ = Curah hujan rata-rata (mm)

S atau SD = Standar deviasi dari data hujan X (mm)

K_T = Nilai karakteristik (bergantung pada nilai Cs)

Cs = Koefisien Skewness

Xi = Curah hujan di stasiun hujan ke i (mm)

n = Jumlah data

Sample perhitungan nilai X_{Tr} dan nilai koefisien skewness,

$$X_{Tr} = \overline{X} + K_T \text{ x } S$$

$$X_{Tr} = 86{,}13 + (-0{,}2614 \text{ x } 19{,}85)$$

$$X_{Tr} = 80{,}94$$

$$Cs = \frac{15\ x\ 178505}{(15-1)(15-2)\ x\ 19{,}85^{\ 3}} = 1{,}881$$

Setelah nilai Cs didapat, maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai periode ulang (tabel 4.10), sehingga didapat hasil analisa distribusi log normal 3 parameter (tabel 4.11).

Tabel 4. 9 Perhitungan Distribusi Log Normal 3 Parameter

No.	Tahun	No. Urut	X	X urut	Tr (thn)
1	2003	7	86,00	146,00	16,00
2	2004	11	76,00	98,00	8,00
3	2005	14	71,00	95,00	5,33
4	2006	13	73,00	94,00	4,00
5	2007	15	55,00	88,00	3,20
6	2008	12	74,00	86,00	2,67
7	2009	9	83,00	86,00	2,29
8	2010	10	82,00	85,00	2,00
9	2011	4	94,00	83,00	1,78
10	2012	2	98,00	82,00	1,60
11	2013	6	86,00	76,00	1,45
12	2014	8	85,00	74,00	1,33
13	2015	5	88,00	73,00	1,23
14	2016	3	95,00	71,00	1,14
15	2017	1	146,00	55,00	1,07
Jumlah data				n	15
Nilai rata-rata				$\overline{X}$	86,13
Standar deviasi				Sx	19,85
Koefisien Skewness				Cs	1,881

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 10 Interpolasi Nilai Cv

CS	2	5	10	20	25	50	100
0,8	-0,1241	0,7700	1,3201	1,8235	1,9278	2,4492	2,9043
0,801	1,881	-0,2614	0,6343	1,2958	1,9673	2,1199	2,8827
1	-0,1495	0,7449	1,3156	1,8501	1,9633	2,5294	3,0333

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 11 Hasil Perhitungan Distribusi Log Normal 3 Parameter

Tr (tahun)	K_{Tr}	X_{Tr} (mm)	Peluang
2	-0,2614	80,94	0,50
5	0,6343	98,73	0,20
10	1,2958	111,86	0,10
25	2,1199	128,22	0,04
50	2,8827	143,36	0,02
100	3,6016	157,63	0,01

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 12 Nilai Koefisien Variasi Normal 3 Parameter

Skew Coef.	RETURN PERIODE(YEAR)						
	2	5	10	20	25	50	100
	EXCEEDENCE PROBABILITY						
Cs'	0,500	0,200	0,100	0,050	0,040	0,020	0,010
-2,0	0,2366	-0,6144	-1,2437	-1,8916	-2,0421	-2,7943	-3,5196
-1,8	0,2240	-0,6395	-1,2621	-1,8928	-2,0370	-2,7578	-3,4433
-1,6	0,2092	-0,6654	-1,2792	-1,8901	-2,0274	-2,7138	-3,3570
-1,4	0,1920	-0,6920	-1,2943	-1,8827	-2,0125	-2,6615	-3,2601
-1,2	0,1722	-0,7186	-1,3067	-1,8696	-1,9914	-2,6002	-3,1521
-1,0	0,1495	-0,7449	-1,3156	-1,8501	-1,9633	-2,5294	-3,0333
-0,8	0,1241	-0,7700	-1,3201	-1,8235	-1,9278	-2,4492	-2,9043
-0,6	0,0959	-0,7930	-0,3194	-1,7894	-1,8845	-2,3600	-2,7665
-0,4	0,0654	-0,8131	-0,3128	-1,7478	-1,8337	-2,2631	-2,6223
-0,2	0,0332	-0,8296	-0,3002	-1.6993	-1,7761	-2,1602	-2,4745
0,0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,2	-0,0332	0,8996	0,3002	1,6993	1,7761	2,1602	2,4745
0,4	-0,0654	0,8131	0,3128	1,7478	1,8337	2,2631	2,6223
0,6	-0,0950	0,7930	0,3194	1,7894	1,8845	2,3600	2,7665
0,8	-0,1241	0,7700	1,3201	1,8235	1,9278	2,4492	2,9043
1,0	-0,1495	0,7449	1,3156	1,8501	1,9633	2,5294	3,0333
1,2	-0,1722	0,7186	1,3067	1,8696	1,9914	2,6002	3,1521
1,4	-0,1920	0,6920	1,2943	1,8827	2,0125	2,6615	3,2601
1,6	-0,2092	0,6654	1,2792	1,8901	2,0274	2,7138	3,3570
1,8	-0,2240	0,6395	0,2621	1,8928	2,0370	2,7578	3,4433
2,0	-0,2366	0,6144	1,2437	1,8916	2,0421	2,7943	3,5196

(Sumber : Suripin, 2004)

4. Metode Distribusi Gumbell

Perhitungan Distribusi Gumbell sebagai berikut :

$$X_{tr} = \overline{X} + K \times S_x \quad \text{..... (4.7)}$$

$$K = \frac{Y_{Tr} - Yn}{Sn} \quad \text{.....(4.8)}$$

Dimana :

X_{tr} = Besarnya curah hujan untuk periode tahun berulang Tr mm)

$\overline{X}$ = Curah hujan rata-rata (mm)

S_x = Standar deviasi dari data hujan X (mm)

K = Faktor Frekuensi Gumbel

Ytr = *Reduced variated*

Sn = *Reduced standard deviasi*

Yn = *Reduced Mean*

Sample perhitungan faktor frekuensi gumbel dan nilai X_{Tr}

$$K = \frac{0{,}3665 - 0{,}5128}{1{,}0206}$$

$K = -\ 0{,}1433$

$$X_{Tr} = \overline{X} + K \times S$$

$$X_{Tr} = 86{,}13 + (-0{,}1433 \times 19{,}85)$$

$$X_{Tr} = 83{,}29$$

Tabel 4. 13 Perhitungan Distribusi Gumbell

No.	Tahun	X	$(Xi - \bar{X})^2$	X urut	Tr (tahun)
1	2003	86,00	0,02	146,00	16,00
2	2004	76,00	102,68	98,00	8,00
3	2005	71,00	229,02	95,00	5,33
4	2006	73,00	172,48	94,00	4,00
5	2007	55,00	969,28	88,00	3,20
6	2008	74,00	147,22	86,00	2,67
7	2009	83,00	9,82	86,00	2,29
8	2010	82,00	17,08	85,00	2,00
9	2011	94,00	61,88	83,00	1,78
10	2012	98,00	140,82	82,00	1,60
11	2013	86,00	0,02	76,00	1,45
12	2014	85,00	1,28	74,00	1,33
13	2015	88,00	3,48	73,00	1,23
14	2016	95,00	78,62	71,00	1,14
15	2017	146,00	3584,02	55,00	1,07
Jumlah data				n	15
Nilai rata-rata				$\bar{X}$	86,13
Standar deviasi				Sx	19,85
Jumlah nilai data				Σ X	1292
Jumlah selisih dengan mean pangkat 2				$\Sigma (Xi - \bar{X})^2$	5517,73
Koefisien yn *(reduced mean)*				Yn	0,5128
Koefisien sn *(reduced sd)*				Sn	1,0206

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Distribusi Log Normal 2 Parameter

Tr (tahun)	Y_{Tr}	X_{Tr} (mm)	Peluang
2	0,3665	83,29	0,50
5	1,4999	105,34	0,20
10	2,2504	119,93	0,10
25	3,1985	138,38	0,04
50	3,9019	152,06	0,02
100	4,6001	165,64	0,01

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 15 *Reduced Mean (Yn)*

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.4952	0.4996	0.5035	0.5070	0.5100	0.5128	0.5157	0.5181	0.5202	0.5220
20	0.5236	0.5252	0.5268	0.5268	0.5296	0.5309	0.5320	0.5332	0.5343	0.5353
30	0.5362	0.5471	0.5380	0.5388	0.5396	0.5403	0.5410	0.5418	0.5424	0.5436
40	0.5436	0.5442	0.5448	0.5453	0.5458	0.5463	0.5468	0.5473	0.5477	0.5481
50	0.5485	0.5489	0.5493	0.5497	0.5501	0.5504	0.5508	0.5511	0.5515	0.5518
60	0.5521	0.5524	0.5527	0.5530	0.5533	0.5535	0.5538	0.5540	0.5543	0.5545
70	0.5548	0.5550	0.5552	0.5555	0.5557	0.5559	0.5561	0.5563	0.5565	0.5567
80	0.5569	0.5570	0.5572	0.5574	0.5576	0.5578	0.5580	0.5581	0.5583	0.5585
90	0.5586	0.5587	0.5589	0.5591	0.5592	0.5593	0.5595	0.5596	0.5598	0.5599
100	0.5600	0.5600	0.5603	0.5604	0.5606	0.5607	0.5608	0.5609	0.5610	0.5611

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 4. 16 *Reduced Standard deviasi* (Sn)

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.9496	0.9676	0.9833	0.9971	1.0095	1.0206	1.0316	1.0411	1.0493	1.0565
20	1.0628	1.0696	1.0754	1.0811	1.0864	1.0915	1.0961	1.1004	1.1047	1.1080
30	1.1124	1.1159	1.1193	1.1226	1.1255	1.1285	1.1313	1.1339	1.1363	1.1388
40	1.1413	1.1436	1.1458	1.1480	1.1499	1.1519	1.1538	1.1557	1.1574	1.1590
50	1.1607	1.1623	1.1638	1.1658	1.1667	1.1681	1.1696	1.1708	1.1721	1.1734
60	1.1747	1.1759	1.1770	1.1782	1.1793	1.1803	1.1814	1.1824	1.1834	1.1844
70	1.1854	1.1863	1.1873	1.1881	1.1890	1.1898	1.1906	1.1915	1.1923	1.1930
80	1.1938	1.1945	1.1953	1.1959	1.1967	1.1973	1.1980	1.1987	1.1994	1.2001
90	1.2007	1.2013	1.2020	1.2026	1.2032	1.2038	1.2049	1.2049	1.2055	1.2060
100	1.2065	1.2069	1.2073	1.2077	1.2081	1.2084	1.2087	1.2090	1.2093	1.2096

(Sumber : Suripin, 2004)

Tabel 4. 17 *Reduced variated* (Y_{Tr})

Periode Ulang Tr (tahun)	*Reduced Variate* (Ytr)	Periode Ulang Tr (tahun)	*Reduced Variate* (Ytr)
2	0,3668	100	4,6012
5	1,5004	200	5,2969
10	2,2510	250	5,5206
20	2,9709	500	6,2149
25	3,1993	1000	6,9087
50	3,9028	5000	8,5188
75	4,3117	10000	9,2121

(Sumber : Suripin, 2004)

5. Metode Distribusi Pearson Type III

Perhitungan Distribusi Pearson Type III sebagai berikut :

$$X_t = \overline{X}i + K_T \text{ x Si} \quad \text{..... (4.9)}$$

$$Cs = \frac{n\sum_{i=1}^{n}(Xi-\bar{X})^3}{(n-1)(n-2).S^3} \quad \text{..... (4.10)}$$

Dimana :

X_t = Besarnya curah hujan untuk periode tahun berulang Tr (mm)

$\overline{X}$ = Curah hujan rata-rata (mm)

S atau SD = Standar deviasi dari data hujan X (mm)

K_T = Faktor sifat distribusi Pearson Type III (bergantung dari nilai koefisien variasi Cs)

Cs = Koefisien skewness

Sample perhitungan nilai X_t dan nilai koefisien skewness,

$Xt = \overline{X} + K_T \text{ x Si}$

$Xt = 86{,}13 + (-0{,}305 \text{ x } 19{,}85)$

$Xt = 80{,}08$

$Cs = \frac{15\ x\ 178505}{(15-1)(15-2)\ x\ 19{,}85^{\ 3}} = 1{,}881$

Setelah nilai Cs didapat, maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai periode ulang (tabel 4.19), sehingga didapat hasil analisa distribusi pearson type III (tabel 4.20).

Tabel 4. 18 Perhitungan Distribusi Pearson Type III

No.	Tahun	X	$(X_i - X)^3$
1	2003	86,00	0
2	2004	76,00	-1,041
3	2005	71,00	-3,466
4	2006	73,00	-2,265
5	2007	55,00	-30,177
6	2008	74,00	-1,786
7	2009	83,00	-31
8	2010	82,00	-71
9	2011	94,00	487
10	2012	98,00	1,671
11	2013	86,00	0
12	2014	85,00	-1
13	2015	88,00	7
14	2016	95,00	697
15	2017	146,00	214,563
Jumlah data		n	15
Nilai rata-rata		$\bar{X}$	86,13
Standar deviasi		Sx	19,85
Jumlah nilai data		Σ X	1292
Koefisien Skewness		Cs	1,881

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 19 Interpolasi Nilai Cs

Cs	2	5	10	25	50	100	200
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401
1,881	-0,305	0,661	1,349	2,263	2,930	3,595	1,881
1	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 20 Hasil Perhitungan Distribusi Pearson Type III

Tr (tahun)	K_{Tr}	X_{Tr} (mm)	Peluang
2	-0,305	80,08	0,50
5	0,661	99,26	0,20
10	1,349	112,91	0,10
25	2,263	131,07	0,04
50	2,930	144,30	0,02
100	3,595	157,50	0,01

(Sumber : Hasil Perhitungan)

6. Metode Distribusi Log Pearson Type III

Perhitungan Distribusi Log Pearson Type III sebagai berikut :

$$\log X_t = \log \overline{X}ı + K_T \text{ x Si} \quad \text{..... (4.11)}$$

$$Cs = \frac{n\sum_{i=1}^{n}(log\ Xi - log\ \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(S \log \bar{X})^3} \quad \text{..... (4.12)}$$

Dimana :

X_T = Besarnya curah hujan untuk periode tahun berulang Tr (mm)

$\overline{X}$ = Curah hujan rata-rata (mm)

S atau SD = Standar deviasi dari data hujan X (mm)

K_T = Koefisien frekuensi

(bergantung pada koefisien kemencengan G)

Sample perhitungan nilai Log X_t dan nilai koefisien skewness,

$$\overline{\log Xı} = \frac{\sum \log X}{N}$$

$$\overline{\log Xı} = \frac{28{,}887}{15} = 1{,}926$$

$$\log X_t = \log \overline{X}ı + K_T \text{ x Si}$$

$$\log X_t = 1{,}926 + (-0{,}121 \text{ x } 0{,}091) = 1{,}9148$$

$X_{Tr} = 10^{\log Xt} = 10^{1{,}8958} = 82{,}19$

$Cs = \frac{15\ x\ 0{,}007}{(15-1)(15-2)\ x\ 0{,}091^{\ 3}} = 0{,}744$

Setelah nilai Cs didapat, maka dilakukan interpolasi untuk mendapatkan nilai periode ulang (tabel 4.22), sehingga didapat hasil analisa distribusi log pearson type III (tabel 4.23).

Tabel 4. 21 Perhitungan Distribusi Log Pearson Type III

No.	Tahun	X	log X	$(\log Xi - \overline{\log X})^2$	$(\log Xi - \overline{\log X})^3$
1	2003	86,00	1,9345	0,00008	0,00000
2	2004	76,00	1,8808	0,00203	-0,00009
3	2005	71,00	1,8513	0,00556	-0,00041
4	2006	73,00	1,8633	0,00391	-0,00024
5	2007	55,00	1,7404	0,03439	-0,00638
6	2008	74,00	1,8692	0,00320	-0,00018
7	2009	83,00	1,9191	0,00005	0,00000
8	2010	82,00	1,9138	0,00014	0,00000
9	2011	94,00	1,9731	0,00224	0,00011
10	2012	98,00	1,9912	0,00428	0,00028
11	2013	86,00	1,9345	0,00008	0,00000
12	2014	85,00	1,9294	0,00001	0,00000
13	2015	88,00	1,9445	0,00035	0,00001
14	2016	95,00	1,9777	0,00269	0,00014
15	2017	146,00	2,1644	0,05690	0,01357
Jumlah data				n	15
Jumlah nilai ‘log X’				Σ log X	28,887
Nilai rata-rata ‘log X’ (mean)				Log X	1,926
Jumlah selisih dengan mean pangkat 2				$\Sigma\ (\log Xi - \overline{\log X})^2$	0,116
Standar deviasi ‘log X’				S log x	0,091
Jumlah selisih dengan mean pangkat 3				$\Sigma\ (\log Xi - \overline{\log X})^3$	0,007
Koefisien skewness				Cs	0,744

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 22 Interpolasi Nilai Cs

Cs	2	5	10	25	50	100	200
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856
0,744	-0,121	0,789	1,344	1,987	2,433	2,859	3,269
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 23 Hasil Perhitungan Distribusi Log Pearson Type III

Tr (tahun)	K_{Tr}	log X_{Tr}	X_{Tr} (mm)
2	-0,121	1,9148	82,19
5	0,789	1,9976	99,44
10	1,344	2,0481	111,72
25	1,987	2,1066	127,81
50	2,433	2,1472	140,33
100	2,859	2,1859	153,44

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 24 Nilai Kt untuk Distribusi Log Pearson Type III

Koef. G	Interval Kejadian (Periode Ulang)							
	1.0101	1.2500	2	5	10	25	50	100
	Presentasi Peluang Terlampaui							
	99	80	50	20	10	4	2	1
0.0	-2.326	-0.842	0.000	0.842	1.282	1.751	2.051	2.328
-0.2	-2.472	-0.83	0.033	0.850	1.258	1.68	1.945	2.178
-0.4	-2.615	-0.816	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029
-0.6	-2.755	-0.800	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880
-0.8	-2.891	-0.780	0.132	0.856	1.166	1.448	1.606	1.733
-1.0	-3.022	-0.758	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588
-1.2	-2.149	-0.732	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449
-1.4	-2.271	-0.705	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318
-1.6	-2.388	-0.675	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.197
-1.8	-3.499	-0.643	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.087
-2.0	-3.605	-0.609	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990
-2.2	-3.705	-0.574	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905
-2.4	-3.800	-0.537	0.351	0.725	0.795	0.823	0.830	0.832
-2.6	-3.889	-0.490	0.368	0.696	0.747	0.764	0.768	0.769
-2.8	-3.973	-0.469	0.384	0.666	0.702	0.712	0.714	0.714
-3.0	-7.051	-0.420	0.369	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667

(Sumber : Suripin, 2004)

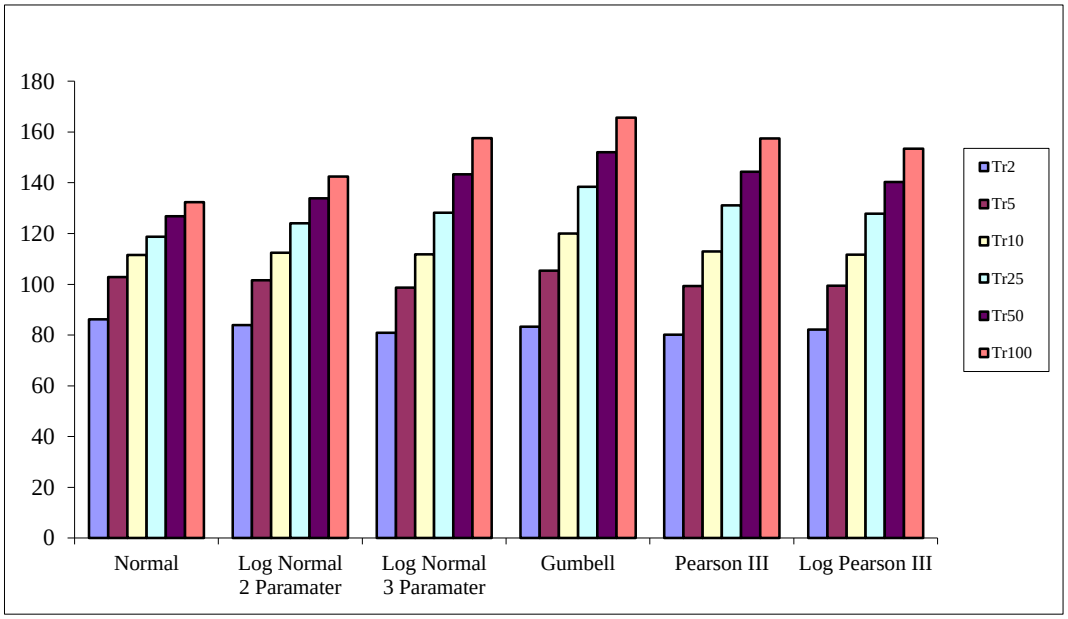
7. Resume

Berdasarkan perhitungan keenam metode distribusi frekuensi di atas, maka disimpulkan hasil perhitungan nilai KTr sebagai berikut :

Tabel 4. 25 Resume Analisis Frekuensi Curah Hujan

Periode Ulang (Tahun)	Analisa Frekuensi Curah Hujan Rencana (mm)					
	Normal	Log Normal 2 Paramater	Log Normal 3 Paramater	Gumbell	Pearson III	Log Pearson III
2	86,13	83,93	80,94	**83,29**	80,08	82,19
5	102,81	101,59	98,73	**105,34**	99,26	99,44
10	111,54	112,38	111,86	**119,93**	112,91	111,72
25	118,69	124,02	128,22	**138,38**	131,07	127,81
50	126,83	133,87	143,36	**152,06**	144,30	140,33
100	132,39	142,50	157,63	**165,64**	157,50	153,44

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Grafik 4. 2 Resume Analisis Frekuensi Curah Hujan

4.2.4 Uji Kecocokan

Untuk mengetahui distribusi frekuensi yang memenuhi kriteria perencanaan maka dilakukan uji kecocokan. Pengujian kecocokan sebaran dengan metode Smirnov-Kolmogorov adalah untuk menguji apakah sebaran yang dipilih dalam pembuatan *duration curve* cocok dengan sebaran empirisnya.

Tabel 4. 26 Nilai Kritis Uji Smirnov-Kolmogorov

n	Nilai kritis Smirnov-Kolmogorov (a)			
	0,2	**0,1**	**0,05**	**0,01**
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n>50	$\frac{1,07}{n^{0,5}}$	$\frac{1,22}{n^{0,5}}$	$\frac{1,36}{n^{0,5}}$	$\frac{1,63}{n^{0,5}}$

(Sumber : Soewarno, 1995)

Tabel 4. 27 Resume Hasil Uji Kecocokan Smirnov-Kolmogorov

No.	Selisih Untuk Nilai Kritis 5 %					
	Normal	**Log Normal 2 Paramater**	**Log Normal 3 Paramater**	**Gumbell**	**Pearson III**	**Log Pearson III**
1	31,60	27,91	27,85	16,53	28,06	31,64
2	10,05	9,29	9,25	17,32	9,35	6,58
3	8,39	5,96	5,86	11,74	6,15	4,25
4	5,43	2,48	2,34	6,39	2,75	1,64
5	7,62	5,00	4,83	7,25	5,34	4,92
6	6,17	4,16	3,96	4,84	4,55	4,76
7	2,97	1,75	1,53	0,91	2,20	2,98
8	1,13	0,67	0,43	1,71	1,16	2,46
9	0,21	0,84	0,58	3,14	1,36	3,14
10	2,39	0,19	0,08	5,47	0,74	2,98
11	0,54	4,71	4,42	2,78	5,29	7,94
12	1,03	5,35	5,05	4,20	5,96	9,00
13	4,74	5,10	4,79	6,86	5,73	9,15
14	6,36	5,95	5,62	9,08	6,60	10,37
15	4,28	20,87	20,54	1,32	21,55	25,65
Selisih Maks	**31,60**	**27,91**	**27,85**	**17,32**	**28,06**	**31,64**
Uji Kecocokan	**34,00**					
Korelasi	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima	Diterima

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.2.5 Debit Banjir Rencana

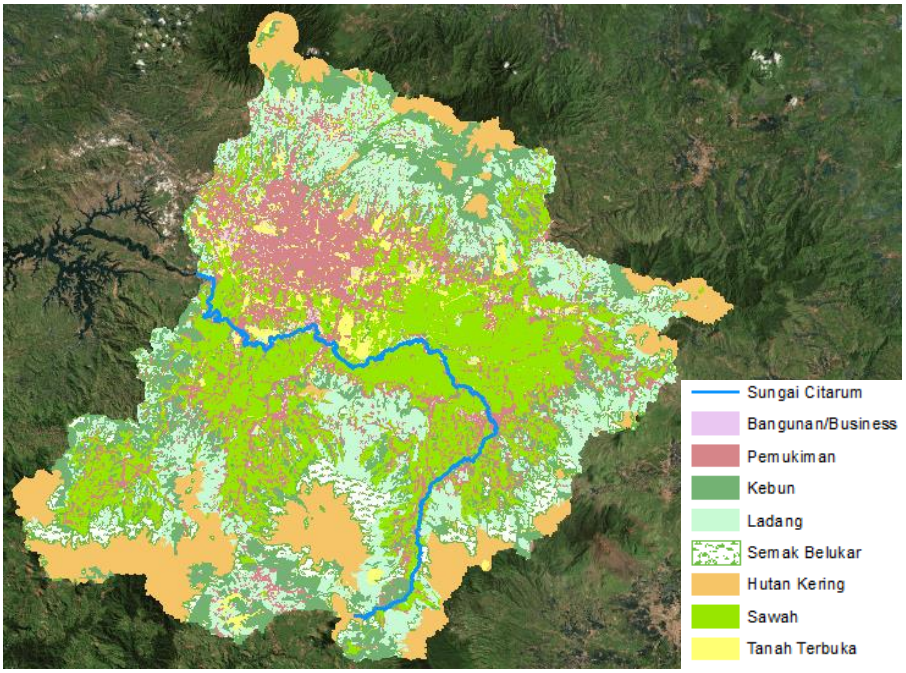
Debit banjir rancangan merupakan debit maksimum yang mungkin terjadi pada suatu daerah, dengan penyesuaian terhadap karakteristik daerah pengaliran yang ditinjau (Soemarto, CD, 1987 : 164).

Dalam penelitian ini analisis debit banjir rencana menggunakan metode Nakayasu karena dinilai cukup efektif dalam perhitungan debit banjir di Indonesia.

4.2.5.1 Tata Guna Lahan

Karakteristik daerah pengaliran dapat ditinjau dari tata guna lahan di sekitar daerah tersebut. Untuk DAS Citarum Hulu terdapat 8 jenis tutupan lahan yang terdiri dari bangunan/*business*, pemukiman, kebun, ladang, semak belukar, hutan kering, sawah dan tanah terbuka.

Luas DAS Citarum Hulu sebesar 1849,594 km², sedangkan tutupan lahan pada DAS Citarum Hulu sebagai berikut :



Gambar 4. 4 Tutupan Lahan DAS Citarum Hulu

(Sumber : Peta RBI)

Tabel 4. 28 Luas Tutupan Lahan dan Koefisien Pengalirannya

NO	Jenis	Luas (km²)	C
1	Pemukiman	314,31	0,73
2	Bangunan/Business	10,24	0,83
3	Sawah	469,36	0,15
4	Hutan Kering	267,23	0,03
5	Semak Belukar	132,79	0,07
6	Ladang	338,71	0,10
7	Kebun	256,96	0,40
8	Tanah Terbuka	59,99	0,20
C Total			**0,26**

(Sumber : Peta RBI)

Panjang Sungai Citarum = 82,20 km

Koefisien rata-rata DAS Citarum sebagai berikut :

$$C = \frac{(A1.C1)+(A2.C2)+(A3.C3)}{A\ total} \quad \text{..... (4.13)}$$

$$C = \frac{474,32}{1849,594} = 0,26$$

4.2.5.2 Perhitungan dengan Metode Nakayasu

Perhitungan menggunakan metode Nakayasu, sebagai berikut :

$$Qp = \frac{C.A.Ro}{3{,}6(0{,}3Tp+T0{,}3)} \quad \text{..... (4.14)}$$

Dimana :

Qp = Debit puncak banjir (m^3/s)

C = Koefisien Pengaliran

R_0 = Hujan satuan (mm)

A = Luas daerah pengaliran sungai (km^2)

Tp (tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak, dapat ditentukan menggunakan pendekatan rumus sebagai berikut :

$$Tp = tg + 0.8\ tr \quad \text{..... (4.15)}$$

$T_{0,3}$ merupakan waktu yang diperlukan oleh penurunan debit dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak dapat dihitung dengan persamaan :

$$T_{0,3} = \boldsymbol{\alpha}\ .\ tg \quad \text{..... (4.16)}$$

$$\propto = \frac{0{,}47\ (A.L)^{0,25}}{Tg} \quad \text{..... (4.17)}$$

Dimana :

α = Parameter hidrograf

α = 2 (daerah pengaliran biasa)

α = 1,5 (bagian naik hidrograf lambat dan menurun dengan cepat)

α = 3 (bagian naik hidrograf cepat dan menurun dengan lambat)

Tr merupakan tenggang waktu yang dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Tr = 0{,}5\ tg \text{ sampai } tg \quad \text{..... (4.18)}$$

Tg merupakan waktu konsentrasi yang dipengaruhi oleh panjang alur sungai, dinyatakan dengan persamaan berikut :

Untuk L > 15 km

$$Tg = 0,4 + 0,058\ L \quad \text{..... (4.19)}$$

Untuk L < 15 km

$$Tg = 0,21\ L^{0,7} \quad \text{..... (4.20)}$$

Dimana :

L = Panjang alur sungai (km)

Tg = Waktu konsentrasi (jam)

Untuk bagian lengkng naik (*rising limb*) dengan selang 0 < t < Tp, hidrograf satuan memiliki rumus :

$$Qa = Qp \left[\frac{t}{Tp}\right]^{2,4} \quad \text{..... (4.21)}$$

Dimana :

Qa = Limpasan sebelum mencapai debit puncak (m^3/s)

t = Waktu (jam)

Qp = Debit puncak banjir (m^3/s)

Tp = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak (jam)

Bagian lengkung/kurva turun mempunyai persamaan sebagai berikut :

a. Untuk selang nilai $Tp \leq t \leq (Tp + T_{0,3})$

$$Q_{d1} = Qp\ 0,3^{(t-Tp)/T0,3} \quad \text{..... (4.22)}$$

b. Untuk selang nilai $(Tp + T_{0,3}) \leq t \leq (Tp + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Qd_1 = Qp.\ 0,3^{(t-Tp+0,5.T_{0,3})/(1,5.T_{0,3})} \quad \text{..... (4.23)}$$

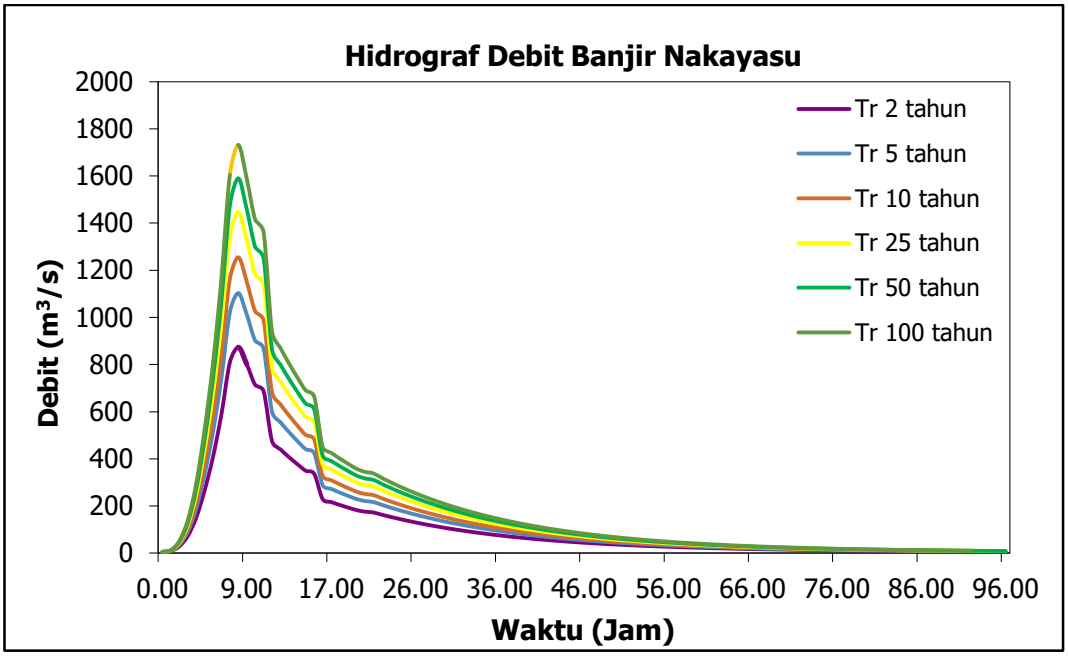
c. Untuk selang nilai $1,5T_{0,3} > (Tp + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$

$$Qd_1 = Qp.\ 0,3^{(t-Tp+1,5.T_{0,3})/(2.T_{0,3})} \quad \text{..... (4.24)}$$

Tabel 4. 29 Input Unit Hidrograf Nakayasu Sungai Citarum

No	Parameter Unit Higrograf			
1	Panjang sungai/saluran (L)			
	L	=	82,20	km
2	Luas DAS			
	F_{DAS}	=	1849,59	km^2
3	Koef. Pengaliran DAS			
	Cw_{DAS}	=	0,260	
4	Time tag (Tg)			
	Tg	=	5,168	jam
	Syarat :			
	L < 15 km; Tg = $0,21L^{0,7}$			
	L > 15 km; Tg = 0,4 +0,058L			
5	Satuan waktu hujan (tr)			
	tr	=	3,876	jam
	Syarat :			
	tr = 0,5 tg s.d 1,0 tg			
6	Peak time (Tp)			
	Tp = tg + 0,8.tr	=	8,27	jam
7	Parameter hidrograf			
	Parameter alfa (a)	=	2	
	$T_{0,3}$	=	10,335	
	$0,5T_{0,3}$	=	5,17	jam
	$1,5T_{0,3}$	=	15,50	jam
	$2,0T_{0,3}$	=	20,67	jam
8	Curah hujan spesifik (R_0)			
	R_0	=	1	mm
9	Debit puncak			
	Qp	=	10,42	$m^3/dt/mm$
10	Base flow			
	Qb	=	5,21	$m^3/dt/mm$

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Grafik 4. 3 Hidrograf Debit Banjir Nakayasu DAS Citarum

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari grafik 4.3 dapat diketahui debit puncak dan debit dasar (base flow) banjir pada DAS Citarum menggunakan metode nakayasu sebagai berikut :

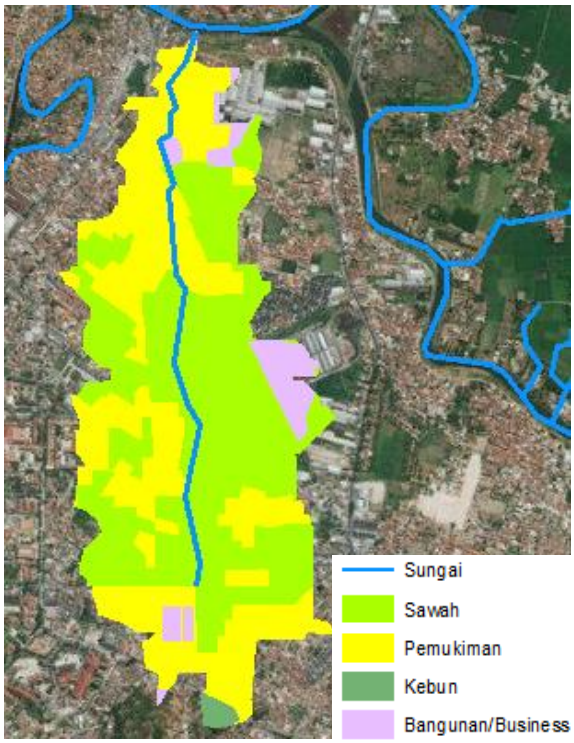
Tabel 4. 30 Debit Dasar dan Debit Puncak Banjir DAS Citarum

No	Periode Ulang	Debit (m^3/s)
1	Base Flow	5,21
2	2 Tahun	873,32
3	5 Tahun	1103,12
4	10 Tahun	1255,27
5	25 Tahun	1447,50
6	50 Tahun	1590,12
7	100 Tahun	1731,68

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Untuk DAS Cigado terdapat 4 jenis tutupan lahan yang terdiri dari bangunan/*business*, pemukiman, kebun, dan sawah.

Luas DAS Cigado sebesar 0,93 km², sedangkan tutupan lahan pada DAS Cigado sebagai berikut :



Gambar 4. 5 Tutupan Lahan DAS Cigado

(Sumber : Peta RBI)

Tabel 4. 31 Luas Tutupan Lahan dan Koefisien Pengalirannya

NO	Jenis	Luas (km²)	C
1	Pemukiman	0,38	0,73
2	Bangunan/Business	0,06	0,60
3	Sawah	0,48	0,15
4	Kebun	0,01	0,40
C total			**0,42**

(Sumber : Peta RBI)

Panjang Sungai Cigado = 1,71 km

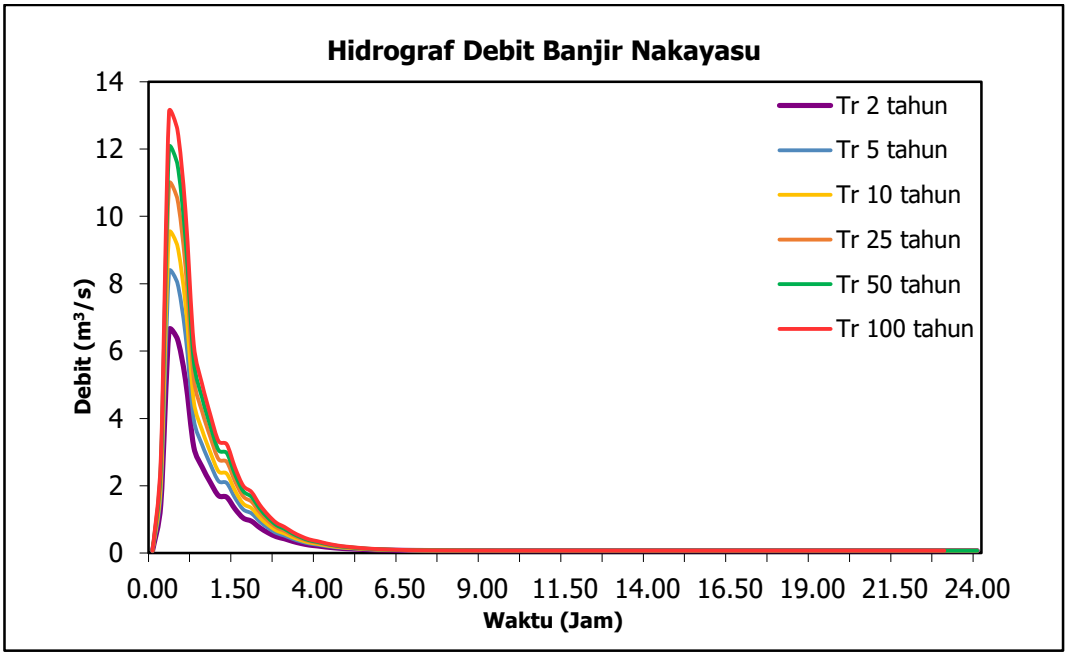
Koefisien rata-rata DAS Cigado sebagai berikut :

$$C = \frac{0,39}{0,93} = 0,42$$

Tabel 4. 32 Input Unit Hidrograf Nakayasu Sungai Cigado

No	Parameter Unit Higrograf			
1	Panjang sungai/saluran (L)			
	L	=	1,71	km
2	Luas DAS			
	F_{DAS}	=	0,93	km^2
3	Koef. Pengaliran DAS			
	Cw_{DAS}	=	0,420	
4	Time tag (Tg)			
	Tg	=	0,306	jam
	Syarat :			
	L < 15 km; Tg = $0,21L^{0,7}$			
	L > 15 km; Tg = 0,4 +0,058L			
5	Satuan waktu hujan (tr)			
	tr	=	0,229	jam
	Syarat :			
	tr = 0,5 tg s.d 1,0 tg			
6	Peak time (Tp)			
	Tp = tg + 0,8.tr	=	0,49	jam
7	Parameter hidrograf			
	Parameter alfa (a)	=	2	
	$T_{0,3}$	=	0,611	
	$0,5T_{0,3}$	=	0,31	jam
	$1,5T_{0,3}$	=	0,92	jam
	$2,0T_{0,3}$	=	1,22	jam
8	Curah hujan spesifik (R_0)			
	R_0	=	1	mm
9	Debit puncak			
	Qp	=	0,14	$m^3/dt/mm$
10	Base flow			
	Qb	=	0,07	$m^3/dt/mm$

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Grafik 4. 4 Hidrograf Debit Banjir Nakayasu DAS Cigado

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari grafik 4.4 dapat diketahui debit puncak dan debit dasar (base flow) banjir pada DAS Cigado menggunakan metode nakayasu sebagai berikut :

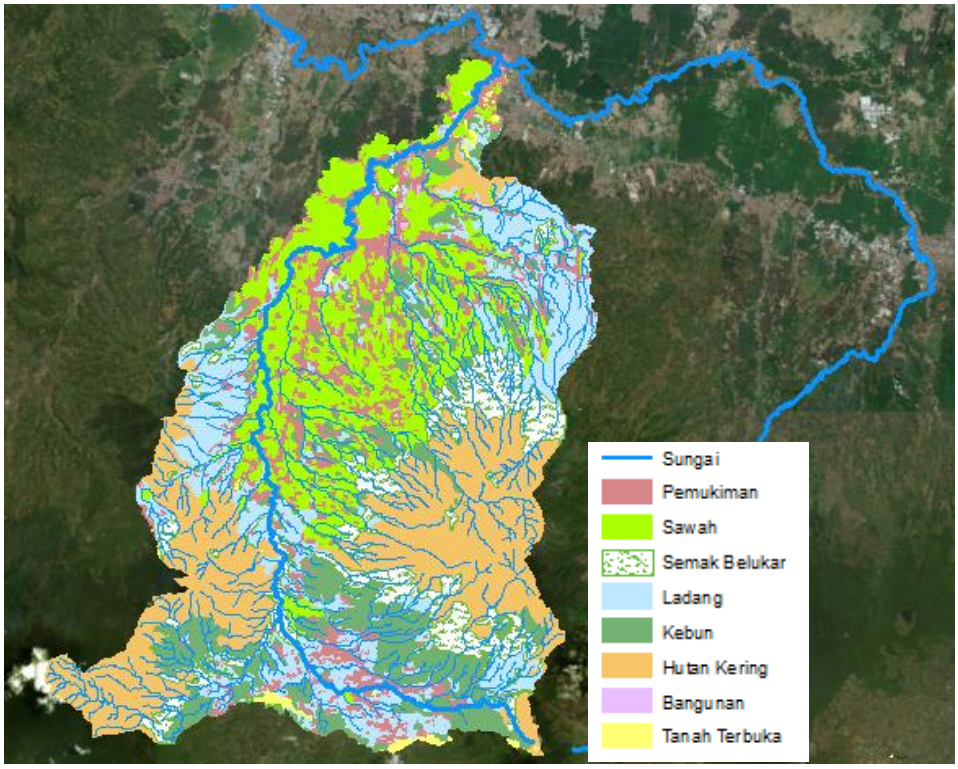
Tabel 4. 33 Debit Dasar dan Debit Puncak Banjir DAS Cigado

No	Periode Ulang	Debit (m^3/s)
1	Base Flow	0,07
2	2 Tahun	6,62
3	5 Tahun	8.36
4	10 Tahun	9.50
5	25 Tahun	10.95
6	50 Tahun	12.03
7	100 Tahun	13.10

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Untuk DAS Cisangkuy terdapat 8 jenis tutupan lahan yang terdiri dari bangunan/*business*, pemukiman, kebun, ladang, semak belukar, hutan kering, sawah dan tanah terbuka.

Luas DAS Cisangkuy sebesar 265,07 km², sedangkan tutupan lahan pada DAS Cisangkuy sebagai berikut :



Gambar 4. 6 Tutupan Lahan DAS Cisangkuy

(Sumber : Peta RBI)

Tabel 4. 34 Luas Tutupan Lahan dan Koefisien Pengalirannya

NO	Jenis	Luas (km²)	C
1	Pemukiman	31,99	0,73
2	Bangunan/Business	0,49	0,60
3	Sawah	57,61	0,15
4	Hutan Kering	66,57	0,03
5	Semak Belukar	26,58	0,07
6	Ladang	44,17	0,10
7	Kebun	36,97	0,40
8	Tanah Terbuka	0,68	0,20
C total			**0,21**

(Sumber : Peta RBI)

Panjang Sungai Cisangkuy = 50,58 km

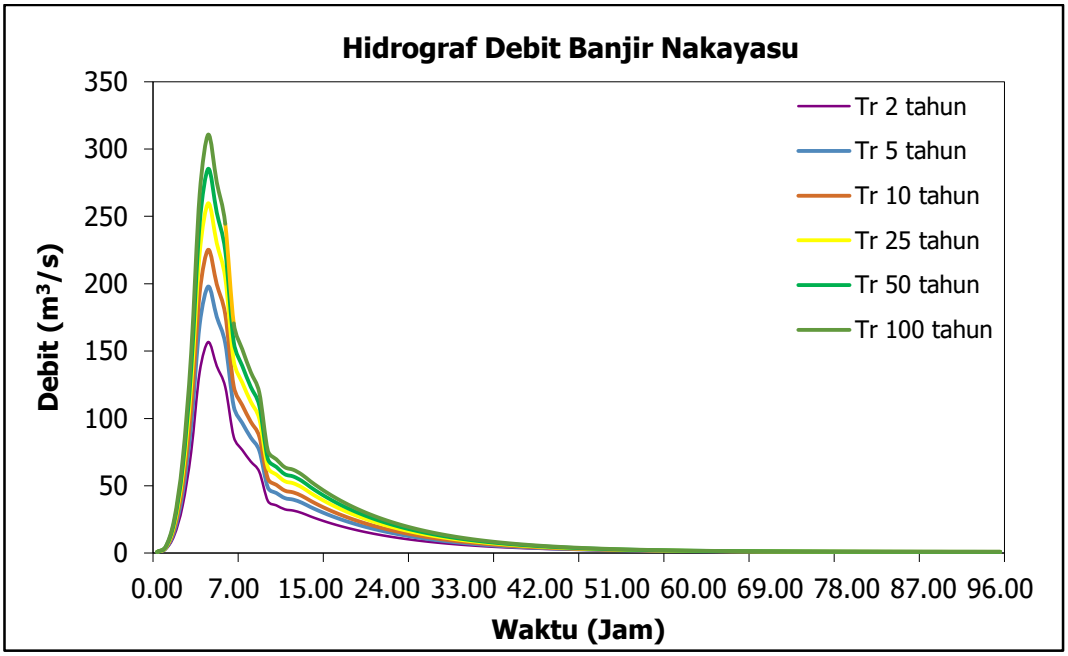
Koefisien rata-rata DAS Cisangkuy sebagai berikut :

$$C = \frac{55,49}{265,07} = 0,21$$

Tabel 4. 35 Input Unit Hidrograf Nakayasu Sungai Cisangkuy

No	Parameter Unit Higrograf			
1	Panjang sungai/saluran (L)			
	L	=	50,58	km
2	Luas DAS			
	F_{DAS}	=	265,07	km^2
3	Koef. Pengaliran DAS			
	Cw_{DAS}	=	0,210	
4	Time tag (Tg)			
	Tg	=	3,334	jam
	Syarat :			
	L < 15 km; Tg = $0,21L^{0,7}$			
	L > 15 km; Tg = 0,4 +0,058L			
5	Satuan waktu hujan (tr)			
	tr	=	2,5	jam
	Syarat :			
	tr = 0,5 tg s.d 1,0 tg			
6	Peak time (Tp)			
	Tp = tg + 0,8.tr	=	5,33	jam
7	Parameter hidrograf			
	Parameter alfa (a)	=	2	
	$T_{0,3}$	=	6,667	
	$0,5T_{0,3}$	=	3,33	jam
	$1,5T_{0,3}$	=	10,00	jam
	$2,0T_{0,3}$	=	13,33	jam
8	Curah hujan spesifik (R_0)			
	R_0	=	1	mm
9	Debit puncak			
	Qp	=	1,87	$m^3/dt/mm$
10	Base flow			
	Qb	=	0,94	$m^3/dt/mm$

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Grafik 4. 5 Hidrograf Debit Banjir Nakayasu DAS Cisangkuy

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari grafik 4.5 dapat diketahui debit puncak dan debit dasar (base flow) banjir pada DAS Cisangkuy menggunakan metode nakayasu sebagai berikut :

Tabel 4. 36 Debit Dasar dan Debit Puncak Banjir DAS Cisangkuy

No	Periode Ulang	Debit (m^3/s)
1	Base Flow	0,94
2	2 Tahun	156,68
3	5 Tahun	197,91
4	10 Tahun	225,21
5	25 Tahun	259,70
6	50 Tahun	285,28
7	100 Tahun	310,68

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.2.5.3 Perhitungan dengan Metode Snyder

Perhitungan menggunakan metode Snyder, sebagai berikut :

$$q_p = 0{,}278\ x\ \frac{Cp}{Tp} \quad \text{..... (2.30)}$$

$$Q_p = qp\ x\ A \quad \text{..... (2.31)}$$

Dimana :

Qp = Debit puncak (m^3/det)

qp = Debit maksimum hidrograf satuan (m^3/det)

Cp = Koefisien yang dipengaruhi waktu kelambatan (0.56 – 0.69)

tp = Waktu dari titik berat curah hujan efektif ke puncak banjir

A = Luas DAS (km^2)

Persamaan snyder berhubungan dengan tp, didefinisikan sebagai interval waktu dari titik tengah unit rainfall sampai puncak hidrograf satuan.

$$tp = Ct(L.L_c)^{0,3} \quad \text{..... (2.32)}$$

Dimana :

L = Panjang sungai (km)

Lc = Panjang sungai dari hilir ke titik pusat DAS (km)

tp = Waktu mencapai puncak (jam)

Ct = Koefisien yang dipengaruhi kemiringan slope (1.35 – 1.65)

$$te = \frac{tp}{5{,}5} \quad \text{..... (2.33)}$$

Jika $t_e > t_R$ maka,

$$t'_p = t_p + 0{,}25\ (t_e - t_R) \quad \text{..... (2.34)}$$

sehingga didapat waktu untuk mencapai debit maksmimum

$$T_p = t'_p + 0{,}5 \quad \text{..... (2.35)}$$

Jika $t_e < t_R$ maka,

$$T_p = t_p + 0{,}5 \quad \text{..... (2.36)}$$

Sedangkan untuk menghitung waktu dasar hidrograf menggunakan persamaan berikut :

$$T_b = 72 + 3\ t_p \quad \text{..... (2.37)}$$

Dimana :

Tp	=	Waktu untuk mencapai debit maksimum (jam)
t_e	=	Lamanya curah hujan efektif (jam)
t'p	=	Basin lag untuk durasi efektif dari t_R dan tp (jam)
t_R	=	Durasi hujan efektif (jam)
Tb	=	Waktu dasar hidrograf

Persamaan Alexeyev berikut membantu dalam penentuan bentuk dari hidrograf :

$$Q = Y.Q_p \quad \text{..... (2.40)}$$

$$X = \frac{t}{T_p} \quad \text{..... (2.41)}$$

$$Y = 10^{-a\frac{(1-x)^2}{x}} \quad \text{..... (2.42)}$$

$$a = 1{,}32\ \lambda^2 + 0{,}15\lambda + 0{,}045 \quad \text{..... (2.43)}$$

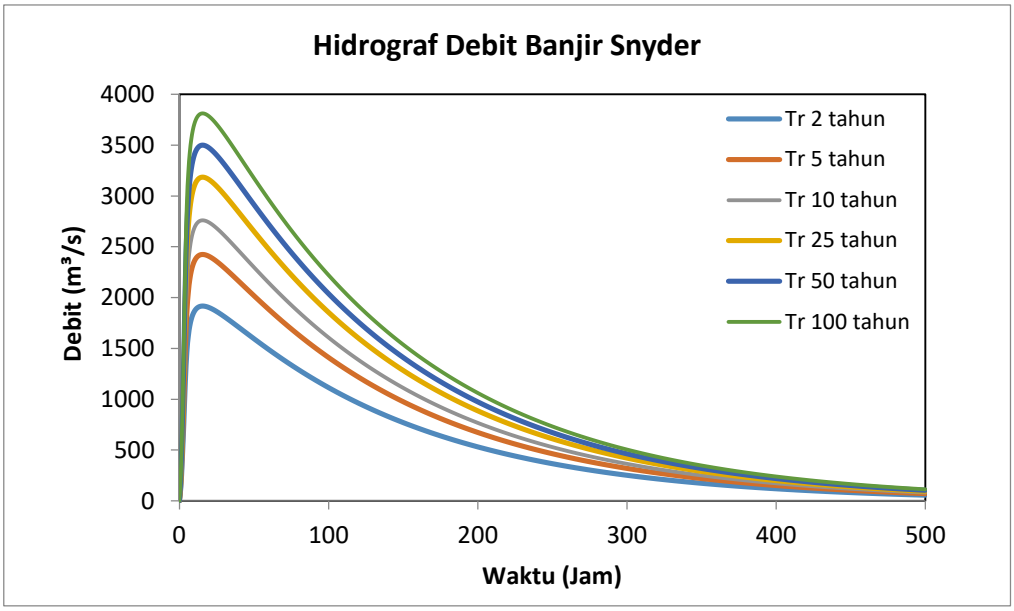
$$\lambda = \frac{Q_p\ .\ T_p}{A\ .\ R} \quad \text{..... (2.44)}$$

Setelah λ dan α dihitung, maka nilai Y untuk masing-masing X dapat dihitung (dengan membuat tabel), sehingga diperoleh : $t = X.T_p$ dan $Q = y.Q_p$, selanjutnya dibuat grafik hidrograf satuan.

Tabel 4. 37 Input Unit Hidrograf Snyder Sungai Citarum

No	Parameter Unit Higrograf			
1	Panjang sungai/saluran (L)			
	L	=	82,2	km
2	Luas DAS			
	F_{DAS}	=	1849,59	km^2
3	Jarak outlet – titik pusat DAS			
	Lc	=	16,73	km
4	Koefisien Ct	=	1,5	
5	Koefisien Cp	=	0,625	
6	Waktu dari titik berat hujan hingga puncak			
	tp	=	13,11	jam
7	Durasi hujan efektif			
	te	=	2,38	jam
8	Waktu hujan standar			
	tR	=	1	jam
9	Waktu mencapai debit puncak			
	Tp	=	13,96	jam
	Syarat :			
	$t_e > tR$; $Tp = (t_p + 0,25\ (t_e - t_R)) + 0,5$			
	$t_e < tR$; $Tp = tp + 0,5$			
10	Waktu dasar hidrograf			
	Tb	=	111,33	jam
11	Debit maksimum hidrograf untuk 1 mm/jam			
	qp	=	0,012	$m^3/dt/mm$
12	Debit puncak untuk 1 mm/jam			
	Qp	=	0,94	$m^3/dt/mm$
13	Parameter hidrograf			
	λ untuk Tr 2 tahun	=	0,0021	
	λ untuk Tr 5 tahun	=	0,0016	
	λ untuk Tr 10 tahun	=	0,0014	
	λ untuk Tr 25 tahun	=	0,0013	
	λ untuk Tr 50 tahun	=	0,0011	
	λ untuk Tr 100 tahun	=	0,0010	
	α	=	0,045	

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Grafik 4. 6 Hidrograf Debit Banjir Snyder DAS Citarum

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari grafik 4.6 dapat diketahui debit puncak banjir pada DAS Citarum menggunakan metode snyder sebagai berikut :

Tabel 4. 38 Debit Puncak Banjir DAS Citarum

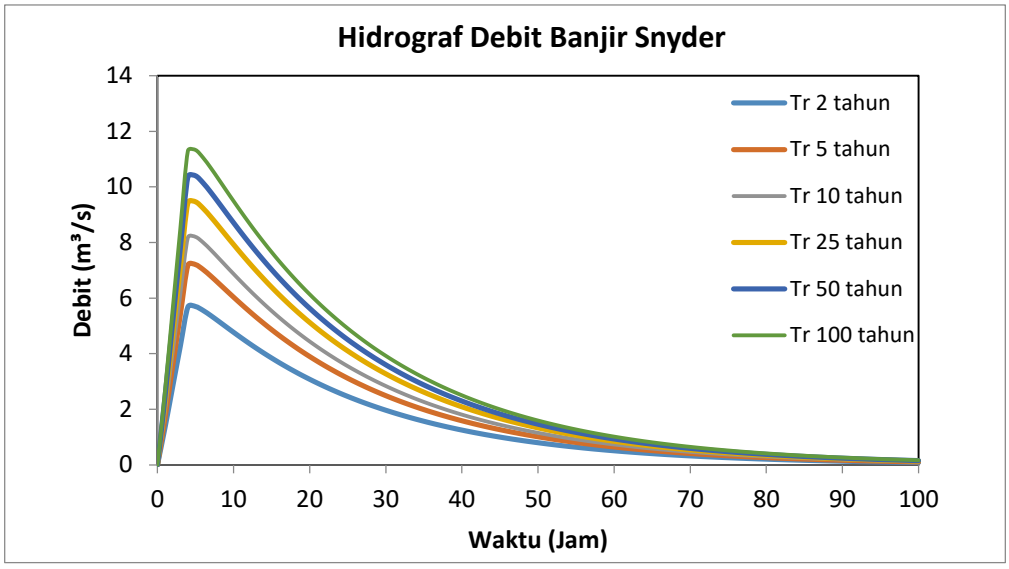
No	Periode Ulang	Debit (m^3/s)
1	2 Tahun	1916,50
2	5 Tahun	2423,87
3	10 Tahun	2759,58
4	25 Tahun	3184,12
5	50 Tahun	3498,90
6	100 Tahun	3811,37

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 39 Input Unit Hidrograf Snyder Sungai Cigado

No	Parameter Unit Higrograf			
1	Panjang sungai/saluran (L)			
	L	=	0,93	km
2	Luas DAS			
	F_{DAS}	=	1,71	km^2
3	Jarak outlet – titik pusat DAS			
	Lc	=	1,075	km
4	Koefisien Ct	=	1,5	
5	Koefisien Cp	=	0,625	
6	Waktu dari titik berat hujan hingga puncak			
	tp	=	1,80	jam
7	Durasi hujan efektif			
	te	=	0,33	jam
8	Waktu hujan standar			
	tR	=	1	jam
9	Waktu mencapai debit puncak			
	Tp	=	2,30	jam
	Syarat :			
	$t_e > tR$; $Tp = (t_p + 0,25\ (t_e - t_R)) + 0,5$			
	$t_e < tR$; $Tp = tp + 0,5$			
10	Waktu dasar hidrograf			
	Tb	=	77,40	jam
11	Debit maksimum hidrograf untuk 1 mm/jam			
	qp	=	0,08	$m^3/dt/mm$
12	Debit puncak untuk 1 mm/jam			
	Qp	=	0,07	$m^3/dt/mm$
13	Parameter hidrograf			
	λ untuk Tr 2 tahun	=	0,0021	
	λ untuk Tr 5 tahun	=	0,0016	
	λ untuk Tr 10 tahun	=	0,0014	
	λ untuk Tr 25 tahun	=	0,0013	
	λ untuk Tr 50 tahun	=	0,0011	
	λ untuk Tr 100 tahun	=	0,0010	
	α	=	0,045	

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Grafik 4. 7 Hidrograf Debit Banjir Snyder DAS Cigado

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari grafik 4.7 dapat diketahui debit puncak banjir pada DAS Cigado menggunakan metode snyder sebagai berikut :

Tabel 4. 40 Debit Puncak Banjir DAS Cigado

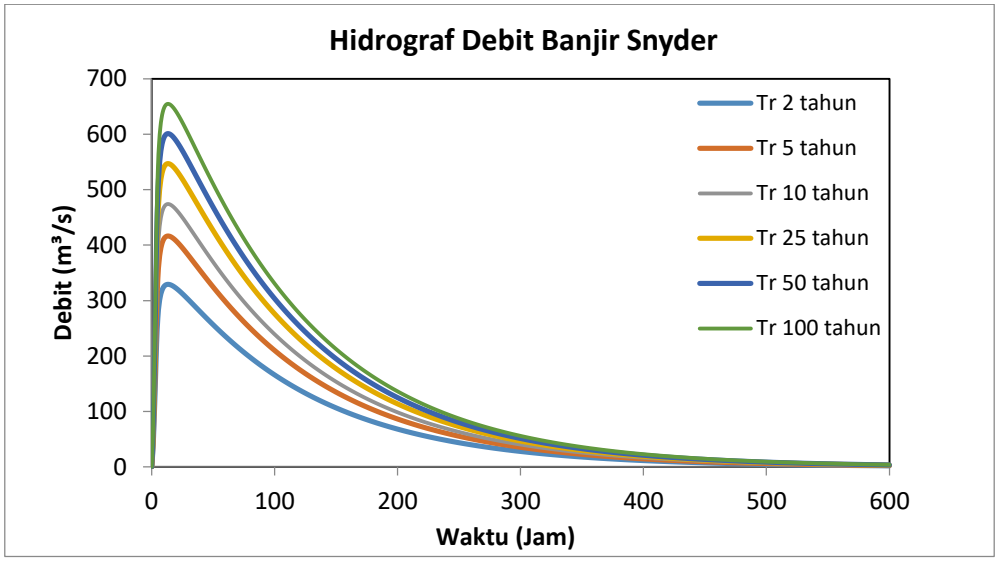
No	Periode Ulang	Debit (m^3/s)
1	2 Tahun	5,70
2	5 Tahun	7,20
3	10 Tahun	8,20
4	25 Tahun	9,46
5	50 Tahun	10,40
6	100 Tahun	11,33

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 41 Input Unit Hidrograf Snyder Sungai Cisangkuy

No	Parameter Unit Higrograf			
1	Panjang sungai/saluran (L)			
	L	=	50,58	km
2	Luas DAS			
	F_{DAS}	=	265,07	km^2
3	Jarak outlet – titik pusat DAS			
	Lc	=	14,67	km
4	Koefisien Ct	=	1,5	
5	Koefisien Cp	=	0,625	
6	Waktu dari titik berat hujan hingga puncak			
	tp	=	10,89	jam
7	Durasi hujan efektif			
	te	=	1,98	jam
8	Waktu hujan standar			
	tR	=	1	jam
9	Waktu mencapai debit puncak			
	Tp	=	11,64	jam
	Syarat :			
	$t_e > tR$; $Tp = (t_p + 0{,}25\,(t_e - t_R)) + 0{,}5$			
	$t_e < tR$; $Tp = tp + 0{,}5$			
10	Waktu dasar hidrograf			
	Tb	=	104,68	jam
11	Debit maksimum hidrograf untuk 1 mm/jam			
	qp	=	0,01	$m^3/dt/mm$
12	Debit puncak untuk 1 mm/jam			
	Qp	=	3,96	$m^3/dt/mm$
13	Parameter hidrograf			
	λ untuk Tr 2 tahun	=	0,0021	
	λ untuk Tr 5 tahun	=	0,0016	
	λ untuk Tr 10 tahun	=	0,0014	
	λ untuk Tr 25 tahun	=	0,0013	
	λ untuk Tr 50 tahun	=	0,0011	
	λ untuk Tr 100 tahun	=	0,0010	
	α	=	0,045	

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Grafik 4. 8 Hidrograf Debit Banjir Snyder DAS Cisangkuy

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari grafik 4.8 dapat diketahui debit puncak banjir pada DAS Cisangkuy menggunakan metode snyder sebagai berikut :

Tabel 4. 42 Debit Puncak Banjir DAS Cisangkuy

No	Periode Ulang	Debit (m^3/s)
1	2 Tahun	329,22
2	5 Tahun	416,37
3	10 Tahun	474,04
4	25 Tahun	546,97
5	50 Tahun	601,04
6	100 Tahun	654,72

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.2.5.4 Perhitungan dengan Metode *Soil Conservation Service* (SCS) USA

Perhitungan menggunakan metode SCS, sebagai berikut:

$$Qp = \frac{C\ A}{tp} \quad \text{..... (2.44)}$$

Dimana :

Qp = Debit puncak hidrograf satuan (m^3/s)

C = Konstanta = 2.08

A = Luas daerah aliran (km^2)

tp = waktu kelambatan antara titik berat hujan sampai puncak (jam)

$$tp = 0{,}6\ Tc \quad \text{..... (2.45)}$$

$$Tp = \frac{tr}{2} + tp \quad \text{..... (2.46)}$$

$$tr = \frac{2\ tp}{9} \quad \text{..... (2.47)}$$

$$Tc = 0.927 \left(\frac{L}{S^{0.5}}\right)^{0.47} \quad \text{..... (2.48)}$$

$$Tb = 2.67\ Tp \quad \text{..... (2.49)}$$

Dimana :

Tp = Waktu naik (*time of rise*) (jam)

tr = Lama terjadinya hujan efektif (jam)

Tc = Waktu konsentrasi (jam)

Tb = Waktu dasar (jam)

L = Panjang sungai (m)

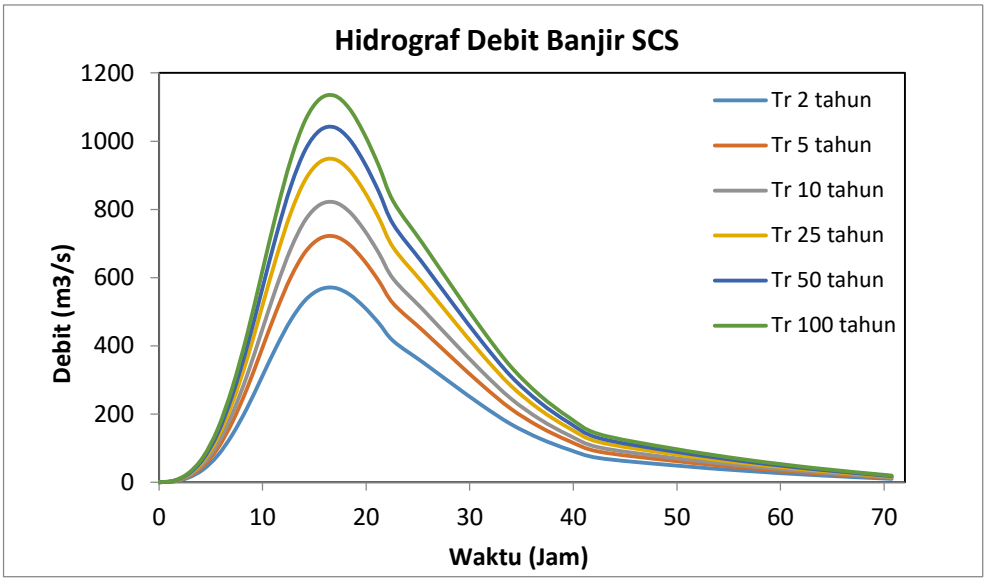
S = Kemiringan (slope) DAS = ΔH/L

ΔH = Perbedaan ketinggian antara titik terjauh di DAS dengan outlet

Tabel 4. 43 Input Unit Hidrograf SCS Sungai Citarum

No	Parameter Unit Higrograf			
1	Panjang sungai/saluran (L)			
	L	=	82,20	km
2	Luas DAS			
	F_{DAS}	=	1849,59	km^2
3	Koef. Pengaliran DAS			
	Cw_{DAS}	=	0,260	
4	Kemiringan Slope (DAS)			
	S	=	0,011	
5	Durasi hujan efektif			
	tR	=	1	jam
6	Waktu kelambatan *(time lag)*			
	tp	=	12,73	jam
7	Waktu konsentrasi			
	Tc	=	21,22	jam
8	Waktu naik *(time of rise)*			
	Tp	=	14,14	jam
9	Durasi hujan efektif			
	tr	=	2,83	jam
10	Waktu dasar			
	Tb	=	37,77	jam
8	Curah hujan spesifik (R_0)			
	R_0	=	1	cm
9	Debit puncak			
	Qp	=	271,98	m^3/dt/cm

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Grafik 4. 9 Hidrograf Debit Banjir SCS DAS Citarum

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari grafik 4.9 dapat diketahui debit puncak banjir pada DAS Citarum menggunakan metode SCS sebagai berikut :

Tabel 4. 44 Debit Puncak Banjir DAS Citarum

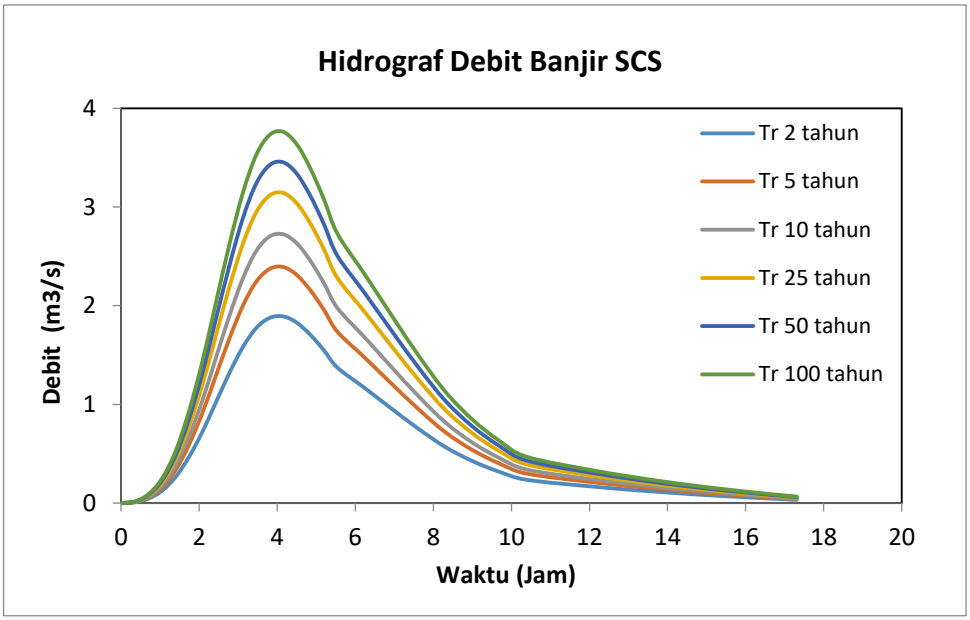
No	Periode Ulang	Debit (m^3/s)
1	2 Tahun	569,85
2	5 Tahun	720,71
3	10 Tahun	820,53
4	25 Tahun	946,76
5	50 Tahun	1040,35
6	100 Tahun	1133,26

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 45 Input Unit Hidrograf SCS Sungai Cigado

No	Parameter Unit Higrograf			
1	Panjang sungai/saluran (L)			
	L	=	1,71	km
2	Luas DAS			
	F_{DAS}	=	0,93	km^2
3	Koef. Pengaliran DAS			
	Cw_{DAS}	=	0,42	
4	Kemiringan Slope (DAS)			
	S	=	0,002	
5	Durasi hujan efektif			
	tR	=	1	jam
6	Waktu kelambatan *(time lag)*			
	tp	=	3,12	jam
7	Waktu konsentrasi			
	Tc	=	5,19	jam
8	Waktu naik *(time of rise)*			
	Tp	=	3,46	jam
9	Durasi hujan efektif			
	tr	=	0,69	jam
10	Waktu dasar			
	Tb	=	9,24	jam
8	Curah hujan spesifik (R_0)			
	R_0	=	1	cm
9	Debit puncak			
	Qp	=	0,56	$m^3/dt/cm$

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Grafik 4. 10 Hidrograf Debit Banjir SCS DAS Cigado

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari grafik 4.10 dapat diketahui debit puncak banjir pada DAS Cigado menggunakan metode SCS sebagai berikut :

Tabel 4. 46 Debit Puncak Banjir DAS Cigado

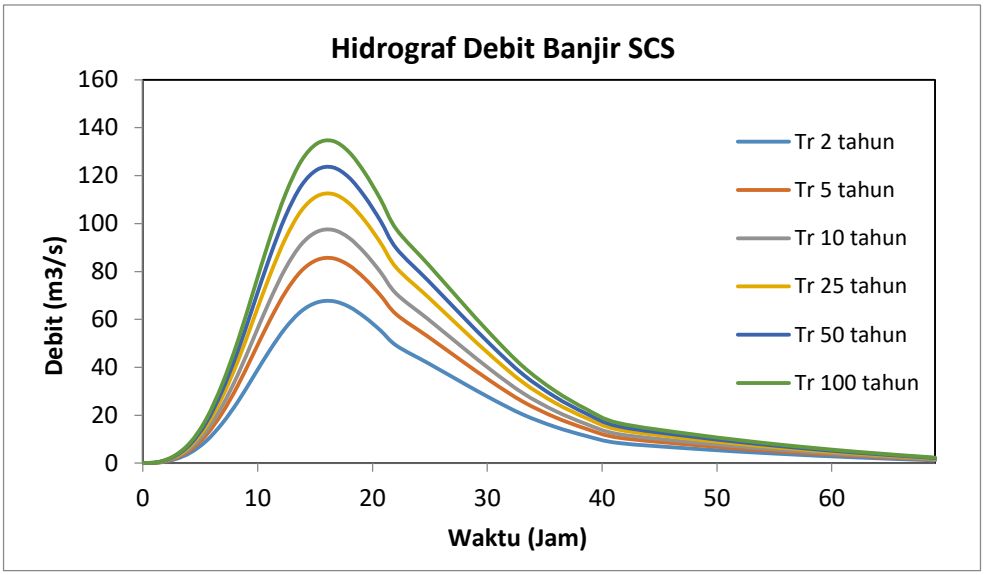
No	Periode Ulang	Debit (m^3/s)
1	2 Tahun	1.89
2	5 Tahun	2.39
3	10 Tahun	2.72
4	25 Tahun	3.14
5	50 Tahun	3.45
6	100 Tahun	3.76

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 47 Input Unit Hidrograf SCS Sungai Cisangkuy

No	Parameter Unit Higrograf			
1	Panjang sungai/saluran (L)			
	L	=	82,20	km
2	Luas DAS			
	F_{DAS}	=	1849,59	km^2
3	Koef. Pengaliran DAS			
	Cw_{DAS}	=	0,260	
4	Kemiringan Slope (DAS)			
	S	=	0,011	
5	Durasi hujan efektif			
	tR	=	1	jam
6	Waktu kelambatan *(time lag)*			
	tp	=	12,73	jam
7	Waktu konsentrasi			
	Tc	=	21,22	jam
8	Waktu naik *(time of rise)*			
	Tp	=	14,14	jam
9	Durasi hujan efektif			
	tr	=	2,83	jam
10	Waktu dasar			
	Tb	=	37,77	jam
8	Curah hujan spesifik (R_0)			
	R_0	=	1	cm
9	Debit puncak			
	Qp	=	271,98	m^3/dt/cm

(Sumber : Hasil Perhitungan)



Grafik 4. 11 Hidrograf Debit Banjir SCS DAS Cisangkuy

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Dari grafik 4.11 dapat diketahui debit puncak banjir pada DAS Cisangkuy menggunakan metode SCS sebagai berikut :

Tabel 4. 48 Debit Puncak Banjir DAS Cisangkuy

No	Periode Ulang	Debit (m^3/s)
1	2 Tahun	67,61
2	5 Tahun	85,51
3	10 Tahun	97,35
4	25 Tahun	112,33
5	50 Tahun	123,44
6	100 Tahun	134,46

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 49 Rekapitulasi Debit Puncak Banjir DAS Citarum

Periode Ulang	Debit (m^3/s)		
	Metode Nakayasu	Metode Snyder	Metode SCS
2 Tahun	873,32	1916,50	569,85
5 Tahun	1103,12	2423,87	720,71
10 Tahun	1255,27	2759,58	820,53
25 Tahun	1447,50	3184,12	946,76
50 Tahun	1590,12	3498,90	1040,35
100 Tahun	1731,68	3811,37	1133,26

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 50 Rekapitulasi Debit Puncak Banjir DAS Cigado

Periode Ulang	Debit (m^3/s)		
	Metode Nakayasu	Metode Snyder	Metode SCS
2 Tahun	6,62	5,70	1,89
5 Tahun	8,36	7,20	2,39
10 Tahun	9,50	8,20	2,72
25 Tahun	10,95	9,46	3,14
50 Tahun	12,03	10,40	3,45
100 Tahun	13,10	11,33	3,76

(Sumber : Hasil Perhitungan)

Tabel 4. 51 Rekapitulasi Debit Puncak Banjir DAS Cisangkuy

Periode Ulang	Debit (m^3/s)		
	Metode Nakayasu	Metode Snyder	Metode SCS
2 Tahun	156,68	329,22	67,61
5 Tahun	197,91	416,37	85,51
10 Tahun	225,21	474,04	97,35
25 Tahun	259,70	546,97	112,33
50 Tahun	285,28	601,04	123,44
100 Tahun	310,68	654,72	134,46

(Sumber : Hasil Perhitungan)

4.2.6 Kalibrasi Debit Banjir Rencana

Hasil perhitungan debit banjir rancangan dengan berbagai metode yang telah diperhitungkan sebelumnya, perlu dilakukan kalibrasi dengan hasil pencatatan debit lapangan (Pos duga air Citarum – Dayeuh Kolot), kemudian dapat dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu, Snyder atau SCS.

Tabel 4. 52 Kalibrasi Debit Banjir Rencana

No	Metode	Q Perhitungan (m^3/s)	Q Pos Debit (m^3/s)	% Error
1	HSS Nakayasu	873,32	403,43	53.81
2	HSS Snyder	1916,50	403,43	78.95
3	HSS SCS	569,85	403,43	29.20

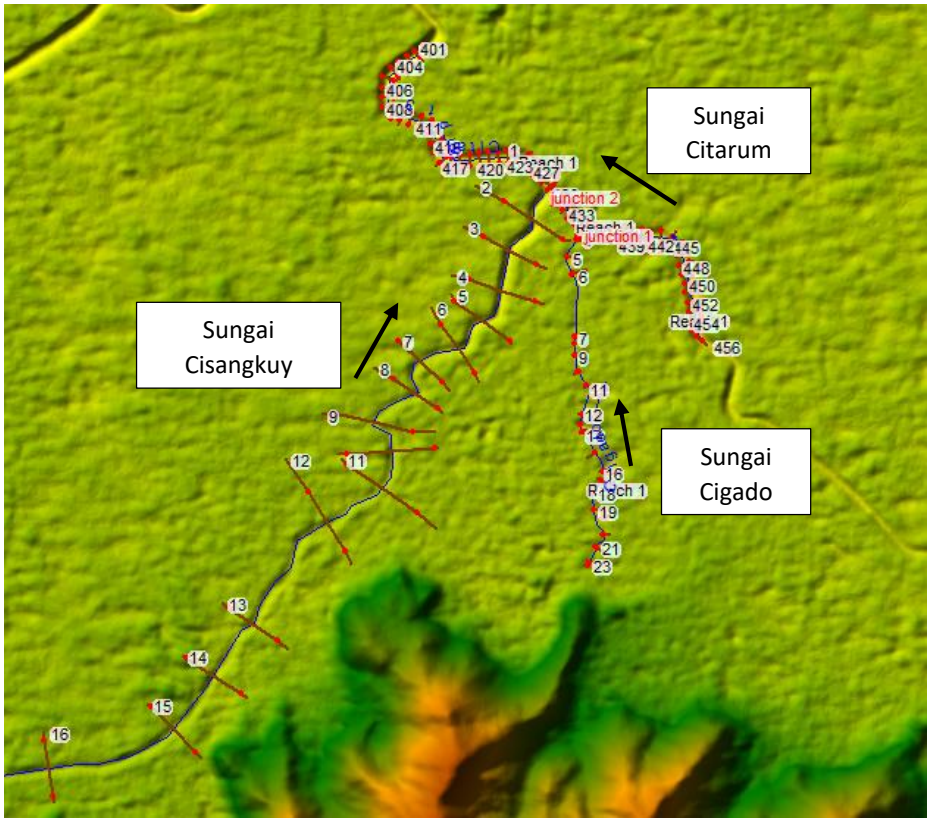
Dari hasil kalibrasi debit banjir rencana hasil perhitungan dengan data debit dari pos duga air dapat disimpulkan bahwa debit banjir menggunakan metode hidrograf satuan sintetik SCS lebih tepat digunakan karena mendekati hasil dari data debit pos duga air Citarum – Dayeuh kolot.

4.3 Analisis Hidrolika

Analisis Hidrolika bertujuan menganalisa profil muka air banjir pada Sungai Citarum, Sungai Cigado dan Sungai Cisangkuy, sehingga dapat diketahui apakah kapasitas penampang masih cukup manampung atau malah melimpas. Analisis hidrolika ini menggunakan program HEC-RAS 5.0.7 dengan debit banjir rencana 25 tahun metode snyder pada masing-masing DAS yang di tinjau, yang sudah diperhitungkan sebelumnya pada sub bab analisis hidrologi.

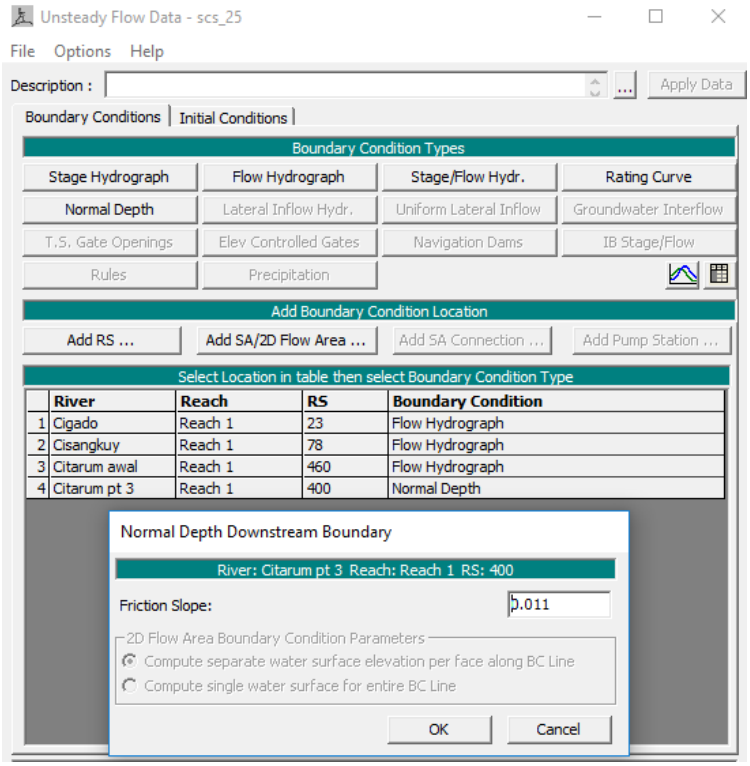
4.3.1 Tahapan Analisis

Dalam tahap analisis diperlukan beberapa data yang diinputkan ke dalam program HEC-RAS diantaranya, data geometrik sungai, nilai manning, data aliran dan kondisi batas.

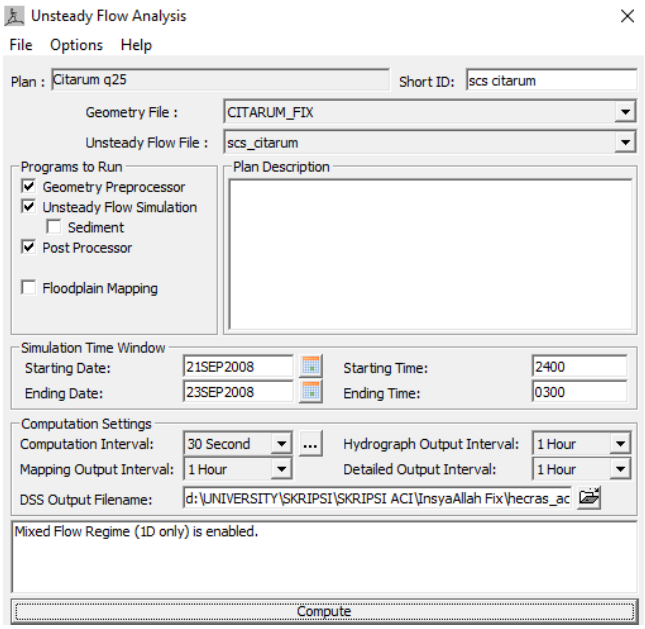


Gambar 4. 7 Geometri Sungai

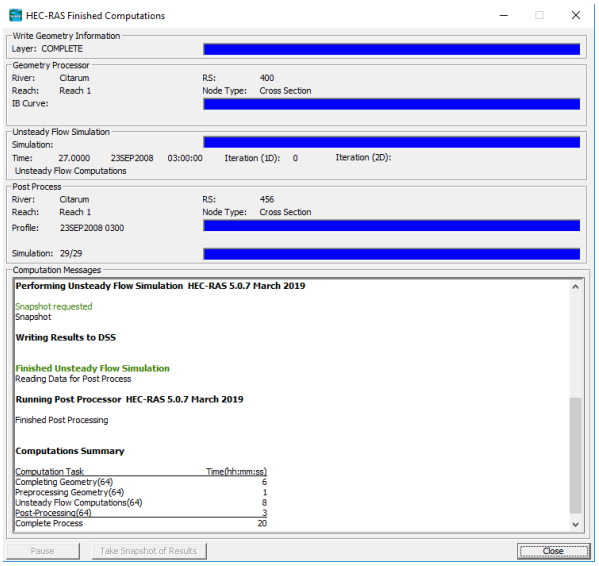
Tipe aliran yang digunakan dalam analisis hidrolika adalah *unsteady flow* dimana kondisi aliran berubah-ubah terhadap waktu dan penampang. Input batas *boundary condition* yaitu kondisi *flow hydrograph* dan *normal depth.*



Gambar 4. 8 Input Unsteady Flow



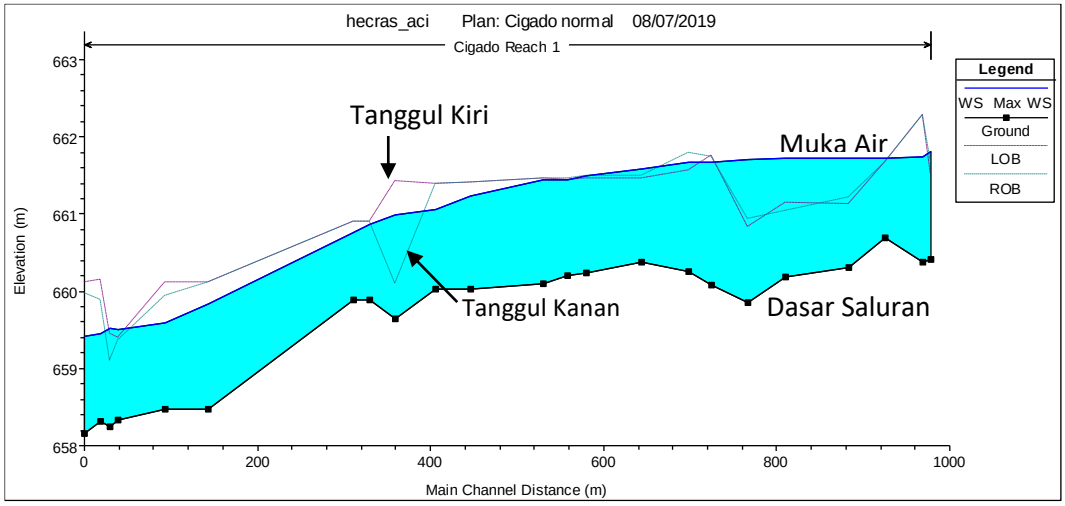
Gambar 4. 9 Proses *Run Analysis*



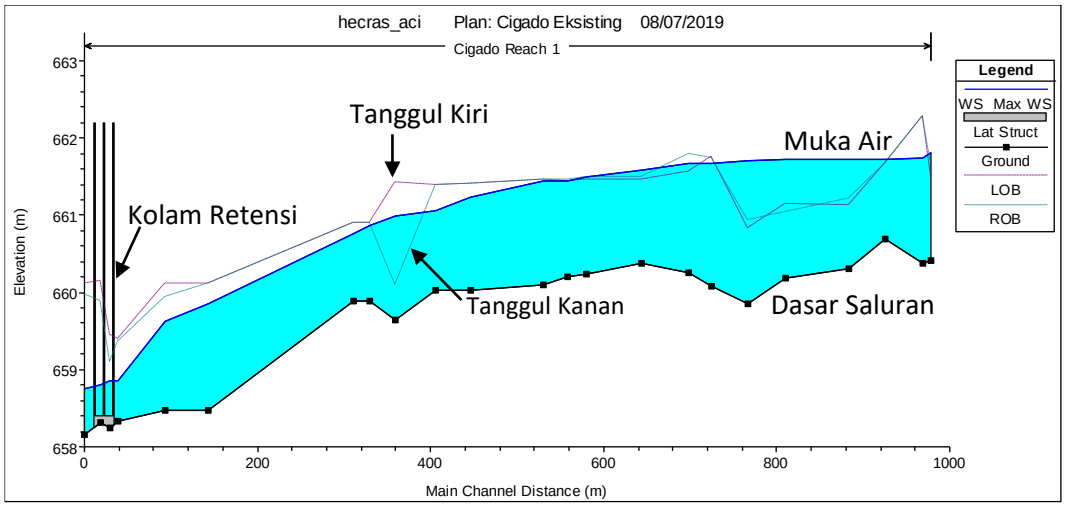
Gambar 4. 10 Hasil *Run Analysis*

4.3.2 Hasil Analisis Sungai Cigado

Berikut merupakan gambaran profil memanjang Sungai Cigado kondisi eksisting tanpa kolam retensi Cieunteung, di beberapa titik *river station* tidak mampu menampung debit banjir rencana.



Gambar 4. 11 Profil Memanjang Sungai Cigado Tanpa Kolam Retensi



Gambar 4. 12 Profil Memanjang Sungai Cigado dengan Kolam Retensi

Kondisi eksisting dengan kolam retensi, tinggi muka air hanya mereduksi di hilir sungai, oleh karena itu kapasitas kolam tidak mencukupi. Sehingga diperlukan penanganan untuk mengurangi limpasan yang masih terjadi di hulu sungai.

4.3.3 Alternatif Penanganan Sungai Cigado

Terdapat beberapa alternatif yang dapat dilakukan untuk mengurangi limpasan, sehingga debit pada periode ulang 25 tahun dapat ditampung diantaranya sebagai berikut :

4.3.3.1 Penanganan dengan Kolam Retensi dan Normalisasi

Dari hasil analisis sebelumnya, kolam retensi eksisting tidak mampu menampung debit banjir periode ulang 25 tahun sehingga diperlukan penanganan baru berupa kolam tambahan sesuai dengan volume yang perlu ditampung agar tidak terjadi banjir.

Volume yang perlu ditampung = komulatif inflow – komulatif outflow

Inflow didapat dari volume komulatif HSS SCS sebesar 780.396,5 m^3.

Outflow didapat dari kehilangan air pada evaporasi dan infiltrasi, dengan perhitungan sebagai berikut :

a. Penguapan Air (Evaporasi)

Kecepatan angin	U	=	5 knot = 9,28 km/jam
Suhu rata-rata	T	=	23,3 °C
Tekanan uap air jenuh	e_a	=	28,61 mbar
Tekanan uap air nyata	e_d	=	22,1 mmHg
Fungsi angin relatif	f(U)	=	0,295
Faktor berat	W	=	0,724
Faktor pengganti	C	=	1,13
Luas Kolam Eksisting		=	65000 m²

ETo = ((0,724 x 6,951) x ((1-0,724) x (28,61-22,1) x 0,295)) 1,13

ETo = 6,298 mm/hari

$$ETo = 6{,}298\ mm/hari\ x\ \frac{65000}{1000} = 409{,}37\ m^3/hari$$

b. Penyerapan (Infiltrasi)

Koefisien tanah rembesan	C	=	0,20 (tanah lempung geluh pasiran)
Debit	Q	=	3,14 m³/s
Kecepatan	v	=	1 m/s

$$S = 0.035\ x\ 0.20\ \sqrt{\frac{3.14}{1}} = 0.0124 \frac{\mathrm{m}^3}{s} = 1071.71\ \mathrm{m}^3/\mathrm{s}$$

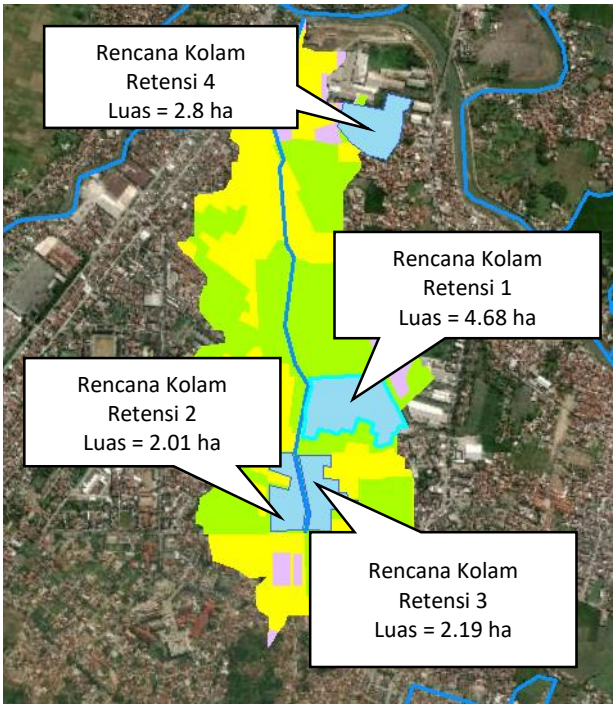
$$S = 1071.71\ \mathrm{m}^3/\mathrm{s}\ =\ 1071{,}708\ \mathrm{m}^3/\mathrm{hari}$$

didapat hasil total debit outflow sebesar 1481,078 m³/hari.

Volume yang perlu ditampung = 780.396,5 m³ - 1417,982 m³ = 778.915,422 m³

Volume tampungan eksisting = 235.092 m³

Sehingga diperlukan tampungan baru yang dapat menampung volume sebesar 543.823,422 m³.

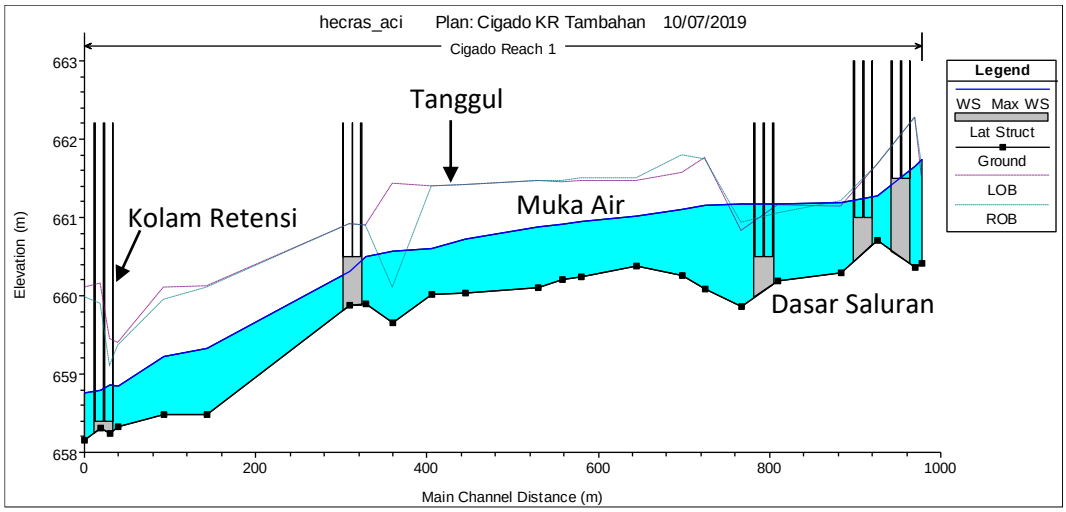


Gambar 4. 13 Lokasi Rencana Kolam Retensi Baru

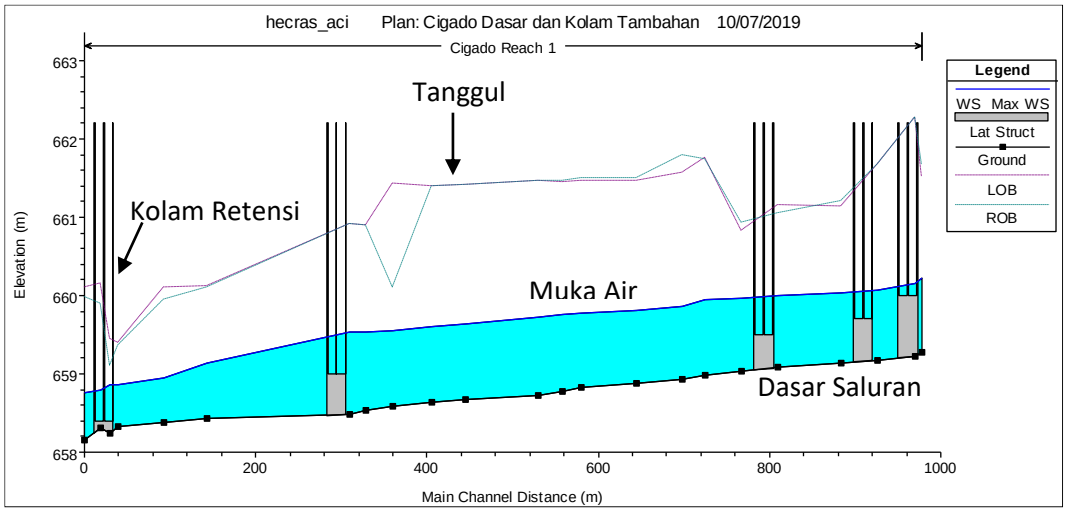
Tabel 4. 53 Rencana Kolam Retensi Baru

Rencana Kolam Retensi	Kedalaman Kolam (m)	Luas (m^2)	Volume yang ditampung (m^3)
1	5,5	40.000	220.000
2	5,5	20.000	110.000
3	5,5	20.000	110.000
4	5,5	20.000	110.000
Total		100.000	550.000

Gambar berikut merupakan kondisi profil memanjang setelah penambahan 4 kolam retensi baru, masih terjadi limpasan di beberapa titik *river station*, sehingga diperlukan normalisasi berupa pengerukan dasar sungai.



Gambar 4. 14 Profil Memanjang Sungai Cigado Normalisasi Kolam Retensi



Gambar 4. 15 Profil Memanjang Sungai Cigado Normalisasi Kolam Retensi

Efektivitas kolam sebelum dan sesudah dilakukan normalisasi sebagai berikut :

- Sebelum Normalisasi

$$\%\ Ekeftifitas = \frac{235.092}{778.978,5}\ x\ 100\% = 30,18\ \%$$

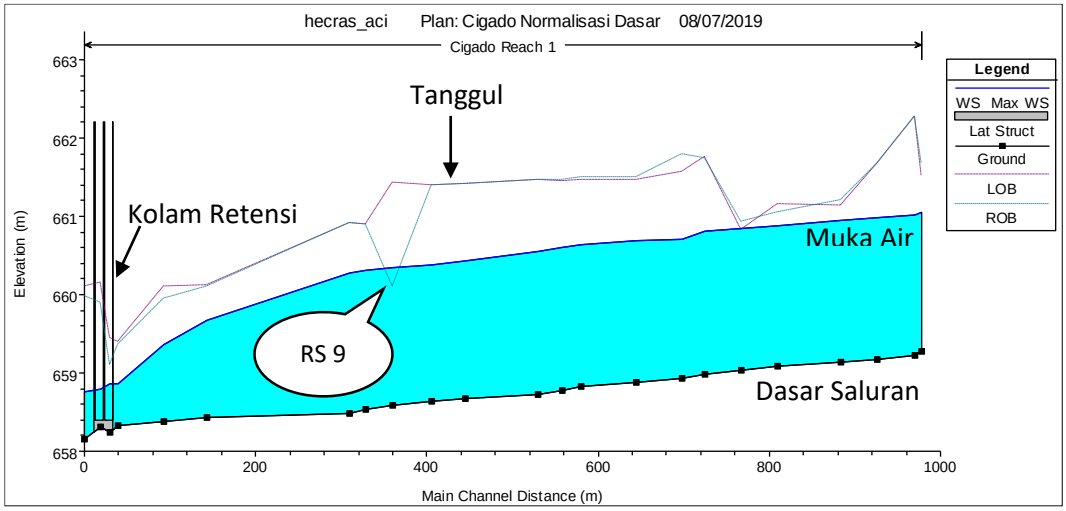
- Sesudah Normalisasi

$$\%\ Ekeftifitas = \frac{778.915,422}{778.978,5}\ x\ 100\% = 99,99\ \%$$

Normalisasi dengan penambahan kolam retensi baru tentunya memerlukan biaya yang beasr, oleh karena itu dalam penanganan banjir di Sungai Cigado dapat dilakukan beberapa alternatif berikut :

4.3.3.2 Normalisasi Dasar Sungai

Normalisasi ini dilakukan dengan skenario pengerukan dasar sungai sedalam ± 50 cm s/d 100 cm, didapatkan hasil profil memanjang sebagai berikut :



Gambar 4. 16 Profil Memanjang Sungai Cigado Normalisasi Dasar Sungai

Setelah dilakukan normalisasi pada dasar sungai ternyata titik RS 9 masih tidak mampu menampung debit rencana, sehingga diperlukan alternatif penanganan lain.

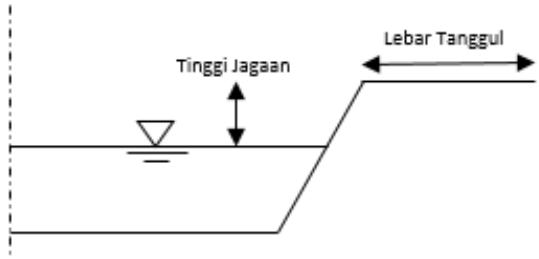
4.3.3.3 Normalisasi Tanggul Sungai

Normalisasi tanggul sungai pada studi ini dilakukan skenario perencanaan *freeboard* atau tinggi jagaan untuk debit rencana 3,14 m³/s setinggi 0,6 m dengan merujuk kepada tabel 4.54.

Tabel 4. 54 Hubungan Debit – Tinggi Jagaan

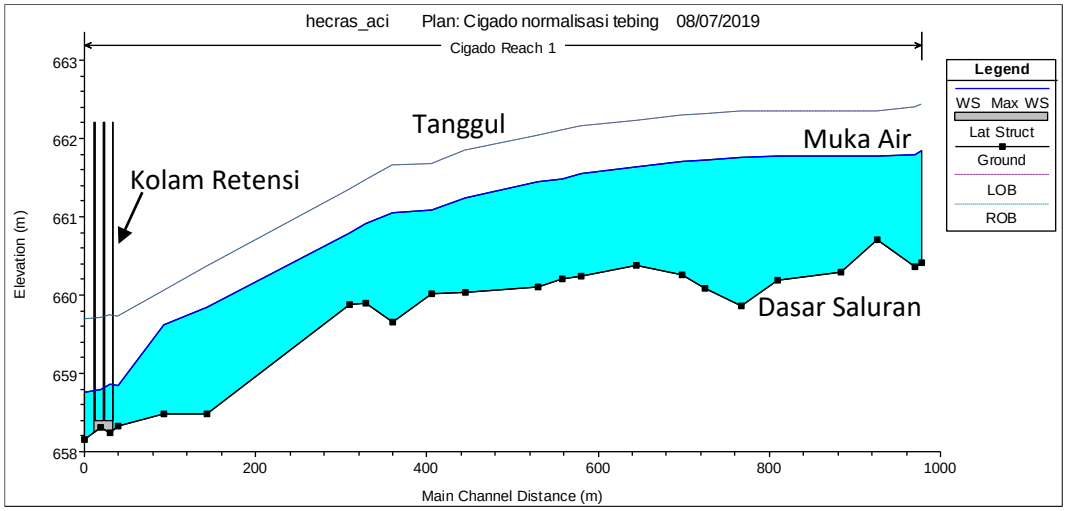
Debit Rencana (m³/s)	Tinggi Jagaan (m)	Lebar Tanggul (m)
Q < 200	0,6	3,00
200 < Q < 500	0,75	3,00
500 < Q < 2000	1,00	4,00
2000 < Q < 5000	1,25	5,00
5000 < Q < 10000	1,50	6,00
10000 < Q	2,00	7,00

(Sumber : Suyono Sosrodarsono, 1977)

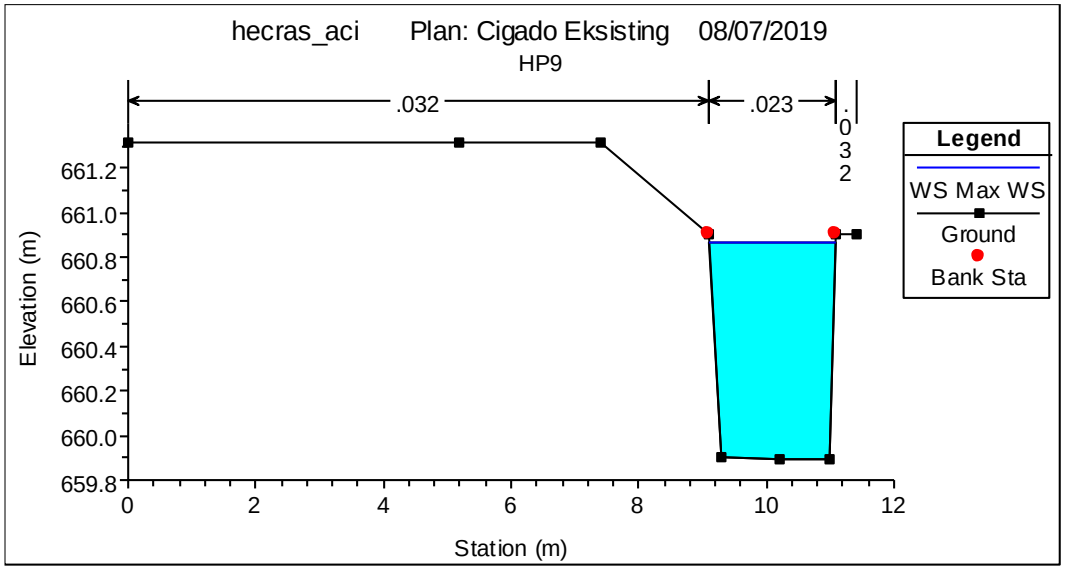


Gambar 4. 17 Sketsa Tinggi Jagaan dan Lebar Tanggul

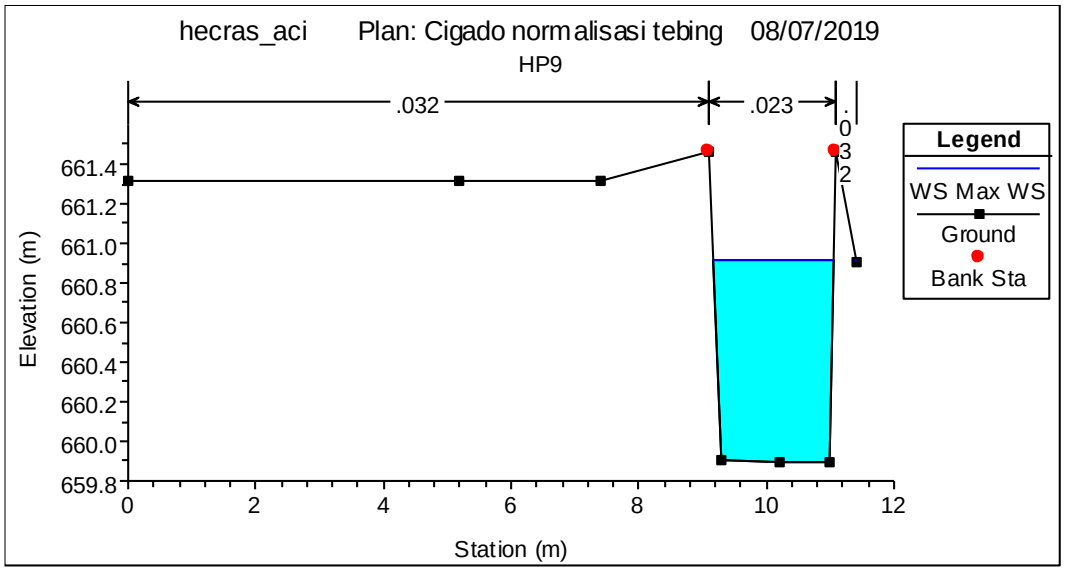
Setelah dilakukan skenario tinggi jagaan, didapatkan hasil bahwa kapasitas penampang sudah cukup menampung debit maksimum periode ulang 25 tahun.



Gambar 4. 18 Profil Memanjang Sungai Cigado Normalisasi Tanggul Sungai



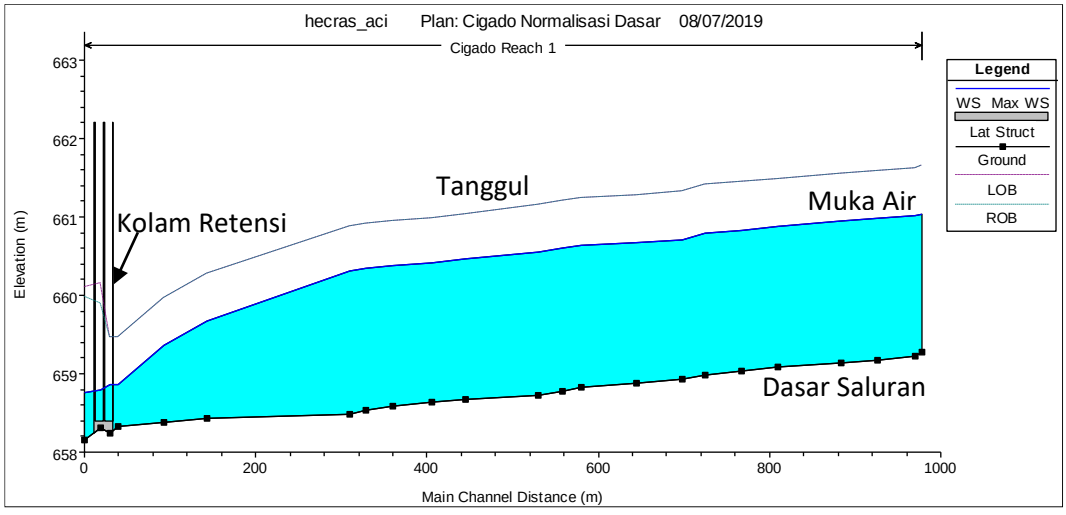
Gambar 4. 19 Profil Cross Section Sebelum Normalisasi Tanggul Sungai



Gambar 4. 20 Profil Cross Section Setelah Normalisasi Tanggul Sungai

4.3.3.4 Normalisasi Dasar dan Tanggul Sungai

Alternatif terakhir yaitu dengan normalisasi dasar sungai dan tanggul sungai, normalisasi ini merupakan gabungan dari normalisasi sebelumnya, sehingga didapatkan hasil penampang yang dapat menampung debit lebih optimal.



Gambar 4. 21 Profil Memanjang Sungai Cigado Setelah Normalisasi

4.3.4 Resume Hasil Analisis Sungai Cigado

Tabel 4. 55 Hasil Analisis Sungai Cigado Berbagai Skenario

Alternatif Penanganan		Q (m^3/s)	ΔQ (m^3/s)	% Reduksi Q	$\bar{H}$ (m)	$\overline{\Delta H}$ (m)	Slope	Keterangan
Cigado Normal		72,36			1,28		0,002215	Terjadi limpasan
Cigado dengan Kolam Retensi Cieunteung		63,76	8,6	11,89	1,17	0,11	0,002215	Terjadi limpasan
Skenario 1	Cigado dengan Kolam Retensi Tambahan	29,58	42,78	59,12	0,79	0,49	0,002215	Terjadi limpasan
Skenario 2	Cigado Kolam Retensi Tambahan dan Normalisasi Dasar	27,05	45,31	62,62	0,86	0,42	0,001098	Tidak terjadi limpasan
Skenario 3	Cigado Normalisasi Dasar	63,65	8,71	12,04	1,49	0,22	0,001098	Terjadi limpasan
Skenario 4	Cigado Normalisasi Tanggul	65,63	6,73	9,30	1,21	0,07	0,002215	Tidak terjadi limpasan
Skenario 5	Cigado Normalisasi Dasar dan Tanggul	63,66	8,7	12,02	1,53	0,25	0,001098	Tidak terjadi limpasan

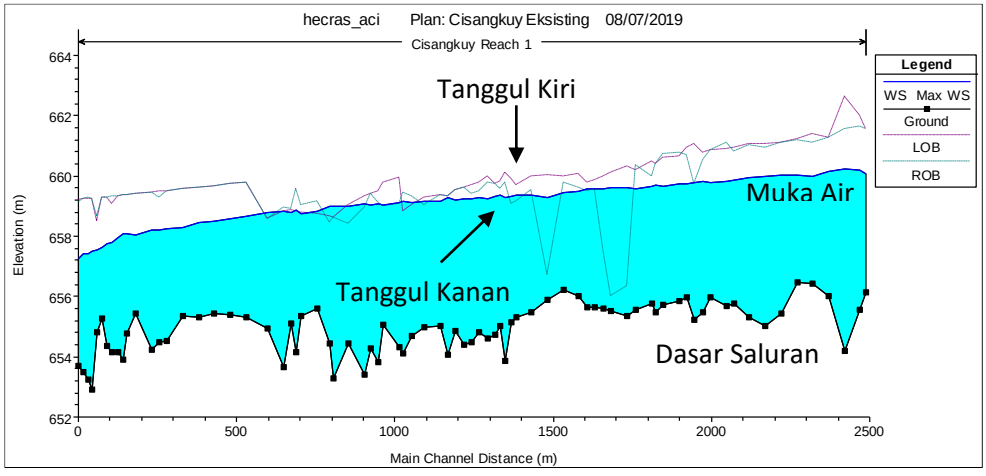
Dari hasil analisis hidrolika Sungai Cigado terdapat 5 skenario yang dilakukan untuk mengurangi limpasan. Dari kelima skenario tersebut menghasilkan 3 skenario yang tidak terjadi limpasan, yaitu :

- Skenario 2, mereduksi debit sebesar 45,31 m³/s atau 62,62% dengan kemiringan slope sebesar 0,001098;
- Skenario 4, mereduksi debit sebesar 6,73 m³/s atau 9,30% dengan kemiringan slope sebesar 0,002215;
- Skenario 5, mereduksi sebesar 8,7 m³/s atau 12,02% dengan kemiringan slope sebesar 0,001098.

Volume pengerukan skenario 2 sebesar **1114.89** m³; skenario 3 sebesar **1117.26** m³ dan skenario 5 sebesar **2487.46** m³. Hasil yang diperoleh terlampir pada lampiran L4 - G.

4.3.5 Hasil Analisis Sungai Cisangkuy

Berikut merupakan kondisi eksisting Sungai Cisangkuy setelah dilakukan analisis dengan debit rencana periode ulang 25 tahun. Terjadi limpasan di beberapa titik *river station,* ini disebabkan penampang tidak mampu menampung debit rencana periode tersebut.



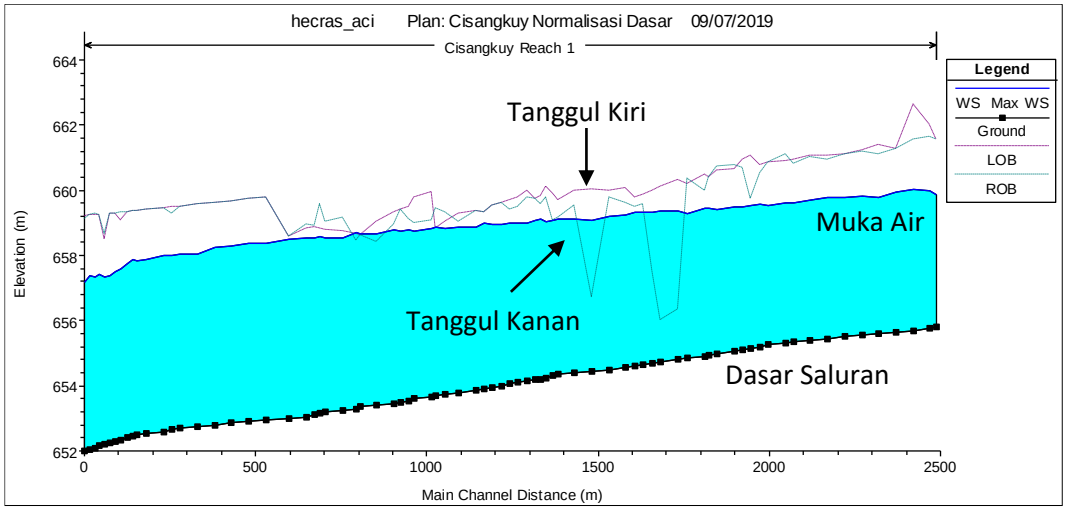
Gambar 4. 22 Profil Memanjang Eksisting Sungai Cisangkuy

4.3.6 Alternatif Penanganan Sungai Cisangkuy

Terdapat beberapa alternatif yang dapat dilakukan untuk mengurangi limpasan pada penampang sungai, sehingga debit pada periode ulang 25 tahun dapat ditampung diantaranya sebagai berikut :

4.3.6.1 Normalisasi Dasar Sungai

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, didapatkan hasil pada kondisi eksisting penampang tidak mampu menampung debit banjir rencana, sehingga perlu dilakukan normalisasi. Berikut merupakan hasil setelah dilakukan pengerukan :

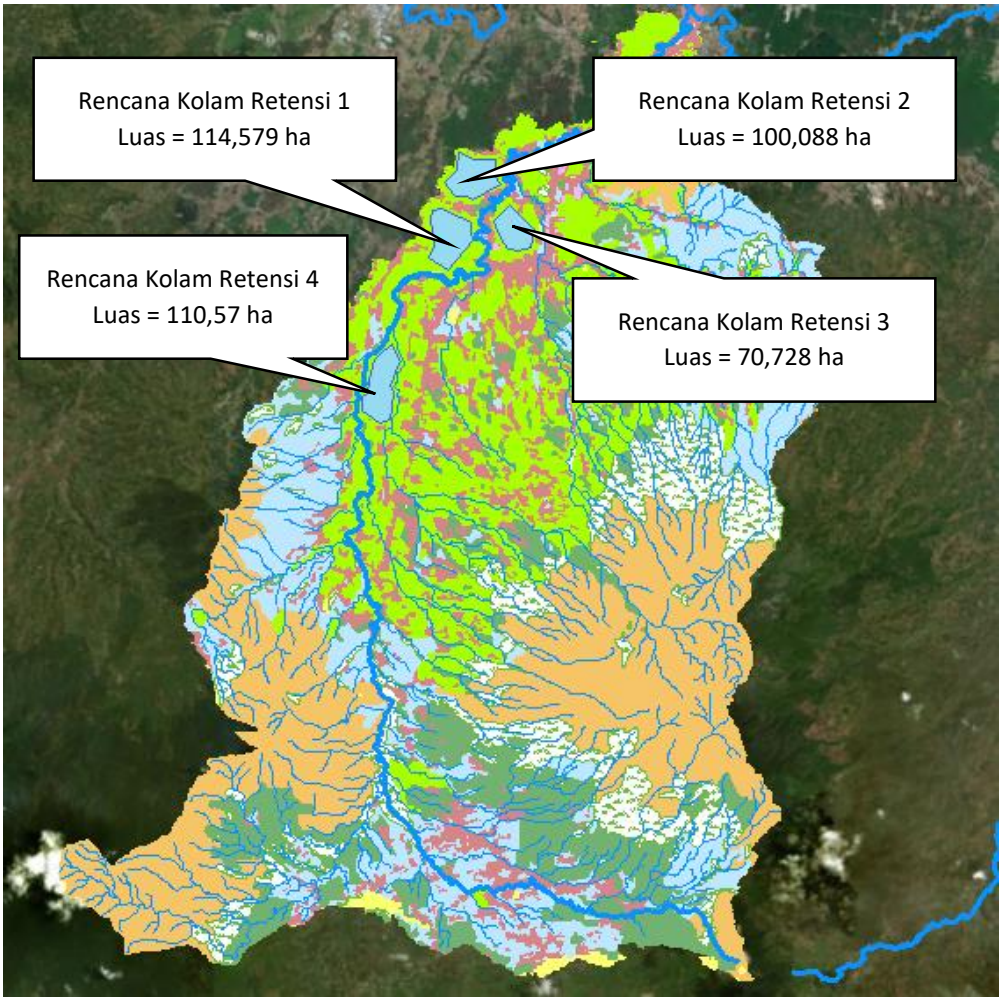


Gambar 4. 23 Profil Memanjang Sungai Cisangkuy Normalisasi Dasar Sungai

Setelah dilakukan pengerukan dasar sungai, ternyata di beberapa titik *river stastion* masih terjadi limpasan, sehingga perlu dilakukan normalisasi berikutnya. Pada studi ini dilakukan penambahan kolam retensi dengan total luas lahan rencana sebesar 40 hektar dengan kedalaman kolam 8 m.

4.3.6.2 Penanganan dengan Kolam Retensi

Gambar berikut merupakan hasil dari analisis menggunakan program ArcGis sebagai dasar untuk menentukan luas lahan yang tersedia dan lokasi dimana lahan itu dapat digunakan.



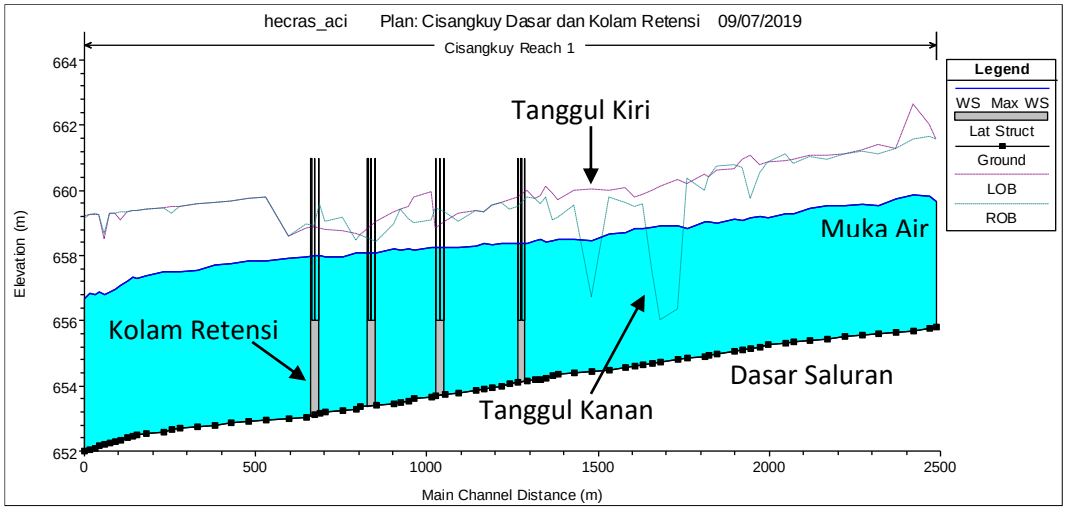
Gambar 4. 24 Rencana Lokasi Kolam Retensi

Dari beberapa lokasi dengan luas yang berbeda-beda direncanakan seluas 40 hektar lahan digunakan untuk kolam retensi. Diambil di tiap titik seluas 10 hektar, ini bertujuan untuk menghindari permasalahan pembebasan lahan.

Tabel 4. 56 Rencana Kolam Retensi Baru

Rencana Kolam Retensi	Kedalaman Kolam (m)	Luas (m^2)	Volume yang ditampung (m^3)
1	8	100.000	800.000
2	8	100.000	800.000
3	8	100.000	800.000
4	8	100.000	800.000
Total		400.000	3.200.000

Gambar berikut merupakan hasil analisis setelah ditambah empat kolam retensi baru dengan volume tampungan yang sama.

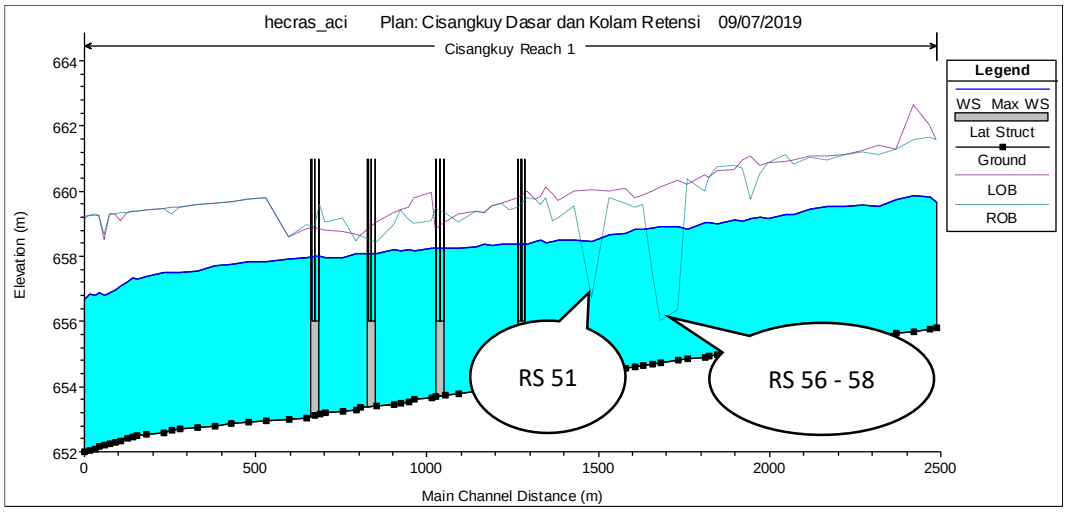


Gambar 4. 25 Profil Memanjang Sungai Cisangkuy Normalisasi Kolam Retensi

Setelah dilakukan penambahan kolam retensi sebagai normalisasi kedua, ternyata di beberapa titik *river station* masih tidak dapat menampung debit rencana. Oleh karena itu dilakukan normalisasi tanggul dengan merencanakan tinggi jagaan.

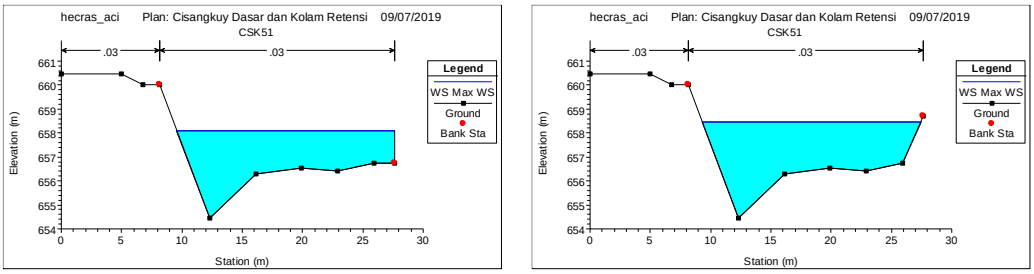
4.3.6.3 Normalisasi Tanggul Sungai

Beberapa titik *river station* yang tidak dapat menampung debit rencana yaitu RS 51, RS 56, RS 57, RS 58. Ini disebabkan karena tebing sebelah kanan lebih rendah dibandingkan dengan muka air. Sehingga diperlukan perbaikan sungai berupa tinggi jagaan setinggi 0,6 m merujuk kepada tabel 4.54.



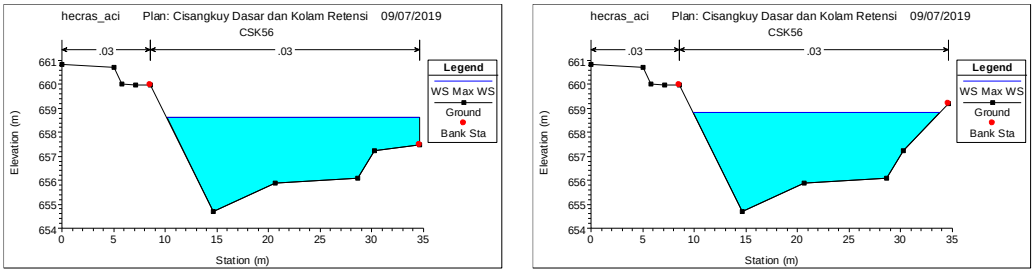
Gambar 4. 26 Profil Memanjang Sungai Cisangkuy Sebelum Normalisasi

RS 51



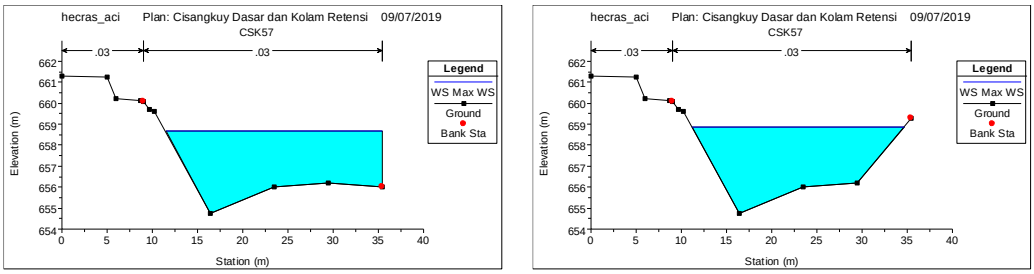
Gambar 4. 27 Profil Cross Section Sebelum dan Sesudah Normalisasi

RS 56



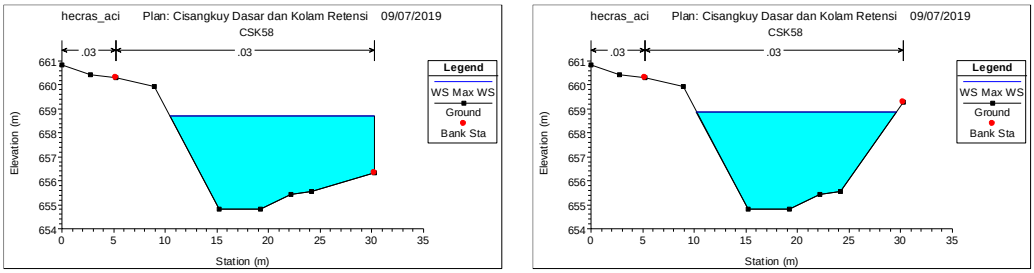
Gambar 4. 28 Profil Cross Section Sebelum dan Sesudah Normalisasi

RS 57



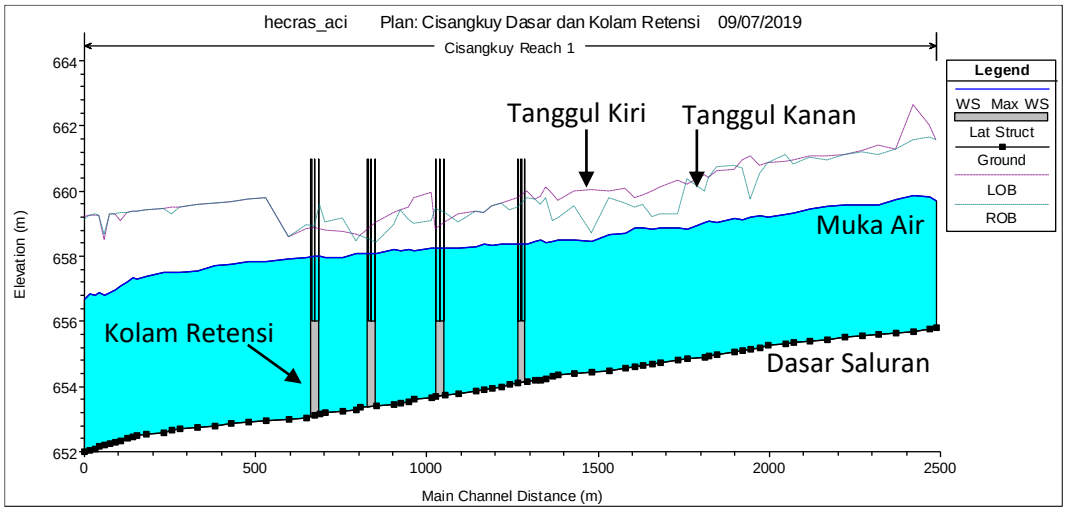
Gambar 4. 29 Profil Cross Section Sebelum dan Sesudah Normalisasi

RS 58



Gambar 4. 30 Profil Cross Section Sebelum dan Sesudah Normalisasi

Berikut merupakan profil memanjang Sungai Cisangkuy setelah normalisasi tanggul :

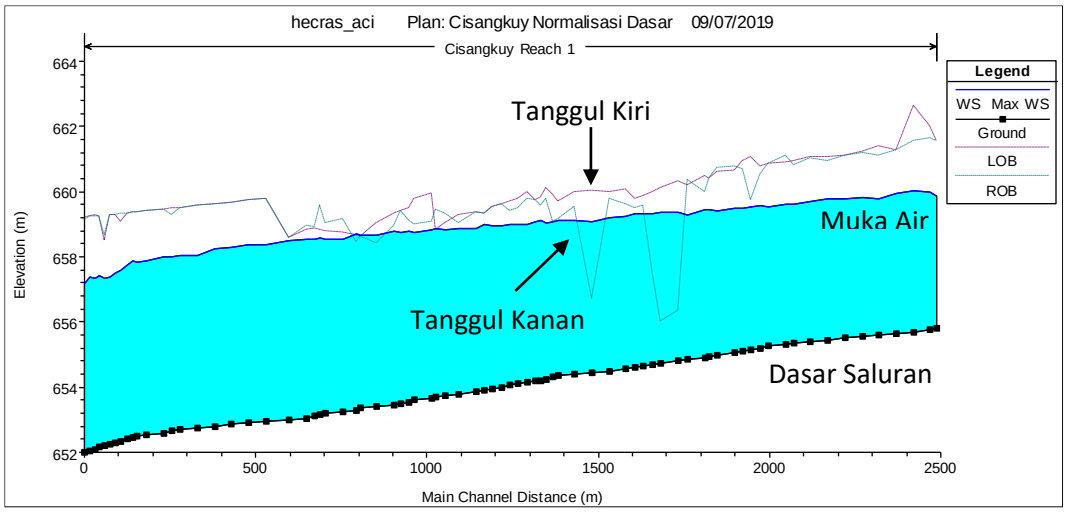


Gambar 4. 31 Profil Memanjang Sungai Cisangkuy Setelah Normalisasi

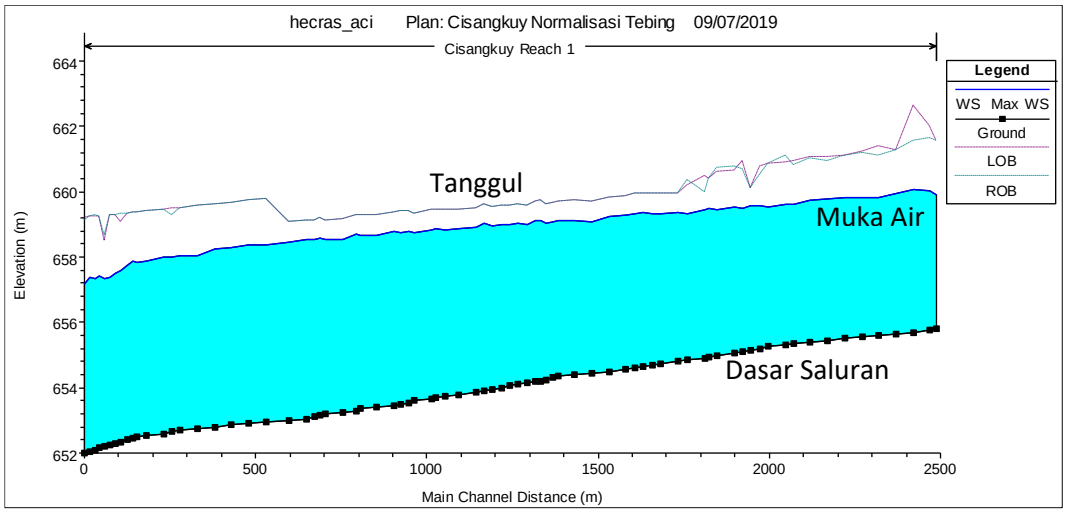
Normalisasi tanggul sungai dengan kolam retensi tentunya memerlukan biaya yang sangat besar, oleh karena itu alternatif terakhir untuk mengurangi limpasan dengan meminimalisir biaya adalah melakukan perbaikan sungai.

4.3.6.4 Normalisasi Dasar dan Tanggul Sungai

Perbaikan sungai berupa pengerukan dasar sungai ditambah perbaikan tanggul sungai dengan tinggi jagaan 0,6 m dimulai dari RS 21 – RS 58. Hasilnya penampang mampu menampung debit banjir periode ulang 25 tahun tanpa terjadi limpasan.



Gambar 4. 32 Profil Memanjang Sungai Cisangkuy Sebelum Normalisasi



Gambar 4. 33 Profil Memanjang Sungai Cisangkuy Sesudah Normalisasi

4.3.7 Resume Hasil Analisis Sungai Cisangkuy

Tabel 4. 57 Hasil Analisis Sungai Cisangkuy Berbagai Skenario

Alternatif Penanganan		Q (m^3/s)	ΔQ (m^3/s)	% Reduksi	$\bar{H}$ (m)	$\overline{\Delta H}$ (m)	Slope	Keterangan
Cisangkuy Eksisting		8754,66			4,10		0,00098	Terjadi limpasan
Skenario 1	Cisangkuy Normalisasi Dasar	8754,51	0,15	0,0017	4,92	0,81	0,00152	Terjadi limpasan
Skenario 2	Cisangkuy Normalisasi Dasar dan Kolam Retensi	7045,75	1708,91	19,52	4,42	0,32	0,00152	Terjadi limpasan
Skenario 3	Cisangkuy Normalisasi Dasar, Tanggul dan Kolam Retensi	7046,72	1707,94	19,51	4,43	0,32	0,00152	Tidak terjadi limpasan
Skenario 4	Cisangkuy Normalisasi Dasar dan Tanggul	8754,53	0,13	0,0015	4,93	0,82	0,00152	Tidak terjadi limpasan

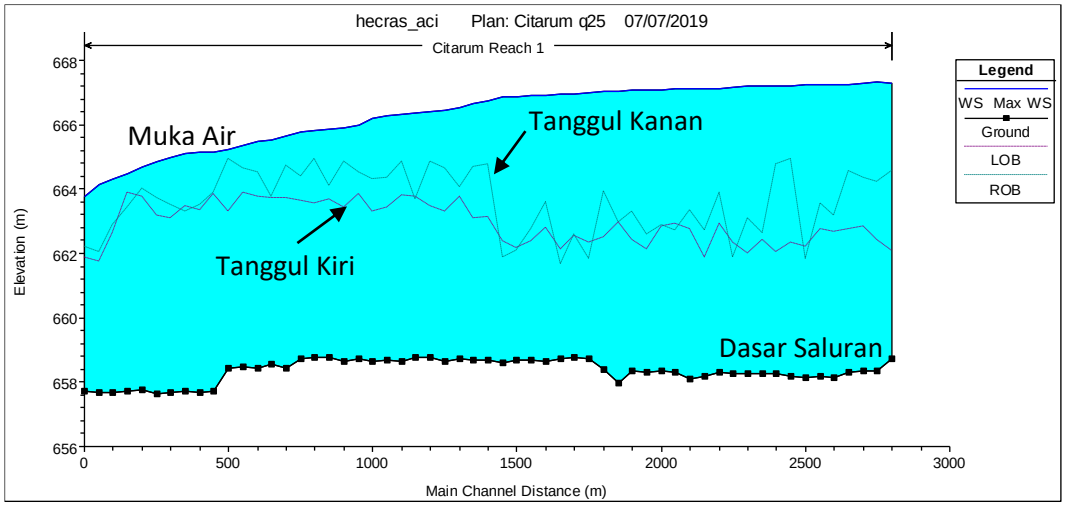
Dari hasil analisis hidrolika Sungai Cisangkuy terdapat empat skenario yang dilakukan untuk mengurangi limpasan. Dari keempat skenario tersebut menghasilkan dua skenario yang tidak terjadi limpasan, yaitu :

- Skenario 3, mereduksi debit sebesar 1707,94 m^3/s atau 19,51% dengan kemiringan slope sebesar 0,00152;
- Skenario 4, mereduksi debit sebesar 0,13 m^3/s atau 0,0015% dengan kemiringan slope sebesar 0,00152.

Volume pengerukan skenario 1 sebesar **3262.63** m^3; skenario 2 sebesar **28280.28** m^3; skenario 3 sebesar **28918.49** m^3; dan skenario 4 sebesar **4347.47** m^3. Hasil yang diperoleh terlampir pada lampiran L4 - O.

4.3.8 Hasil Analisis Sungai Citarum

Setelah melakukan tahapan analisis maka diperoleh hasil pemodelan berupa profil muka air pada setiap penampang. Berikut merupakan profil muka air pada kondisi memanjang Sungai Citarum dengan debit rencana 25 tahun.

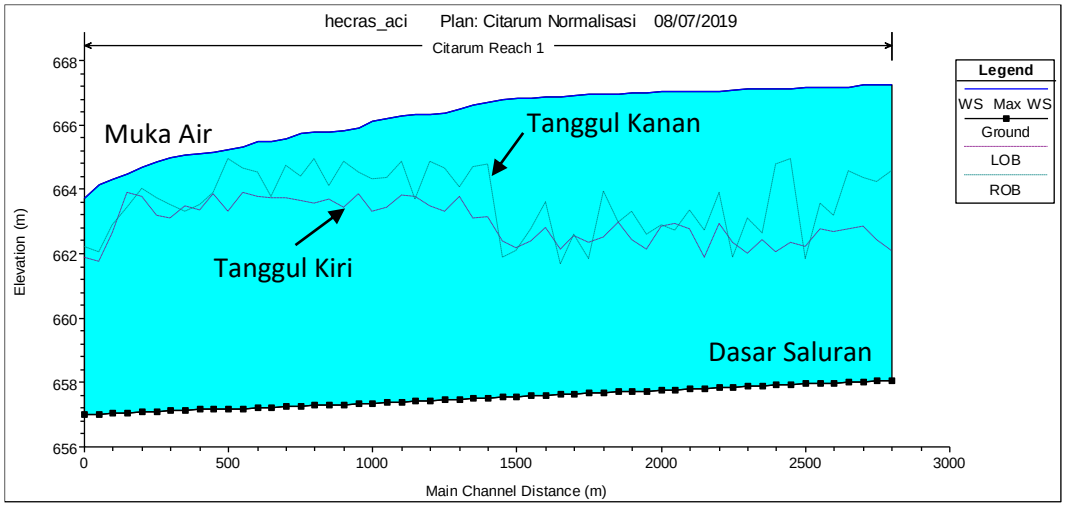


Gambar 4. 34 Profil Memanjang Sungai Citarum Kondisi Eksisting

Dengan debit maksimum periode ulang 25 tahun, semua *river stasion* pada Sungai Citarum tidak mampu menampung debit rencana. Hal ini disebabkan oleh bentuk penampang yang tidak beraturan dan sedimentasi yang menyebabkan pendangkalan sungai sehingga mengurangi kapasitas penampang.

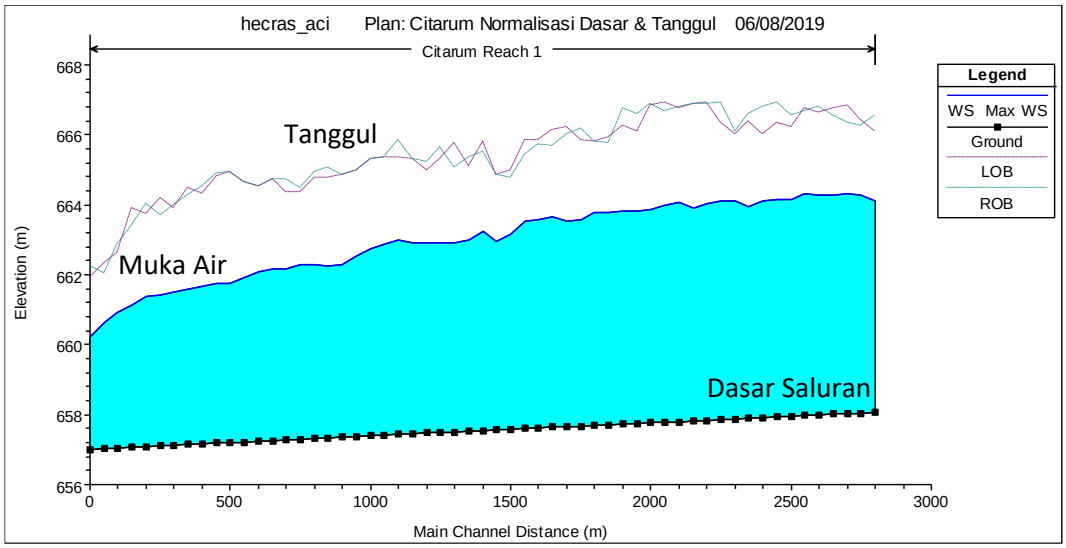
4.3.9 Alternatif Penanganan Sungai Citarum

Alternatif penanganan pada Sungai Citarum yaitu dengan melakukan normalisasi sungai. Pada studi ini normalisasi Sungai Citarum berupa perbaikan dasar sungai.



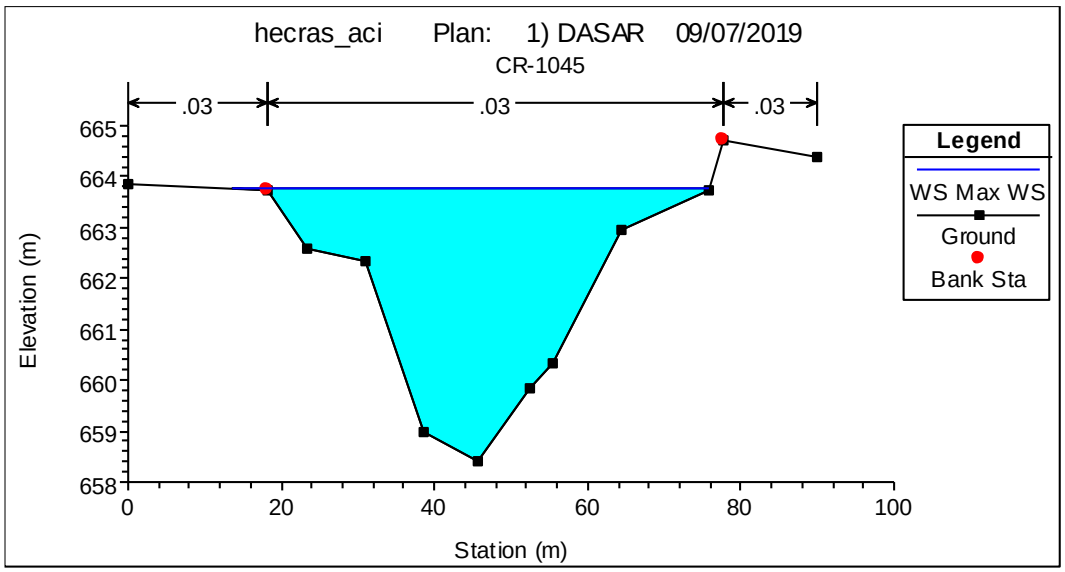
Gambar 4. 35 Profil Memanjang Penampang Setelah Normalisasi Dasar Sungai

Setelah dilakukan perbaikan dasar sungai kemudian dilakukan simulasi aliran kembali, penampang masih tidak mampu menampung debit banjir rencana sehingga diperlukan normalisasi berupa pelebaran dan pemancangan *sheet pile* sebagai dinding penahan tanah (DPT). Hal ini bertujuan menjaga stabilitas lereng setelah pengerukan.

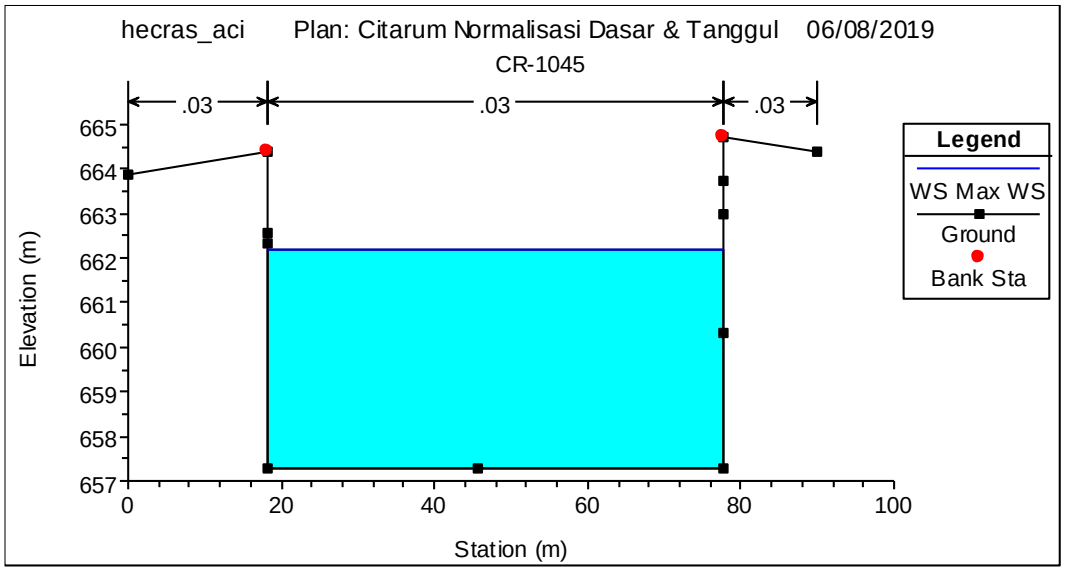


Gambar 4. 36 Profil Memanjang Penampang Setelah Normalisasi

Setelah normalisasi dengan melakukan skenario perbaikan dasar sungai dan pemancangan *sheet pile* didapatkan hasil bahwa penampang mampu menampung debit muka air maksimum periode ulang 25 tahun.



Gambar 4. 37 Profil Cross Section Sebelum Normalisasi



Gambar 4. 38 Profil Cross Section Setelah Normalisasi

Alternatif penanganan berupa kolam retensi untuk Sungai Citarum tidak dilakukan karena lahan yang dapat digunakan tidak cukup tersedia. Oleh karena itu hanya dilakukan alternatif penanganan berupa normalisasi dasar dan tanggul sungai.

4.3.10 Resume Hasil Analisis Sungai Citarum

Tabel 4. 58 Hasil Analisis Sungai Citarum Berbagai Skenario

Alternatif Penanganan		Q (m^3/s)	ΔQ (m^3/s)	% Reduksi	$\bar{H}$ (m)	$\overline{\Delta H}$ (m)	Slope	Keterangan
Citarum Eksisting		53937,94			7,97		0,000354	Terjadi limpasan
Skenario 1	Citarum Normalisasi Dasar	53937,79	0,15	0,0003	8,74	0,77	0,000379	Terjadi limpasan
Skenario 2	Citarum Normalisasi Dasar dan Tanggul	53938,6	0,66	0,0012	5,43	2,54	0,000379	Tidak terjadi limpasan

Dari hasil analisis hidrolika Sungai Citarum terdapat dua skenario yang dilakukan untuk mengurangi limpasan. Dari kedua skenario tersebut hanya skenario 2 yang tidak terjadi limpasan, yaitu melakukan normalisasi dasar sungai dan perbaikan tanggul sungai. Skenario ini mereduksi debit sebesar 0,66 m^3/s atau 0,0012%, dengan kemiringan slope 0,000379. Volume pengerukan skenario 1 sebesar **2995.90** m^3 dan skenario 2 sebesar **101117.8** m^3. Hasil yang diperoleh terlampir pada lampiran L4 – T.

Tabel 4. 59 Resume Hasil Analisis Berbagai Skenario

Alternatif Penanganan		Slope	Volume Pengerukan (m^3)	% Reduksi Q	Keterangan
Cigado Eksisting		0,002215			Terjadi limpasan
Cigado dengan Kolam Retensi Cieunteung		0,002215		11,89	Terjadi limpasan
Skenario 1	Cigado dengan Kolam Retensi Tambahan	0,002215		59,12	Terjadi limpasan
Skenario 2	Cigado Kolam Retensi Tambahan dan Normalisasi Dasar	0,001098	1114,89	62,62	Tidak terjadi limpasan
Skenario 3	Cigado Normalisasi Dasar	0,001098	1117,26	12,04	Terjadi limpasan
Skenario 4	Cigado Normalisasi Tanggul	0,002215		9,30	Tidak terjadi limpasan
Skenario 5	Cigado Normalisasi Dasar dan Tanggul	0,001098	2487,46	12,02	Tidak terjadi limpasan
Cisangkuy Eksisting		0,00098			Terjadi limpasan
Skenario 1	Cisangkuy Normalisasi Dasar	0,00152	3262,63	0,0017	Terjadi limpasan
Skenario 2	Cisangkuy Normalisasi Dasar dan Kolam Retensi	0,00152	28280,28	19,52	Terjadi limpasan
Skenario 3	Cisangkuy Normalisasi Dasar, Tanggul dan Kolam Retensi	0,00152	28918,49	19,51	Tidak terjadi limpasan
Skenario 4	Cisangkuy Normalisasi Dasar dan Tanggul	0,00152	4347,47	0,0015	Tidak terjadi limpasan
Citarum Eksisting		0,000354			Terjadi limpasan
Skenario 1	Citarum Normalisasi Dasar	0,000379	2995,90	0,0003	Terjadi limpasan
Skenario 2	Citarum Normalisasi Dasar dan Tanggul	0,000379	101117,8	0,0012	Tidak terjadi limpasan

4.3.11 Rekomendasi

Berikut merupakan rekomendasi skenario yang dipilih sebagai alternatif penanganan banjir untuk masing-masing sungai :

- Skenario 2 (kolam retensi tambahan dan normalisasi dasar sungai) dipilih sebagai rekomendasi alternatif penanganan banjir untuk Sungai Cigado. Hal ini dikarenakan skenario 2 mampu mereduksi debit banjir rencana sebesar 62,62% dengan kemiringan slope sebesar 0,001098 dan volume pengerukan sebesar 1114,89 m^3. Selain itu skenario ini dinilai lebih lebih optimal sebagai alternatif penanganan banjir.
- Skenario 3 (normalisasi dasar sungai, tanggul sungai dan kolam retensi baru) dipilih sebagai rekomendasi alternatif penanganan banjir untuk Sungai Cisangkuy. Hal ini dikarenakan skenario 3 mampu mereduksi debit banjir rencana sebesar 19,51% dengan kemiringan slope sebesar 0,00152 dan volume pengerukan sebesar 28918,49 m^3. Selain itu skenario ini dinilai lebih lebih optimal sebagai alternatif penanganan banjir.
- Skenario 2 (normalisasi dasar dan tanggul sungai) dipilih sebagai rekomendasi alternatif penanganan banjir untuk Sungai Citarum berdasarkan hasil analisis. Hal ini dikarenakan hanya skenario 2 yang mampu mereduksi debit banjir rencana sebesar 0,0012% dengan kemiringan slope sebesar 0,000379 dan volume pengerukan sebesar 101117,8 m^3. Selain itu skenario ini didesain dengan tinggi jagaan *(free board)* setinggi 1 meter, sehingga lebih optimal.