

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Penyajian Data

4.1.1 Survei Lapangan

Objek dari penelitian ini adalah lokasi Kali Pesanggrahan yang berada pada Kawasan Jalan Ciledug Raya, Cipulir. Survei ini dilakukan pada tanggal 7 Februari 2023. Kondisi pada Kali Pesanggrahan Kawasan Jalan Ciledug Raya, Cipulir dapat dilihat pada Gambar 4.1. Survei dilakukan untuk dapat mengetahui kondisi lapangan dan mengetahui titik dan deleniaasi banjir yang terjadi pada kawasan tersebut berdasarkan wawancara sederhana dengan warga setempat terkait banjir yang pernah terjadi.

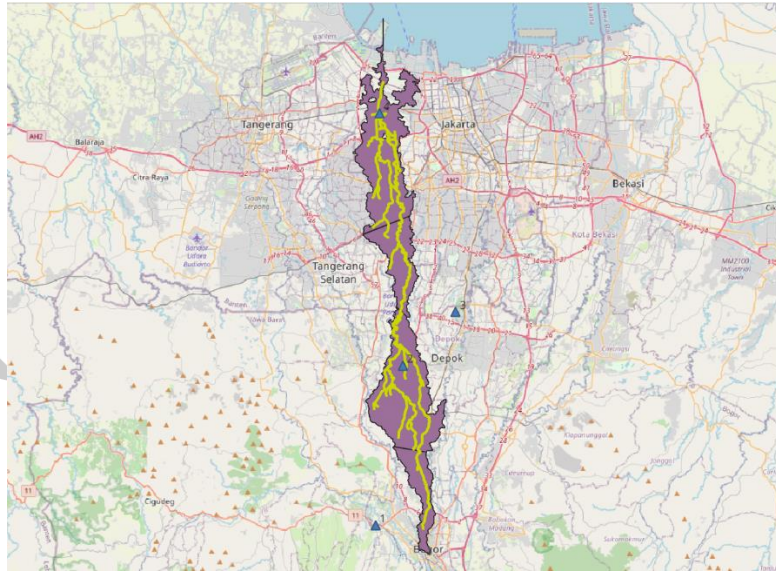


Gambar 4.1 Survei Lapangan Kali Pesanggrahan Jalan Ciledug Raya, Cipulir
(Dokumentasi Pribadi, 2023)

4.1.2 Penentuan Daerah Aliran Sungai (DAS)

DAS atau Daerah Aliran Sungai merupakan suatu wilayah yang merupakan kesatuan sungai dan anak sungai. DAS memiliki fungsi untuk menampung, menyimpan, dan mengalirkan air dari curah hujan lalu dialirkan ke danau atau laut pada suatu pos hujan. DAS didapatkan dari

aplikasi QGIS. Berdasarkan pengukuran yang dilakukan pada aplikasi tersebut, didapatkan luas DAS pada Kali Pesanggrahan yaitu 188,69 km yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.2 Hasil DAS Kali Pesanggrahan Menggunakan QGIS (Dokumentasi Pribadi, 2023)

LAYER	STREAM_ID	NEXT_STREA	area
1 Watershed	69	53	188.69

Gambar 4.3 Hasil Luas DAS Kali Pesanggrahan Menggunakan QGIS (Dokumentasi Pribadi, 2023)

4.1.3 Ketersediaan Data Hujan

Data curah hujan yang digunakan pada penelitian ini dari 10 tahun terakhir, dengan dimulai pada tahun 2013 hingga akhir tahun 2022. Stasiun hujan yang digunakan merupakan stasiun hujan yang berada dekat dari DAS Kali Pesanggrahan yang didapatkan empat stasiun hujan

yaitu Stasiun Hujan Klimatologi Bogor, Stasiun Hujan Sawangan, Stasiun Hujan Teknik UI, dan Stasiun Hujan Cengkareng yang dapat dilihat pada Gambar 4.2. Ketersediaan data curah hujan harian maksimum bulanan periode 2013-2022 dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.1 Data Stasiun Hujan yang Digunakan

Nama Stasiun	Koordinat		Elevasi (m)	Kab. / kota
	Lintang	Bujur		
Sta. K. Bogor	-6,50000	106,75000	207	Bogor
Sta. H. Sawangan	-6.415075	106.771673	93	Sawangan
Sta. H. FT UI	-6,36229	106,82406	69	Depok
Sta. H. Cengkareng	-6.165456	106.748690	2	Tangerang

Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2023)

Tabel 4.2 Data Curah Hujan Harian Maks. Bulanan Yang Digunakan (2013-2022)

Nama Stasiun	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Sta. K. Bogor	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sta. H. Sawangan	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sta. H. FT UI	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Sta. H. Cengkareng	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Sumber: BBWS Ciliwung-Cisadane, 2023

Keterangan:

✓ = Data Tersedia

X = Data Tidak Tersedia

4.1.4 Data Penampang Sungai

Data penampang sungai yang digunakan pada analisis hidrolika dan muka air banjir sesuai dengan kala ulang 10, 25, dan 50 tahun yang di masukan ke *software* HEC-RAS. Data tersebut didapatkan dari data DEM dengan ketelitian peta lidar 1x1 m. Data tersebut juga disempurnakan dengan data dari BBWS Ciliwung-Cisadane seperti yang ada pada Lampiran 3. Dari gabungan kedua data tersebut maka didapatkan hasil

yang cukup detail sehingga bisa digunakan dalam proses simulasi pemodelan banjir pada aplikasi HEC-RAS.

4.2 Analisis Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS)

A. Analisis DAS Kali Pesanggrahan dengan QGIS

1. *Input* sub-DAS berdasarkan DEMNAS

Sub DAS didapat dari proses pengolahan yang dilakukan dengan Aplikasi Global Mapper. Sub DAS yang didapatkan merupakan sub DAS keseluruhan dari peta DEMNAS yang sudah dimiliki, sehingga terbentuklah sub DAS yang memenuhi beberapa aliran sungai. Sub DAS yang dimiliki selanjutnya dimasukkan ke dalam aplikasi QGIS untuk dilakukan pengolahan dan analisis yang dapat dilihat pada Gambar 4.4.

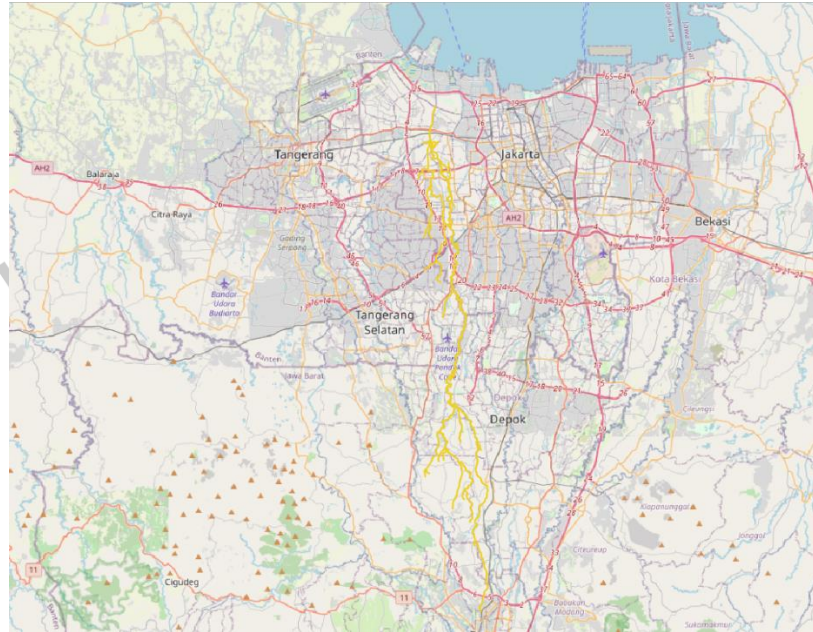


Gambar 4.4 Sub DAS DEMNAS pada Aplikasi QGIS (Dokumentasi Pribadi, 2023)

2. *Tracing* Alur Kali Pesanggrahan

Tracing alur Kali Pesanggrahan bisa dilakukan dengan menggunakan *layer quick map service* yang ada pada menu *open street map-web*, dimana *layer google maps* dapat dikeluarkan dan digunakan sebagai pedoman dalam melakukan *tracing* pada alur

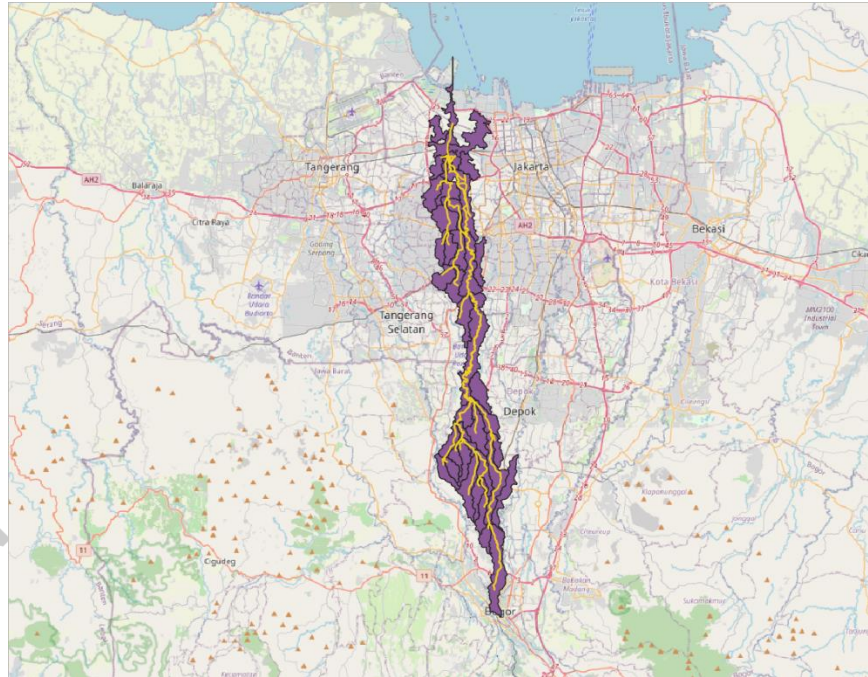
Kali Pesanggrahan. *tracing* dapat dilakukan dengan mengaktifkan fitur *add line features* pada menu *edit* dan hasil *tracing* alur Kali Pesanggrahan dapat dilihat pada Gambar 4.5.



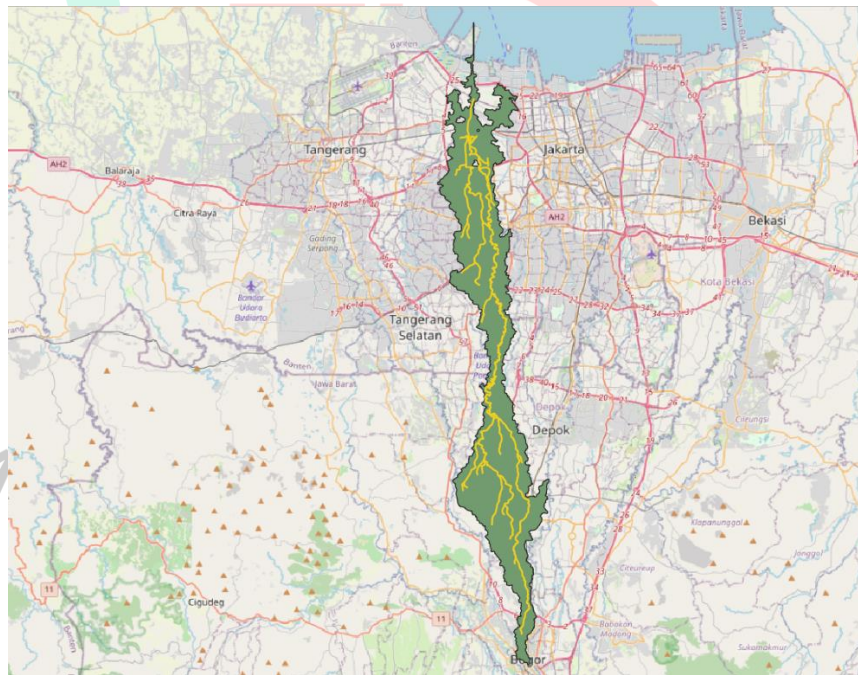
Gambar 4.5 *Tracing* Alur Kali Pesanggrahan Menggunakan Aplikasi QGIS (Dokumentasi Pribadi, 2023)

3. Menentukan DAS Kali Pesanggrahan

Dalam menentukan DAS Kali Pesanggrahan dilakukan dengan menghapus sub DAS yang tidak termasuk dalam *tracing* alur Kali Pesanggrahan. Setelah itu, didapatkan hasil sub DAS yang memenuhi alur Kali Pesanggrahan dengan anak kalinya, sub DAS tersebut lalu digabungkan menjadi satu DAS dengan proses *dissolved* yang hasilnya dapat dilihat pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



Gambar 4.6 DAS Kali Pesanggrahan Pada Aplikasi QGIS Sebelum Dilakukan *Dissolved* (Dokumentasi Pribadi, 2023)

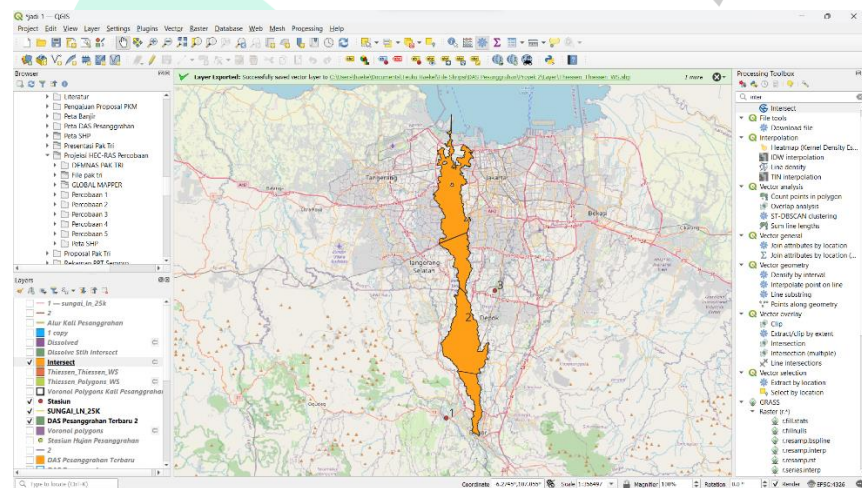


Gambar 4.7 DAS Kali Pesanggrahan Pada Aplikasi QGIS Setelah Digabung (Dokumentasi Pribadi, 2023)

B. Analisis Rasio Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS Kali Pesanggrahan Menggunakan QGIS

1. Penentuan Titik Stasiun Hujan dan Pengaruhnya (Poligon Thiessen)

Dalam menentukan lokasi stasiun hujan yang digunakan bisa dengan menggunakan menu yang ada pada aplikasi QGIS pada bagian *edit-add point feature*. Setelah itu, dapat dilakukan penentuan titik stasiun hujan yang akan digunakan sehingga proses penentuan pengaruh setiap stasiun hujan terhadap DAS bisa dilakukan. Poligon Thiessen didapatkan dari proses yang dilakukan pada menu *processing – toolbox – Voronoi polygon*. Dalam penentuan Poligon Voronoi diatur untuk jangkauan stasiun hujan yang digunakan dan bisa didapatkan hasil pengaruh jangkauan stasiun hujan pada setiap DAS tersebut seperti pada Gambar 4.8.

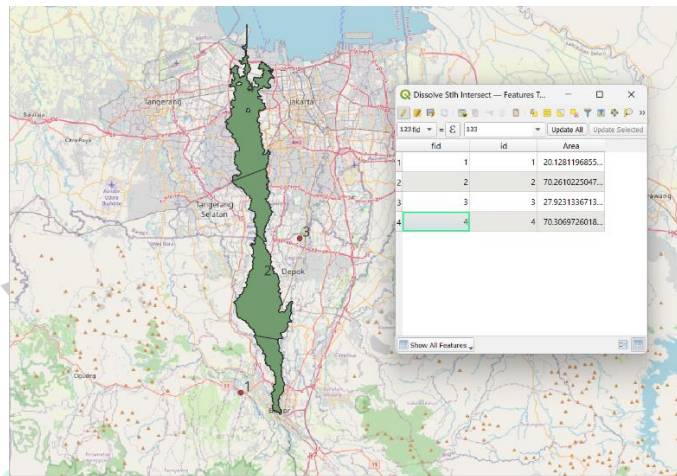


Gambar 4.8 DAS Kali Pesanggrahan saat penentuan Polygon Voronoi pada Aplikasi QGIS (Dokumentasi Pribadi, 2023)

2. Rasio Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS Kali Pesanggrahan (Poligon Thiessen)

Rasio dari pengaruh stasiun hujan yang digunakan pada DAS Kali Pesanggrahan dapat dicari dengan menghitung pengaruh dari luas masing-masing stasiun hujan terhadap luas total pada DAS tersebut. Perhitungan bisa dilakukan langsung pada aplikasi QGIS dengan menggunakan menu *open attribute table – open calculator* dan dimasukkan rumus “ $area / sum\ area$ ”. Hasil yang didapat dari perhitungan rasio pengaruh stasiun hujan dapat dilihat pada

Gambar 4.9 dan hasil tersebut dapat digunakan untuk mencari nilai curah hujan Kawasan.



Gambar 4.9 Rasio Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS Kali Pesanggrahan (Dokumentasi Pribadi, 2023)

Tabel 4.3 Rasio Pengaruh Stasiun Hujan Terhadap DAS Kali Pesanggrahan

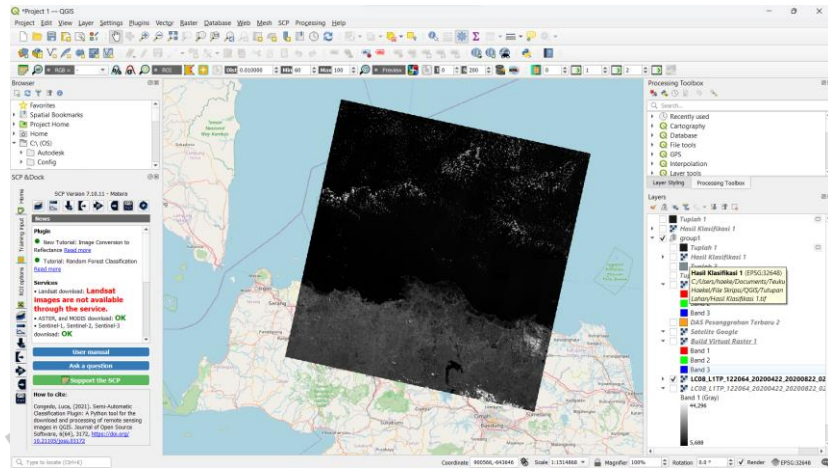
Nama Stasiun Hujan	Luas	Rasio Pengaruh
	Pengaruh (km ²)	Stasiun Hujan
Sta. K. Bogor	20.13	$20.13 / 188.62 = 0.11$
Sta. H. Sawangan	70.26	$70.26 / 188.62 = 0.37$
Sta. H. FT. Universitas Indonesia	27.92	$27.92 / 188.62 = 0.15$
Sta. H. Cengkareng	70.31	$70.31 / 188.62 = 0.37$
Σ	188.62	1

Sumber: Diolah Oleh Penulis (2023)

C. Analisis Tutupan Lahan DAS Kali Pesanggrahan dengan Aplikasi QGIS

1. Input Land Satellite Images pada Aplikasi QGIS

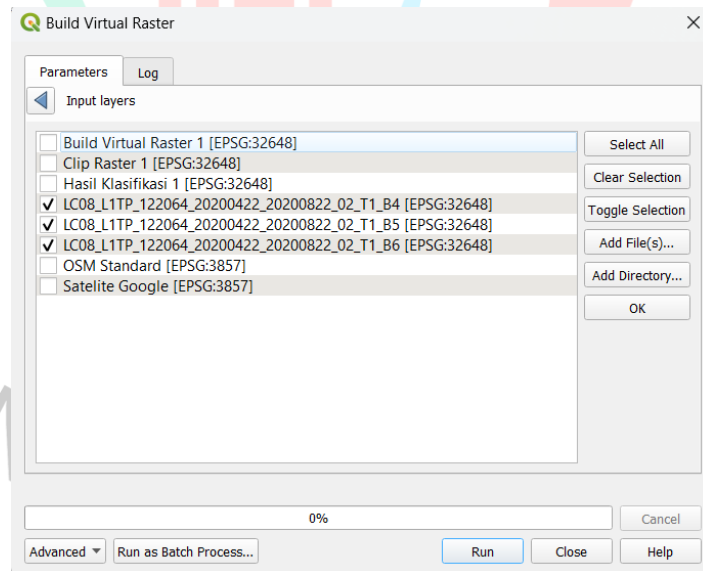
Dalam melakukan analisis tutupan lahan bisa dimulai dengan memasukan *land satellite images* yang didapat dari laman resmi *United States Geological Survei* (USGS) seperti pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Land Satellite Images pada Aplikasi QGIS (Dokumentasi Probad, 2023)

2. Menampilkan Tutupan Lahan DAS Kali Pesangrahan

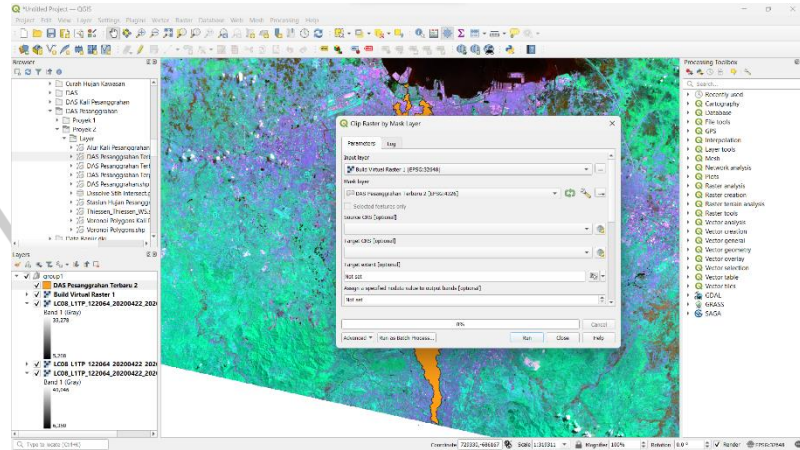
Setelah dilakukan penginputan *land satellite images* pada aplikasi QGIS, maka bisa dilakukan pengaturan pada menu *Build Virtual Raster* dan memilih layer *land satellite images* pada Gambar 4.11 sehingga bisa menampilkan hasil tutupan lahan secara keseluruhan.



Gambar 4.11 Menu *Build Virtual Raster* pada Aplikasi QGIS (Dokumentasi Pribadi, 2023)

Setelah tutupan lahan keseluruhan ditampilkan, maka bisa didapatkan tutupan lahan yang ada pada DAS yang diinginkan. Tutupan lahan pada DAS yang diinginkan dapat diproses dengan

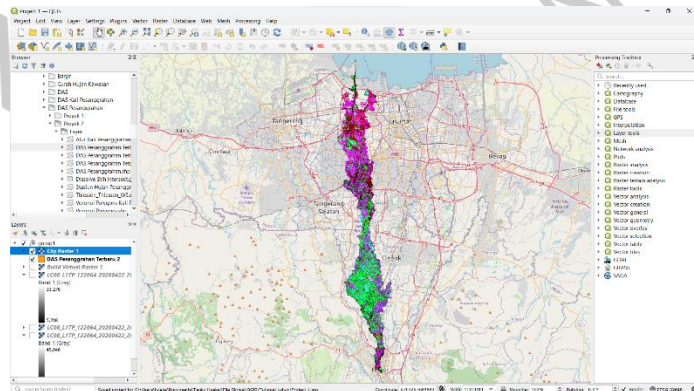
menggunakan menu *Raster – Extraction – Clip Raster by Mask Layer* dan menggunakan *layer Build Virtual Raster* keseluruhan untuk *input layer* dan *shapefile* DAS yang sebelumnya sudah dibuat digunakan sebagai *Mask Layer* seperti pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12 Tampilan Menu *Clip Raster by Mask Layer* pada Aplikasi QGIS (Dokumentasi Pribadi, 2023)

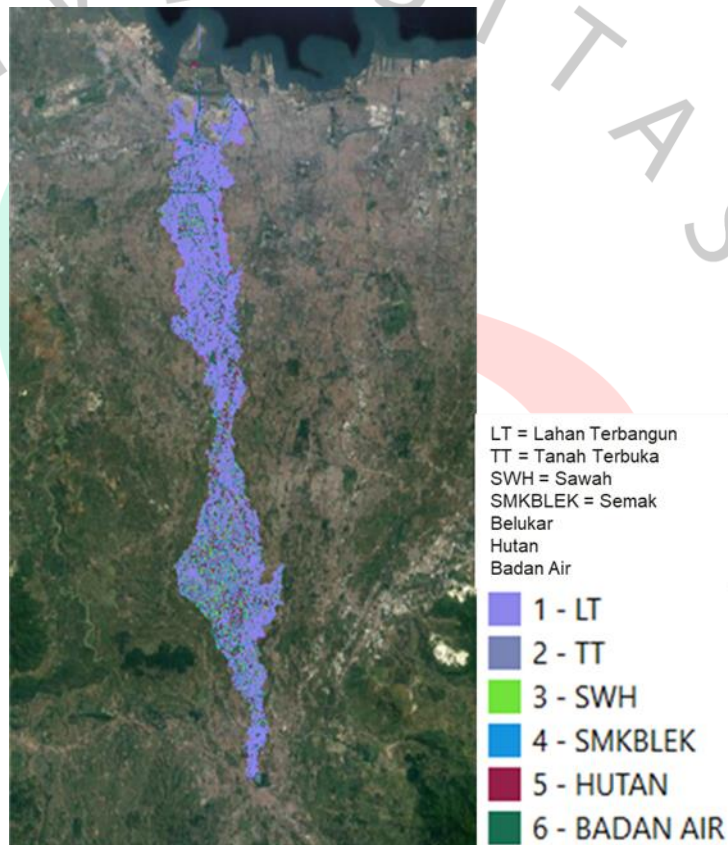
3. Pembuatan Jenis-Jenis Tutupan Lahan

Terdapat beberapa jenis tutupan lahan seperti tanah terbuka, sawah, lahan terbangun, hutan, semak belukar, badan air, dan banyak lagi. Dalam menentukan klasifikasi jenis tutupan lahan pada aplikasi QGIS dapat dilakukan dengan menggunakan menu *SCP – Dock Panel – Create a ROI Polygon* dengan *plugin Semi-Automatic Classification*. *ROI Polygon* digunakan dalam melakukan pemilihan sampel-sampel tutupan lahan yang sesuai dengan jenis yang sudah ditentukan seperti pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 Pemilihan Sampel Tutupan Lahan pada Aplikasi QGIS (Dokumentasi Pribadi, 2023)

Setelah didapatkan sampel pada masing-masing tutupan lahan, maka dapat dilakukan proses selanjutnya dengan menggunakan menu *SCP – Hand Processing – Classification – Use MC ID – Run*. Pada proses ini akan didapatkan hasil dari jenis tutupan lahan berdasarkan sampel yang telah dilakukan pada *ROI Polygon* dan menampilkan warna yang beda dari setiap jenis tutupan lahan seperti pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Jenis Tutupan Lahan pada DAS Kali Pesanggrahan dengan Aplikasi QGIS (Dokumentasi Pribadim, 2023)

4. Mendapatkan Luas Masing-Masing Tutupan Lahan dan Mendapatkan Koefisien Aliran Permukaan

Setelah didapatkan hasil jenis tutupan lahan yang ada pada Gambar 4.15 maka bisa mencari luas dari setiap jenis tutupan lahan tersebut. Luas dari setiap jenis tutupan lahan dapat dicari pada aplikasi QGIS dengan menggunakan opsi *ROI – Calculator – Area I* pada menu. Setelah itu, dilakukan pengolahan data dari hasil luas

setiap jenis tutupan lahan untuk mendapatkan koefisien aliran permukaan dan didapatkan hasil perhitungannya seperti pada Tabel 4.4.

```
Analyzed file: C:/Users/haeke/Documents/Teuku Haekel/File Skripsi/QGIS/Tutupan Lahan/Hasil Klasifikasi 1.tif (band 1)
Extent: 690615.000000000000000000,-745905.000000000000000000 : 708585.000000000000000000,-671445.000000000000000000
Projection: EPSG:32648 - WGS 84 / UTM zone 48N
Width in pixels: 599 (units per pixel 30)
Height in pixels: 2482 (units per pixel 30)
Total pixel count: 1486718
NODATA pixel count: 0
Value Pixel count Area (m²)
-999 1277047 1149342300
1 106959 96263100
2 44495 40045500
3 9745 8770500
4 15696 14126400
5 16346 14711400
6 16430 14787000
```

Gambar 4.15 Hasil Luas Setiap Jenis Tutupan Lahan pada Aplikasi QGIS (Dokumentasi Pribadi, 2023)

Tabel 4.4 Perhitungan Koefisien Aliran Permukaan

No	Tutupan Lahan	Ci	A (km ²)	A (%)	Ci x A	C
1	Lahan terbangun	0.7	96.2631	51.01	67.38	0.4454
2	Tanah terbuka	0.1	40.0455	21.22	4.00	
3	Sawah	0.7	8.7705	4.648	6.14	
4	Semak belukar	0.2	14.1264	7.486	2.83	
5	Hutan	0.1	14.7114	7.796	1.47	
6	Badan air	0.15	14.787	7.836	2.22	
	Σ		188.70	100	84.04	

Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2023)

4.3 Analisis Data Hidrologi

Analisis hidrologi diperlukan untuk mendapatkan nilai debit banjir periode ulang yang akan digunakan pada analisis hidrolika saat melakukan penanggulangan banjir. Perhitungan analisis hidrologi pada penelitian ini didapatkan sebagai berikut:

4.3.1 Analisis Curah Hujan Kawasan Metode Thiessen

Curah hujan Kawasan akan digunakan untuk rata-rata curah hujan pada DAS yang digunakan. Metode curah hujan Kawasan yang

digunakan pada penelitian ini adalah metode polygon Thiessen. Metode ini digunakan karena memiliki tingkat ketelitian yang cukup baik, dimana setiap stasiun hujan yang digunakan mempengaruhi DAS tersebut. Berdasarkan data curah hujan bulanan yang sudah diperoleh, data curah hujan kawasan setiap tahunnya dapat dicari menggunakan Rumus 2.3 dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Curah Hujan Maksimum Tahunan DAS Kali Pesanggrahan

No	Tahun	RR				Rerata Regional
		St. K. Bogor	St. H. Sawangan	St. H. FT. Universitas Indonesia	St. H. Cengkareng	
		0.11	0.37	0.15	0.37	
1	2013	97.40	100.00	101.70	91.00	96.62
2	2014	169.10	100.00	151.50	105.00	116.86
3	2015	155.80	43.60	97.20	124.00	93.48
4	2016	108.60	105.00	141.50	120.00	116.38
5	2017	117.60	39.80	105.70	110.00	84.02
6	2018	134.50	60.00	95.20	83.00	81.73
7	2019	141.00	135.00	122.60	423.00	241.16
8	2020	122.90	50.70	155.20	156.00	113.12
9	2021	95.90	92.00	132.60	81.00	94.33
10	2022	155.20	78.00	119.40	124.50	109.70

Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2023)

4.3.2 Analisis Frekuensi Curah Hujan Rencana

Analisis frekuensi diperlukan untuk mendapatkan besar curah hujan pada periode ulang T tahun. Curah hujan periode ulang ditentukan dengan jenis distribusi yang memenuhi syarat dan cocok dengan ketentuan yang ada. Berikut ini merupakan hasil perhitungan analisis frekuensi hujan periode ulang:

1. Parameter Statistik

Parameter statistik dihitung untuk mendapatkan curah hujan periode ulang dengan menggunakan Rumus 2.15 sampai Rumus 2.25 dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.

Tabel 4.6 Perhitungan Parameter Statistik Normal dan Gumbel

Tahun	$R_{\max}(X_i)$	$(X_i - X_r)$	$(X_i - X_r)^2$	$(X_i - X_r)^3$	$(X_i - X_r)^4$
2013	96.62	-18.12	328.36	-5950.12	107820.32

Tahun	$R_{\max}(X_i)$	$(X_i - X_r)$	$(X_i - X_r)^2$	$(X_i - X_r)^3$	$(X_i - X_r)^4$
2014	116.86	2.12	4.50	9.55	20.25
2015	93.48	-21.26	452.13	-9613.82	204422.24
2016	116.38	1.64	2.68	4.40	7.21
2017	84.02	-30.72	943.44	-28978.03	890072.05
2018	81.73	-33.01	1089.39	-35956.47	1186777.92
2019	241.16	126.42	15980.76	2020208.99	255384812.80
2020	113.12	-1.62	2.61	-4.21	6.81
2021	94.33	-20.41	416.72	-8506.93	173659.03
2022	109.70	-5.04	25.41	-128.06	645.48
Σ	1147.40	0.00	19246.01	1931085.29	257948244.11
X_r			114.74		
S_d			46.24		
C_s			2.71		
C_k			11.19		
C_v			0.40		

Sumber: Diolah Oleh Penulis (2023)

Tabel 4.7 Perhitungan Parameter Statistik Log Normal dan Log Pearson III

Tahun	$R_{\max}(X_i)$	Log X_i	Log $(X_i - X_r)$	Log $(X_i - X_r)^2$	Log $(X_i - X_r)^3$	Log $(X_i - X_r)^4$
2013	96.62	1.99	-0.05	0.0027686	-0.0001457	0.0000077
2014	116.86	2.07	0.03	0.0008994	0.0000270	0.0000008
2015	93.48	1.97	-0.07	0.0044860	-0.0003005	0.0000201
2016	116.38	2.07	0.03	0.0007948	0.0000224	0.0000006
2017	84.02	1.92	-0.11	0.0128311	-0.0014534	0.0001646
2018	81.73	1.91	-0.13	0.0156946	-0.0019662	0.0002463
2019	241.16	2.38	0.34	0.1187593	0.0409262	0.0141038
2020	113.12	2.05	0.02	0.0002521	0.0000040	0.0000001
2021	94.33	1.97	-0.06	0.0039752	-0.0002506	0.0000158
2022	109.70	2.04	0.00	0.0000064	0.0000000	0.0000000
Σ	1147.40	20.38	0.00	0.1604673	0.0368632	0.0145598
X_r				2.04		
S_d				0.13		
C_s				2.15		
C_k				9.09		
C_v				0.07		

Sumber: Diolah Oleh Penulis (2023)

2. Pemilihan Jenis Distribusi

Berdasarkan hasil dari perhitungan yang telah dilakukan pada parameter statistik, maka jenis distribusi yang cocok dan memenuhi syarat dapat dipilih. Persyaratan pada pemilihan jenis distribusi dapat dilihat pada Lampiran 6.2 dan hasil dari pemilihan jenis distribusi dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 *Pemilihan Jenis Distribusi*

No.	Jenis Sebaran	Hasil Perhitungan	Syarat	Keterangan
1	Normal	2.7122	$C_s = 0$	tidak memenuhi
		11.1919	$C_k = 3$	tidak memenuhi
2	Log Normal	2.1505	$C_s = C_v^2 + 3C_v$	tidak memenuhi
		9.0874	$C_k = 5.383$	tidak memenuhi
		0.07	$C_v \sim 0.06$	hampir memenuhi
3	Log Pearson type III	2.1505	$C_s \neq 0$	memenuhi
		9.0874	$C_k = 5.383$	tidak memenuhi
4	Gumbel	0.0655	$C_v \sim 0.3$	tidak memenuhi
		2.71	$C_s = 1.14$	tidak memenuhi
		11.1919	$C_k = 5.4$	tidak memenuhi

Sumber: Diolah Oleh Penulis (2023)

Berdasarkan pada Tabel 4.8, didapatkan jenis distribusi yang cocok dan memenuhi syarat adalah Log Pearson III. Maka dari itu, distribusi frekuensi yang digunakan adalah Log Pearson III.

3. Distribusi Frekuensi

Perhitungan curah hujan distribusi frekuensi dengan Log Pearson III untuk periode ulang dilakukan dengan menggunakan Rumus 2.18 sampai Rumus 2.24 dan Lampiran 6.9 yang sesuai dengan jenis distribusi yang memenuhi syarat. Curah hujan periode ulang 10, 25, dan 50 tahun untuk distribusi Log Pearson III dapat dihitung dengan menggunakan K_T yang diinterpolasi seperti pada Tabel 4.9 dengan menggunakan nilai C_s sebesar 2.15 dan hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.9 *Nilai K_T Log Pearson III*

Koefisien Skewness (C_s)	Periode Ulang T Tahun							
	1.0101	2	5	10	25	50	100	200
2	-1.449	-0.307	0.61	1.30	2.22	2.91	3.61	4.30
2.15	-1.397	-0.326	0.583	1.290	2.239	2.960	3.685	4.412

1.8 -1.518 -0.282 0.643 1.318 2.193 2.848 3.499 4.147

Sumber: Diolah Oleh Penulis (2023)

Tabel 4.10 Curah Hujan Periode Ulang dengan Jenis Distribusi Log Pearson III

Periode Ulang	Log X_T	S_d	K_T	Log X_T	X_T (mm)
10			1.290	2.210	162.15
25	2.04	0.13	2.239	2.337	217.07
50			2.960	2.433	270.99

Sumber: Diolah Oleh Penulis (2023)

Hasil perhitungan tinggi curah hujan periode ulang 10, 25, dan 50 tahun dapat dilihat pada Tabel 4.10, dengan nilai pada curah hujan periode ulang berturut-turut adalah 162.15 mm, 217.07 mm, dan 270.99 mm. Hasil perhitungan curah hujan maksimum dalam sehari pada setiap periode ulang dapat digunakan dalam perhitungan intensitas hujan.

4. Uji Chi-Kuadrat

Pengujian Chi-Kuadrat berfungsi untuk mengetahui dari jenis sebaran yang sudah dipilih sesuai dengan sebaran empirisnya serta dapat dilihat apakah data tersebut memenuhi kriteria. Uji Chi-Kuadrat diterima apabila nilai Chi-Kuadrat lebih kecil dari nilai Chi-Kuadrat kritisnya. Perhitungan uji Chi-Kuadrat dapat dilihat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} K \text{ (Jumlah Sub-Kelompok)} &= 1 + 3.222 \text{ Log } 10 \\ &= 4.322 \approx \text{Diambil } 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} DK \text{ (Derajat Kebebasan)} &= G - (p+1) \\ &= 4.322 - (2+1) \\ &= 1.322 \approx \text{Diambil } 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_i \text{ (Jumlah Nilai Teoritis pada Sub Kelompok ke } i) &= \frac{n}{G} \\ &= \frac{10}{5} \\ &= 2.5 \end{aligned}$$

$$\Delta X = \frac{(X_{max} - X_{min})}{G-1} = \frac{(241.16 - 81.73)}{4-1}$$

$$\begin{aligned}
 &= 53.14 \\
 X_{awal} &= (X_{min} - \frac{1}{2} \cdot \Delta X) = 81.73 - \frac{1}{2} (53.14) \\
 &= 55.16
 \end{aligned}$$

Tabel 4.11 Nilai Chi-Kuadrat Kritis

DK	Derajat Kepercayaan (α)			
	0,05	0,025	0,01	0,005
1	3.841	5.024	6.635	7.879
2	5.991	7.378	9.21	10.597
3	7.815	9.348	11.345	12.838
4	9.488	11.143	13.277	14.86
5	11.07	12.832	15.086	16.75

Sumber: Kementerian PUPR (2018)

Tabel 4.12 Perhitungan Nilai Chi-Kuadrat

Nilai Batas Sub Kelompok	O_i	E_i	$O_i - E_i$	$X_h^2 = \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$
55.16 < P <	108.30	5	2.5	2.5
108.30 < P <	161.44	4	2.5	0.9
161.44 < P <	214.59	0	2.5	2.5
214.59 < P <	267.73	1	2.5	0.9
	ΣX_h^2			6.8
	X_{cr}^2			9.21

Sumber: Diolah Oleh Penulis (2023)

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Nilai Chi-Kuadrat dengan Chi-Kuadrat Kritis

$\Sigma X_h^2 < X_{cr}^2$	
ΣX_h^2	X_{cr}^2
6.8	9.21

Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2023)

Hasil perhitungan nilai Chi-Kuadrat dengan Chi-Kuadrat kritis pada Tabel 4.11 sampai Tabel 4.13 menjelaskan bahwa $\Sigma X_h^2 \leq X_{cr}^2 = 6.8 \leq 9.21$. Sehingga hasil tersebut membuktikan bahwa metode distribusi Log Pearson III sudah memenuhi syarat pengujian Chi-Kuadrat.

5. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov merupakan uji distribusi non-parametrik karena proses pengujiannya tidak menggunakan fungsi

distribusi. Dalam pengujian ini, data curah hujan rata-rata maksimum diurutkan dari terkecil sampai terbesar lalu dicari selisih dari nilai maksimumnya. Kemudian ditentukan besaran nilai D_{\max} dan didapatkan hasil dari pengujian distribusi Smirnov-Kolmogorov seperti pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Perhitungan Uji Smirnov-Kolmogorov

Tahun	$R_{\max}(x)$	m	$P = \frac{m}{n+1}$	$P(x <) = 1 - P$	$K = \frac{(x - X_r)/S_d}{\sqrt{m}}$	$P' = \frac{m}{n-1}$	$P'(x) = 1 - P'$	$D = [P' - P]$
2017	81.73	1	0.091	0.909	-0.71	0.11	0.89	0.020
2018	84.02	2	0.182	0.818	-0.66	0.22	0.78	0.040
2019	93.48	3	0.273	0.727	-0.46	0.33	0.67	0.061
2016	94.33	4	0.364	0.636	-0.44	0.44	0.56	0.081
2013	96.62	5	0.455	0.545	-0.39	0.56	0.44	0.101
2021	109.70	6	0.545	0.455	-0.11	0.67	0.33	0.121
2015	113.12	7	0.636	0.364	-0.03	0.78	0.22	0.141
2022	116.38	8	0.727	0.273	0.04	0.89	0.11	0.162
2014	116.86	9	0.818	0.182	0.05	1.00	0.00	0.182
2020	241.16	10	0.909	0.091	2.73	1.11	-0.11	0.202
D_{Maksimum}								0.202
D_{kritis}								0.49

Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2023)

Hasil perhitungan pada Tabel 4.14 menjelaskan bahwa $D_{\text{Maksimum}} < D_{\text{kritis}} = 0.202 < 0.49$, dimana nilai D_{kritis} Didapatkan dari Lampiran 6.4. Sehingga dapat dinyatakan bahwa distribusi Log Pearson III telah memenuhi persyaratan uji Smirnov-Kolmogorov.

4.3.3 Analisis Intensitas Hujan Periode Ulang

Intensitas hujan adalah tinggi curah hujan dalam satuan waktu. Perhitungan intensitas hujan dilakukan dengan menggunakan rumus mononobe sesuai dengan yang disarankan pada SNI 2415: 2016 yang hasil perhitungannya dapat dilihat pada Tabel 4.15 sampai Tabel 4.16 dan grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.16.

Tabel 4.15 Perhitungan Curah Hujan Efektif Maksimum Harian

No	PUH	Log Pearson III R_{\max}	C	Rn $= R_{\max} \times C$
1	10	162.15	0.4454	72.22
2	25	217.07		96.67

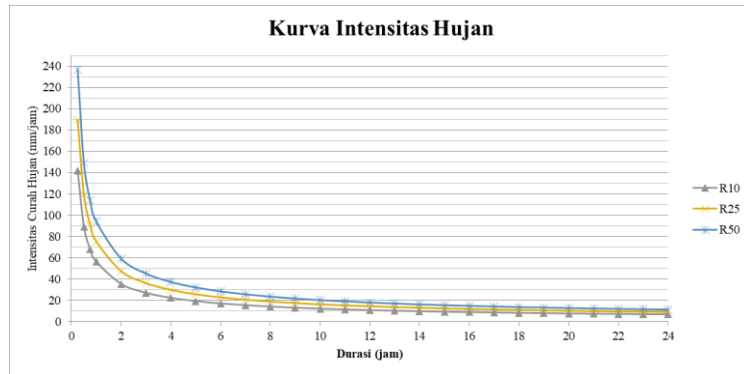
3	50	270.99	120.69
---	----	--------	--------

Sumber: Diolah Oleh Penulis (2023)

Tabel 4.16 Perhitungan Intensitas Hujan

PUH / Waktu (jam)	Intensitas Hujan Periode Ulang		
	R10	R25	R50
	162.15	217.07	270.99
0.25	141.65	189.63	236.73
0.5	89.24	119.46	149.13
0.75	68.10	91.16	113.81
1	56.22	75.25	93.95
2	35.41	47.41	59.18
3	27.03	36.18	45.16
4	22.31	29.86	37.28
5	19.23	25.74	32.13
6	17.03	22.79	28.45
7	15.36	20.56	25.67
8	14.05	18.81	23.49
9	12.99	17.39	21.71
10	12.11	16.21	20.24
11	11.37	15.21	18.99
12	10.73	14.36	17.92
13	10.17	13.61	16.99
14	9.68	12.96	16.17
15	9.24	12.37	15.45
16	8.85	11.85	14.80
17	8.50	11.38	14.21
18	8.18	10.96	13.68
19	7.90	10.57	13.19
20	7.63	10.21	12.75
21	7.39	9.89	12.34
22	7.16	9.58	11.97
23	6.95	9.30	11.62
24	6.76	9.04	11.29

Sumber: Diolah Oleh Penulis (2023)



Gambar 4.16 Kurva Intensitas Hujan (Dokumentasi Pribadi, 2023)

4.3.4 Analisis Debit Banjir Rencana

Perhitungan debit banjir rencana pada penelitian ini menggunakan perhitungan manual dengan rumus HSS Nakayasu yang sesuai dengan rumus pada SNI 2415: 2016. Hasil perhitungan debit banjir rencana dapat dilihat pada Tabel 4.18 sampai Tabel 4.20 dan grafiknya dapat dilihat pada Gambar 4.17.

- $R_0 = 1.00 \text{ mm}$
- $L = 40.212 \text{ km}$ (panjang sungai)
- $A = 98.82 \text{ km}^2$
- $C = 0.45$ (Lampiran 6.1)
- $\alpha = 2$ (SNI 2415: 2016)
- $T_g = 0.40 + 0.058 \cdot L = 0.40(0.058 \cdot 40.212) = 2.73 \text{ jam}$
- $T_r = 0.75 T_g = 0,75 (2.73) = 2.05 \text{ jam}$
- $T_p = T_g + 0.8 T_r = 2.73 + 0.8(2.05) = 4.37 \text{ jam}$
- $T_{0.3} = \alpha T_g = 2(2.73) = 5.46 \text{ jam}$
- $T_p + T_{0.3} = 4.37 + 5.46 = 9.84 \text{ jam}$
- $T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3} = 4,37 + 5.46 + 1.5(5.46) = 18.03 \text{ jam}$
- $Q_p = \frac{c \cdot A \cdot R_0}{3.6 (0.3 T_p + T_{0.3})} = \frac{(0.45)(98.82)(1)}{3.6 (0.3(4.37) + (5.46))} = 1.71 \text{ m}^3/\text{detik}$
- $Q_{base\ flow} = 0.5 Q_p = (0.5) \times (1.71) = 0.86 \text{ m}^3/\text{detik}$

Dalam melakukan perhitungan debit banjir tiap jam pada hidrograf, waktu pada saat jam terjadinya banjir perlu diperhatikan. Maka dari itu, perhitungan debit banjir metode HSS Nakayasu dapat dilakukan menggunakan Rumus 2.45 sampai Rumus 2.51 dengan hasil perhitungan pada setiap jamnya seperti pada tabel berikut:

Tabel 4.17 Perhitungan Debit Banjir Tiap Jam HSS Nakayasu

Debit Banjir Tiap Jam		
Posisi	Tr (jam)	UH (m³/det/mm)
Pada kurva naik ($0 < t < T_p = 4.37$)	1	0.05
	2	0.26
	3	0.69
	4	1.38
	4.37	1.71
Pada kurva turun ($T_p < t < T_p + T_{0.3}$)	5	1.49
	6	1.20
	7	0.96
	8	0.77
	9	0.62
Pada kurva turun ($T_p + T_{0.3} = 9.84 < t < T_p + T_{0.3} + 1,5 T_{0.3}$)	9.84	0.51
	10	0.50
	11	0.43
	12	0.37
	13	0.32
	14	0.28
	15	0.24
	16	0.21
	17	0.18
	18	0.15
18.03	0.15	
Pada kurva turun ($t > T_p + T_{0.3} + 1.5 T_{0.3}$)	19	0.14
	20	0.12
	21	0.11
	22	0.10
	23	0.09
	24	0.08

Sumber: Diolah Oleh Penulis (2023)

Setelah mendapatkan angka debit banjir pada tiap jamnya seperti pada Tabel 4.17, maka perhitungan debit HSS dapat dimulai. Perhitungan pada debit HSS menggunakan Rumus 2.45 sampai Rumus 2.51 dengan hasil perhitungan HSS Nakayasu terdapat pada Tabel 4.18 sampai Tabel 4.20 dan grafiknya pada Gambar 4.17.

Tabel 4.18 Debit Banjir HSS Nakayasu Periode Ulang 10 Tahun

Jam	U (t,i)	Hujan Netto (mm/Jam)					Debit m ³ /s	Base Flow m ³ /s	Total Debit m ³ /s
		94.83	24.65	17.29	13.76	11.62			
0	0.00	0.00					0.00	1.32	1.32
1	0.05	4.71	0.00				4.71	1.32	6.04
2	0.26	24.87	1.22	0.00			26.09	1.32	27.41
3	0.69	65.80	6.46	0.86	0.00		73.12	1.32	74.44
4	1.38	131.24	17.10	4.53	0.68	0.00	153.56	1.32	154.88
5	1.49	141.43	34.11	12.00	3.61	0.58	191.73	1.32	193.05
6	1.20	113.47	36.76	23.93	9.55	3.05	186.76	1.32	188.08
7	0.96	91.03	29.49	25.79	19.05	8.07	173.43	1.32	174.75
8	0.77	73.03	23.66	20.69	20.53	16.09	154.00	1.32	155.32
9	0.62	58.59	18.98	16.60	16.47	17.34	127.97	1.32	129.30
10	0.50	47.57	15.23	13.32	13.21	13.91	103.24	1.32	104.56
11	0.43	41.07	12.37	10.68	10.60	11.16	85.88	1.32	87.20
12	0.37	35.46	10.68	8.67	8.50	8.95	72.27	1.32	73.59
13	0.32	30.62	9.22	7.49	6.91	7.18	61.41	1.32	62.74
14	0.28	26.44	7.96	6.47	5.96	5.83	52.65	1.32	53.98
15	0.24	22.82	6.87	5.58	5.15	5.03	45.46	1.32	46.78
16	0.21	19.71	5.93	4.82	4.44	4.35	39.25	1.32	40.57
17	0.18	17.01	5.12	4.16	3.84	3.75	33.89	1.32	35.21
18	0.15	14.69	4.42	3.59	3.31	3.24	29.26	1.32	30.58
19	0.14	13.14	3.82	3.10	2.86	2.80	25.72	1.32	27.05
20	0.12	11.77	3.42	2.68	2.47	2.42	22.75	1.32	24.08
21	0.11	10.54	3.06	2.40	2.13	2.09	20.22	1.32	21.54
22	0.10	9.44	2.74	2.15	1.91	1.80	18.04	1.32	19.36
23	0.09	8.46	2.45	1.92	1.71	1.61	16.15	1.32	17.48
24	0.08	7.58	2.20	1.72	1.53	1.44	14.47	1.32	15.79
Debit Maksimum									193.05

Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2023)

Tabel 4.19 Debit Banjir HSS Nakayasu Periode Ulang 25 Tahun

Jam	U (t,i)	Hujan Netto (mm/Jam)					Debit m ³ /s	Base Flow m ³ /s	Total Debit m ³ /s
		126.94	32.99	23.15	18.43	15.56			
0	0.00	0.00					0.00	1.32	1.32
1	0.05	6.31	0.00				6.31	1.32	7.63
2	0.26	33.29	1.64	0.00			34.93	1.32	36.25
3	0.69	88.08	8.65	1.15	0.00		97.88	1.32	99.21
4	1.38	175.68	22.89	6.07	0.92	0.00	205.56	1.32	206.89
5	1.49	189.33	45.66	16.06	4.83	0.77	256.66	1.32	257.98
6	1.20	151.89	49.21	32.03	12.79	4.08	250.00	1.32	251.33
7	0.96	121.86	39.48	34.52	25.50	10.80	232.16	1.32	233.48
8	0.77	97.76	31.67	27.69	27.48	21.53	206.15	1.32	207.47
9	0.62	78.43	25.41	22.22	22.05	23.21	171.31	1.32	172.64
10	0.50	63.68	20.39	17.82	17.69	18.62	138.20	1.32	139.52

Jam	U (t,i)	Hujan Netto (mm/Jam)					Debit m ³ /s	Base Flow m ³ /s	Total Debit m ³ /s
		126.94	32.99	23.15	18.43	15.56			
11	0.43	54.98	16.55	14.30	14.19	14.94	114.96	1.32	116.29
12	0.37	47.47	14.29	11.61	11.38	11.98	96.74	1.32	98.07
13	0.32	40.99	12.34	10.02	9.24	9.61	82.21	1.32	83.53
14	0.28	35.39	10.65	8.66	7.98	7.81	70.48	1.32	71.81
15	0.24	30.55	9.20	7.47	6.89	6.74	60.86	1.32	62.18
16	0.21	26.38	7.94	6.45	5.95	5.82	52.54	1.32	53.87
17	0.18	22.78	6.86	5.57	5.14	5.02	45.37	1.32	46.69
18	0.15	19.67	5.92	4.81	4.43	4.34	39.17	1.32	40.49
19	0.14	17.59	5.11	4.15	3.83	3.75	34.43	1.32	35.76
20	0.12	15.76	4.57	3.59	3.31	3.23	30.46	1.32	31.78
21	0.11	14.11	4.10	3.21	2.85	2.79	27.06	1.32	28.39
22	0.10	12.64	3.67	2.87	2.55	2.41	24.15	1.32	25.47
23	0.09	11.32	3.29	2.57	2.29	2.16	21.63	1.32	22.95
24	0.08	10.14	2.94	2.30	2.05	1.93	19.37	1.32	20.69
Debit Maksimum									257.98

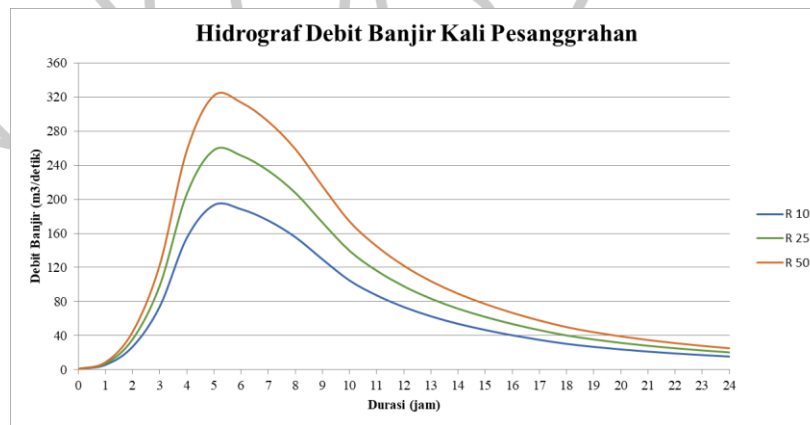
Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2023)

Tabel 4.20 Debit Banjir HSS Nakayasu Periode Ulang 50 Tahun

Jam	U (t,i)	Hujan Netto (mm/Jam)					Debit m ³ /s	Base Flow m ³ /s	Total Debit m ³ /s
		158.47	41.19	28.89	23.00	19.42			
0	0.00	0.00					0.00	1.32	1.32
1	0.05	7.87	0.00				7.87	1.32	9.20
2	0.26	41.55	2.05	0.00			43.60	1.32	44.92
3	0.69	109.96	10.80	1.44	0.00		122.20	1.32	123.52
4	1.38	219.32	28.58	7.58	1.14	0.00	256.62	1.32	257.95
5	1.49	236.36	57.01	20.05	6.03	0.97	320.41	1.32	321.74
6	1.20	189.62	61.44	39.99	15.96	5.09	312.10	1.32	313.43
7	0.96	152.13	49.29	43.10	31.84	13.48	289.82	1.32	291.15
8	0.77	122.05	39.54	34.57	34.31	26.88	257.35	1.32	258.68
9	0.62	97.91	31.72	27.74	27.52	28.97	213.87	1.32	215.19
10	0.50	79.50	25.45	22.25	22.08	23.24	172.53	1.32	173.85
11	0.43	68.64	20.66	17.85	17.72	18.65	143.52	1.32	144.84
12	0.37	59.26	17.84	14.50	14.21	14.96	120.77	1.32	122.10
13	0.32	51.17	15.40	12.52	11.54	12.00	102.63	1.32	103.95
14	0.28	44.18	13.30	10.81	9.96	9.74	87.99	1.32	89.32
15	0.24	38.14	11.48	9.33	8.60	8.41	75.97	1.32	77.30
16	0.21	32.93	9.91	8.06	7.43	7.26	65.59	1.32	66.92
17	0.18	28.43	8.56	6.95	6.41	6.27	56.63	1.32	57.96
18	0.15	24.55	7.39	6.00	5.54	5.42	48.90	1.32	50.22
19	0.14	21.96	6.38	5.18	4.78	4.68	42.98	1.32	44.31
20	0.12	19.67	5.71	4.48	4.13	4.04	38.02	1.32	39.34

Jam	U (t,i)	Hujan Netto (mm/Jam)					Debit m ³ /s	Base Flow m ³ /s	Total Debit m ³ /s
		158.47	41.19	28.89	23.00	19.42			
21	0.11	17.62	5.11	4.00	3.56	3.49	33.79	1.32	35.11
22	0.10	15.78	4.58	3.59	3.19	3.01	30.15	1.32	31.47
23	0.09	14.14	4.10	3.21	2.86	2.69	27.00	1.32	28.32
24	0.08	12.66	3.67	2.88	2.56	2.41	24.18	1.32	25.51
Debit Maksimum									321.74

Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2023)



Gambar 4.17 HSS Nakayasu Periode Ulang 10, 25, 50 Tahun (Dokumentasi Pribadi, 2023)

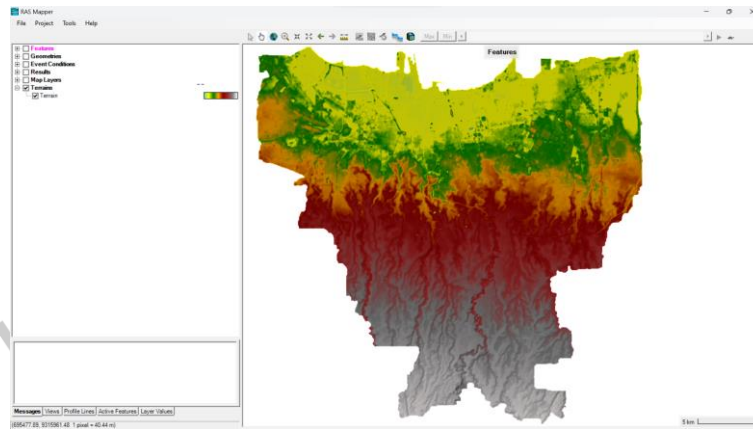
4.4 Analisis Hidrolika Menggunakan HEC-RAS

Analisis hidrolika pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS 6.3.1 untuk mengetahui hasil luas dan limpasan banjir Kali Pesanggrahan pada Jalan Ciledug Raya, Cipulir. Hasil dan tahapan pada proses pengerjaan analisis hidrolika menggunakan aplikasi HEC-RAS adalah sebagai berikut:

1. Pengerjaan Terrain

Pengerjaan *terrain* pada aplikasi HEC-RAS dapat dilakukan dengan menggunakan peta DEM yang memiliki ketelitian 1x1 dengan *projection* disesuaikan dengan lokasi pada peta DEM. Proses pembuatan *terrain* dapat dilakukan dengan menggunakan menu *RAS Mapper* yang ada pada aplikasi HEC-RAS, lalu memilih opsi *Terrain* dan melakukan opsi *Create a New RAS Terrain* serta memasukan DEM

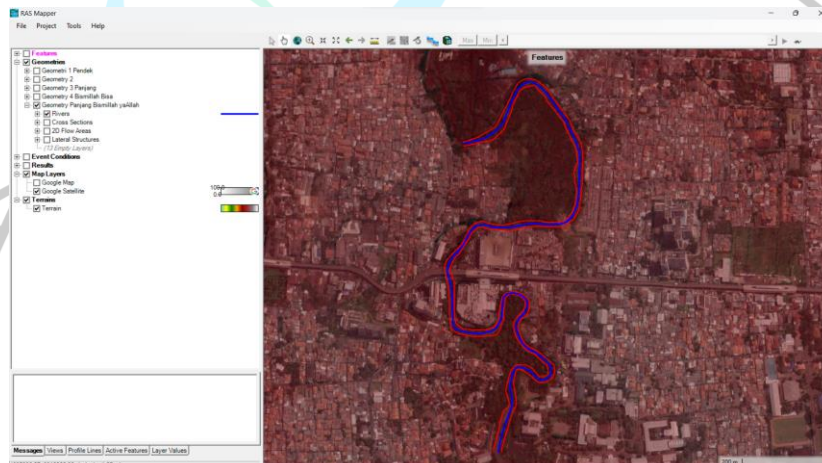
dan *Projection*. Hasil *terrain* yang sudah dimasukan dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Hasil Pengerjaan Terrain (Dokumentasi Pribadi, 2023)

2. Pengerjaan *Bank Lines* dan *River*

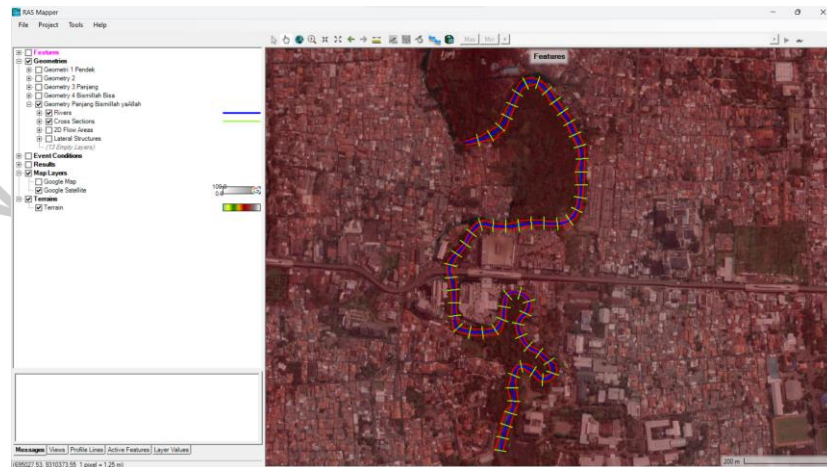
Tepi sungai (*Bank Lines*) dan alur sungai (*River*) digunakan sebagai tempat untuk mengalirnya air. Dalam melakukan pembuatan *Bank Lines* dan *River* peneliti harus mencari lokasi penelitian yaitu Jalan Ciledug Raya, Cipulir dengan menampilkan Google Satellite pada menu *Map Layer*. Selanjutnya, dibuat *layer geometries* baru dan dapat menambahkan *bank lines* dan *river* pada menu *geometries* dan di *trace* sesuai dengan tepi dan alur sungai yang *real* seperti pada Gambar 4.19.



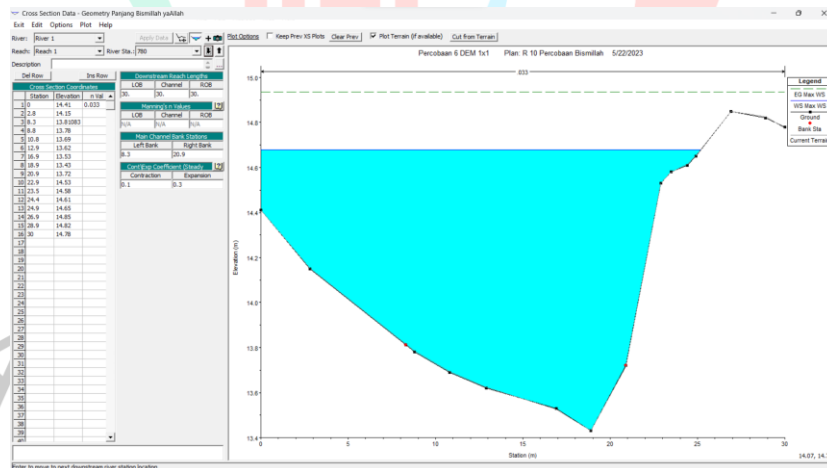
Gambar 4.19 Hasil Pengerjaan Tepi dan Alur Sungai Dengan Bantuan *Google Satellite* (Dokumentasi Pribadi, 2023)

3. Pengerjaan *Cross Section*

Cross Section atau potongan melintang sungai perlu ditambahkan pada *RAS Mapper* dengan menggunakan opsi *Auto-Generate Cross Section* dengan mengatur jarak potongan melintang dan memanjang dengan jarak masing-masing 30 m. Hasil dari pengerjaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21.



Gambar 4.20 Hasil Potongan Melintang (*Cross Section*) Sungai Pada Lokasi Penelitian (Dokumen Pribadi, 2023)

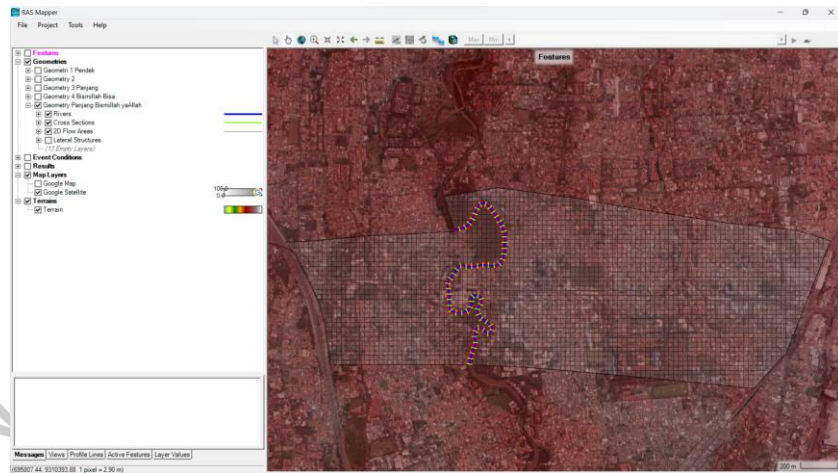


Gambar 4.21 Hasil Potongan Melintang (*Cross Section*) Sungai Pada Lokasi Penelitian (Dokumentasi Pribadi, 2023)

4. Pengerjaan *2D Flow Area*

2D flow area dibuat untuk menampilkan dataran banjir dengan cara menentukan *perimeter* menggunakan opsi *2D Flow Areas* lalu memilih opsi *perimeters* dan melakukan *tracing* wilayah dataran banjir sesuai

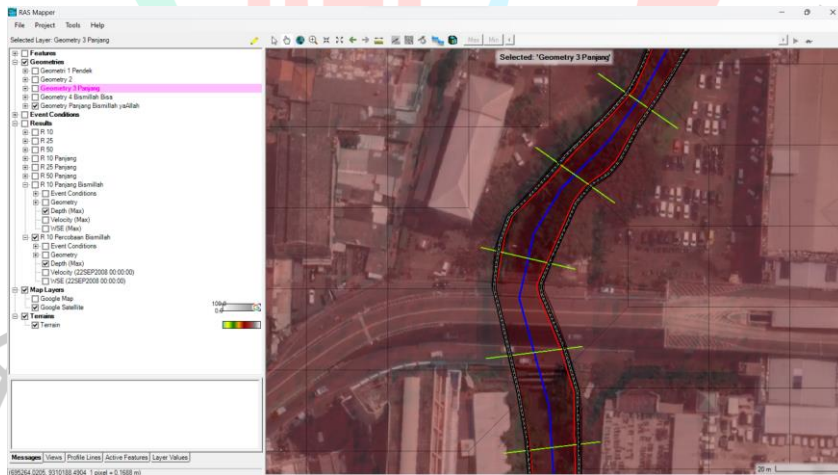
dengan yang diteliti. Hasil dari proses pengerjaan *perimeter* dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Hasil Pengerjaan 2D Flow Area Dengan Menentukan Perimeter (Dokumentasi Pribadi, 2023)

5. Pengerjaan Lateral Structures

Lateral structures diperlukan sebagai penyambung antara aliran sungai dengan dataran banjir. Posisi *lateral structures* terletak diantara *perimeter* dan *bank lines*, seperti pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Hasil Pengerjaan Lateral Structures (Garis Hitam) (Dokumentasi Pribadi, 2023)

6. Pengaturan Koefisien Manning Pada Saluran

Koefisien manning pada saluran mengikuti saluran dengan kondisi yang landai dan bersih seperti pada Lampiran 6.16 dengan angka koefisien manningnya 0,033. Koefisien manning bisa diinput pada opsi

Geometric Data – Manning's n dan dimasukan angka koefisien manningnya.

7. Pengaturan *Unsteady Flow Data* dan *Unsteady Flow Analysis*

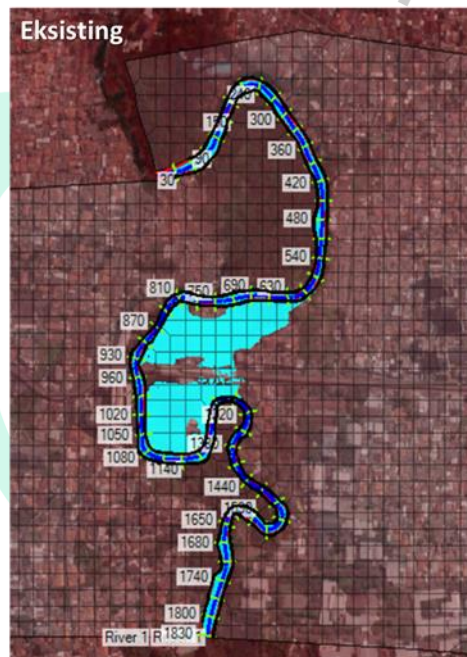
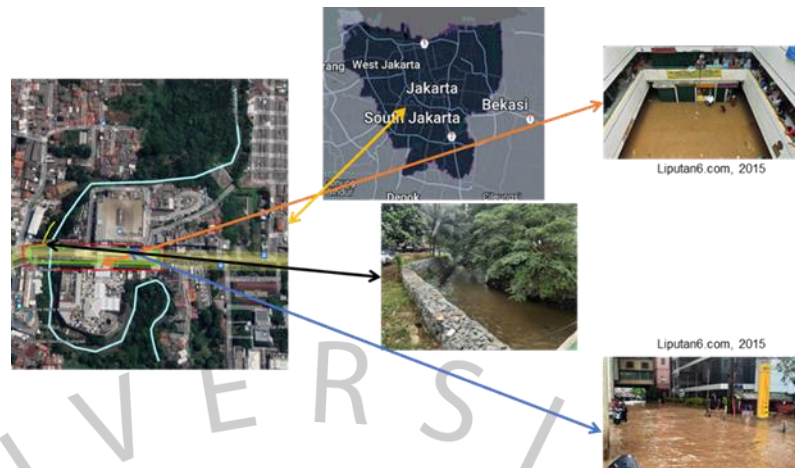
Unsteady flow data dilakukan dengan memilih opsi *View/Edit Unsteady Flow Data*, dengan pada titik hulu pengaturan yang digunakan adalah *flow hydrograph* dan mengatur *computation interval* (1 menit) dengan durasi HSS debit banjir (24 jam) dan memasukan data HSS debit banjir. Pada hilir sungai yang diteliti, digunakan pengaturan *normal depth* dikarenakan setelah hilir tersebut masih terdapat alur sungai. Setelah itu dapat dilakukan analisis *unsteady flow* yang terdapat pada menu dengan memilih opsi *Perform an Unsteady Flow Simulation* dengan pengaturan *Computation Interval*-nya sebesar 5 detik. Digunakan *Computation Interval* sebesar 5 detik karena akan dapat menghasilkan *output* yang lebih detail.

8. Hasil Analisis Hidrolika

Setelah berhasil memasukan semua data pada aplikasi HEC-RAS maka selanjutnya bisa melakukan komputasi pada analisis aliran. Setelah mendapatkan hasil dari *Unsteady Flow Analysis* kejadian limpasan banjir yang terjadi pada daerah tersebut yang berupa luas limpasan banjir dan tinggi muka air (TMA) pada sungai maupun dataran banjir dapat dilihat.

A. Kalibrasi Hasil Simulasi HEC-RAS dengan Kejadian yang Sebenarnya

Untuk mengetahui apakah hasil simulasi pada aplikasi HEC-RAS sesuai dengan kejadian yang sebenarnya perlu dilakukan kalibrasi dengan membandingkan kejadian banjir yang pernah terjadi dengan hasil simulasi yang didapatkan seperti pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Perbandingan Kejadian Banjir Simulasi HEC-RAS dan Banjir Terdahulu (Dokumentasi Pribadi, 2023)

Dari hasil simulasi yang sudah dilakukan pada aplikasi HEC-RAS untuk hasil banjir periode ulang 10 tahun, wilayah yang terkena limpasan banjir hampir sesuai dengan wilayah yang biasanya sering kali terjadi banjir. Untuk hasil simulasi HEC-RAS periode ulang 25 tahun juga cocok dengan kejadian banjir terbesar pada tahun 2015. Dengan kata lain banjir yang terjadi pada tahun 2015 merupakan banjir periode ulang 25 tahun karena hasil limpasan yang terjadi hampir mirip dengan banjir periode ulang 25 tahun. Oleh karena itu, model simulasi analisis hidrolika pada

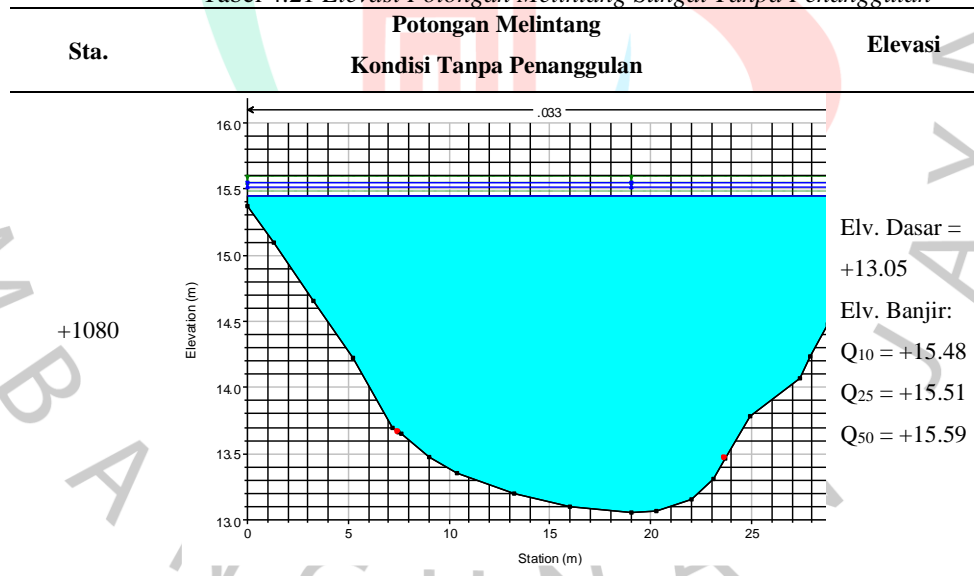
Aplikasi HEC-RAS dikatakan cocok dan dapat dilanjutkan analisisnya dengan kondisi lain.

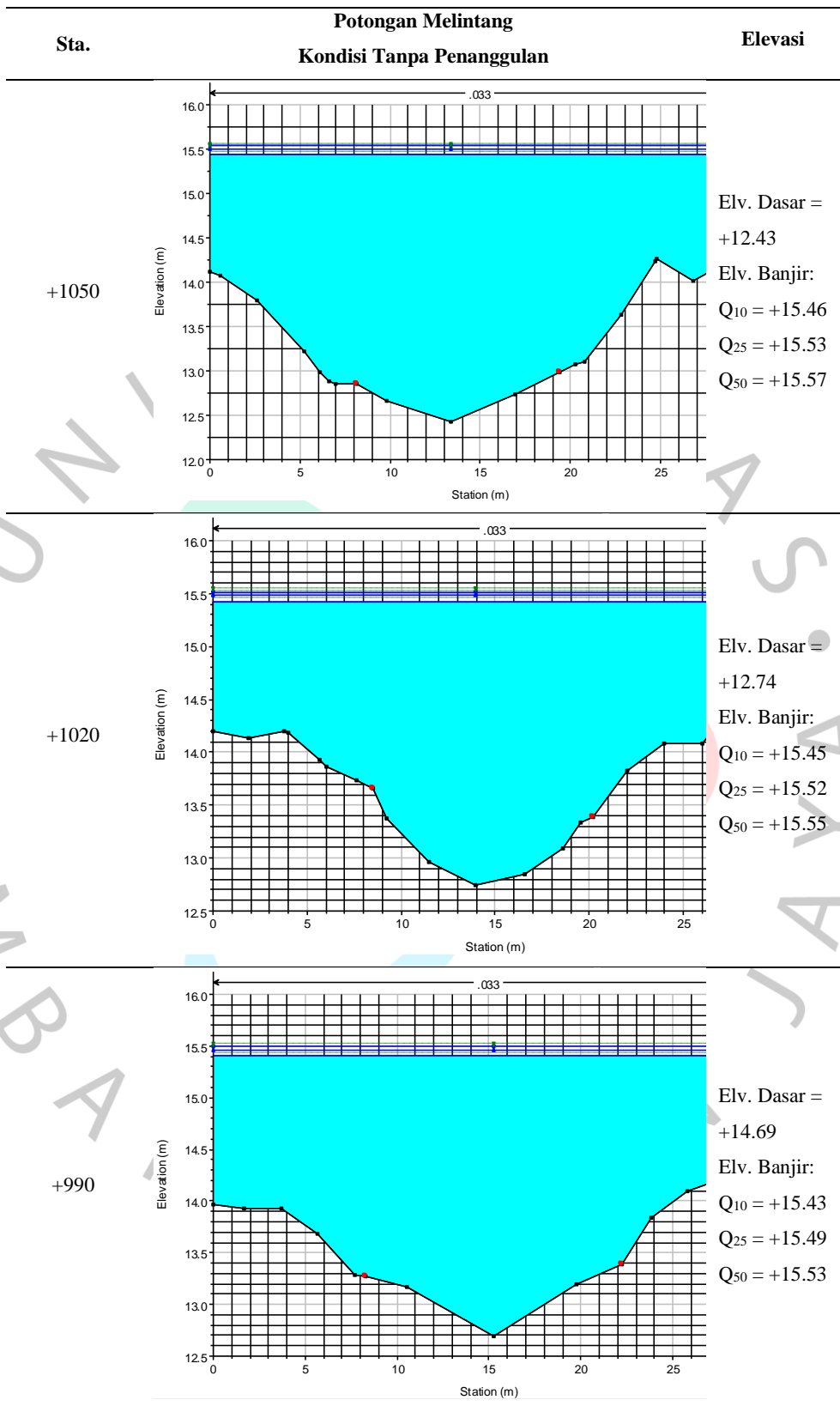
B. Hasil Simulasi HEC-RAS

Dengan hasil kalibrasi yang sudah dilakukan pada simulasi HEC-RAS yang sesuai dengan kejadian banjir terdahulu, maka kondisi lainnya dapat dilakukan. Kondisi simulasi yang dilakukan adalah kondisi tanpa penanggulan, kondisi dengan penanggulan 1 m, dan kondisi dengan penanggulan 1.5 m.

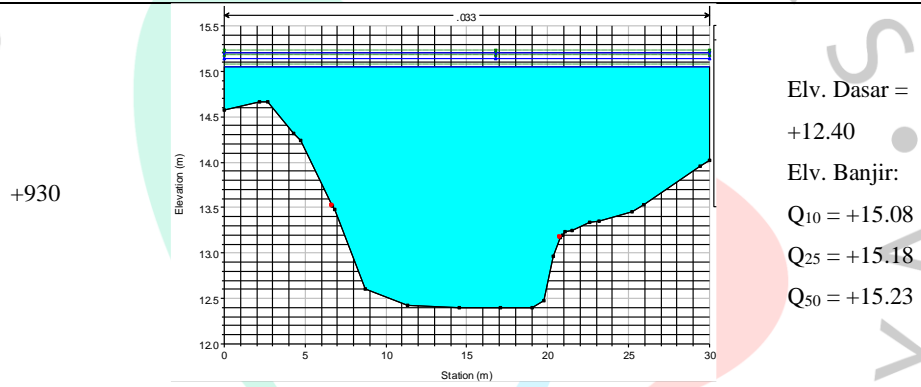
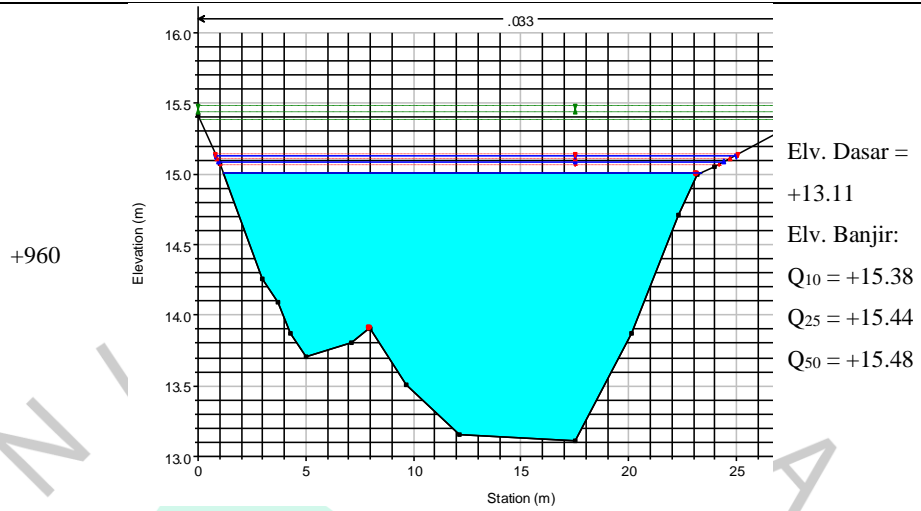
Hasil dari kejadian limpasan banjir yang berupa peta luasan limpasan banjir, tinggi muka air (TMA) pada sungai, dan pada dataran banjir dapat dilihat pada Tabel 4.21 sampai Tabel 4.23 dan Gambar 4.25 sampai Gambar 4.27.

Tabel 4.21 Elevasi Potongan Melintang Sungai Tanpa Penanggulan





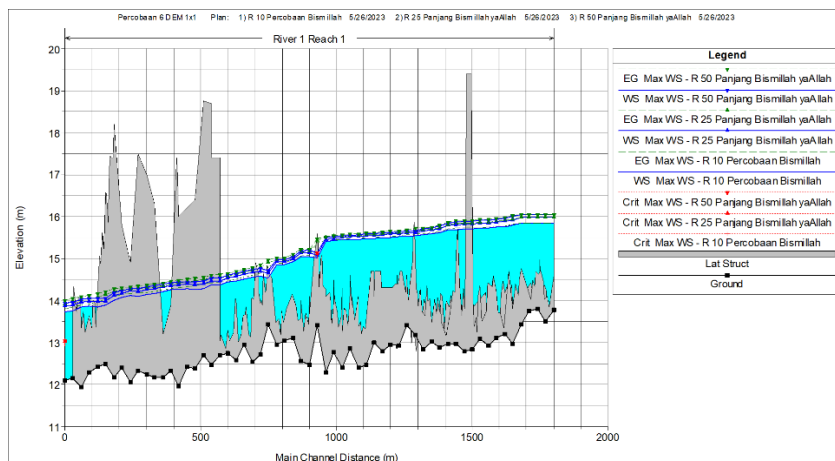
Sta.	Potongan Melintang Kondisi Tanpa Penanggulan	Elevasi
------	---	---------



Keterangan:

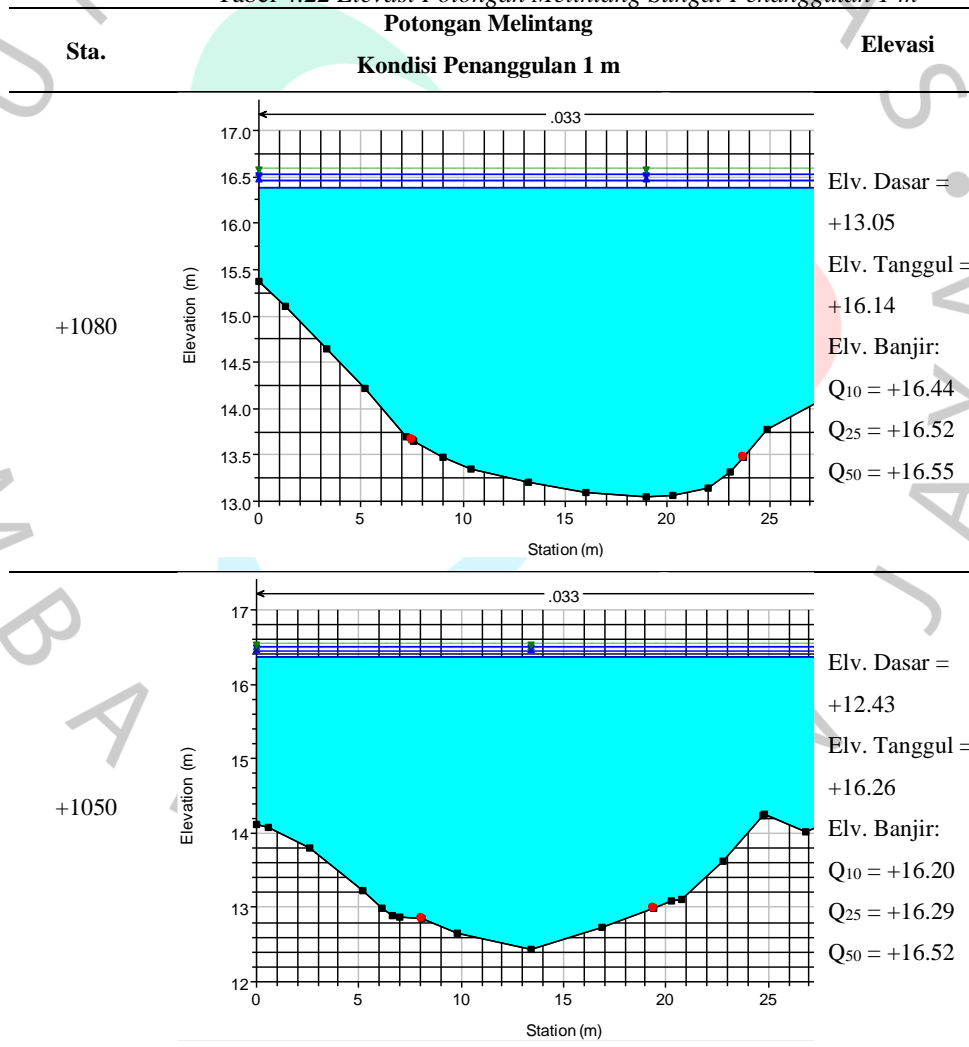
Legend
EG Max WS - R 50 Panjang Bismillah yaAllah
EG Max WS - R 25 Panjang Bismillah yaAllah
WS Max WS - R 50 Panjang Bismillah yaAllah
WS Max WS - R 25 Panjang Bismillah yaAllah
EG Max WS - R 10 Percobaan Bismillah
WS Max WS - R 10 Percobaan Bismillah
Ground
Bank Sta

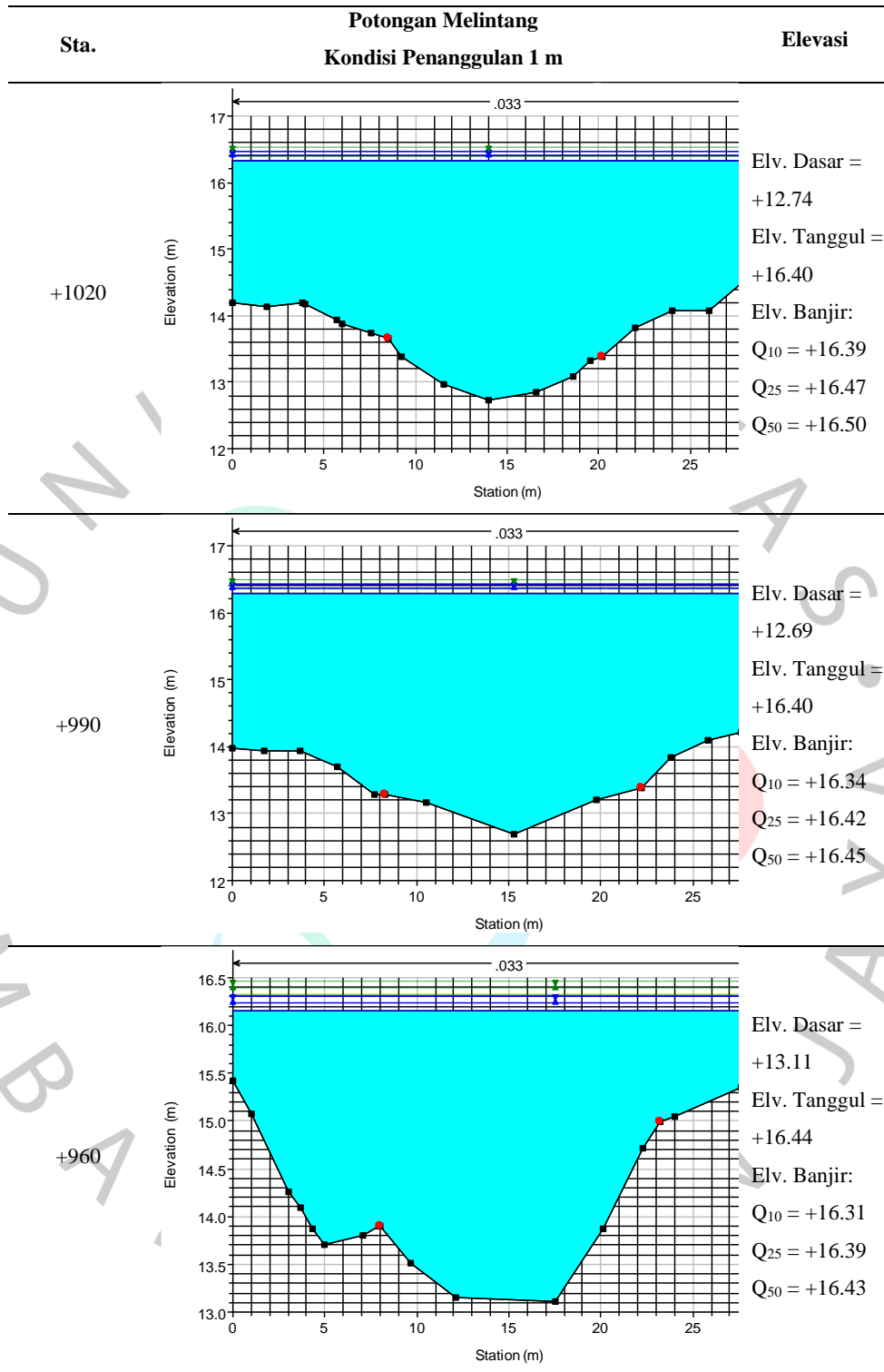
Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2023)

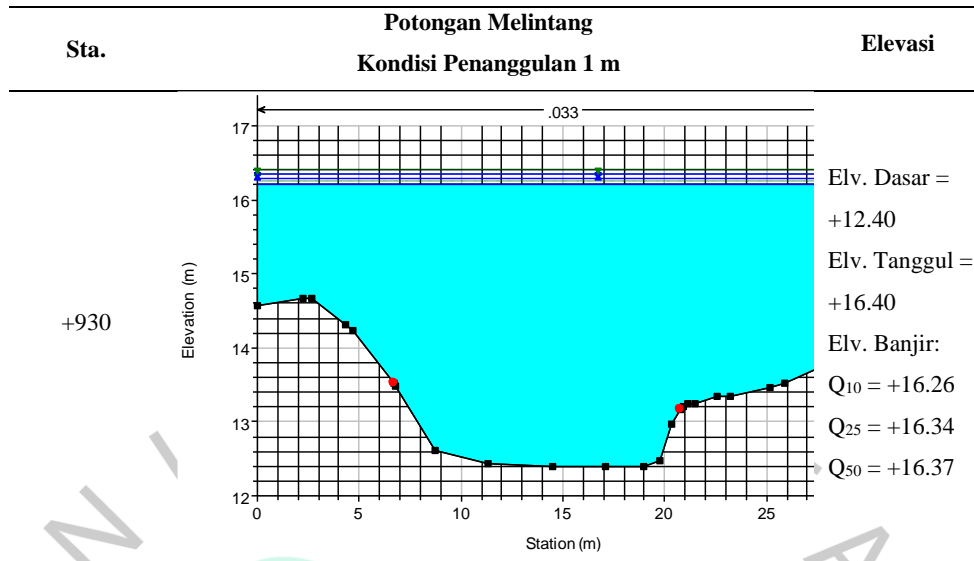


Gambar 4.25 Tanggul Alami (Dokumentasi Pribadi, 2023)

Tabel 4.22 Elevasi Potongan Melintang Sungai Penanggulangan 1 m



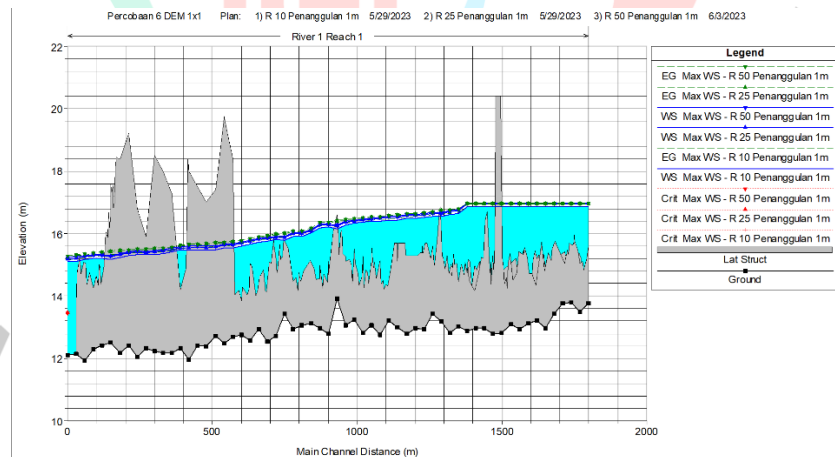




Keterangan:

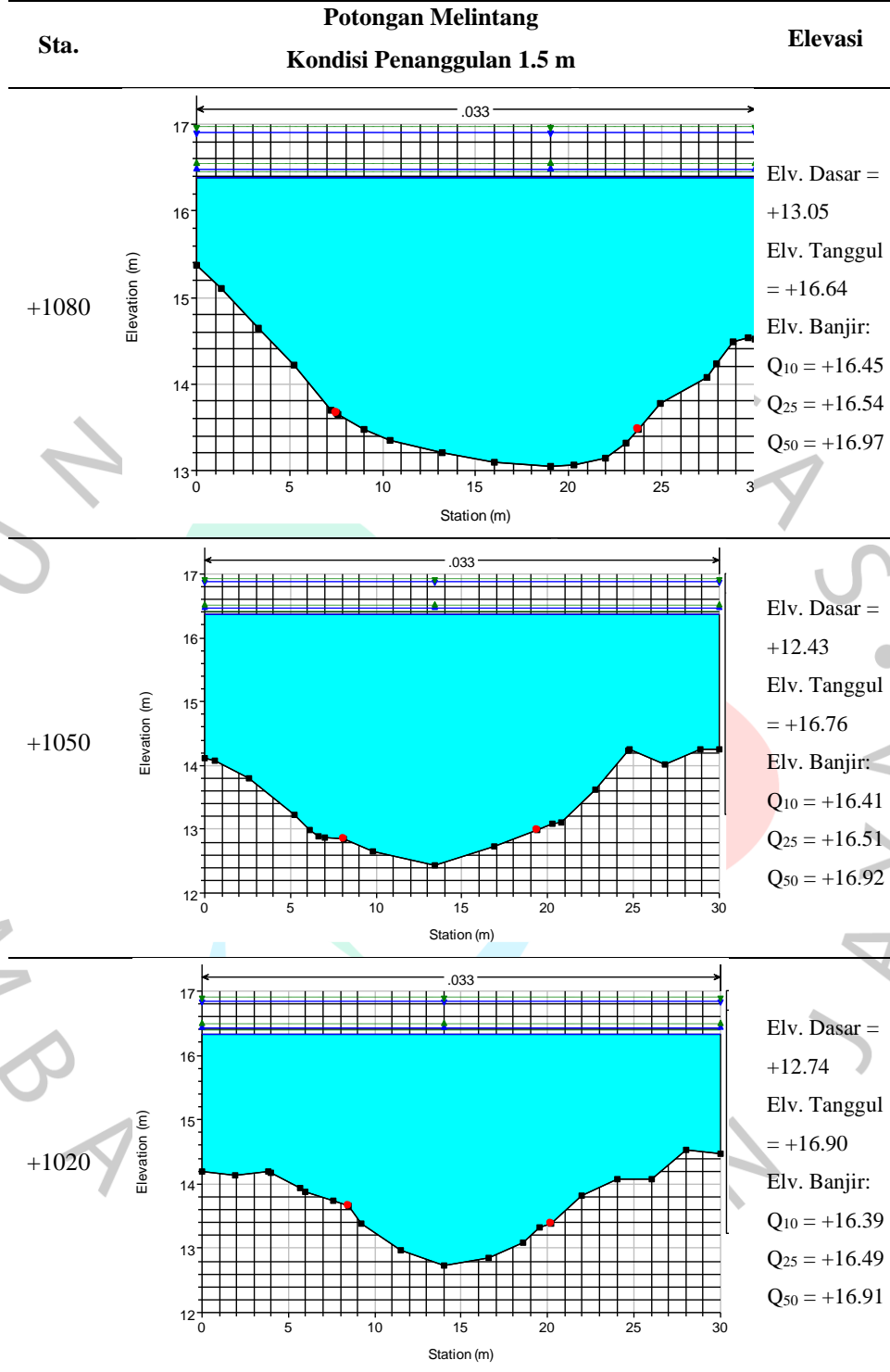
Legend	
EG Max WS - R 50 Penanggulan 1 m	→
WS Max WS - R 50 Penanggulan 1 m	→
EG Max WS - R 25 Penanggulan 1 m	→
WS Max WS - R 25 Penanggulan 1 m	→
EG Max WS - R 10 Penanggulan 1 m	→
WS Max WS - R 10 Penanggulan 1 m	→
Ground	—
Bank Sta	•

Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2023)

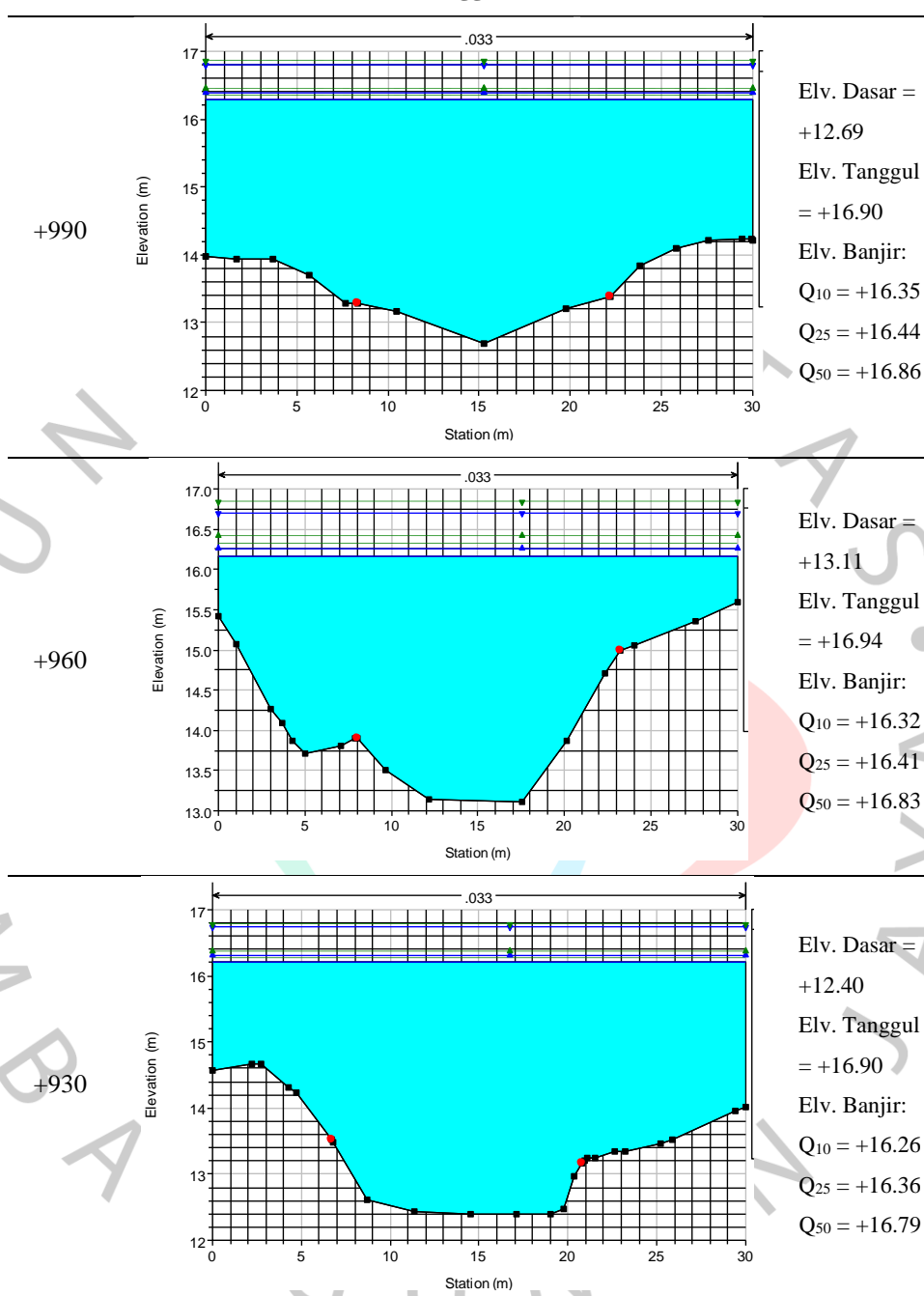


Gambar 4.26 Peningkatan Lateral Structure (Tanggul) 1 m (Dokumentasi Pribadi, 2023)

Tabel 4.23 Elevasi Potongan Melintang Sungai Penanggulan 1.5 m



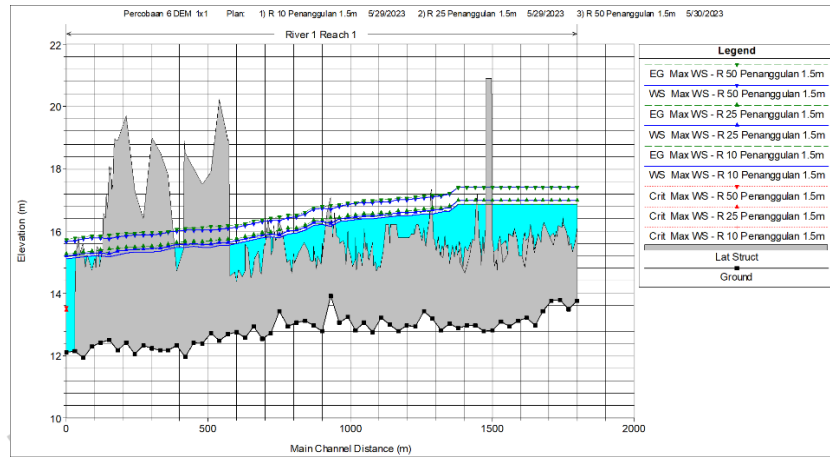
Potongan Melintang
Kondisi Penanggulan 1.5 m



Keterangan:

Legend
EG Max WS - R 50 Penanggulan 1.5m
WS Max WS - R 50 Penanggulan 1.5m
EG Max WS - R 25 Penanggulan 1.5m
WS Max WS - R 25 Penanggulan 1.5m
EG Max WS - R 10 Penanggulan 1.5m
WS Max WS - R 10 Penanggulan 1.5m
Ground
Bank Sta

Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2023)

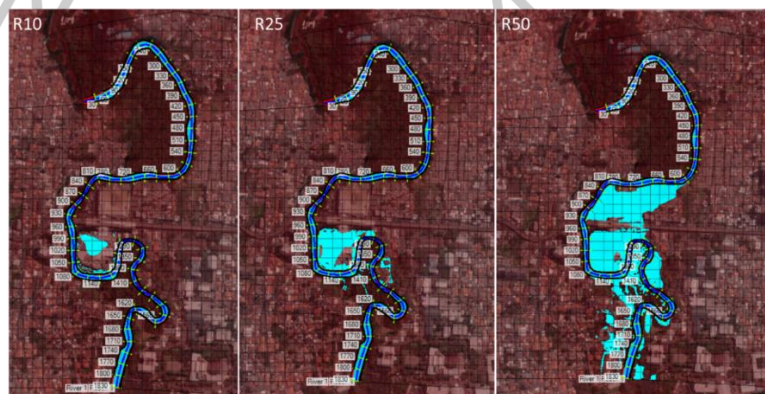


Gambar 4.27 Peningkatan *Lateral Structure* (Tanggul) 1.5 m (Dokumentasi Pribadi, 2023)

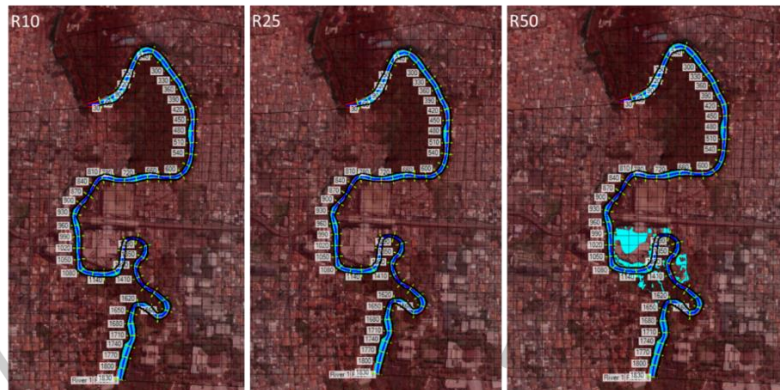
Penanggulangan yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan peningkatan tanggul sebanyak 1 m dan 1.5 m di sepanjang sungai yang diteliti seperti pada Gambar 4.26 dan Gambar 4.27. Peningkatan tanggul dilakukan untuk mengurangi dampak banjir yang terjadi karena adanya luapan air Kali Pesanggrahan.



Gambar 4.28 Kondisi Luapan Air Sungai Tanpa Penanggulangan (Dokumentasi Pribadi, 2023)



Gambar 4.29 Kondisi Luapan Air Sungai Penanggulan 1 m (Dokumentasi Pribadi, 2023)



Gambar 4.30 Kondisi Luapan Air Sungai Penanggulan 1.5 m (Dokumentasi Pribadi, 2023)

Berdasarkan hasil yang didapat pada tabel dan gambar diatas, maka bisa diketahui kondisi banjir yang terjadi pada kawasan Jalan Ciledug Raya, Cipulir saat sebelum dilakukan penanggulan seperti pada Gambar 4.28. Banjir yang terjadi diakibatkan karena adanya luapan kali pesanggarah dimana banjir bermula dari sisi kanan sungai dari tampak atas pada Gambar 4.28. Kondisi tersebut tentunya cukup mengganggu aktivitas sekitar karena daerah yang terjadi banjir merupakan daerah pasar atau pusat aktivitas pada Jalan Ciledug Raya, Cipulir, terlebih pada saat periode ulang ke 50 dimana banjir yang terjadi cukup besar menggenangi hampir sekitar Kawasan ITC Cipulir dan pasar cipulir dengan total luas banjir 73,976 m² seperti pada Tabel 4.24.

Tabel 4.24 Luas Limpasan Banjir Tanpa Penanggulan

Luas Limpasan Banjir Tanpa Penanggulan		
No	Kondisi Geometri	Total Luas (m²)
1	R 10	39,740.00
2	R 25	59,380.00
3	R 50	73,976.00

Sumber: Diolah Oleh Peneliti Dengan QGIS (2023)

Setelah didapatkan luasan banjir yang terjadi pada saat sebelum dilakukan penanggulan, maka bisa dilakukan tahap penanggulan

dengan dua opsi yaitu penanggulangan 1 m dan 1,5 m di sepanjang sungai yang diteliti. Pada penanggulangan 1 m dan 1,5 m terdapat perubahan luasan banjir yang terjadi seperti pada Tabel 4.25 sampai Tabel 4.26 dan Gambar 4.29 sampai Gambar 4.30.

Tabel 4.25 *Luas Limpasan Banjir Penanggulangan 1m*

Luas Limpasan Banjir Penanggulangan 1 m		
No	Kondisi Geometri	Total Luas (m²)
1	R 10	34,604.00
2	R 25	41,832.00
3	R 50	44,936.00

Sumber: Diolah Oleh Peneliti Dengan QGIS (2023)

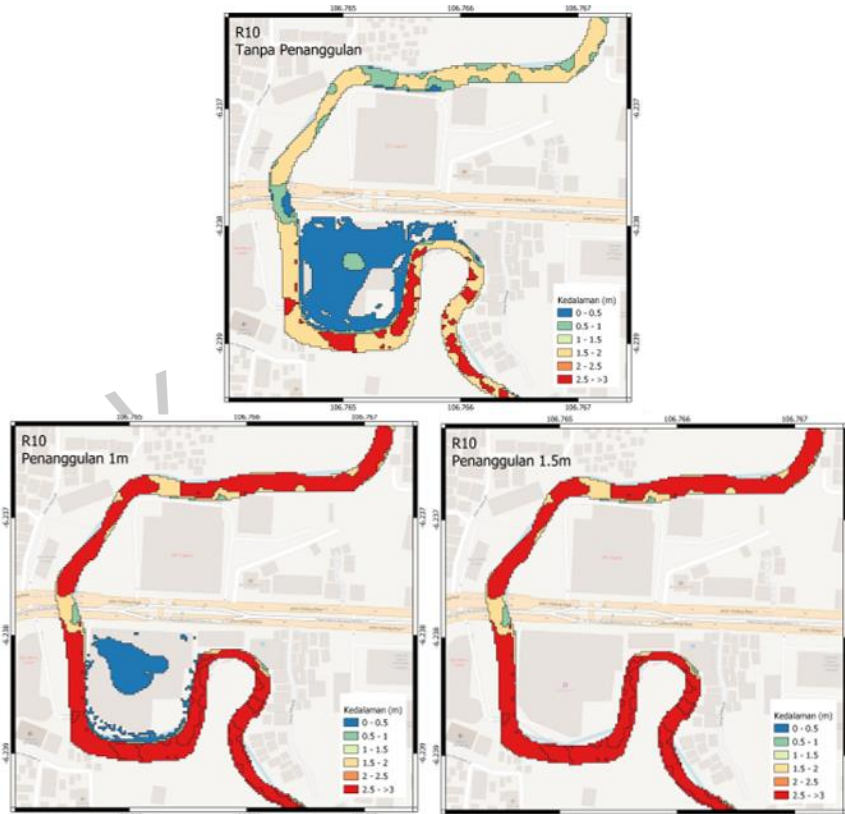
Tabel 4.26 *Luas Limpasan Banjir Penanggulangan 1.5m*

Luas Limpasan Banjir Penanggulangan 1.5 m		
No	Kondisi Geometri	Total Luas (m²)
1	R 10	31,636.00
2	R 25	31,680.00
3	R 50	39,936.00

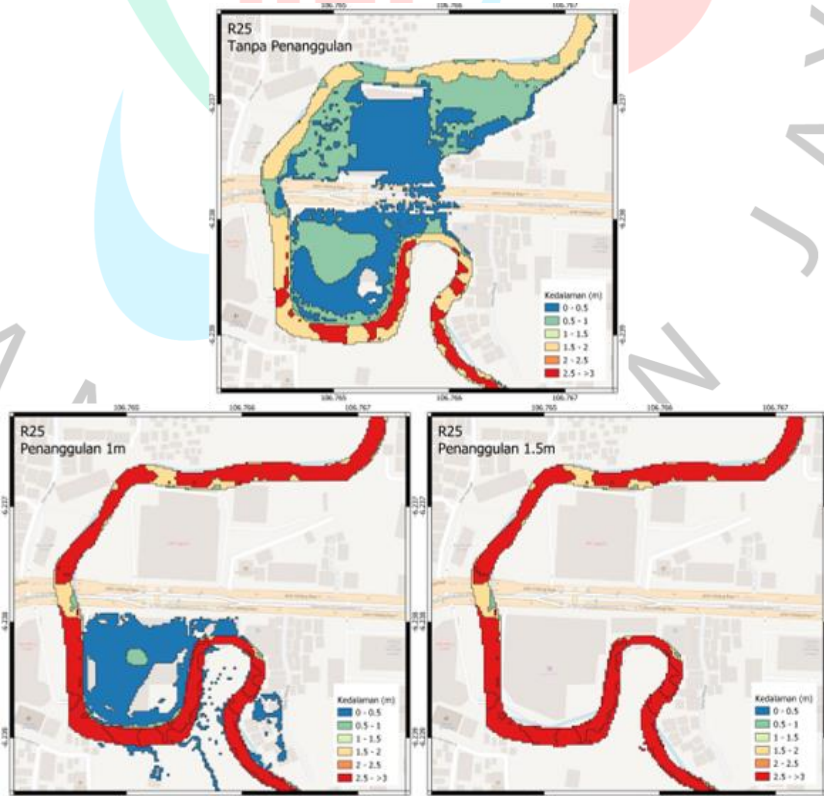
Sumber: Diolah Oleh Peneliti Dengan QGIS (2023)

Hasil dari analisis perubahan luasan banjir dan perbedaan kedalaman banjir termasuk dalam parameter karakteristik banjir yang digunakan pada penelitian ini. Perubahan banjir yang terjadi pada Kawasan Jalan Ciledug Raya, Cipulir didapatkan karena dilakukannya upaya penanggulangan pada Kali Pesanggrahan kawasan tersebut. Penurunan luasan banjir yang terjadi cukup signifikan pada peninggian tanggul sebesar 1 m hingga periode ulang 25 tahun. Tetapi, periode ulang 50 tahun memerlukan peninggian tanggul hingga 1.5 m yang berimplikasi pada peninggian jalan inspeksi di sebelah tanggul (Permen PU No. 08/PRT/M/2015 Pasal 21).

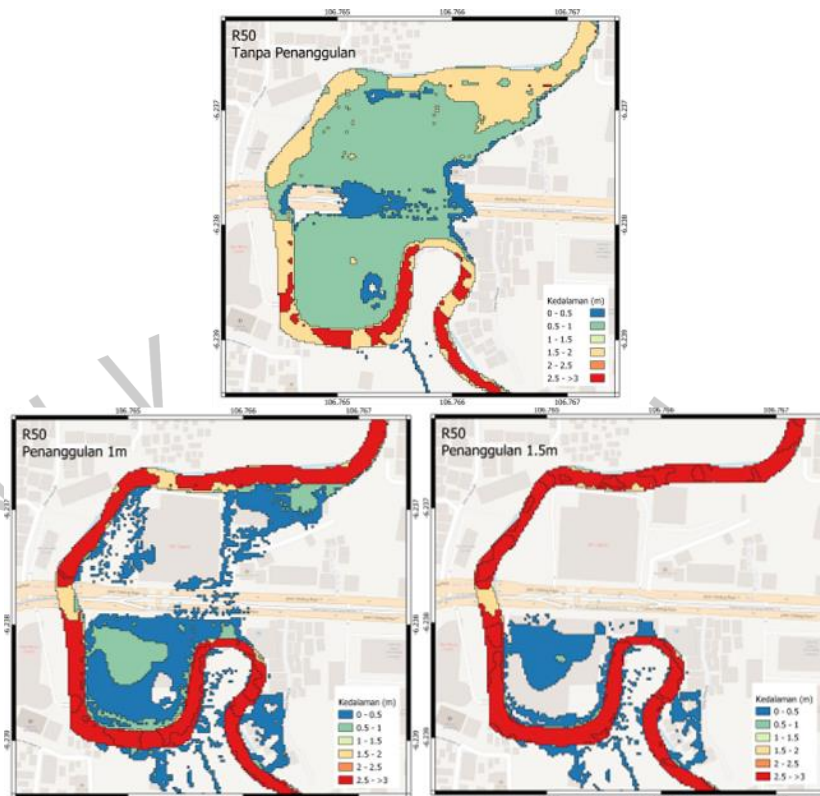
Dengan peninggian tanggul hingga 1.5 m atau lebih yang berimplikasi pada peninggian jalan inspeksi di sebelah tanggul menyebabkan diperlukan proses pengurangan yang membutuhkan lahan yang lebih besar untuk menjaga kestabilan tanah urugan. Perubahan karakteristik banjir yang terjadi pada lokasi yang diteliti akibat upaya penanggulangan 1 m dan 1,5 m dapat dilihat pada Gambar 4.31 sampai Gambar 4.33.



Gambar 4.31 Klasifikasi Kedalaman Banjir Periode Ulang 10 Tahun (Dokumentasi Pribadi, 2023)



Gambar 4.32 Klasifikasi Kedalaman Banjir Periode Ulang 25 Tahun (Dokumentasi Pribadi, 2023)



Gambar 4.33 Klasifikasi Kedalaman Banjir Periode Ulang 50 Tahun (Dokumentasi Pribadi, 2023)

Dari hasil yang didapatkan seperti pada Gambar 4.31 sampai Gambar 4.33, maka dapat dilihat perbedaan karakteristik banjir yang terjadi pada daerah penelitian karena adanya upaya penanggulangan di Kali Pesanggrahan. Perubahan tersebut disebabkan oleh peningkatan tanggul sehingga air yang meluap berubah luas dan kedalamannya. Perubahan terjadi cukup signifikan pada saat dilakukan upaya penanggulangan 1 m dengan sebelum dilakukan penanggulangan. Tetapi, pada saat penanggulangan 1 m dengan penanggulangan 1.5 m perubahan tidak terlalu besar.



Gambar 4.34 Grafik Perubahan Luasan Banjir (Dokumentasi Pribadi, 2023)

Tabel 4.27 Perubahan Luasan Banjir Relatif Terhadap Kondisi Eksisting Akibat Penanggulangan Pada Skenario Periode Ulang

Penambahan Elevasi Tanggul	Periode Ulang		
	R10	R25	R50
1	0.87	0.70	0.61
1.5	0.80	0.53	0.54

Sumber: Diolah Oleh Peneliti (2023)

Hasil penelitian yang sudah dilakukan mendapatkan hasil perubahan luasan yang terjadi akibat upaya penanggulangan yang dilakukan pada Kali Pesanggrahan. Hasil perubahan luasan dari setiap percobaan penanggulangan yang dilakukan dapat dilihat pada grafik yang ada pada Gambar 4.34.

A. Banjir Periode Ulang 10 Tahun

1. Banjir periode ulang 10 tahun yang terjadi tanpa adanya penanggulangan didapatkan luasan banjirnya sebesar 39,740 m². Maka dari itu, diperlukan penanggulangan dengan opsi penanggulangan 1 m dan didapatkan hasil luasan banjir dari penanggulannya sebesar 34,604 m² dengan perbandingan terjadi kondisi perubahannya sebesar 0.87.
2. Pada banjir periode ulang 10 tahun yang terjadi, dilakukan penanggulangan dengan opsi lain yaitu 1,5 m yang didapatkan hasil luasan banjirnya sebesar 31,636 m² dengan perbandingan terjadi kondisi perubahannya sebesar 0.80.

B. Banjir Periode Ulang 25 Tahun

1. Banjir periode ulang 25 tahun yang terjadi tanpa adanya penanggulangan didapatkan luasan banjirnya sebesar 59.380 m^2 . Maka dari itu, diperlukan upaya penanggulangan dengan opsi penanggulangan 1 m dan didapatkan hasil luasan banjir dari penanggulannya sebesar $41,832 \text{ m}^2$ dengan perbandingan terjadi kondisi perubahannya sebesar 0.70.
2. Pada banjir periode ulang 25 tahun yang terjadi, dilakukan penanggulangan dengan opsi lain yaitu 1.5 m dan didapatkan hasil luasan banjir dari penanggulangan sebesar $31,680 \text{ m}^2$ dengan perbandingan terjadi kondisi perubahannya sebesar 0.53.

C. Banjir Periode Ulang 50 Tahun

1. Banjir periode ulang 50 tahun yang terjadi tanpa adanya penanggulangan didapatkan luasan banjirnya sebesar $73,976 \text{ m}^2$. Maka dari itu, diperlukan upaya penanggulangan dengan opsi penanggulangan 1 m dan didapatkan hasil luasan banjir dari penanggulannya sebesar $44,937 \text{ m}^2$ dengan perbandingan terjadi kondisi perubahannya sebesar 0.61.
2. Pada banjir periode ulang 25 tahun yang terjadi, dilakukan penanggulangan dengan opsi lain yaitu 1.5 m dan didapatkan hasil luasan banjir dari penanggulangan tersebut sebesar $39,936 \text{ m}^2$ dengan perbandingan terjadi kondisi perubahannya sebesar 0.54.