

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Analisis dan Pengolahan Data

1.1.1 Data Teknis Bendungan Gonggang

Data mengenai kondisi teknis bendungan didapat dari Laporan Rencana Bendungan Gonggang PT. Indra Karya dan gambar DED (*Detail Engineering Design*) As Bendungan Gonggang pada Lampiran 1. Data teknis Bendungan Gonggang sebagai berikut:

1. Data Waduk:

Luas DAS	: 12,76 km ²
Aliran dasar (<i>base flow</i>)	: 10 m ³ /s
Volume tampungan total	: 2,2 juta m ³
Volume tampungan efektif	: 1,933 juta m ³
Volume tampungan minimum	: 0,267 juta m ³

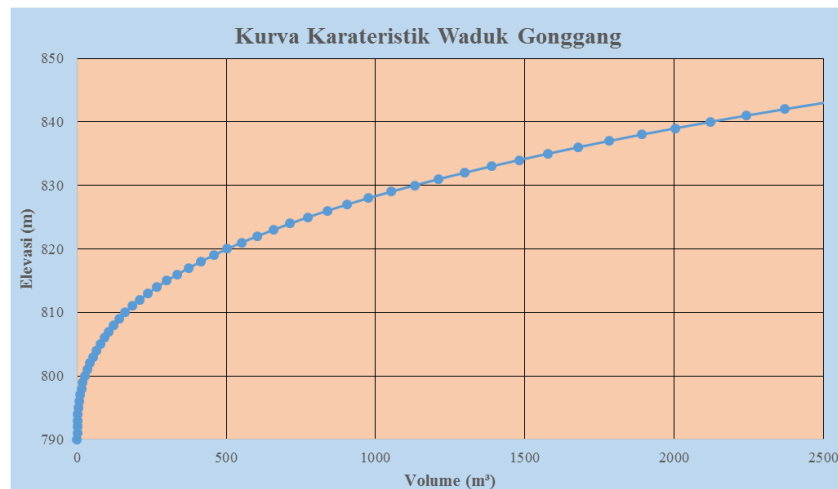
2. Data Bendungan

Tipe	: Urugan
Tinggi bendungan	: 53 m
Lebar mercu bendungan	: 10 m
Kemiringan lereng hulu	: 2,5
Kemiringan lereng hilir	: 2,0

3. Pelimpah

Tipe	: <i>Ogee</i> tanpa pintu
Lebar ambang	: 18 m
Tinggi ambang	: 12 m
Konstruksi	: beton

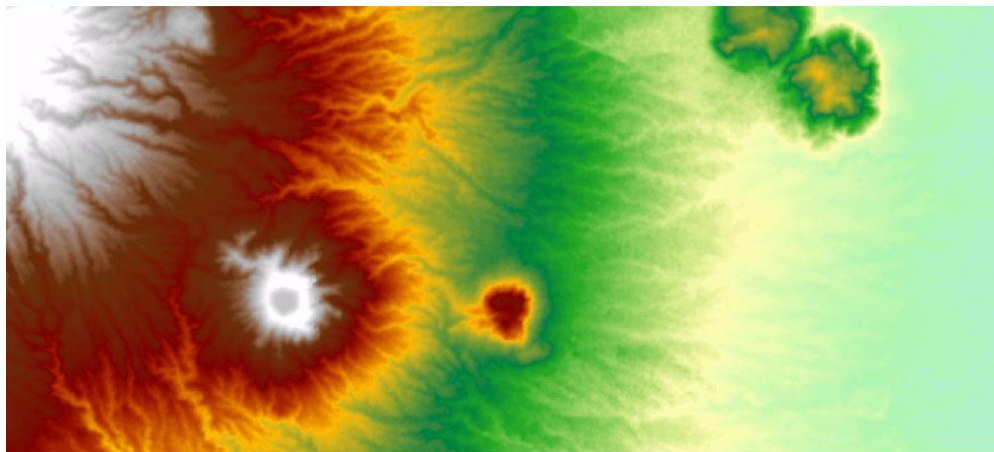
Data mengenai karakteristik tampungan didapat dari Laporan Penunjang Hidrologi Inspeksi Besar Bendungan Gonggang 2017 PT. Mettana dapat dilihat pada Lampiran 4 dan Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5. 1 Kurva Karakteristik Tampungan Bendungan Gonggang
(Sumber: PT. Mettana 2017)

1.1.2 Data Geometri

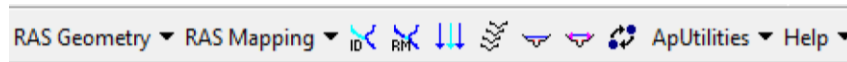
Karena terbatasnya data pengukuran lapangan, maka data geometri pada daerah hilir Bendungan Gonggang didapatkan dari data fotogrametik DEMNAS. Data DEMNAS yang telah unduh di tunjukan pada Gambar 5.2 berikut in.



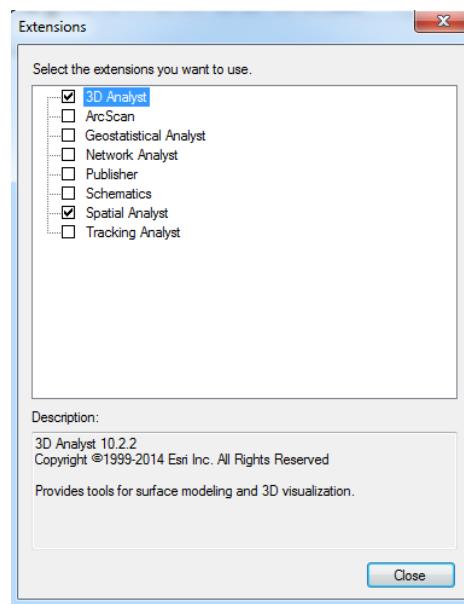
Gambar 5. 2 Data DEMNAS
(Sumber: <http://tides.big.go.id>)

Untuk mendapatkan data tampang lintang sungai dari data DEM digunakan HEC-GeoRAS 10.2 *tools* yang terintegrasi dengan *software* ArcGIS 10.2. HEC-GeoRAS 10.2 *tools* diperlukan aktivasi melalui menu *Customize | Toolbars* dan

aktivasi ekstensi *3D Analyst* dan *Spatial Analyst* dalam ArcGIS seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4.



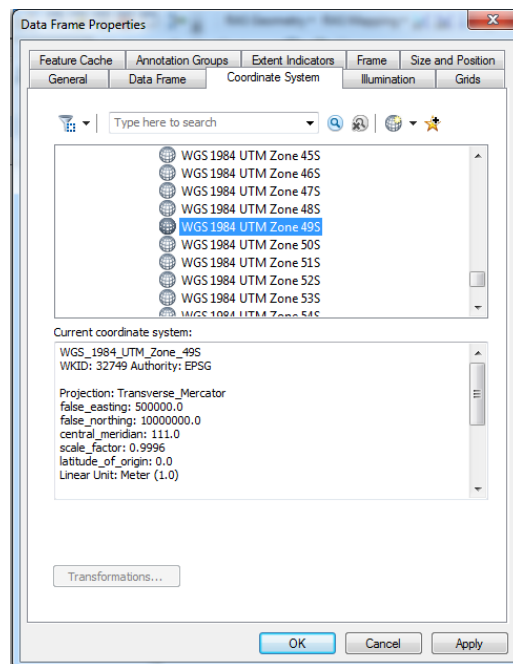
Gambar 5. 3 Tools HEC-GeoRAS 10.2



Gambar 5. 4 Aktivasi Ekstensi 3D Analyst dan Spatial Analyst

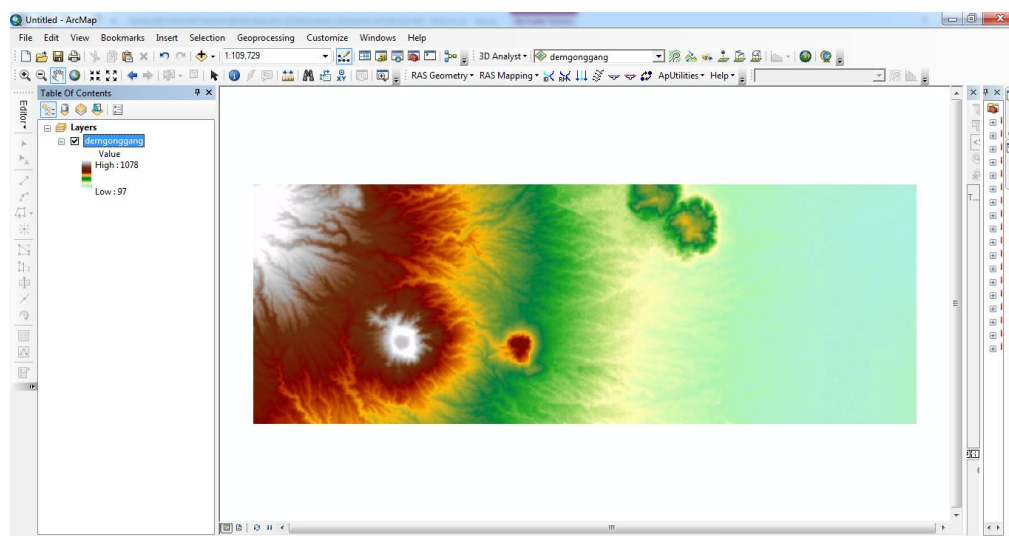
1. *Project* ArcGIS 10.2

Pertama dalam pembuatan *project* ArcGIS 10.2 adalah menentukan sistem koordinat yang akan digunakan. Ada dua sistem koordinat yang biasa digunakan yaitu koordinat geografi dan *Universal Transverse Mercator* (UTM). Sistem koordinat geografi menunjukan titik di bumi berdasarkan garis lintang dan garis bujur, sedangkan UTM menggunakan zona-zona untuk menunjukan suatu daerah tertentu. Karena peta yang digunakan memiliki sungai yang panjang sehingga lebih tepat menggunakan sistem koordinat UTM. Melihat zona UTM, Bendungan Gonggang masuk dalam zona 49S. Pengaturan sistem koordinat pada ArcGIS dapat dilihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5. 5 Pengaturan sistem koordinat pada ArcGIS

Setelah menentukan sistem koordinat yang digunakan, masukan data DEM yang telah diunduh ke *project* ArcGIS, tampilan ArcGIS akan seperti pada Gambar 5.6.



Gambar 5. 6 Tampilan DEM dalam Software ArcGIS 10.2

2. Digitasi *Layer* Geometri Sungai

Langkah selanjutnya adalah membuat sejumlah *layer*. *Layer* ini biasa disebut sebagai *RAS Layer* berupa garis *stream centerline* (garis tengah alur sungai), *flow path centerline* (alur aliran), *main channel banks* (tebing kiri-kanan sungai alur utama), *cross section cut lines* (garis tampang lintang sungai). Pada setiap pembuatan *layer*, langkah yang dilakukan pada dasarnya adalah membuat *feature* dan memberikan atribut pada *layer*. Dalam digitasi *layer* geometri sungai pada tugas akhir ini menggunakan bantuan *basemap*, dikarenakan data DEM yang digunakan tidak menunjukkan tampak atas sungai yang ditinjau secara jelas.

Layer yang pertama harus dibuat adalah *layer stream center line*, *layer* ini bertujuan untuk mendefinisikan alur jaringan sungai yang ditinjau. *Layer* ini berupa garis yang di digitasi dari hulu ke hilir sungai yang ditinjau, lalu selanjutnya pemberian nama sungai (*river name*) dan penggalnya (*reach name*) dengan menggunakan *tools River ID*. Setelah pemberian nama sungai dan penggalnya langkah selanjutnya pemberian atribut pada sungai dengan cara pilih menu *RAS Geometry I | Stream Centerline Attributes | All*. Pemberian atribut pada sungai yang telah dilakukan digitasi maka topologi, panjang sungai/penggal, dan elevasi terdefiniskan.

Layer yang kedua dibuat adalah *layer main channel banks*, *layer* ini mendefinisikan batas antara sungai utama dengan bantaran sungai.

Layer yang ketiga dibuat adalah *flow path centerline*, *layer* ini mendefinisikan aliran di alur utama, bantaran sungai kiri, dan bantaran sungai kanan yang bertujuan untuk mengetahui parameter *downstream reach lengths* pada aliran sungai. Untuk *layer flow path* pada bagian alur utama sudah diwakilkan dengan *layer stream center line* sedangkan untuk *flow path* pada bagian bantaran kiri dan bantaran kanan digitasi dari hulu ke hilir dengan posisi yang lebih luar dari *bank lines*. Setelah selesai melakukan digitasi dilakukan pemberian label pada *flow path*, pilih *Left, Channel, Right* sesuai dengan bagian aliran untuk masing masing *flow path*.

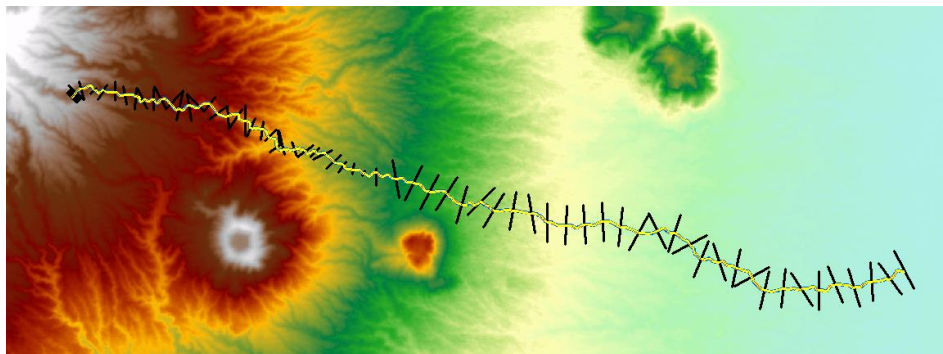
Layer yang keempat dibuat adalah *cross section cut lines*, layer ini mendefinisikan tampang melintang sungai disepanjang sungai yang ditinjau. Dalam digitasi *layer cross section cut line* ini ada beberapa hal yang harus diperhatikan meliputi:

- a. harus berpotongan tegak lurus,
- b. *layer cross section cut line* satu dengan yang lain tidak boleh saling memotong,
- c. mencakup kawasan banjir yang akan dimodelkan,
- d. digitasi dilakukan dari arah kiri ke kanan bantaran sungai dengan orientasi menghadap ke hilir sungai.

Peneliti dalam digitasi *layer cross section cut line* menggunakan bantuan *Construct XS Cut Lines* untuk membuat irisan tegak lurus sungai. Dikarenakan hasil dari digitasi menggunakan *Construct XS Cut Lines* ada beberapa irisan yang saling berpotongan, maka lebar irisan harus dipotong menyesuaikan dengan bentuk alur sungai.

Setelah digitasi *cross section cut lines* selesai dilakukan, langkah selanjutnya pemberian atribut pada *cross section* dengan cara pilih menu *RAS Geometry | XS Cut Line Attributes | All*. Dengan pemberian atribut pada *cross section* yang telah dilakukan digitasi maka stasioning, bantaran, jarak satu *cross section* dengan *cross section* dihilirnya, dan elevasi terdefinisikan.

Berikut ini hasil dari digitasi *RAS Layer* berupa garis *stream centerline*, *flow path centerline*, *main channel banks*, *cross section cut lines* yang telah dibuat dapat dilihat pada Gambar 5.7.

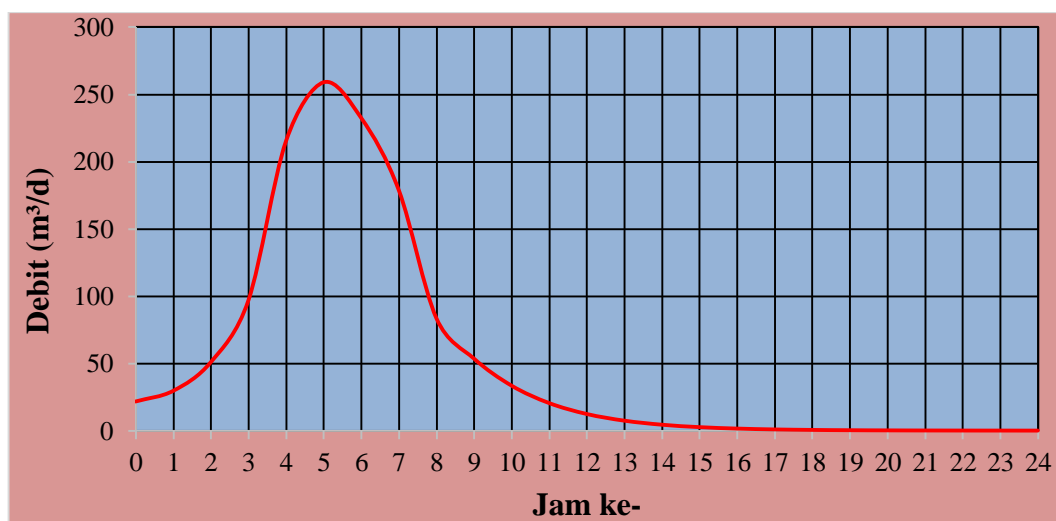


Gambar 5. 7 Tampilan Digitasi RAS Layer

1.1.3 Data Hidrologi

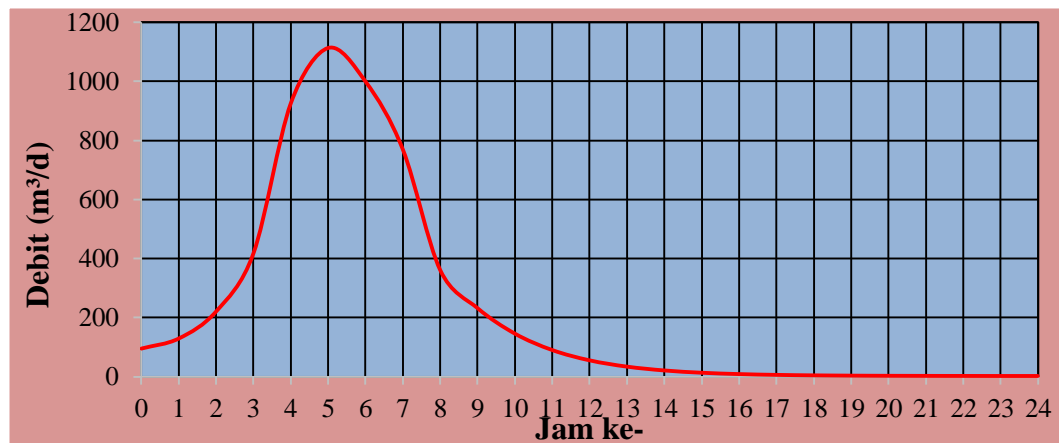
Data hidrologi didapatkan dari Laporan Penunjang Hidrologi Inspeksi Besar Bendungan Gonggang 2017 PT. Mettana. Dalam pemodelan Bendungan Gonggang ditetapkan kondisi awal tampungan waduk pada elevasi banjir normal yang berada tepat dengan elevasi ambang pelimpah yaitu pada elevasi +831,00 m. Keruntuhan bendungan *overtopping* terjadi apabila elevasi muka air waduk tepat di hulu bendungan melebihi elevasi mercu bendungan sehingga air dalam waduk melimpas melewati mercu bendungan. Hidrograf banjir rencana Q_{PMF} yang ada tidak menyebabkan elevasi muka air waduk melebihi mercu Bendungan Gonggang, oleh karena itu Q_{PMF} perlu dimodifikasi agar hidrograf banjir yang dimasukkan kedalam pemodelan dapat menyebabkan *overtopping*. Dengan cara *trial* pada HEC-RAS didapatkan $4,3Q_{PMF}$ yang menyebabkan elevasi muka air waduk tepat di hulu bendungan melebihi elevasi mercu.

Data hidrograf banjir rencana Bendungan Gonggang Q_{PMF} untuk simulasi keruntuhan *piping* dapat dilihat pada Lampiran 5 dan Gambar 5.8, sedangkan hasil modifikasi berupa $4,3Q_{PMF}$ untuk simulasi keruntuhan *overtopping* dapat dilihat pada Lampiran 5 dan Gambar 5.9.



Gambar 5. 8 Hidrograf Rencana Q_{PMF} untuk Simulasi Keruntuhan akibat *Piping*

(Sumber: PT.METTANA 2017)



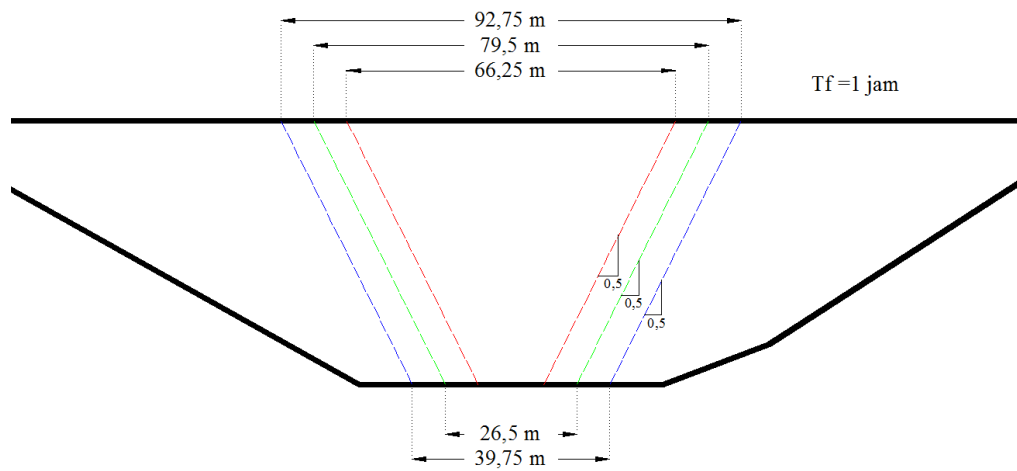
Gambar 5. 9 Hidrograf Rencana $4,3 \times Q_{PMF}$ untuk Simulasi Keruntuhan akibat *Overtopping*

1.1.4 Parameter Keruntuhan

Dalam penelitian ini keruntuhan *overtopping* dan *piping* menggunakan variasi parameter keruntuhan yang disesuaikan dengan bentuk geometri Bendungan Gonggang menurut prediksi yang dikeluarkan oleh *U.S. Army Corp of Engineer* (USACE). Nilai lebar rekahan keruntuhan rata-rata (B_{avg}) berkisar antara 0,5 sampai dengan 3,0 dari tinggi bendungan, kemiringan rekahan (z) antara 0 sampai dengan 1,0, dan waktu keruntuhan (T_f) antara 0,5 jam sampai dengan 4,0 jam. Skenario keruntuhan akibat *overtopping* dan *piping* dapat dilihat pada Tabel 5.1, Tabel 5.2, dan Tabel 5.3 serta Gambar 5.10, Gambar 5.11, dan Gambar 5.12.

Tabel 5. 1 Skenario Variasi Lebar Rerata Keruntuhan akibat *Overtopping* dan *Piping*

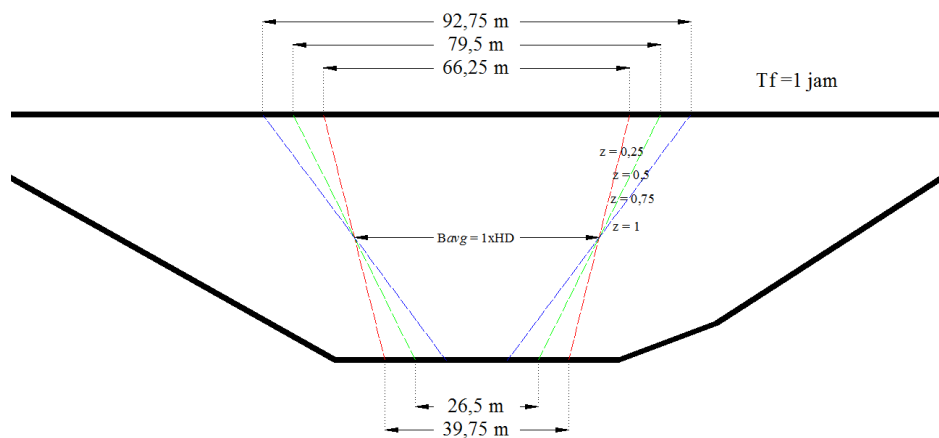
Skenario	Parameter Keruntuhan					
	B_{avg} (m)		Lebar puncak rekahan B_t (m)	Lebar dasar rekahan B_b (m)	Kemiringan rekahan z	Durasi (jam)
1	0,75xHD	39,75	66,25	13,25	0,5	1
2	1xHD	53	79,5	26,5	0,5	1
3	1,25xHD	66,25	92,75	39,75	0,5	1



**Gambar 5. 10 Skenario Variasi Lebar Rerata Keruntuhan akibat
*Overtopping dan Piping***

**Tabel 5. 2 Skenario Variasi Kemiringan Rekahan Keruntuhan akibat
*Overtopping dan Piping***

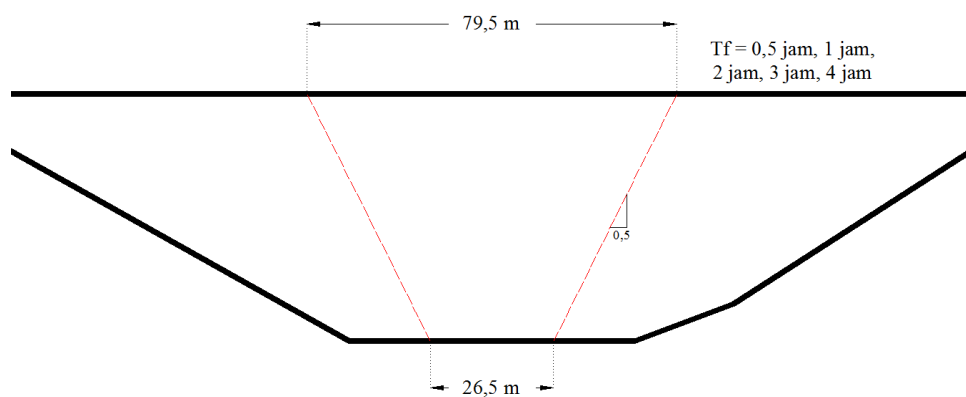
Skenario	Parameter Keruntuhan					
	B_{avg} (m)		Lebar puncak rekahan B_t (m)	Lebar dasar rekahan B_b (m)	Kemiringan rekahan z	Durasi (jam)
1	1xHD	53	66,25	39,75	0,25	1
2	1xHD	53	79,5	26,5	0,5	1
3	1xHD	53	92,75	13,25	0,75	1



Gambar 5. 11 Skenario Variasi Kemiringan Keruntuhan akibat *Overtopping dan Piping*

Tabel 5. 3 Skenario Variasi Waktu Rekahan Keruntuhan akibat *Overtopping* dan *Piping*

Skenario	Parameter Keruntuhan					
	B_{avg} (m)		Lebar puncak rekahan B_t (m)	Lebar dasar rekahan B_b (m)	Kemiringan rekahan z	Durasi (jam)
1	1xHD	53	79,5	26,5	0,5	0,5
2	1xHD	53	79,5	26,5	0,5	1
3	1xHD	53	79,5	26,5	0,5	2
4	1xHD	53	79,5	26,5	0,5	3
5	1xHD	53	79,5	26,5	0,5	4



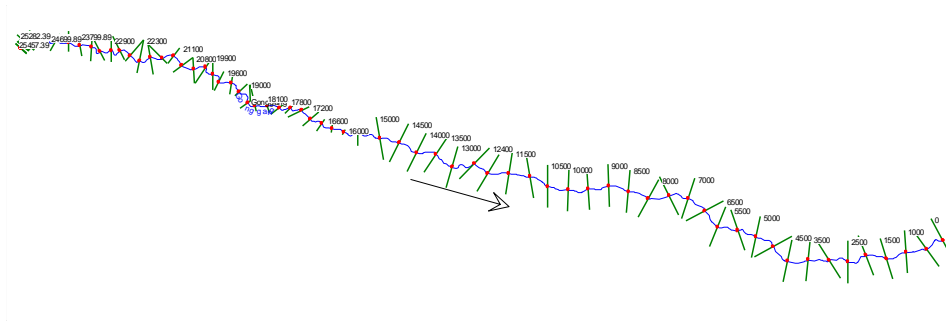
Gambar 5. 12 Skenario Variasi Waktu Keruntuhan akibat *Overtopping* dan *Piping*

5.2 Pengolahan Data dalam *Software* HEC-RAS 4.1.0

5.2.1 Masukan Data Geometri

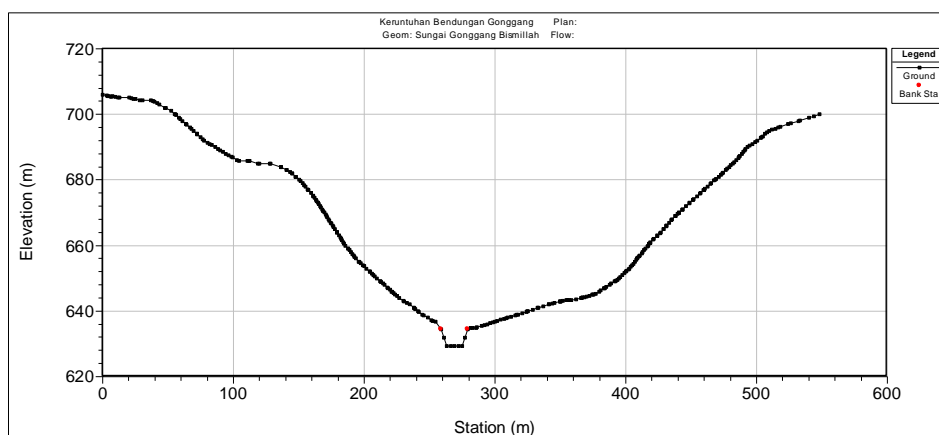
1. Tampang Melintang dan Memanjang Sungai

Untuk membuka hasil digitasi *RAS Layer* yang telah dibuat dalam Hec-GeoRAS dalam *software* HEC-RAS pilih menu *Edit/Enter geometric data* | *File* | *Import Geometri Data* | *GIS Data*, kemudian pilih file hasil ekspor yang telah dibuat sebelumnya. Berikut ini hasil digitasi yang telah di ekspor kedalam *software* HEC-RAS dapat di lihat pada Gambar 5.13.

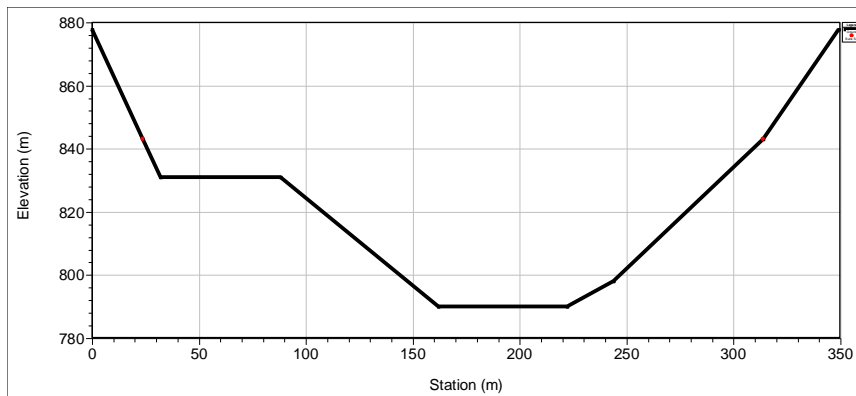


Gambar 5. 13 Tampilan Hasil Digitasi *RAS Layer* dalam *Software* HEC-RAS 4.1.0

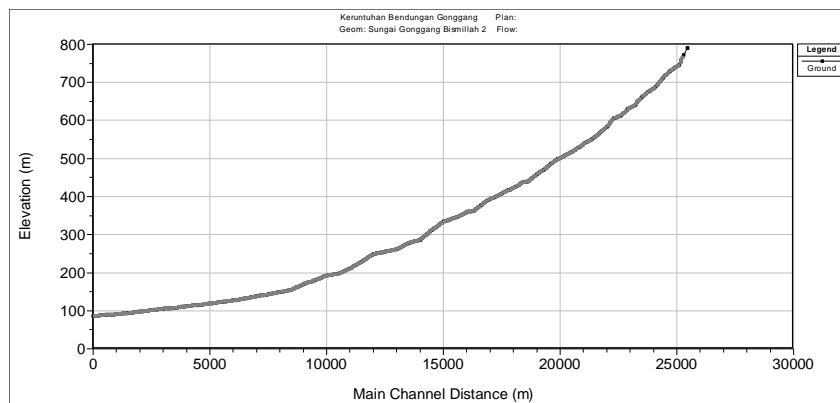
Setelah data geometri berhasil di *import* dalam HEC-RAS 4.1.0, kemudian dilakukan koreksi meliputi tampang melintang pada as Bendungan Gonggang sesuai dengan gambar DED Laporan Rencana Bendungan Gonggang PT. Indra Karya dan tampang melintang sungai bagian hilir bendungan dikarenakan pada hasil digitasi yang diolah sebelumnya geometri sungai tidak tampak. Berhubung tidak ada data pengukuran lapangan pada geometri sungai di bagian hilir Bendungan Gonggang, maka dalam penelitian ini geometri sungai di asumsikan oleh peneliti. Berikut ini contoh tampilan masukan data tampang melintang sungai pada HEC-RAS 4.1.0 ditunjukkan pada Gambar 5.14 dan 5.15, sedangkan tampilan masukan data tampang memanjang sungai pada HEC-RAS 4.1.0 ditunjukkan pada Gambar 5.16.



Gambar 5. 14 Contoh Masukan Data Tampang Melintang Sungai di Sta 22+900 pada *Software* HEC-RAS 4.1.0



Gambar 5. 15 Masukan Data Tampang Melintang Sungai pada As Bendungan Gonggang pada *Software* HEC-RAS 4.1.0



Gambar 5. 16 Masukan Data Tampang Memanjang Sungai pada *Software* HEC-RAS 4.1.0

2. Koefisien Kekasaran *Manning*

Koefisien *Manning* dalam penelitian ini diasumsikan sama sepanjang sungai, dalam menentukan nilai *Manning* dilakukan dengan pendekatan dari interpretasi foto situasi sungai yang didapatkan dari *Google Earth* dengan pedoman dari buku manual HEC-RAS *River Analysis System Hydraulic Reference Manual* (Brunner, 2010). Bersih, berliku-liku, ada beberapa kolam dan dangkalan dengan beberapa batu dan gulma mempunyai nilai *manning* sebesar 0,05 sedangkan bagian bantaran sebesar 0,035. Foto kondisi Sungai Gonggang ditunjukkan pada Gambar 5.17.



Gambar 5. 17 Kondisi Sungai Gonggang
(Sumber: <https://earth.google.com>)

3. Geometri Bendungan Gonggang

Untuk melakukan peniruan geometri bendungan maka langkah pertama yang diperlukan yaitu pilih menu *Edit and/or create inline structure*. Klik menu *Options | Add an Inline Structure*, kemudian menuliskan nomor tampang lintang Bendungan Gonggang yaitu pada Sta 25+357,39 klik OK. Maka sebuah tampang lintang baru Sta 25+357,39 akan muncul pada layar editor data *inline structure*. Setelah itu pilih *Weir/Embankment* dan mengisi data sesuai dengan geometri Bendungan Gonggang seperti pada Gambar 5.18.

- Distance* diisikan jarak dari lintang hulu (RS 25+452,39) yaitu 95 m.
- Width* merupakan lebar puncak bendungan di sepanjang sungai yaitu 10 m.
- Weir coef* merupakan koefisien aliran yaitu 1,4.
- U.S Embankment SS* adalah kemiringan hulu bendungan yaitu 2,5.
- D.S Embankment SS* adalah kemiringan hilir bendungan yaitu 2.

Pada penelitian ini konstruksi *spillway* diproyeksikan sejajar dengan tubuh bendungan, pemodelan *spillway* dilakukan dengan memasukkan data elevasi dan jarak dari ambang pelimpah yaitu pada elevasi +831,00 dengan lebar ambang yaitu 18 meter. Setelah semua data geometri bendungan telah dimasukkan selanjutnya klik tombol OK, maka gambar *weir* pada layar editor *inline structure* tampak seperti Gambar 5.19.

Inline Structure Weir Station Elevation Editor

Distance	Width	Weir Coef
95	10	1.4

Clear Del Row Ins Row Filter...

Edit Station and Elevation coordinates

	Station	Elevation
1	23.85	843.
2	38.716	843.
3	38.716	831.
4	56.716	831.
5	56.716	843.
6	313.955	843.
7		
8		

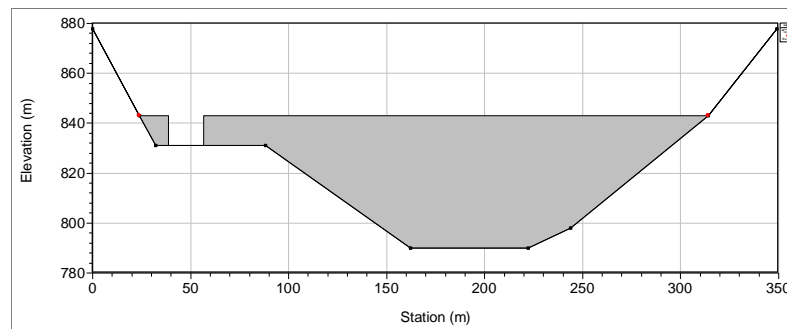
U.S Embankment SS 2.5 D.S Embankment SS 2

Weir Data
Weir Crest Shape
☒ Broad Crested
☐ Ogee

OK Cancel

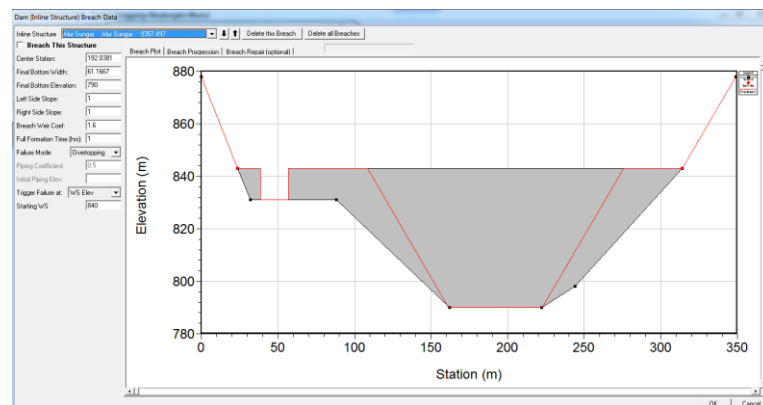
Enter distance between upstream cross section and deck/roadway. (m)

Gambar 5. 18 Tampilan *Inline Structure Weir Station Elevation Editor*



Gambar 5. 19 Tampilan *Inline Structure Data*

Setelah memasukkan data geometri selanjutnya parameter rekahan yang telah dihitung sebelumnya dimasukkan ke dalam *toolbar Breach (plan data)*. Contoh masukan data parameter keruntuhan dapat dilihat pada Gambar 5.20.



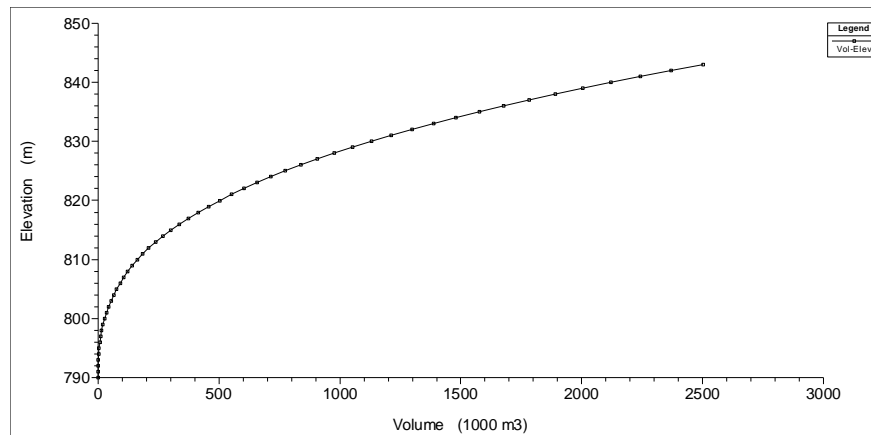
Gambar 5. 20 Contoh Masukan Data Parameter Keruntuhan Bendungan

4. Pemodelan Waduk Gonggang

Karena terbatasnya data yang ada maka pemodelan Waduk Gonggang menggunakan metode *level pool routing*. Pada metode ini area tampungan Waduk Gonggang ditempatkan sebagai batas hulu dalam pemodelan hidraulika. Pemodelan dengan metode *level pool routing* dilakukan dengan memasukkan data karakteristik tampungan Waduk Gonggang yaitu berupa grafik hubungan antara elevasi muka air dengan volume tampungan dalam waduk ke dalam *software* HEC-RAS.

Sementara untuk peniruan geometri sungai di daerah genangan dapat dilakukan dengan pilih tombol *Storage Area* pada layar geometri data. Menggambarkan daerah genangan waduk dengan mengklik garis-garis pada layar geometri data sampai dengan garis terakhir berhenti pada titik pertama pembuatan genangan waduk. Memberi nama pada layar yang muncul setelah pembuatan geometri data waduk. Selanjutnya menggabungkan *storage area* dengan geometri sungai dengan cara memilih menu *Edit | Move Object* kemudian pilih skema sungai paling hulu dan menariknya sampai dengan *storage area* sampai muncul perintah seperti gambar dibawah ini lalu pilih *Yes*.

Setelah *storage area* sudah tergabung dengan skema sungai masukan data karakteristik tampungan Waduk Gonggang dengan cara mengklik *storage area* pada layar geometri data. Setelah tampilan layar editor dari *storage area* muncul maka langkah selanjutnya yaitu memilih *Elevation versus Volume Curve*, selanjutnya memasukkan data elevasi dan volume tampungan. Agar simulasi dalam *software* HEC-RAS stabil elevasi muka air awal pada tampang sungai paling hulu harus sama dengan elevasi muka air awal dalam waduk tersebut. Masukan data karakteristik tampungan Waduk Gonggang dalam *software* HEC-RAS dapat dilihat dalam Gambar 5.21.



Gambar 5. 21 Masukan Data Grafik Karakteristik Hubungan Elevasi Muka Air dengan Volume Waduk Gonggang

5.2.2 Masukan Data Hidrologi dan Kondisi Batas

Kondisi batas dalam pemodelan ini yakni sebagai berikut ini.

1. Kondisi batas hilir berupa *normal depth (friction slope)* pada tampang lintang batas hilir Sta. 0+000 sebesar 0,008.
2. Kondisi batas pada *storage area* terdapat *lateral inflow* digunakan debit rancangan Q_{PMF} untuk keadaan tanpa keruntuhan dan keruntuhan *piping* serta $4,3Q_{PMF}$ untuk keruntuhan *overtopping*.
3. Kondisi awal (*initial condition*) berupa debit yang sudah ada sebelum dimulainya simulasi di tampang melintang batas hulu yaitu pada Sta. 25+457,39 sebesar debit aliran dasar (*base flow*) yakni $10,00 \text{ m}^3/\text{s}$.
4. Kondisi awal (*initial condition*) pada *storage area* digunakan elevasi banjir normal yang berada tepat dengan elevasi ambang pelimpah yaitu pada elevasi +831,00 m.
5. Kondisi awal (*initial condition*) pada tampang lintang Sta. 25+457,39 dan Sta 25+452,39 digunakan elevasi banjir normal yang berada tepat dengan elevasi ambang pelimpah yaitu pada elevasi +831,00 m.

Unsteady Flow Data - Unsteady Flow 01

File Options Help

Boundary Conditions Initial Conditions Apply Data

Boundary Condition Types

Stage Hydrograph Flow Hydrograph Stage/Flow Hydr. Rating Curve

Normal Depth Lateral Inflow Hydr. Uniform Lateral Inflow Groundwater Interflow

T.S. Gate Openings Elev Controlled Gates Navigation Dams IB Stage/Flow

Rules

Add Boundary Condition Location

Add RS... Add Storage Area... Add SA Connection... Add Pump Station...

Select Location in table then select Boundary Condition Type

River	Reach	RS	Boundary Condition
1 Alur Sungai	Alur Sungai	0	Normal Depth
Storage Areas			
1 Waduk Gonggang			Lateral Inflow Hydr.

Initial internal water surface elevations set

Gambar 5. 22 Data *Boundary Condition*

Unsteady Flow Data - Qpmf

File Options Help

Boundary Conditions Initial Conditions Apply Data

Initial Flow Distribution Method

☐ Use a Restart File Filename:

☒ Enter Initial flow distribution

Add RS...

Locations of Flow Data Changes

River	Reach	RS	Initial Flow
1 Gonggang	Gonggang	25457.39	10

Initial Elevation of Storage Areas Import Min SA Elevation(s)

Storage Area	Initial Elevation
1 Waduk Gonggang	831

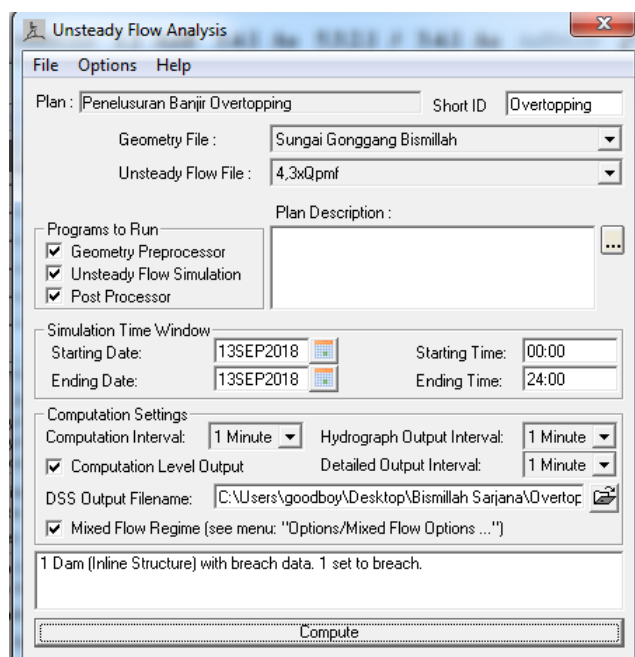
Initial internal water surface elevations set

Gambar 5. 23 Data Kondisi Awal (*Initial Condition*)

5.2.3 Running Simulasi

Pengaturan *running* simulasi dilakukan sebagai berikut ini.

1. Waktu simulasi diatur pada *simulation time window*, pada penelitian ini waktu simulasi ditentukan dari tanggal 13 September 2018 pukul 00:00 sampai dengan tanggal 13 September 2018 pukul 24:00.
2. Interval waktu perhitungan (*time step*) dan *interval* waktu keluaran hidrograf digunakan 1 menit, sedangkan *detail output interval* ditetapkan 1 menit.
3. Simulai *unsteady flow* dengan *mixed flow regime* yaitu simulasi dengan kombinasi antara kondisi aliran campuran *subkritik* dan *superkritik*.

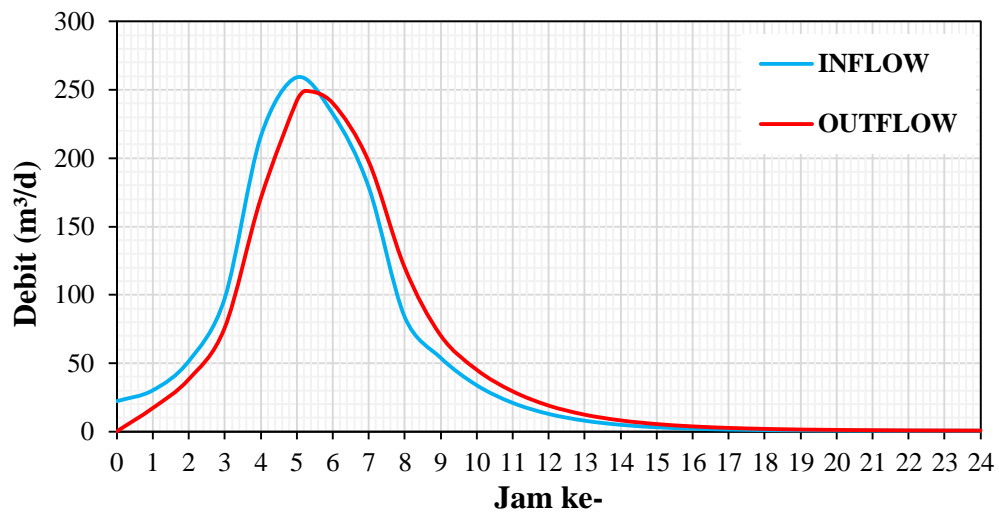


Gambar 5. 24 Contoh Masukan *Running Simulasi*

5.3 Hasil Simulasi dan Pembahasan

5.3.1 Simulasi Tanpa Keruntuhan

Simulasi tanpa keruntuhan bertujuan untuk mengetahui apakah sistem aliran sungai hasil pemodelan pada HEC-RAS sudah stabil atau belum dan mendapatkan karakteristik aliran pada Bendungan Gonggang yang disebabkan oleh debit *inflow* Q_{PMF} . Hasil hidrograf banjir Q_{PMF} *inflow* dan *outflow* pada Bendungan Gonggang dapat dilihat pada Gambar 5.25.

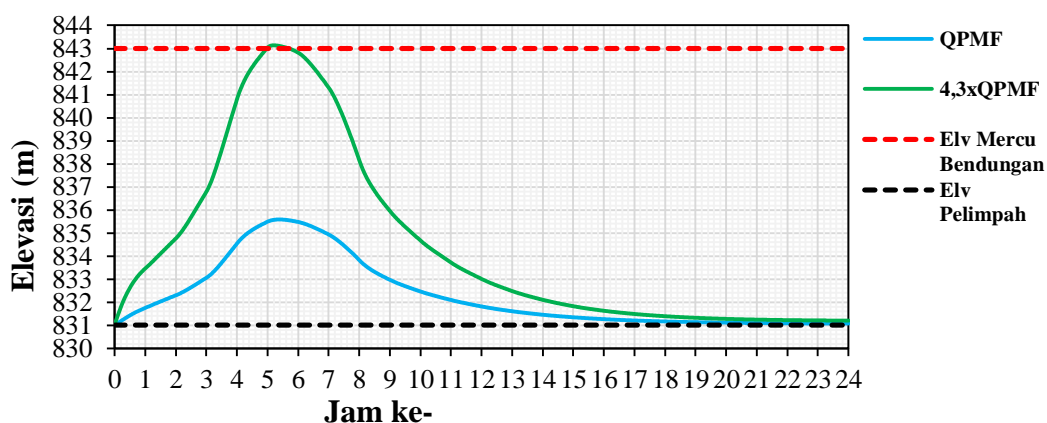


Gambar 5. 25 Grafik Hidrograf Q_{PMF} Inflow dan Outflow pada Bendungan Gonggang

Penjelasan hasil simulasi banjir tanpa keruntuhan pada Bendungan Gonggang adalah sebagai berikut ini.

1. Debit puncak *inflow* Q_{PMF} sebesar 259,1 m³/s terjadi pada jam ke-5.
2. Hasil simulasi keadaan banjir tanpa keruntuhan bendungan menghasilkan debit *outflow* pada Bendungan Gonggang sebesar 249,07 m³/s terjadi pada jam ke-5,24.
3. Terjadi selisih antara debit puncak *inflow* dengan debit puncak *outflow* sebesar 10,03 m³/s dan selisih waktu debit puncak sebesar 24 menit.
4. Debit puncak *outflow* dari bendungan mengalami penurunan dari debit *inflow*, hal ini dikarenakan pengaliran debit dari waduk pada saat melewati bendungan. terbatas oleh dimensi pelimpah sehingga ada sebagian debit yang terhalang oleh badan Bendungan Gonggang. Selisih waktu merupakan waktu yang diperlukan debit *inflow* untuk masuk kedalam tampungan (*storage*) pada bendungan dan keluar dari bendungan melalui pelimpah sebagai debit *outflow*. Penurunan debit puncak *outflow* dari bendungan yang sangat kecil dikarenakan pada penelitian ini tidak dilakukan penelusuran tampungan (waduk) sehingga tidak terjadi peredaman oleh tampungan.

Dari hasil simulasi tanpa keruntuhan Waduk Gonggang dan Bendungan Gonggang dapat menjalankan fungsinya dengan baik apabila terjadi debit banjir sebesar Q_{PMF} dengan kondisi awal muka air pada elevasi +831,00, elevasi saat debit puncak Q_{PMF} berada pada elevasi +835,60 sehingga tidak terjadi *overtopping*. Bendungan Gonggang terjadi *overtopping* apabila terjadi debit sebesar $4,3Q_{PMF}$, elevasi saat debit puncak $4,3Q_{PMF}$ berada pada elevasi +843,15, sehingga elevasi ini cukup untuk memulai keruntuhan bendungan yang disebabkan oleh melimpasnya air diatas mercu bendungan. Grafik elevasi dengan debit banjir Q_{PMF} dan $4,3Q_{PMF}$ pada Bendungan Gonggang dapat dilihat pada Gambar 5.26.



Gambar 5. 26 Grafik Elevasi Q_{PMF} dan $4,3Q_{PMF}$ Bendungan Gonggang

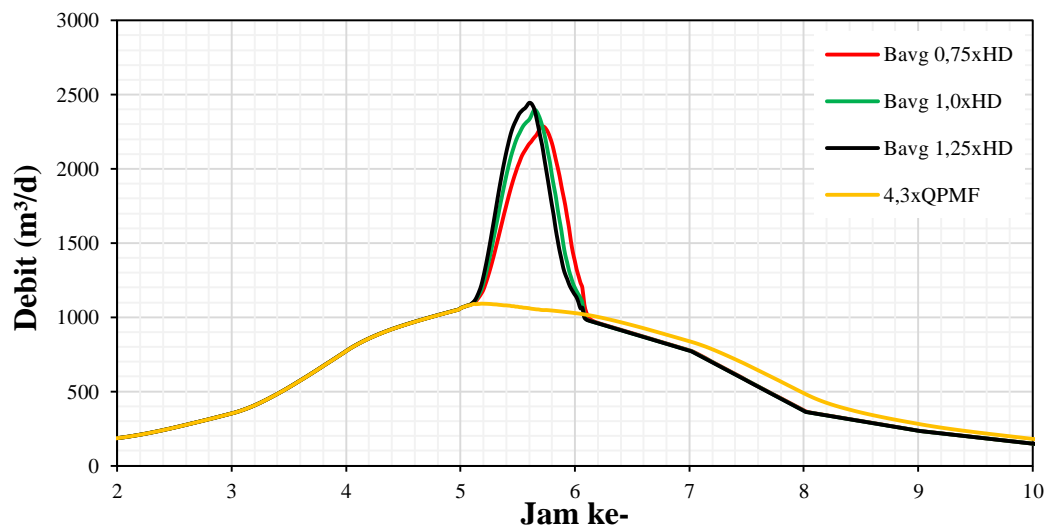
5.3.2 Perbandingan Hasil Simulasi

Perbandingan hasil simulasi dilakukan terhadap simulasi tanpa keruntuhan dengan simulasi keruntuhan akibat *overtopping* dan *piping*. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan banjir yang terjadi ketika tidak terjadi keruntuhan dengan banjir akibat keruntuhan bendungan secara *overtopping* dan *piping* serta untuk mengetahui pengaruh parameter keruntuhan terhadap hidrograf banjir yang dihasilkan. Debit *inflow* yang digunakan dalam simulasi tanpa keruntuhan dan simulasi keruntuhan akibat *piping* adalah debit Q_{PMF} , sedangkan simulasi keruntuhan akibat *overtopping* digunakan debit $4,3Q_{PMF}$. Parameter perbandingan yaitu hidrograf banjir pada tampang *inline structure*, kecepatan banjir maksimum sepanjang sungai, dan debit maksimum sepanjang sungai.

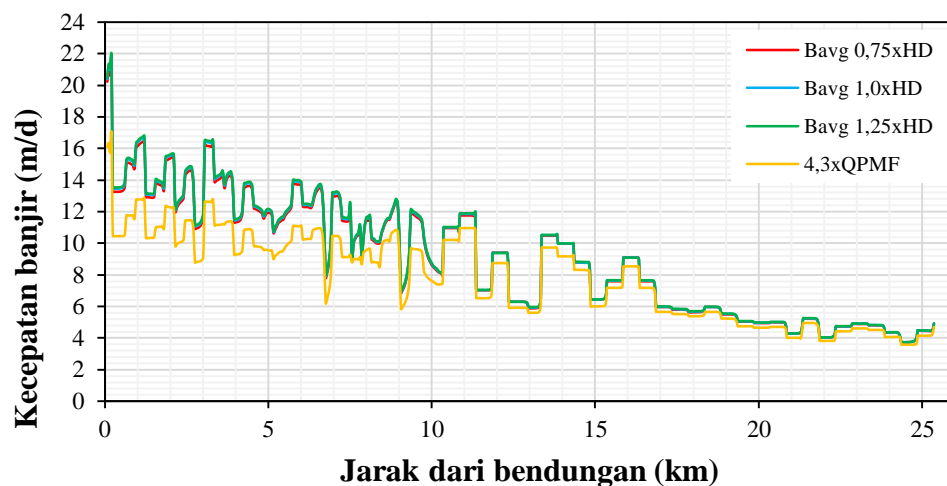
1. Keruntuhan *Overtopping*

a. Sensitivitas Lebar Rerata Rekahan (B_{avg})

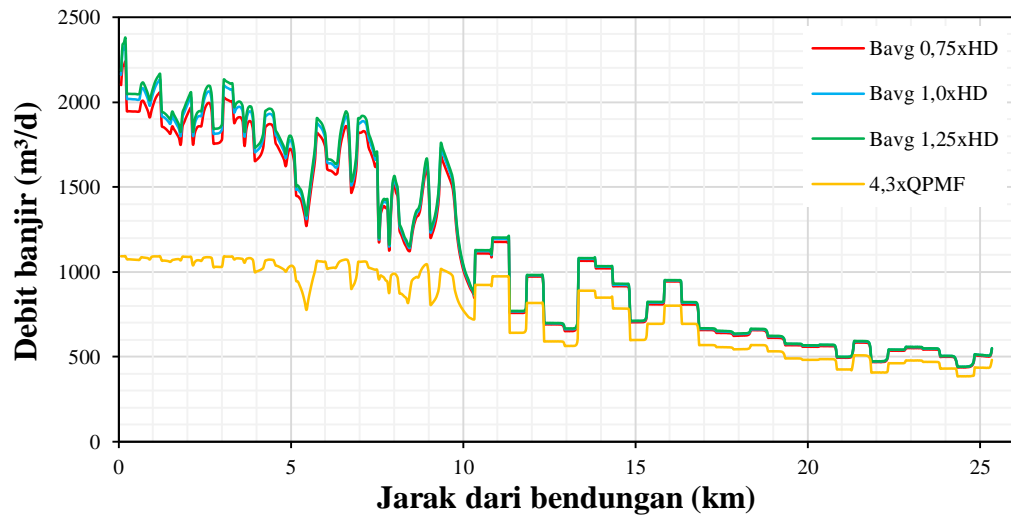
Berikut ini perbandingan hasil simulasi keruntuhan *overtopping* dengan berbagai variasi lebar rerata rekahan (B_{avg}) dapat dilihat pada Gambar 5.27, Gambar 5.28, Gambar 5.29, dan Tabel 5.4.



Gambar 5. 27 Perbandingan Hidrograf Banjir dengan Variasi Lebar Rerata Rekahan pada Keruntuhan *Overtopping* di *Inline Structure*



Gambar 5. 28 Perbandingan Kecepatan Banjir Maksimum dengan Variasi Lebar Rerata Rekahan pada Keruntuhan *Overtopping* di Sepanjang Sungai



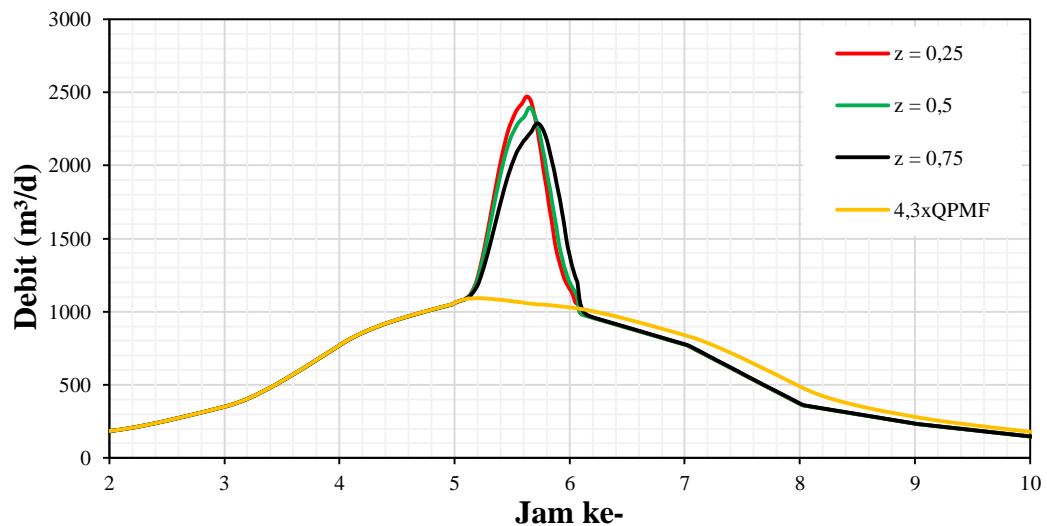
Gambar 5. 29 Perbandingan Debit Banjir Maksimum dengan Variasi Lebar Rerata Rekahan pada Keruntuhan *Overtopping* di Sepanjang Sungai

Tabel 5. 4 Perbandingan Hasil Simulasi Keruntuhan *Overtopping* dengan Variasi Lebar Rerata Kerekahan (B_{avg})

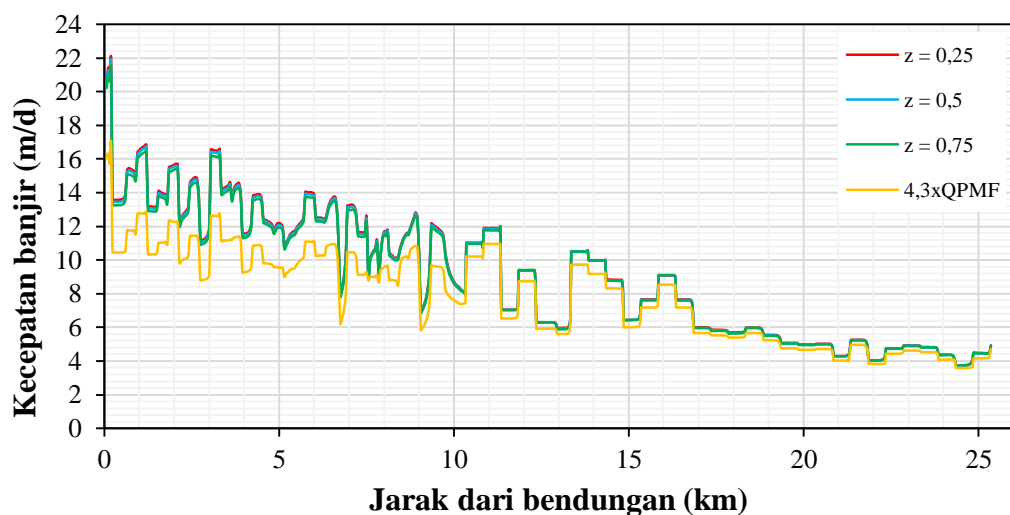
No	Simulasi <i>Overtopping</i>	Debit Puncak <i>Inline Structure</i> (m³/dt)	Kecepatan Banjir Maksimum Sepanjang Sungai (m/dt)	Debit Banjir Maksimum Sepanjang Sungai (m³/dt)
1	Tanpa Keruntuhan 4,3xQ _{PMF}	1091,83	16,96	1091,46
2	B _{avg} 0,75xHD	2285,92	21,49	2238,97
3	B _{avg} 1,0xHD	2398,09	21,84	2335,55
4	B _{avg} 1,25xHD	2444,94	21,97	2375,81

b. Sensitivitas Kemiringan Rekahan (z)

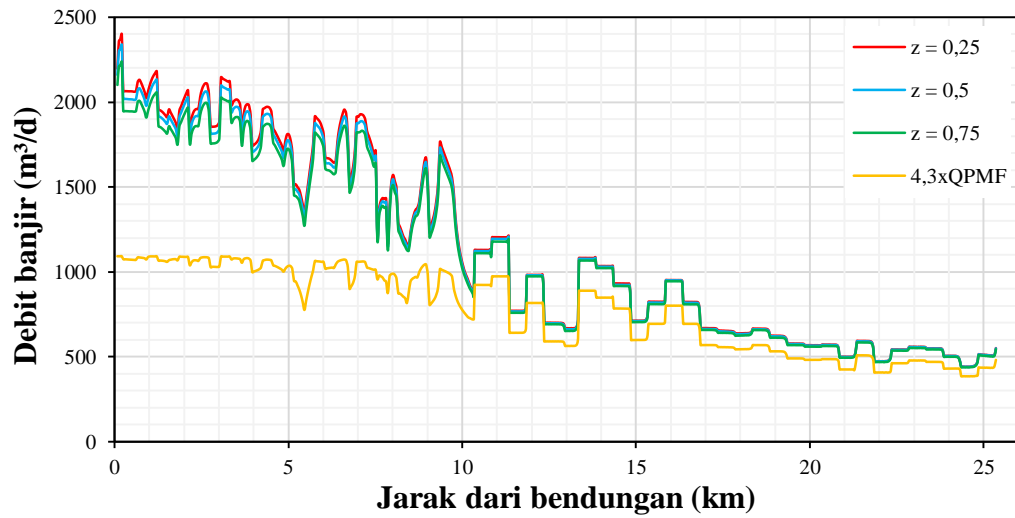
Berikut ini perbandingan hasil simulasi keruntuhan *overtopping* dengan berbagai variasi kemiringan rekahan (z) dapat dilihat pada Gambar 5.30, Gambar 5.31, Gambar 5.32, dan Tabel 5.5.



Gambar 5. 30 Perbandingan Hidrograf Banjir dengan Variasi Kemiringan Rekahan pada Keruntuhan *Overtopping* di *Inline Structure*



Gambar 5. 31 Perbandingan Kecepatan Banjir Maksimum dengan Variasi Kemiringan Rekahan pada Keruntuhan *Overtopping* di Sepanjang Sungai



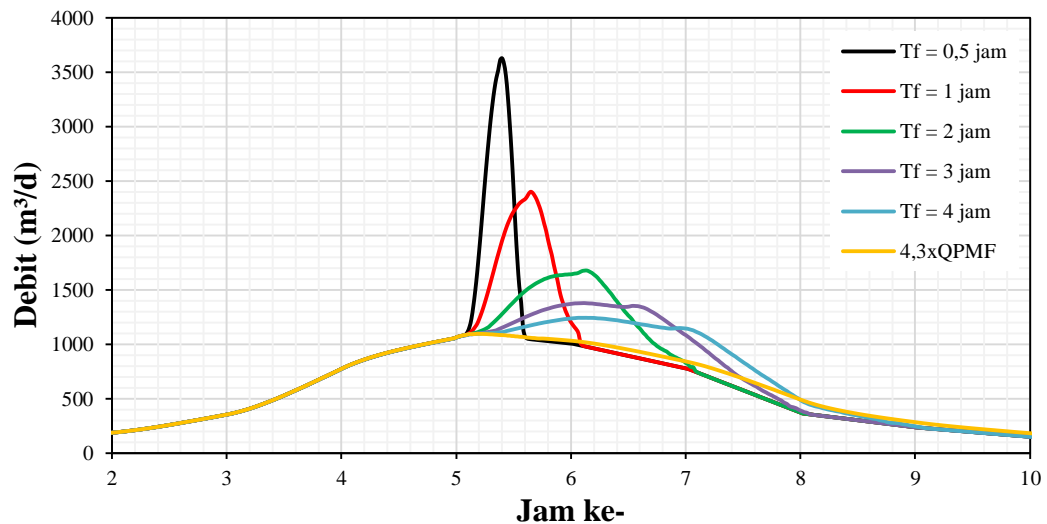
Gambar 5. 32 Perbandingan Debit Banjir Maksimum dengan Kemiringan Rekahan pada Keruntuhan *Overtopping* di Sepanjang Sungai

Tabel 5. 5 Perbandingan Hasil Simulasi Keruntuhan *Overtopping* dengan Variasi Kemiringan Rekahan (z)

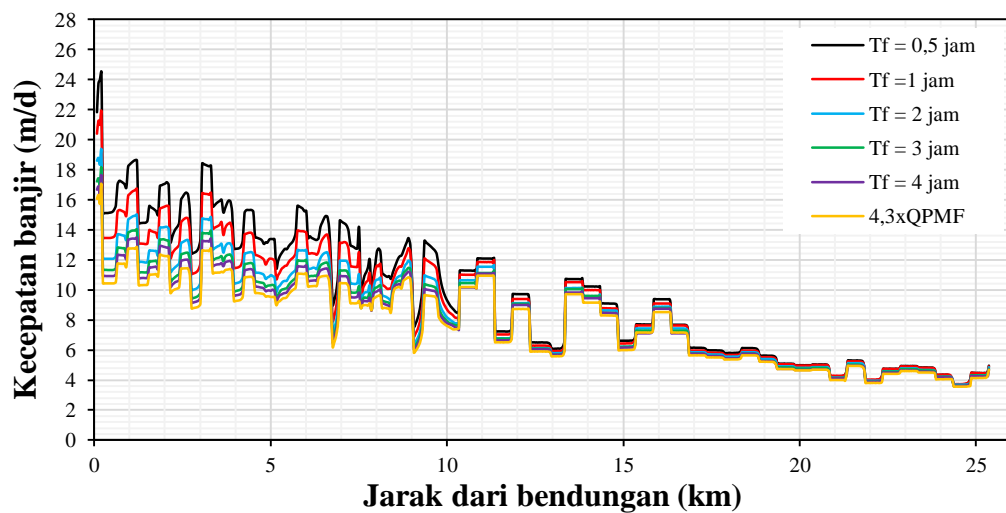
No	Simulasi <i>Overtopping</i>	Debit Puncak <i>Inline Structure</i> (m ³ /dt)	Kecepatan Banjir Maksimum Sepanjang Sungai (m/dt)	Debit Banjir Maksimum Sepanjang Sungai (m ³ /dt)
1	Tanpa Keruntuhan 4,3xQ _{PMF}	1091,83	16,96	1091,46
2	z = 0,25	2470,49	22,05	2397,88
3	z = 0,5	2398,09	21,84	2335,55
4	z = 0,75	2285,92	21,48	2236,28

c. Sensitivitas Waktu Rekahan (T_f)

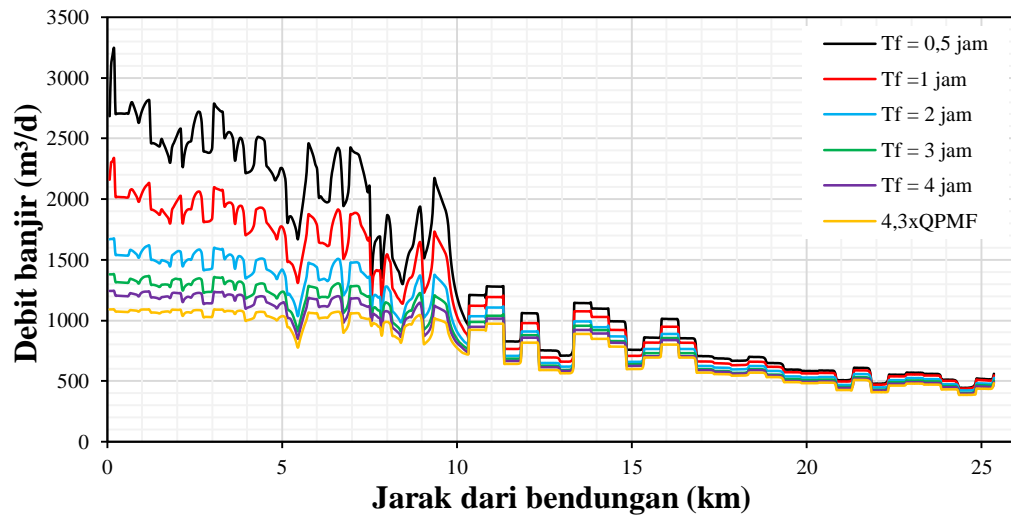
Berikut ini perbandingan hasil simulasi keruntuhan *overtopping* dengan berbagai variasi waktu rekahan (T_f) dapat dilihat pada Gambar 5.33, Gambar 5.34, Gambar 5.35, dan Tabel 5.6.



Gambar 5. 33 Perbandingan Hidrograf Banjir dengan Variasi Waktu Rekahan pada Keruntuhan *Overtopping* di *Inline Structure*



Gambar 5. 34 Perbandingan Kecepatan Banjir Maksimum dengan Variasi Waktu Rekahan pada Keruntuhan *Overtopping* di Sepanjang Sungai

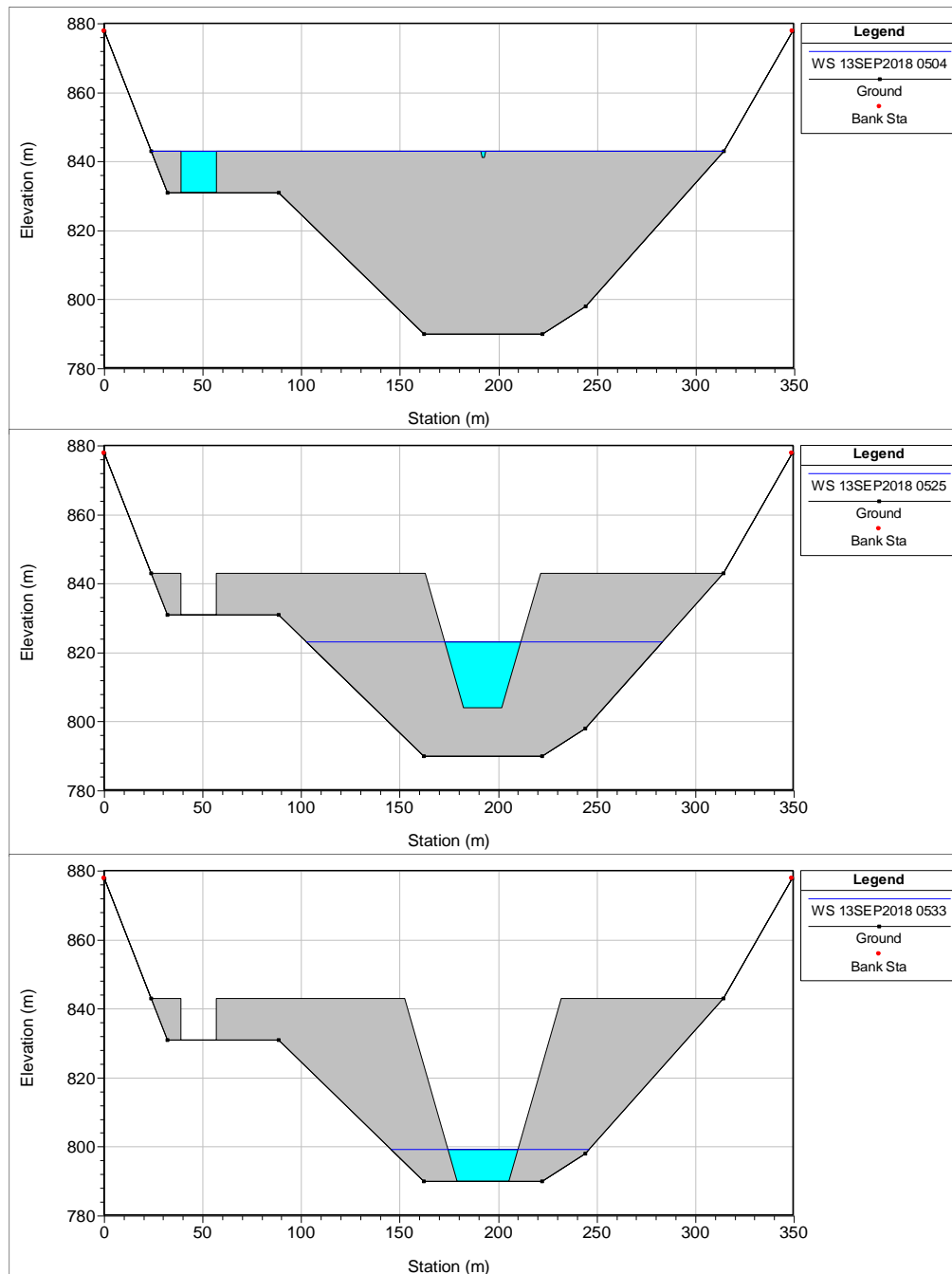


Gambar 5. 35 Perbandingan Debit Banjir Maksimum dengan Variasi Waktu Rekahan pada Keruntuhan *Overtopping* di Sepanjang Sungai

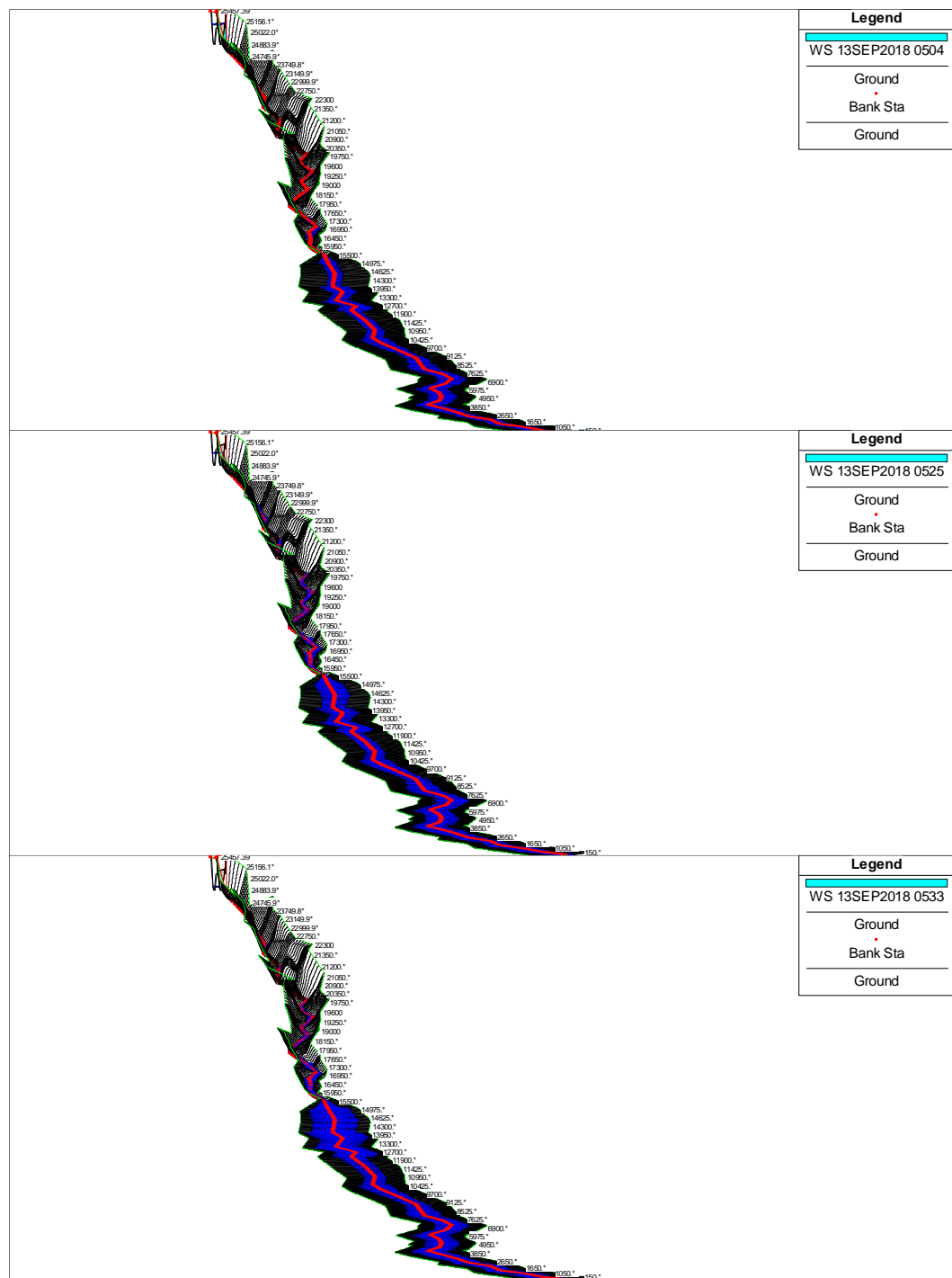
Tabel 5. 6 Perbandingan Hasil Simulasi Keruntuhan *Overtopping* dengan Variasi Waktu Rekahan (T_f)

No	Simulasi <i>Overtopping</i>	Debit Puncak <i>Inline Structure</i> (m ³ /dt)	Kecepatan Banjir Maksimum Sepanjang Sungai (m/dt)	Debit Banjir Maksimum Sepanjang Sungai (m ³ /dt)
1	Tanpa Keruntuhan 4,3xQPMF	1091,83	16,96	1091,46
2	$T_f = 0,5$ jam	3624,66	24,51	3242,65
3	$T_f = 1$ jam	2398,09	21,84	2335,55
4	$T_f = 2$ jam	1675,93	19,28	1674,06
5	$T_f = 3$ jam	1377,66	18,06	1377,71
6	$T_f = 4$ jam	1241,36	17,55	1241,55

Berikut ini tampilan hasil simulasi salah satu simulasi *overtopping* pada aplikasi HEC-RAS 4.1.0 ditunjukkan pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 berikut ini.



Gambar 5. 36 Tampilan Proses Bendungan Gonggang Runtuh akibat *Overtopping* pada HEC-RAS 4.1.0



Gambar 5. 37 Tampilan X-Y-Z Perspective Plot Hasil Keruntuhan Bendungan Gonggang akibat *Overtopping* pada HEC-RAS 4.1.0

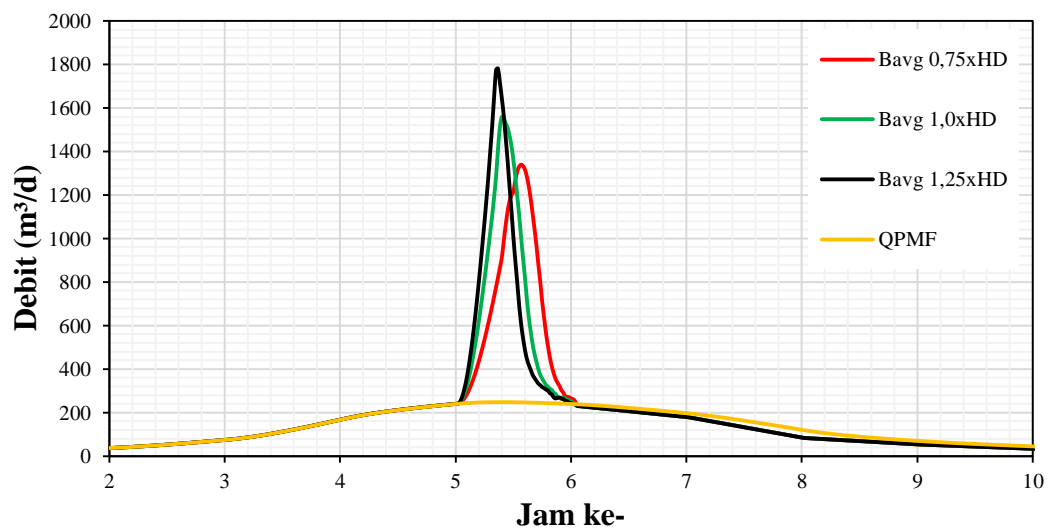
Dari hasil simulasi *overtopping* pada Bendungan Gonggang dengan debit *inflow* yang digunakan sebesar $4,3 \times Q_{PMF}$ menunjukan pada daerah hilir bendungan sudah terjadi banjir sebelum terjadinya keruntuhan pada Bendungan Gonggang. Hal ini disebabkan debit *inflow* yang sangat besar melebihi kapasitas tampang Sungai Gonggang.

Perubahan parameter lebar rerata rekahan (B_{avg}), kemiringan rekahan (z), dan waktu rekahan (T_f) dapat mengakibatkan perubahan pada debit puncak banjir hidrograf *outflow* pada *inline structure* yang mengakibatkan debit banjir dan kecepatan aliran disepanjang sungai juga akan meningkat. Dari hasil simulasi perubahan waktu keruntuhan (T_f) memiliki sensitivitas paling tinggi dibandingkan perubahan lebar rerata rekahan (B_{avg}) dan kemiringan rekahan (z), sehingga keruntuhan Bendungan Gonggang akan lebih menghasilkan debit banjir yang besar apabila runtuh secara mendadak, sedangkan perubahan parameter lebar rerata rekahan (B_{avg}) dan kemiringan rekahan (z) tidak mengakibatkan perubahan debit puncak banjir hidrograf *outflow* yang signifikan.

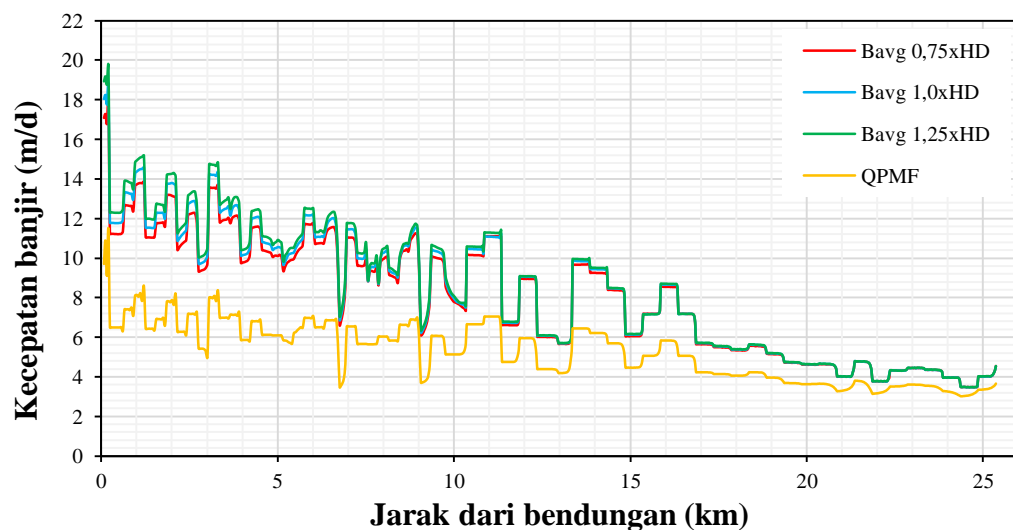
2. Keruntuhan *Piping*

a. Sensitivitas Lebar Rerata Rekahan (B_{avg})

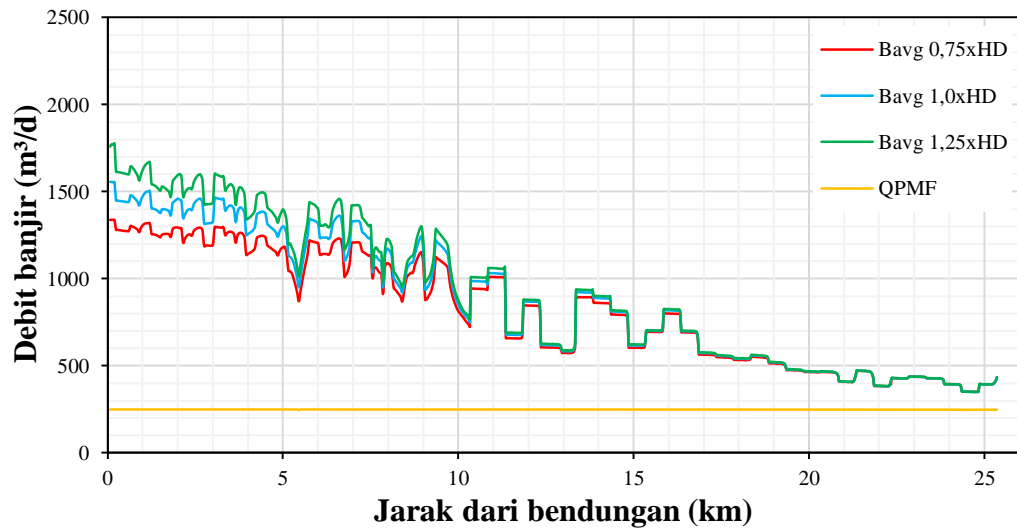
Berikut ini perbandingan hasil simulasi keruntuhan *piping* dengan berbagai variasi lebar rerata rekahan (B_{avg}) dapat dilihat pada Gambar 5.38, Gambar 5.39, Gambar 5.40, dan Tabel 5.7.



Gambar 5. 38 Perbandingan Hidrograf Banjir dengan Variasi Lebar Rerata Rekahan pada Keruntuhan *Piping* di *Inline Structure*



Gambar 5. 39 Perbandingan Kecepatan Banjir Maksimum dengan Variasi Lebar Rerata Rekahan pada Keruntuhan *Piping* di Sepanjang Sungai



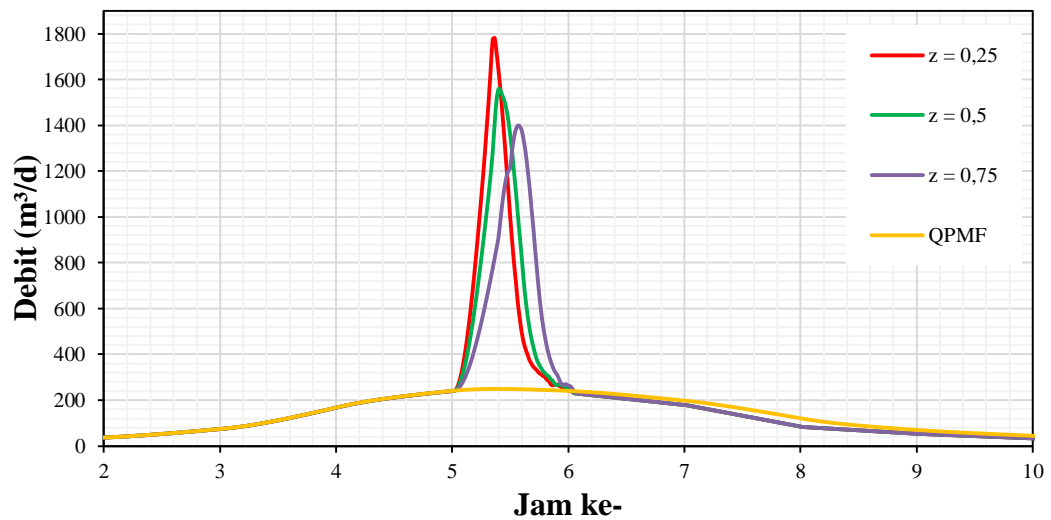
Gambar 5. 40 Perbandingan Debit Banjir Maksimum dengan Variasi Lebar Rerata Rekahan pada Keruntuhan Piping di Sepanjang Sungai

Tabel 5. 7 Perbandingan Hasil Simulasi Keruntuhan *Piping* dengan Variasi Lebar Rerata Rekahan (B_{avg})

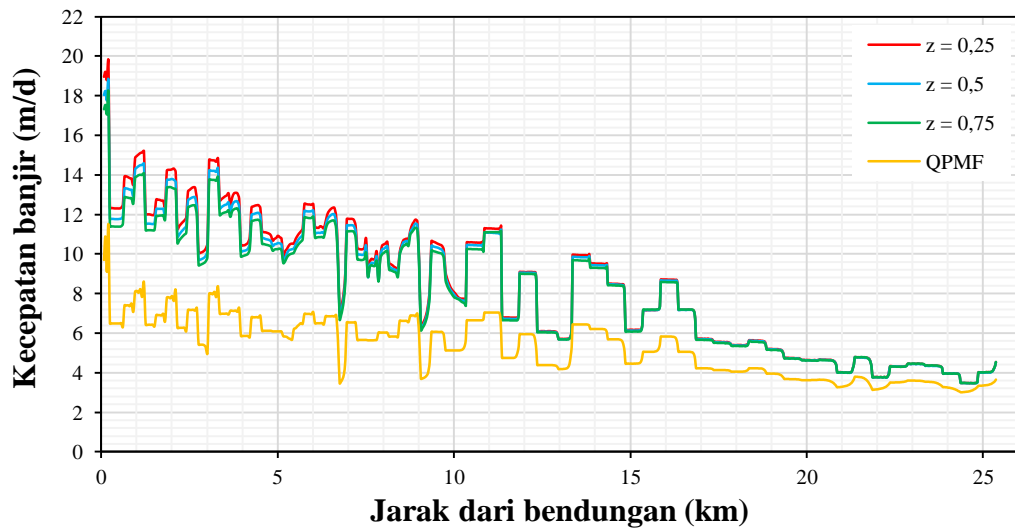
No	Simulasi <i>Piping</i>	Debit Puncak <i>Inline Structure</i> (m ³ /dt)	Kecepatan Banjir Maksimum Sepanjang Sungai (m/dt)	Debit Banjir Maksimum Sepanjang Sungai (m ³ /dt)
1	Tanpa Keruntuhan QPMF	249,07	11,46	249,07
2	$B_{avg} 0,75xHD$	1339,12	17,91	1339,06
3	$B_{avg} 1,0xHD$	1558,3	18,77	1556,25
4	$B_{avg} 1,25xHD$	1782,38	19,73	1776,47

b. Sensitivitas Kemiringan Rekahan (z)

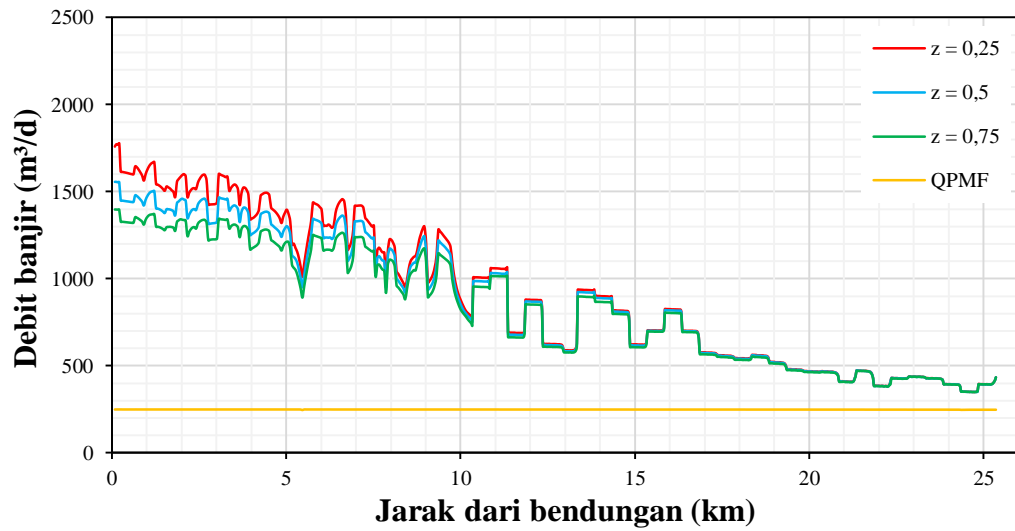
Berikut ini perbandingan hasil simulasi keruntuhan *piping* dengan berbagai variasi kemiringan rekahan (z) dapat dilihat pada Gambar 5.41, Gambar 5.42, Gambar 5.43, dan Tabel 5.8.



Gambar 5. 41 Perbandingan Hidrograf Banjir dengan Variasi Kemiringan Rekahan pada Keruntuhan *Piping* di *Inline Structure*



Gambar 5. 42 Perbandingan Kecepatan Banjir Maksimum dengan Variasi Kemiringan Rekahan pada Keruntuhan *Piping* di Sepanjang Sungai



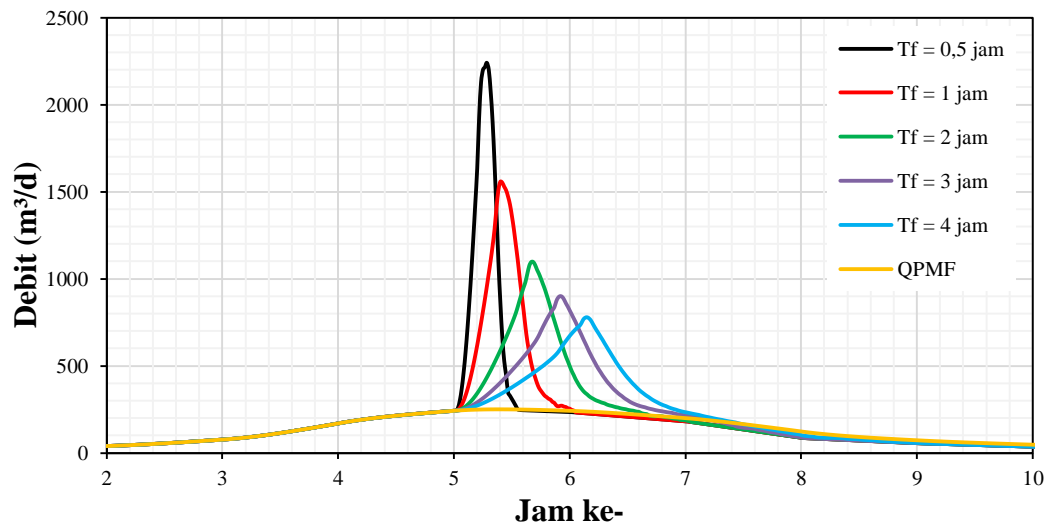
Gambar 5. 43 Perbandingan Debit Banjir Maksimum dengan Variasi Kemiringan Rekahan pada Keruntuhan *Piping* di Sepanjang Sungai

Tabel 5. 8 Perbandingan Hasil Simulasi Keruntuhan *Piping* dengan Variasi Kemiringan Rekahan (z)

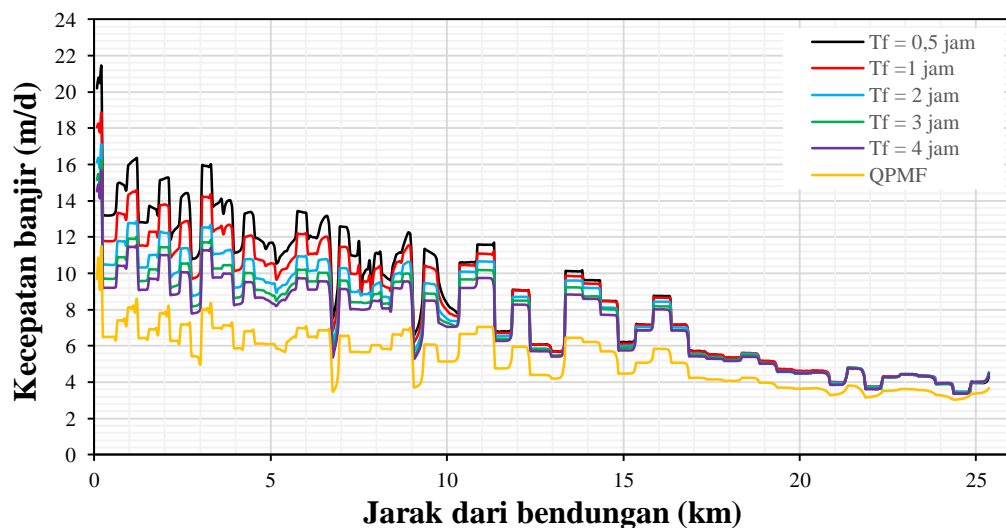
No	Simulasi <i>Piping</i>	Debit Puncak <i>Inline Structure</i> (m³/dt)	Kecepatan Banjir Maksimum Sepanjang Sungai (m/dt)	Debit Banjir Maksimum Sepanjang Sungai (m³/dt)
1	Tanpa Keruntuhan QPMF	249,07	11,46	249,07
2	$z = 0,25$	1782,38	19,73	1776,47
3	$z = 0,5$	1558,3	18,77	1556,25
4	$z = 0,75$	1398,78	18,14	1398,67

c. Sensitivitas Waktu Rekahan (T_f)

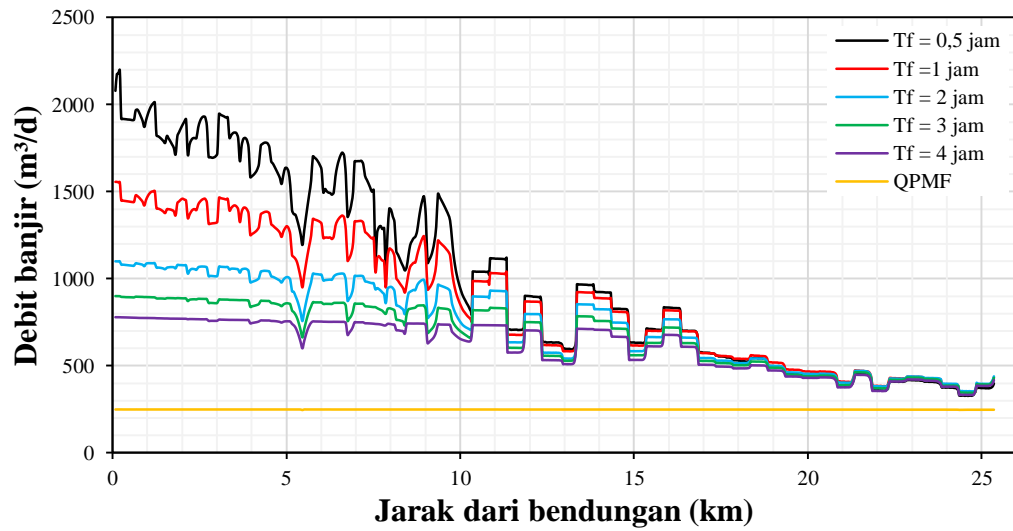
Berikut ini perbandingan hasil simulasi keruntuhan *piping* dengan berbagai variasi waktu rekahan (T_f) dapat dilihat pada Gambar 5.44, Gambar 5.45, Gambar 5.46, dan Tabel 5.9.



Gambar 5. 44 Perbandingan Hidrograf Banjir dengan Variasi Waktu Rekahan pada Keruntuhan *Piping* di *Inline Sructure*



Gambar 5. 45 Perbandingan Kecepatan Banjir Maksimum dengan Variasi Waktu Rekahan pada Keruntuhan *Piping* di Sepanjang Sungai

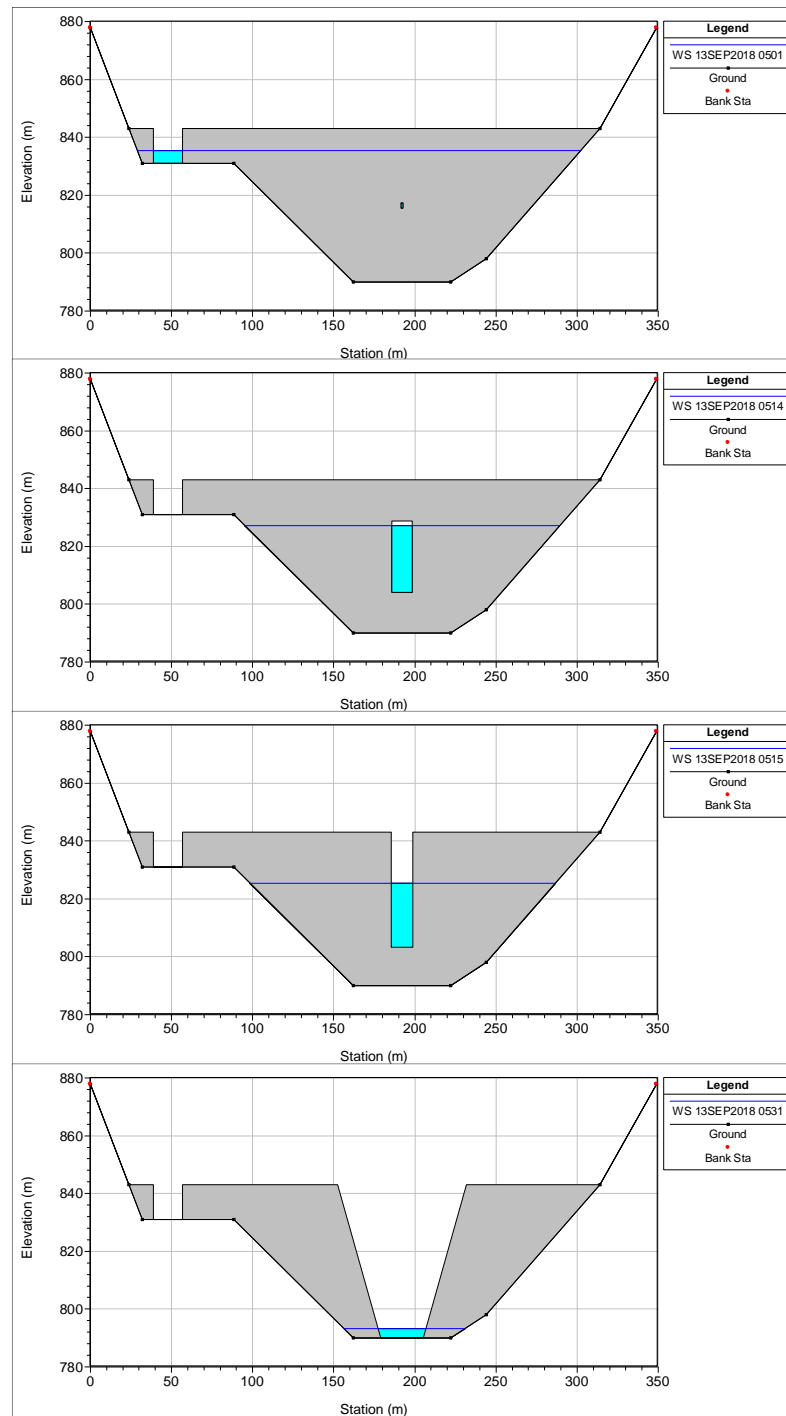


Gambar 5. 46 Perbandingan Debit Banjir Maksimum dengan Variasi Waktu Rekahan pada Keruntuhan *Piping* di Sepanjang Sungai

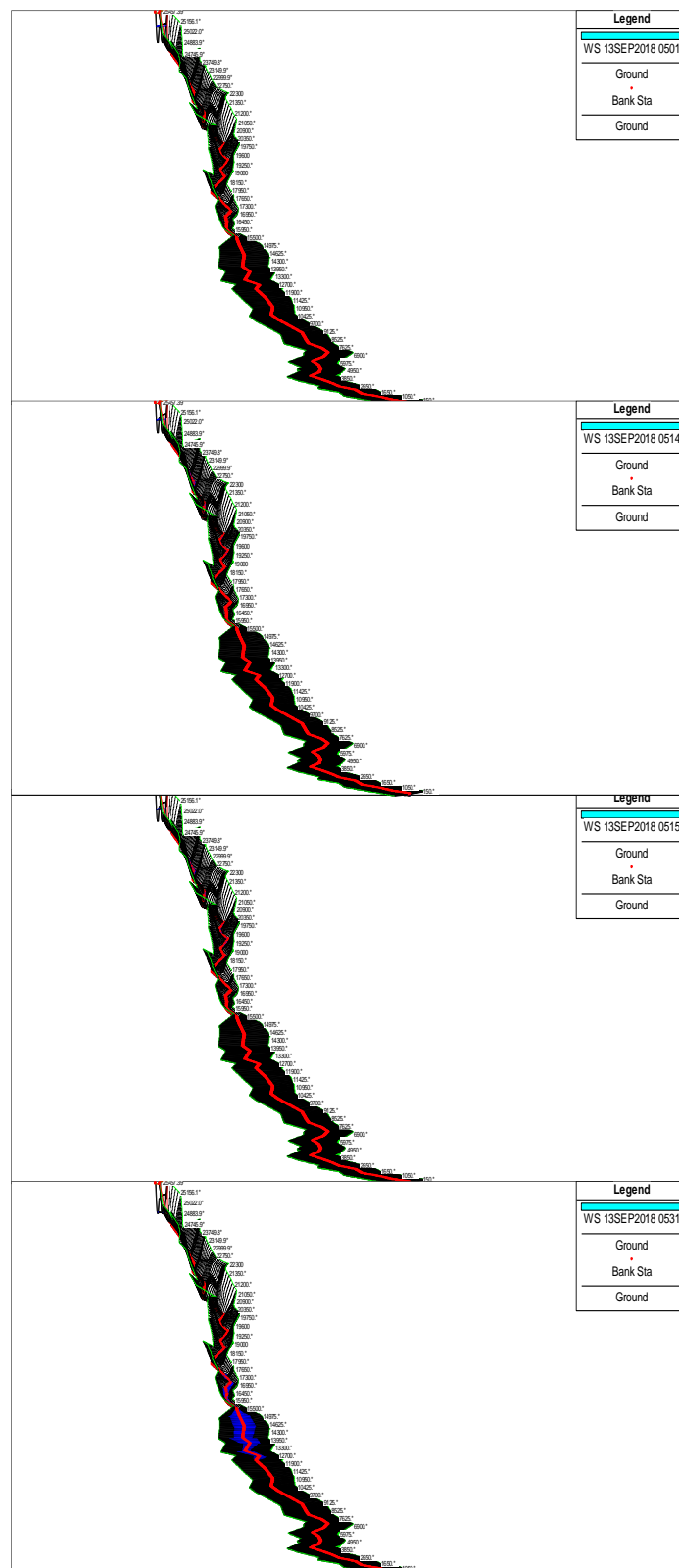
Tabel 5. 9 Perbandingan Hasil Simulasi Keruntuhan *Piping* dengan Variasi Waktu Rekahan (T_f)

No	Simulasi <i>Piping</i>	Debit Puncak <i>Inline Structure</i> (m³/dt)	Kecepatan Banjir Maksimum Sepanjang Sungai (m/dt)	Debit Banjir Maksimum Sepanjang Sungai (m³/dt)
1	Tanpa Keruntuhan QPMF	249,07	11,46	249,07
2	$T_f = 0,5$ jam	2242,19	21,36	2199,51
3	$T_f = 1$ jam	1558,3	18,77	1556,25
4	$T_f = 2$ jam	1098,03	16,99	1098,65
5	$T_f = 3$ jam	900,98	16,12	900,66
6	$T_f = 4$ jam	779,92	15,52	779,68

Berikut ini tampilan hasil simulasi salah satu simulasi *piring* pada aplikasi HEC-RAS 4.1.0 ditunjukkan pada Gambar 5.47 dan Gambar 5.48 berikut ini.



Gambar 5. 47 Tampilan Proses Bendungan Gonggang Runtuh akibat *Piring* pada HEC-RAS 4.1.0



Gambar 5. 48 Tampilan X-Y-Z Perspective Plot Hasil Keruntuhan Bendungan Gonggang akibat Piping pada HEC-RAS 4.1.0

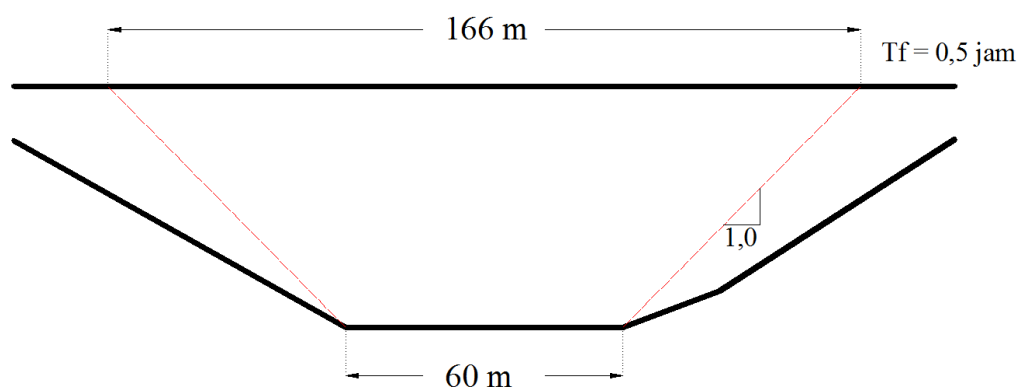
Berbeda dengan simulasi *overtopping*, simulasi *piping* dengan debit *inflow* yang digunakan sebesar Q_{PMF} menunjukkan pada daerah hilir bendungan belum banjir sebelum terjadinya keruntuhan pada Bendungan Gonggang. Sungai Gonggang masih mampu menampung debit *inflow* yang digunakan sebesar Q_{PMF} , sehingga air tidak meluap keluar dari sistem sungai.

Sama halnya dengan simulasi *overtopping* yang telah dibahas sebelumnya, perubahan parameter lebar rerata rekahan (B_{avg}), kemiringan rekahan (z), dan waktu rekahan (T_f) dapat mengakibatkan perubahan pada debit puncak banjir hidrograf *outflow* pada *inline structure* yang mengakibatkan debit banjir dan kecepatan aliran disepanjang sungai juga akan meningkat. Pada simulasi keruntuhan dengan *piping* perubahan waktu keruntuhan (T_f) juga memiliki sensitivitas paling tinggi dibandingkan perubahan lebar rerata rekahan (B_{avg}) dan kemiringan rekahan (z) sama halnya dengan simulasi dengan *overtopping*.

Dari hasil simulasi dengan bantuan *software* HEC-RAS 4.1.0 menunjukkan semakin ke hilir atau semakin jauh dari bendungan, akibat dari keruntuhan bendungan secara *overtopping* dan *piping* debit banjir mengalami penurunan, hal ini disebabkan debit air yang tidak tertampung dalam suatu tampang sungai akan keluar dari sistem sungai. Suatu tampang sungai memiliki kapasitas maksimum dalam mengalirkan debit air, yang dipengaruhi oleh kecepatan banjir, dan bentuk dari tampang sungai. Keluarnya sejumlah debit air akibat dari tampang sungai yang tidak mencukupi untuk mengalirkan sejumlah debit tersebut, juga mengakibatkan selisih debit puncak mengalami penurunan seiring semakin jauh dengan bendungan. Penambahan volume air yang drastis akibat dari keruntuhan bendungan secara *overtopping* dan *piping* juga menyebabkan kecepatan aliran meningkat pada setiap penampang melintang sungai, kecepatan aliran ini dipengaruhi oleh gesekan pada dasar maupun tebing sungai dan bentuk tampang sungai. Semakin ke hilir dari bendungan, secara umum kecepatan maksimum semakin mengecil, yang disebabkan oleh debit yang mengecil pula seiring ke hilir dari bendungan.

5.4 Penelusuran Banjir

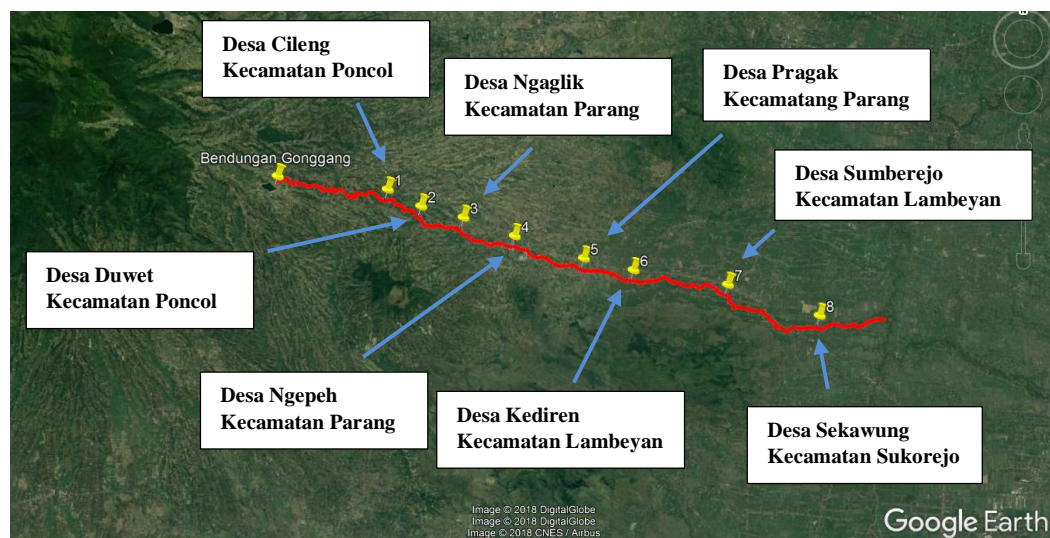
Karena *overtopping* pada Bendungan Gonggang dengan debit *inflow* yang digunakan sebesar $4,3 \times Q_{PMF}$ menunjukkan pada daerah hilir bendungan sudah terjadi banjir sebelum terjadinya keruntuhan pada Bendungan Gonggang maka penelusuran banjir menggunakan skenario keruntuhan bendungan akibat *piping* yang menghasilkan debit puncak maksimum yang terbesar dengan menyesuaikan bentuk topografi Bendungan Gonggang. Parameter keruntuhan yang menghasilkan debit terbesar adalah dengan lebar rerata rekahan yang maksimal dengan waktu keruntuhan yang singkat dengan menganggap lebar dasar rekahan (B_t) sama dengan lebar dasar dari bentuk Bendungan Gonggang. Oleh karena itu penelusuran banjir akibat keruntuhan *piping* menggunakan parameter lebar rerata rekahan (B_{avg}) sebesar $2,13 \times HD$, kemiringan rekahan (z) 1, dan waktu rekahan (T_f) selama 0,5 jam dengan keruntuhan *piping* dimulai pada puncak debit *inflow* Q_{PMF} yaitu pada jam ke-5. Skenario keruntuhan yang digunakan untuk penelusuran banjir dapat dilihat pada Gambar 5.49.



Gambar 5. 49 Skenario Penelusuran Banjir akibat Keruntuhan *Piping*

Berdasarkan simulasi yang dilakukan menghasilkan banjir pada sebelah *inline structure* yang puncaknya terjadi pada jam ke 5,20 dengan debit puncak sebesar $2920,8 \text{ m}^3/\text{dt}$. Pada penelusuran banjir ini dilakukan peninjauan terhadap beberapa kemungkinan lokasi pemukiman yang rawan terhadap banjir. Penentuan kemungkinan lokasi pemukiman rawan terhadap banjir tersebut dilakukan dengan

intepretasi peta dari *Google Earth* seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 5.50 dan pada Tabel 5.10.

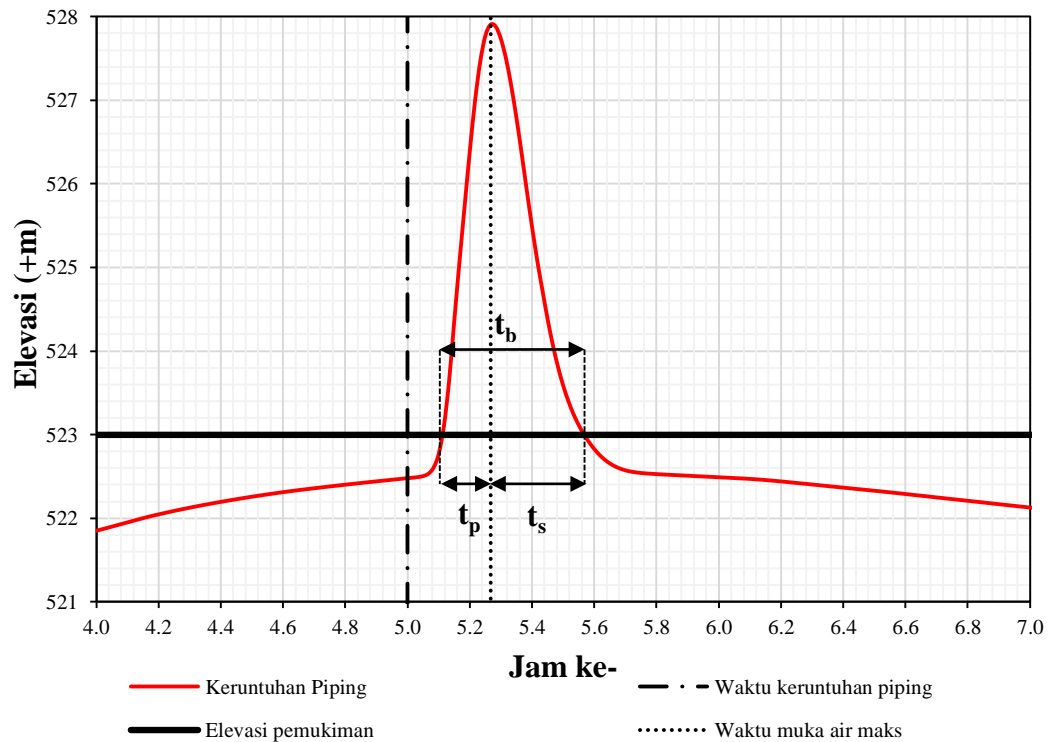


Gambar 5. 50 Desa pada Hilir Bendungan yang Memiliki Risiko Banjir akibat Keruntuhan Bendungan Gonggang

Tabel 5. 10 Data Desa pada Hilir Bendungan Gonggang

Sta.	Lokasi Rawan	Jarak dari Bendungan Gonggang (km)	Elevasi Dasar Sungai (+m)
20+500	Desa Cileng Kecamatan Poncol	4,86	518
19+000	Desa Duwet Kecamatan Poncol	6,36	458,33
17+200	Desa Ngaglik Kecamatan Parang	8,16	399
15+000	Desa Ngepeh Kecamatan Parang	10,36	334
12+000	Desa Pragak Kecamatan Parang	13,36	249
10+000	Desa Kediren Kecamatan Lambeyan	15,36	190
6+500	Desa Sumberejo Kecamatan Lambeyan	18,86	132
3+500	Desa Sekawung Kecamatan Sukorejo	21,86	107,66

Penentuan waktu banjir di Desa Cileng Kecamatan Poncol dengan hidrograf tinggi muka air dapat dilihat pada Gambar 5.51.

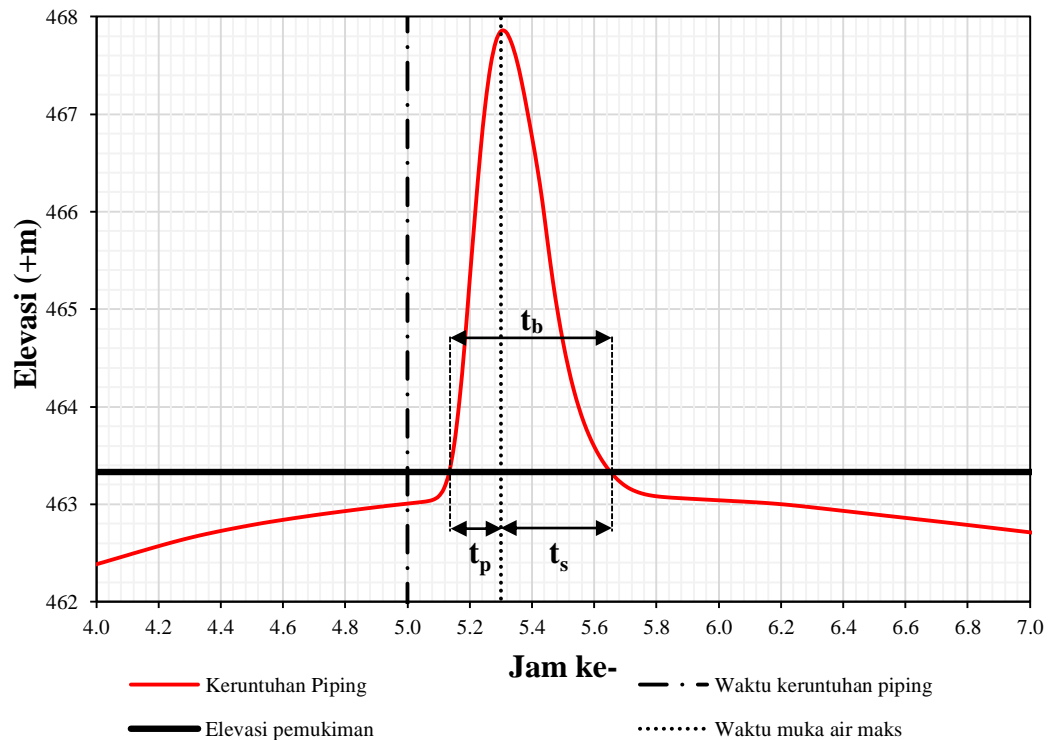


Gambar 5. 51 Penentuan Waktu Banjir di Desa Cileng

Berikut ini penjelasan mengenai Gambar 5.51.

1. Pada gambar di atas t_p adalah waktu puncak, t_s adalah waktu surut sedangkan t_b adalah waktu lama banjir.
2. Keruntuhan *piping* terjadi pada jam ke-5.
3. Elevasi pemukiman berada pada +523,00 m.
4. Elevasi muka air maksimum adalah +527,90 m yang terjadi pada jam ke-5,27.
5. Waktu awal banjir akibat keruntuhan *piping* di pemukiman pada jam ke-5,12 dan berakhir pada jam ke-5,57. Lama banjir di Desa Cileng selama 0,45 jam atau 27 menit.
6. Waktu perjalanan banjir akibat keruntuhan *piping* dari mulai keruntuhan sampai dengan elevasi puncak di Desa Cileng selama 0,27 jam atau 16,2 menit.

Penentuan waktu banjir di Desa Duwet Kecamatan Poncol dengan hidrograf tinggi muka air dapat dilihat pada Gambar 5.52.

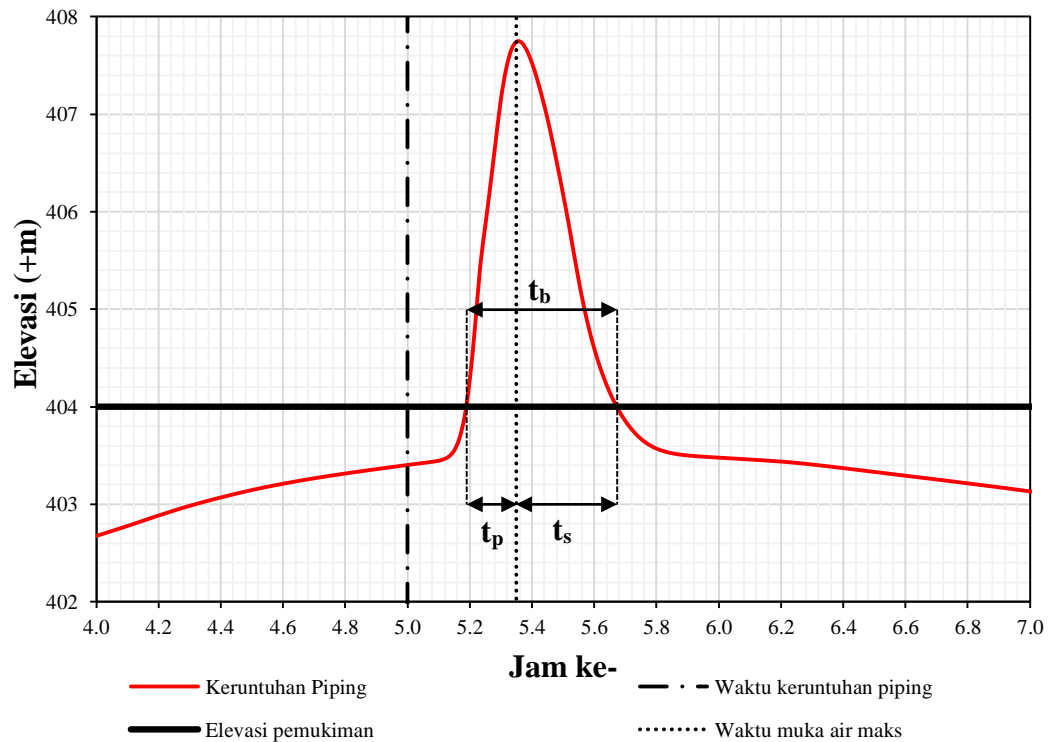


Gambar 5. 52 Penentuan Waktu Banjir di Desa Duwet

Berikut ini penjelasan mengenai Gambar 5.52.

1. Pada gambar di atas t_p adalah waktu puncak, t_s adalah waktu surut sedangkan t_b adalah waktu lama banjir.
2. Keruntuhan *piping* terjadi pada jam ke-5.
3. Elevasi pemukiman berada pada +463,33 m.
4. Elevasi muka air maksimum adalah +467,85 m yang terjadi pada jam ke-5,3.
5. Waktu awal banjir akibat keruntuhan *piping* di pemukiman pada jam ke-5,13 dan berakhir pada jam ke-5,65. Lama banjir di Desa Duwet selama 0,52 jam atau 31,2 menit.
6. Waktu perjalanan banjir akibat keruntuhan *piping* dari mulai keruntuhan sampai dengan elevasi puncak di Desa Duwet selama 0,3 jam atau 18 menit.

Penentuan waktu banjir di Desa Ngaglik Kecamatan Parang dengan hidrograf tinggi muka air dapat dilihat pada Gambar 5.53.

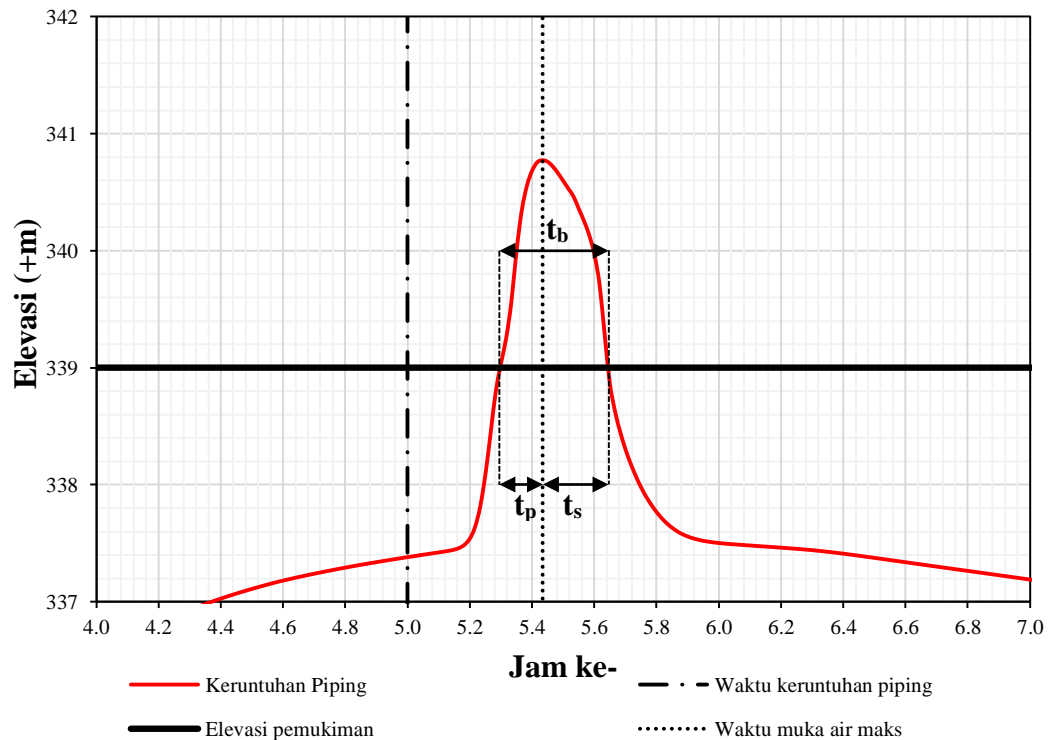


Gambar 5. 53 Penentuan Waktu Banjir di Desa Ngaglik

Berikut ini penjelasan mengenai Gambar 5.53.

1. Pada gambar di atas t_p adalah waktu puncak, t_s adalah waktu surut sedangkan t_b adalah waktu lama banjir.
2. Keruntuhan *piping* terjadi pada jam ke-5.
3. Elevasi pemukiman berada pada +404 m.
4. Elevasi muka air maksimum adalah +407,74 m yang terjadi pada jam ke-5,35.
5. Waktu awal banjir akibat keruntuhan *piping* di pemukiman pada jam ke-5,18 dan berakhir pada jam ke-5,68. Lama banjir di Desa Ngaglik selama 0,50 jam atau 30 menit.
6. Waktu perjalanan banjir akibat keruntuhan *piping* dari mulai keruntuhan sampai dengan elevasi puncak di Desa Ngaglik selama 0,35 jam atau 21 menit.

Penentuan waktu banjir di Desa Ngepeh Kecamatan Parang dengan hidrograf tinggi muka air dapat dilihat pada Gambar 5.54.

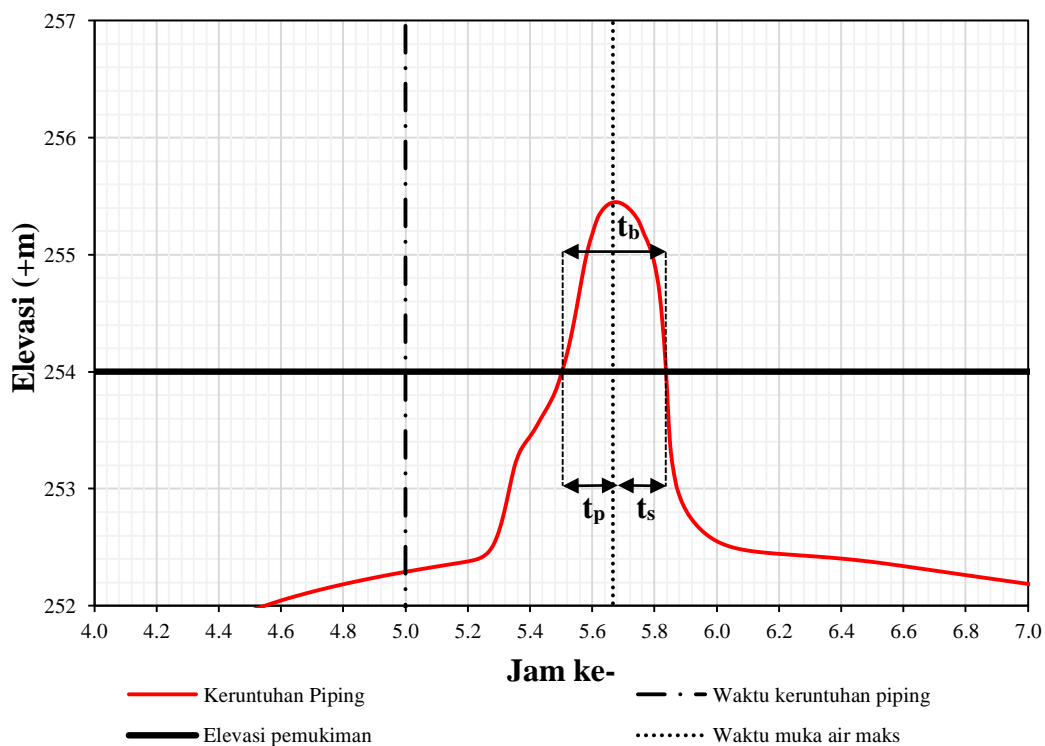


Gambar 5. 54 Penentuan Waktu Banjir di Desa Ngepeh

Berikut ini penjelasan mengenai Gambar 5.54.

1. Pada gambar di atas t_p adalah waktu puncak, t_s adalah waktu surut sedangkan t_b adalah waktu lama banjir.
2. Keruntuhan *piping* terjadi pada jam ke-5.
3. Elevasi pemukiman berada pada +339,00 m.
4. Elevasi muka air maksimum adalah +340,78 m yang terjadi pada jam ke-5,43.
5. Waktu awal banjir akibat keruntuhan *piping* di pemukiman pada jam ke-5,30 dan berakhir pada jam ke-5,64. Lama banjir di Desa Ngepeh selama 0,34 jam atau 20,4 menit.
6. Waktu perjalanan banjir akibat keruntuhan *piping* dari mulai keruntuhan sampai dengan elevasi puncak di Desa Ngepeh selama 0,43 jam atau 25,8 menit.

Penentuan waktu banjir di Desa Pragak Kecamatan Parang dengan hidrograf tinggi muka air dapat dilihat pada Gambar 5.55.

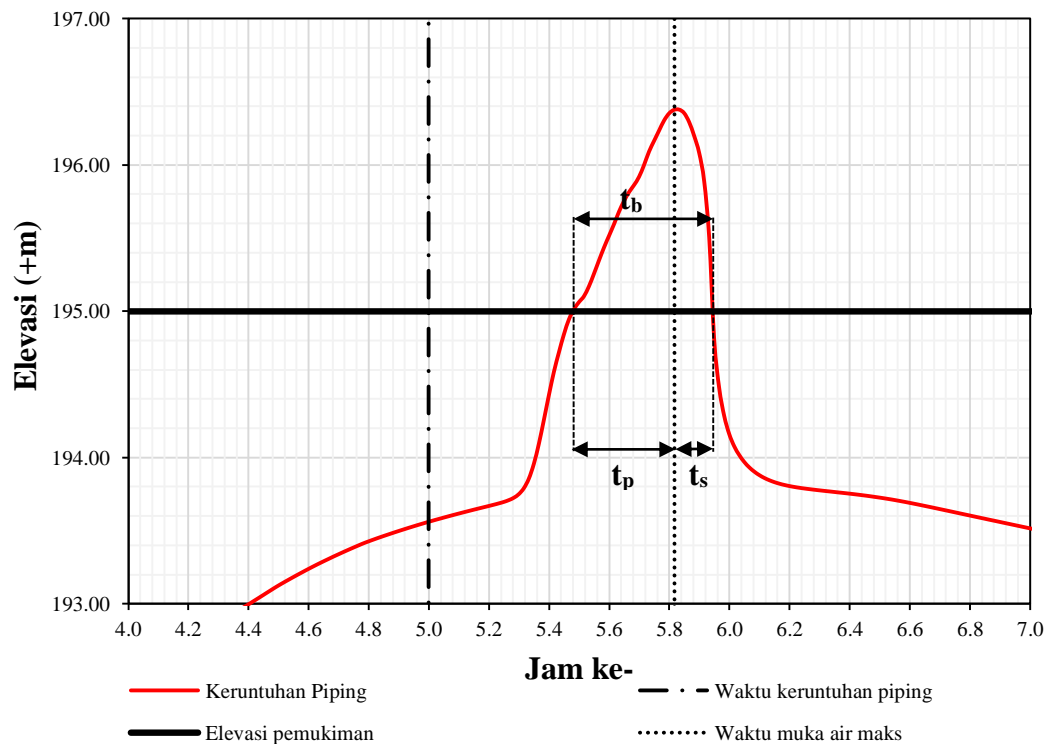


Gambar 5. 55 Penentuan Waktu Banjir di Desa Pragak

Berikut ini penjelasan mengenai Gambar 5.55.

1. Pada gambar di atas t_p adalah waktu puncak, t_s adalah waktu surut sedangkan t_b adalah waktu lama banjir.
2. Keruntuhan *piping* terjadi pada jam ke-5.
3. Elevasi pemukiman berada pada +254,00 m.
4. Elevasi muka air maksimum adalah +255,45 m yang terjadi pada jam ke-5,67.
5. Waktu awal banjir akibat keruntuhan *piping* di pemukiman pada jam ke-5,50 dan berakhir pada jam ke-5,84. Lama banjir di Desa Cileng selama 0,34 jam atau 20,4 menit.
6. Waktu perjalanan banjir akibat keruntuhan *piping* dari mulai keruntuhan sampai dengan elevasi puncak di Desa Pragak selama 0,67 jam atau 40,2 menit.

Penentuan waktu banjir di Desa Kediren Kecamatan Lambeyan dengan hidrograf tinggi muka air dapat dilihat pada Gambar 5.56.

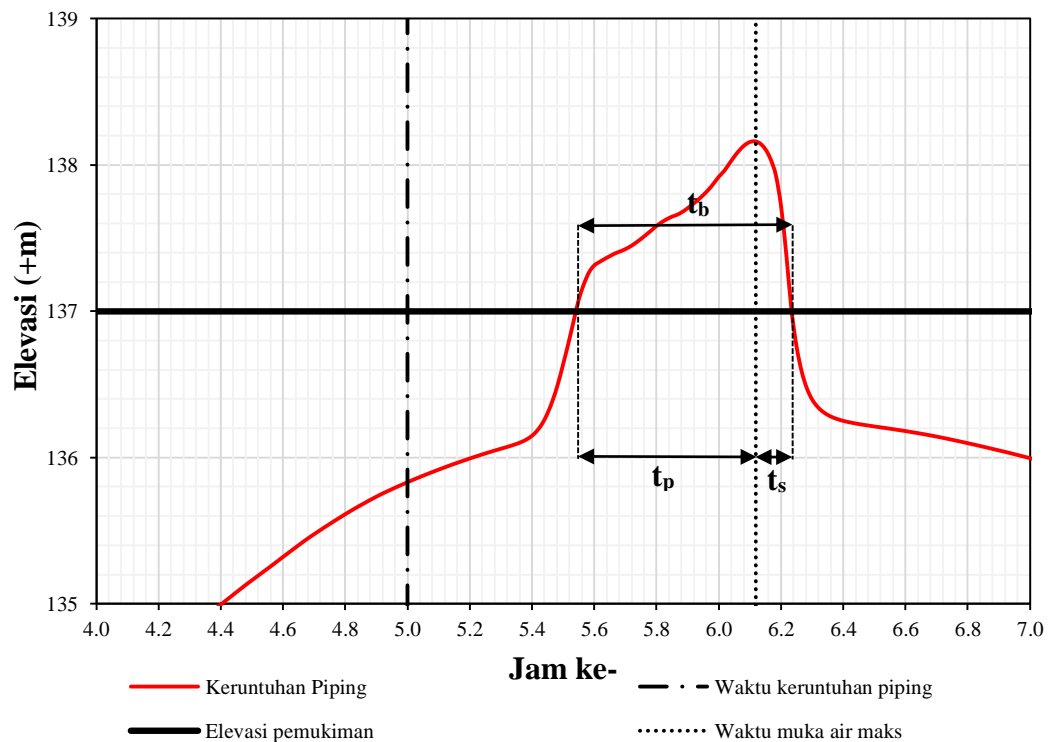


Gambar 5. 56 Penentuan Waktu Banjir di Desa Kediren

Berikut ini penjelasan mengenai Gambar 5.56.

1. Pada gambar di atas t_p adalah waktu puncak, t_s adalah waktu surut sedangkan t_b adalah waktu lama banjir.
2. Keruntuhan *piping* terjadi pada jam ke-5.
3. Elevasi pemukiman berada pada +195,00 m.
4. Elevasi muka air maksimum adalah +196,38 m yang terjadi pada jam ke-5,82.
5. Waktu awal banjir akibat keruntuhan *piping* di pemukiman pada jam ke-5,51 dan berakhir pada jam ke-5,94. Lama banjir di Desa Kediren selama 0,43 jam atau 25,8 menit.
6. Waktu perjalanan banjir akibat keruntuhan *piping* dari mulai keruntuhan sampai dengan elevasi puncak di Desa Kediren selama 0,82 jam atau 49,2 menit.

Penentuan waktu banjir di Desa Sumberejo Kecamatan Lambeyan dengan hidrograf tinggi muka air dapat dilihat pada Gambar 5.57.

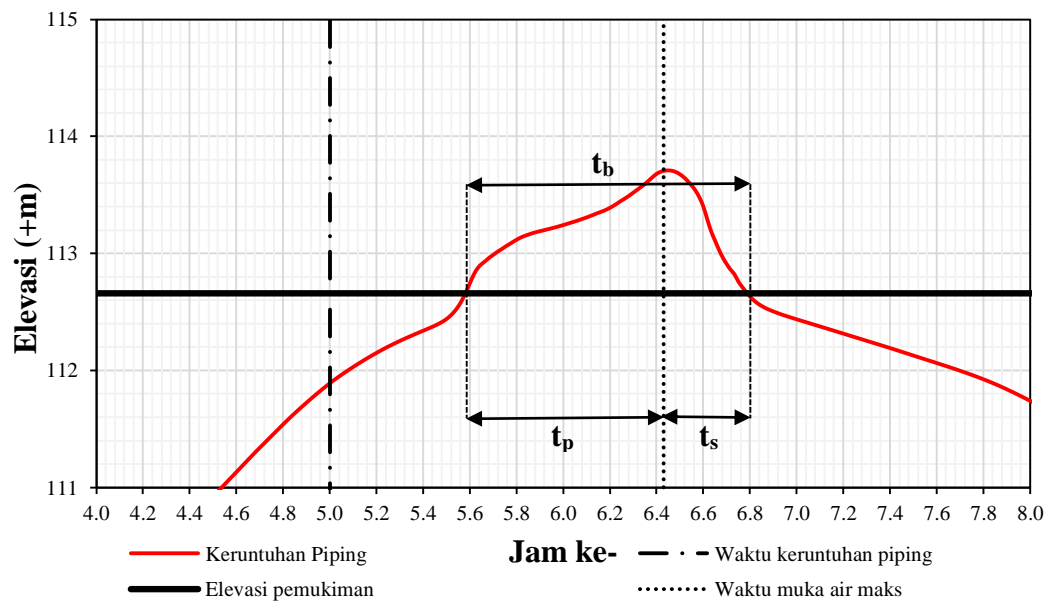


Gambar 5. 57 Penentuan Waktu Banjir di Desa Sumberejo

Berikut ini penjelasan mengenai Gambar 5.57.

1. Pada gambar di atas t_p adalah waktu puncak, t_s adalah waktu surut sedangkan t_b adalah waktu lama banjir.
2. Keruntuhan *piping* terjadi pada jam ke-5.
3. Elevasi pemukiman berada pada +137,00 m.
4. Elevasi muka air maksimum adalah +138,16 m yang terjadi pada jam ke-6,12.
5. Waktu awal banjir akibat keruntuhan *piping* di pemukiman pada jam ke-5,54 dan berakhir pada jam ke-6,23. Lama banjir di Desa Sumberejo selama 0,69 jam atau 41,4 menit.
6. Waktu perjalanan banjir akibat keruntuhan *piping* dari mulai keruntuhan sampai dengan elevasi puncak di Desa Sumberejo selama 1,12 jam atau 67,2 menit.

Penentuan waktu banjir di Desa Sekawung Kecamatan Sukorejo dengan hidrograf tinggi muka air dapat dilihat pada Gambar 5.58.

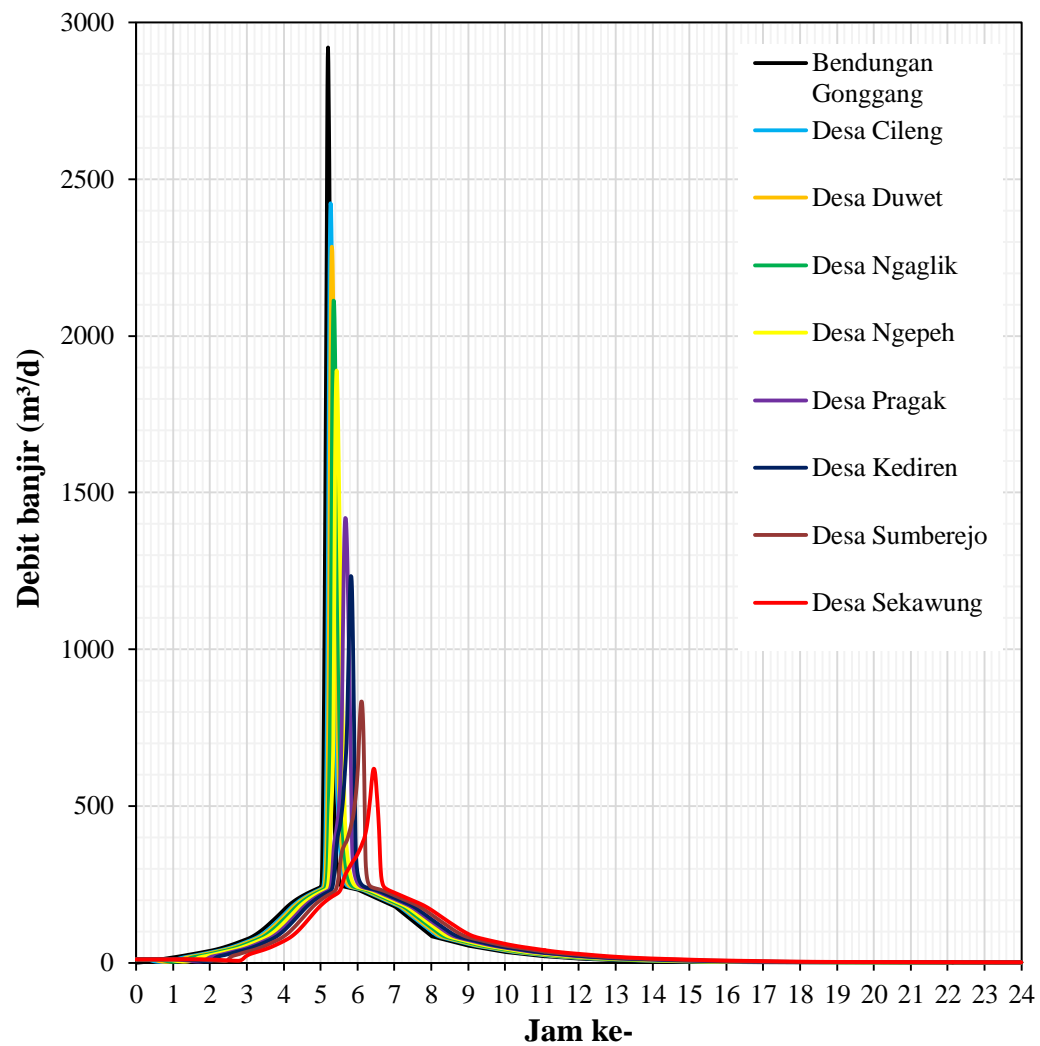


Gambar 5. 58 Penentuan Waktu Banjir di Desa Sekawung

Berikut ini penjelasan mengenai Gambar 5.58.

1. Pada gambar di atas t_p adalah waktu puncak, t_s adalah waktu surut sedangkan t_b adalah waktu lama banjir.
2. Keruntuhan *piping* terjadi pada jam ke-5.
3. Elevasi pemukiman berada pada +112,66 m.
4. Elevasi muka air maksimum adalah +113,71 m yang terjadi pada jam ke-6,43.
5. Waktu awal banjir akibat keruntuhan *piping* di pemukiman pada jam ke-5,57 dan berakhir pada jam ke-6,78. Lama banjir di Desa Sekawung selama 1,21 jam atau 72,6 menit.
6. Waktu perjalanan banjir akibat keruntuhan *piping* dari mulai keruntuhan sampai dengan elevasi puncak di Desa Sekawung selama 1,43 jam atau 85,8 menit.

Berikut hidrograf banjir pada lokasi tinjauan ditampilkan dalam Gambar 5.59.



Gambar 5. 59 Hidrograf Debit Banjir pada Lokasi Tinjauan

Hasil dari karakteristik banjir untuk lokasi-lokasi yang ditinjau dapat dilihat pada Lampiran 2, Lampiran 3 dan Tabel 5.11.

Tabel 5. 11 Hasil Analisis Pola Aliran di Desa Hilir Bendungan Gonggang

Sta.	Lokasi Rawan	Jarak dari Bendungan Gonggang	Elevasi Dasar Sungai	Elevasi Muka Air Maks	Debit Puncak Banjir	Kedalaman Banjir Maksimum dari Elevasi Pemukiman	Kecepatan Maksimum	Waktu Banjir (jam)						
								Waktu Datang	Waktu Puncak	Waktu Surut	Waktu Menuju Puncak		Lama Banjir	
		(km)	(+m)	(+m)	(m ³ /dt)	(m)	(m/dt)	(jam ke-)			(jam)	(menit)	(jam)	(menit)
20+500	Desa Cileng Kecamatan Poncol	4,86	518	527,9	2423,55	4,9	10,26	5,12	5,27	5,57	0	16,2	0	27
19+000	Desa Duwet Kecamatan Poncol	6,36	458,33	467,85	2283,35	4,52	10,52	5,13	5,3	5,65	0	18	0	31,2
17+200	Desa Ngaglik Kecamatan Parang	8,16	399	407,74	2112,90	3,74	8,29	5,18	5,35	5,68	0	21	0	30
15+000	Desa Ngepeh Kecamatan Parang	10,36	334	340,78	1889,82	1,78	5,81	5,30	5,43	5,64	0	25,8	0	20,4
12+000	Desa Pragak Kecamatan Parang	13,36	249	255,45	1418,54	1,45	5,88	5,50	5,67	5,84	0	40,2	0	20,4
10+000	Desa Kediren Kecamatan Lambeyan	15,36	190	196,38	1233,41	1,38	3,92	5,51	5,82	5,94	0	49,2	0	25,8
6+500	Desa Sumberejo Kecamatan Lambeyan	18,86	132	138,16	832,85	1,16	2,83	5,54	6,12	6,23	1	7,2	0	41,4
3+500	Desa Sekawung Kecamatan Sukorejo	21,86	107,66	113,71	618,47	1,05	2,01	5,57	6,43	6,78	1	25,8	1	12,6

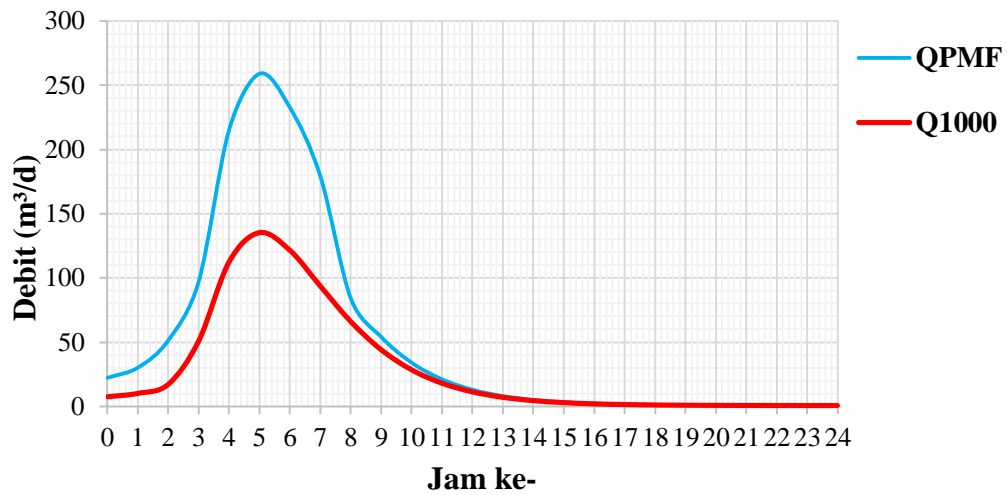
Dari hasil analisis pola aliran banjir akibat keruntuhan Bendungan Gonggang pada daerah hilir bendungan menunjukkan wilayah yang terkena dampak banjir pertama sendiri berada pada Desa Cileng Kecamatan Poncol dengan waktu datang banjir 7,2 menit, selain itu pada Desa Cileng merupakan wilayah dengan dampak kedalaman banjir paling besar yaitu sebesar 4,9 meter dan debit puncak banjir paling besar yaitu 2423,55 m³/dt. Hal ini dikarenakan Desa Cileng merupakan desa yang paling dekat dengan Bendungan Gonggang dari pada desa-desa lainnya. Namun bila dibandingkan secara kecepatan aliran banjir, kecepatan aliran terbesar pada Desa Duwet Kecamatan Poncol dengan kecepatan maksimum 10,52 m/dt, dengan volume air dan kecepatan yang tinggi ini dapat menimbulkan banjir bandang. Banjir bandang ini juga mengangkut material halus berupa lanau atau lempung serta material kasar berupa pasir, kerikil, kerakal, bongkah batu dan batang-batang kayu pepohonan yang tumbang dan ikut terbawa arus. Kombinasi dari kedalaman dan kecepatan aliran ini dapat menimbulkan daya rusak air yang dapat merusak rumah-rumah warga dan bangunan konstruksi lainnya. Oleh karena itu perlu adanya antisipasi atau mitigasi bencana untuk mengurai dampak dari bencana banjir bandang yang dihasilkan akibat keruntuhan Bendungan Gonggang.

1.5 Sistem Peringatan Dini

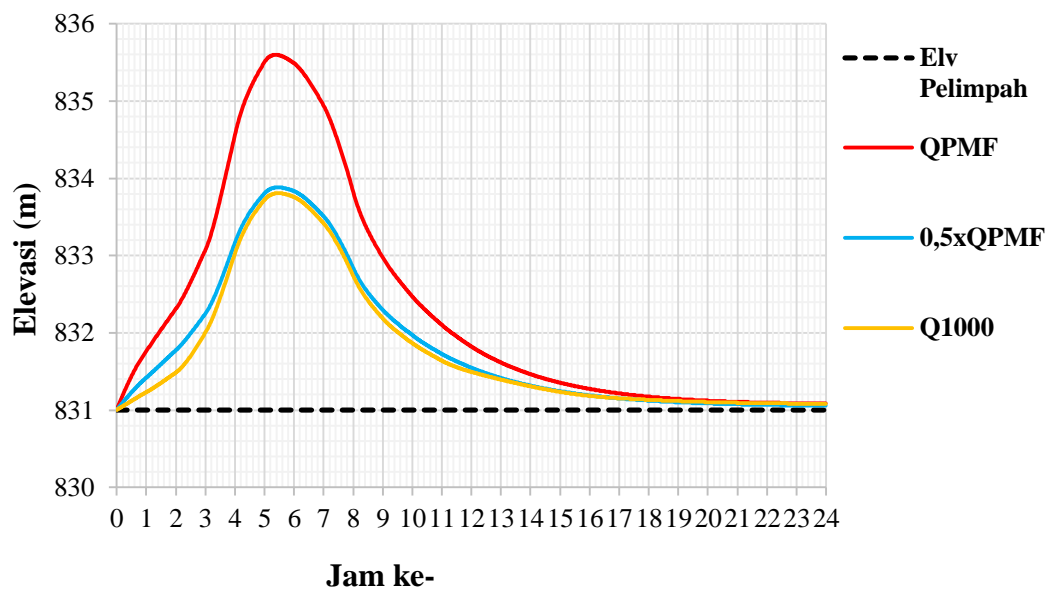
Sistem siaga bertingkat dilaksanakan, apabila ketinggian muka air waduk telah mencapai tinggi tertentu yang merupakan tingkat siaga untuk pengamanan bendungan terhadap bahaya banjir. Apabila banjir datang maka pengukuran dan pencatatan ketinggian air pada papan duga di *intake*, ditingkatkan menjadi tiap 1 jam. Apabila berdasarkan hasil pengukuran dan pencatatan diramalkan akan datang debit banjir rancangan kala ulang 1000 tahun dan elevasi terus naik maka status bendungan ditingkatkan menjadi siaga.

Dari hasil simulasi apabila terjadi debit banjir sebesar Q_{PMF} dengan kondisi awal muka air pada elevasi +831,00, elevasi saat debit puncak Q_{PMF} berada pada elevasi +835,60, elevasi saat debit puncak $0,5 \times Q_{PMF}$ berada pada elevasi +833,88, elevasi saat debit puncak Q_{1000} berada pada elevasi +833,81. Grafik hidrograf rencana Q_{PMF} dan Q_{1000} Bendungan Gonggang ditunjukkan pada gambar 5.56 dan

grafik elevasi dengan debit banjir Q_{PMF} , $0,5xQ_{PMF}$ dan Q_{1000} pada Bendungan Gonggang dapat dilihat pada Gambar 5.57.



Gambar 5. 60 Hidrograf Rencana Q_{PMF} dan Q_{1000} Bendungan Gonggang



Gambar 5. 61 Grafik Elevasi Q_{PMF} , $0,5xQ_{PMF}$ dan Q_{1000} Bendungan Gonggang

Tabel 5. 12 Tabel Status Siaga Banjir Bandungan Gonggang

Kondisi	Elevasi Muka Air (+m)	Tindakan
Siaga I (Banjir kala ulang 1000 tahun)	+833,81	- Peringatan banjir, mengadakan persiapan, petugas-petugas banjir disiagakan, memeriksa dan mengawasi/mengecek sistem informasi dan komunikasi yang diperlukan
Siaga II (Banjir kala ulang 0,5xQ _{PMF})	+833,88	<ul style="list-style-type: none"> - Pada saat elevasi muka air waduk diatas elevasi banjir kala ulang 0,5 PMF maka harus dilakukan pelepasan air waduk bertahap dengan maksud untuk menurunkan tinggi muka air waduk. Pengendalian ini dilakukan dengan cara memanfaatkan pelimpah dan bila perlu melalui pintu pengambilan (intake) sampai tinggi muka air waduk mencapai elevasi mercu spillway - Penanggung jawab bendungan harus memerintahkan untuk memberikan peringatan bahaya banjir pada penduduk di hilir waduk. Peringatan harus diberikan 30 menit sebelum banjir mencapai masing-masing daerah.
Siaga III (Banjir kala ulang Q _{PMF})	+835,60	<ul style="list-style-type: none"> - Dalam keadaan kritis penanggung jawab bersama-sama Gubernur Jawa Tengah mengambil langkah-langkah pengamanan sosial, pengungsian penduduk, dan komunikasi logistik ke segala tingkat daerah yang terkena dampak banjir. - Petugas teknis harus terjun mengadakan upaya-upaya penanggulangan.

