



## **Analisa Sebaran Genangan Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan Tempuran**

**\*Retno Sri Waryani, Sri Sangkawati Sachro, Sutarto Edhisono**

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang

*\*)yanipwd99@gmail.com*

Received: 30 November 2024 Revised: 14 Juli 2025 Accepted: 15 Juli 2025

### **Abstract**

*The Tempuran Dam is one of the oldest dams in Indonesia and is currently experiencing a lot of damage, which could potentially lead to dam failure such as a dam collapse. To reduce the impact of losses resulting from dam collapses, it is necessary to analyze flood inundation patterns in the context of disaster mitigation. The dam failure analysis was modeled using HEC-RAS software with failure conditions due to overtopping and due to piping. The input in this modeling is the PMF plan discharge which is generated using HEC-HMS modeling with the HSS SCS method. The data required for HEC-HMS modeling are raster maps, land use maps, soil type maps and Hersfield method PMP rainfall plans. From the analysis results, it was found that the PMF planned flood was 115.54 m<sup>3</sup>/sec. The area of the flood inundation due to the collapse of the Tempuran Dam, the bottom piping condition was 2.61 km<sup>2</sup> and the depth of the flood varied between 0 m to 3 m, where the area most deeply affected by the inundation was Purwosari Village, Blora Kota District. From the mapping results, the areas affected by flood inundation due to the collapse of the Tempuran Dam are Tempuran Village, Sendangharjo Village, Ngadipurwo Village, Purwosari Village, Patalan Village and Tempurejo Village. Where the fastest flood travel time is 48 minutes to Tempuran Village and the longest flood travel time is 5.25 hours to Tempurejo Village.*

**Keywords:** *Tempuran dam, dam break, overtopping, piping*

### **Abstrak**

*Bendungan Tempuran merupakan salah satu bendungan tertua di Indonesia yang kondisinya saat ini banyak mengalami kerusakan, dimana hal ini dapat berpotensi terjadinya kegagalan bendungan seperti keruntuhan bendungan. Untuk mengurangi dampak kerugian akibat dari keruntuhan bendungan perlu dilakukan analisa sebaran genangan banjir dalam rangka mitigasi bencana. Analisa keruntuhan bendungan dimodelkan dengan menggunakan software HEC-RAS dengan kondisi keruntuhan akibat overtopping dan akibat piping. Masukan dalam pemodelan ini adalah debit rencana PMF yang dihasilkan menggunakan pemodelan HEC-HMS dengan metode HSS SCS. Data yang diperlukan untuk pemodelan HEC-HMS adalah peta raster, peta tata guna lahan, peta jenis tanah dan hujan rencana PMP metode Hersfield. Dari hasil analisa didapatkan banjir rencana PMF sebesar 115,54 m<sup>3</sup>/dt. Luas genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Tempuran kondisi piping bawah seluas 2,61 km<sup>2</sup> serta kedalaman banjir bervariasi antara 0 m sampai 3 m, dimana wilayah terdampak genangan yang paling dalam adalah Desa Ngadipurwo Kecamatan Blora Kota. Dari hasil pemetaan wilayah yang terdampak genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Tempuran adalah Desa Tempuran, Desa Sendangharjo, Desa Ngadipurwo, Desa Purwosari, Desa Patalan dan Desa Tempurejo. Dimana waktu tempuh banjir tercepat 35 menit ke Desa Tempuran dan waktu tempuh banjir terlama 5,25 jam ke Desa Tempurejo.*

**Kata kunci:** *Bendungan Tempuran, keruntuhan bendungan, overtopping, piping*

### **Pendahuluan**

Bendungan Tempuran merupakan salah satu bendungan tertua di Indonesia yang dibangun pada Tahun 1914. Bendungan Tempuran mempunyai

manfaat untuk memenuhi kebutuhan irigasi, air baku, pariwisata dan pengendalian banjir. Puncak bendungan digunakan sebagai akses menuju ke sawah dan Dukuh Kepuh. Aktifitas lalu lintas yang rutin ini berdampak terjadinya lendutan pada

puncak bendungan, sehingga terjadi retakan sekitar 20 meter pada puncak bendungan. Pada saat musim kering sering terjadi longsor pada lereng hulu bendungan. Selain itu drainase yang ada dipuncak bendungan juga mengalami kerusakan. Berdasarkan inspeksi lapangan bangunan Intake mengalami beberapa kerusakan seperti, pintu stoplog yang tidak berfungsi sempurna dan mengalami kebocoran (PT. Indra Karya, 2023).

Menurut Brunner (2014) salah satu penyebab keruntuhan bendungan adalah kegagalan bangunan pelengkap. Dengan beberapa kondisi tersebut diperkirakan dapat berpotensi terjadinya kegagalan seperti keruntuhan bendungan yang dapat menyebabkan bencana banjir di daerah hilir bendungan. Oleh karena itu perlu adanya penelitian tentang analisa sebaran genangan banjir saat terjadi keruntuhan Bendungan Tempuran dalam rangka mitigasi bencana. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk menganalisa debit banjir rencana, menganalisa sebaran genangan banjir akibat keruntuhan bendungan mencakup luas genangan dan wilayah terdampak banjir akibat keruntuhan bendungan, menganalisa kedalaman genangan dan waktu tempuh banjir serta memberikan rekomendasi mitigasi bencana banjir bagi pihak berwenang setempat. Arifin & Budiyanto (2021) melakukan analisis keruntuhan bendungan dengan curah hujan rancangan PMP sebesar 386,06 mm dan debit banjir PMF metode *rainfall-runoff* Snyder sebesar 137 m<sup>3</sup>/det. Jarak terjauh daerah terdampak banjir di hilir adalah 9,912 km. Pemodelan ini menggunakan program Zhong Xing HY21 dengan skenario keruntuhan akibat *piping* atas. Dalam penelitian ini dilakukan analisis hidrologi dengan menggunakan metode lain yaitu perangkat lunak HEC-RAS.

## Metode

Data yang digunakan adalah data hujan harian maksimum tahunan dari Stasiun Hujan Tempuran tahun 1991 sampai dengan tahun 2021 dari Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana, data hujan satelit GPM (*Global Precipitation Measurement*) dari situs NASA <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>, data tinggi muka air waduk, peta topografi dari situs <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas>, peta penutupan lahan dari peta RBI, peta jenis tanah dari database HWSD (*Harmonized World Soil Database*) dan data teknis Bendungan Tempuran.

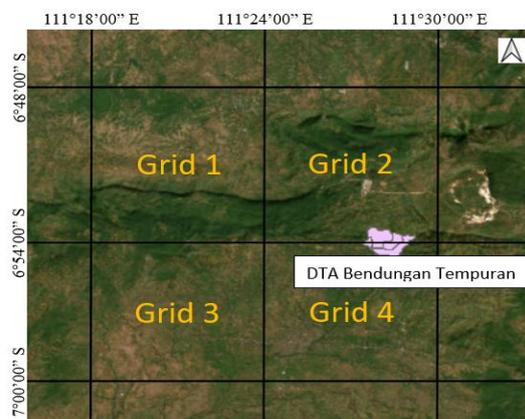
Data hujan yang digunakan adalah data hujan harian maksimum seperti pada Tabel 1. Data hujan ini untuk menghitung hujan rencana PMP dengan Metode Hersfield yang digunakan sebagai masukan dalam analisa debit banjir rencana PMF dengan

pemodelan HEC-HMS (Balai Teknik Bendungan, 2022). Data hujan satelit GPM digunakan untuk menentukan durasi dan distribusi curah hujan, dikarenakan tidak terdapat data hujan otomatis jam-jaman di lokasi penelitian.

**Tabel 1. Curah hujan harian maksimum tahunan Stasiun Hujan Tempuran**

No	Curah hujan (mm)	No	Curah hujan (mm)
1	95	17	77
2	103	18	68
3	93	19	90
4	79	20	93
5	76	21	50
6	103	22	45
7	125	23	91
8	82	24	47
9	108	25	85
10	115	26	91
11	67	27	95
12	87	28	102
13	50	29	74
14	87	30	73
15	50	31	80
16	100		

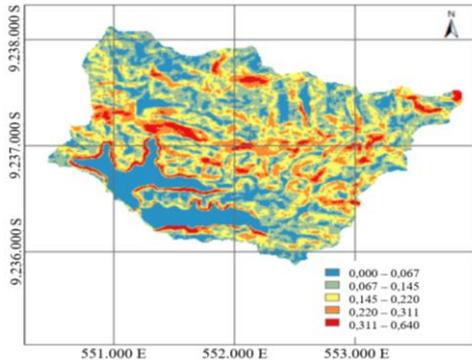
Satelit GPM menawarkan teknologi yang lebih baik dengan hasil yang lebih akurat serta cakupan spasial yang lebih luas dibandingkan dengan satelit TRMM (Blumenfeld, 2019; Hou et al., 2014; Tong et al., 2018; Hartyan et al., 2024). Keakuratan data curah hujan GPM memiliki nilai yang lebih baik, sehingga data satelit GPM dapat diandalkan dalam mitigasi resiko bencana banjir (Pratiwi et al., 2017; Ginting et al., 2019). GPM memiliki resolusi spasial sebesar 0,1° x 0,1°, resolusi temporal sebesar 30 menit, dan cakupan dari 60°LU hingga 60°LS (Samosir, et al., 2021).



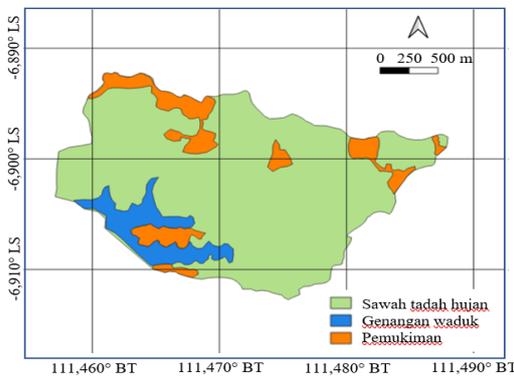
**Gambar 1. Peta GPM**

Data hujan satelit GPM di lokasi penelitian terbagi menjadi 4 grid seperti pada Gambar 1. Grid 2 (6,85° LS dan 111,45° BT), dan grid 4 (6,95° LS dan

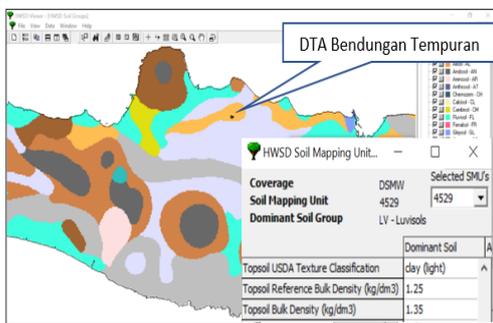
111,45° BT) merupakan lokasi DTA Bendungan Tempuran yang akan di gunakan untuk menentukan durasi dan distribusi curah hujan. Data yang diperlukan untuk analisa debit banjir rencana adalah peta topografi (Gambar 2), peta penutupan lahan (Gambar 3) dan peta jenis tanah (Gambar 4).



Gambar 2. Peta kelergan DTA Bendungan Tempuran

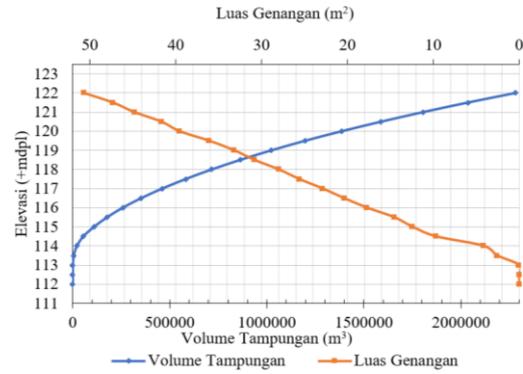


Gambar 3. Peta penutupan lahan DTA Bendungan Tempuran

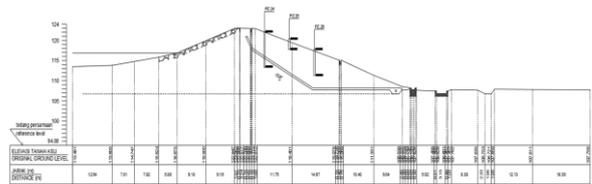


Gambar 4. Peta jenis tanah

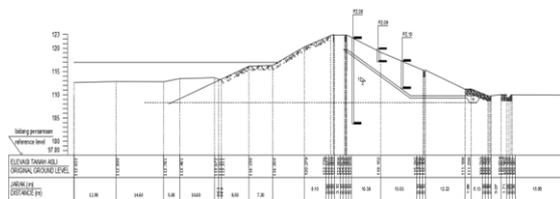
Peta jenis tanah untuk menentukan nilai parameter CN (*Curva Number*) dan *Lag Time* pada pemodelan dengan HEC-HMS. Data teknis bendungan serta kapasitas tampungan waduk juga diperlukan dalam analisa debit banjir rencana pemodelan HEC-HMS. Data teknis Bendungan Tempuran dan kapasitas tampungan waduk disajikan pada Tabel 2 dan Gambar 5. Dengan tata letak beserta potongan melintang disajikan pada Gambar 6, 7 dan 8.



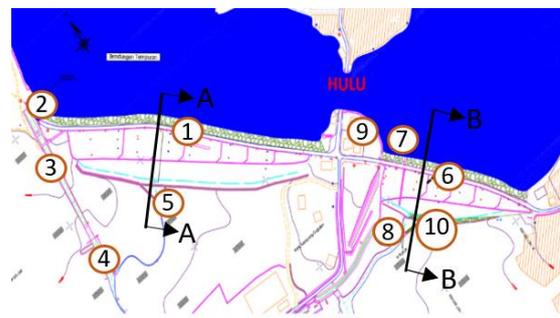
Gambar 5. Kapasitas tampungan waduk (Sumber : PT. Indra Karya, 2023)



Gambar 6. Bendungan Tempuran Kanan potongan A-A (Sumber : PT. Indra Karya, 2023)



Gambar 7. Bendungan Tempuran Kanan potongan B-B (Sumber : PT. Indra Karya, 2023)



1. Puncak bendungan kanan Pelimpah
2. Saluran peluncur
3. Kolam olak
4. V-notch kanan
5. Puncak bendungan kiri Pelimpah
6. Menara intake
7. Outlet
8. Rumah jaga
9. V-notch kiri
10. V-notch kiri

Sumber: PT. Indra Karya, 2023

Gambar 8. Gambar tata letak Bendungan Tempuran ()

Analisa banjir rencana ini menghasilkan hidrograf banjir yang digunakan untuk penelusuran banjir pada pelimpah dan sebaran genangan banjir akibat keruntuhan bendungan dengan menggunakan pemodelan HEC-RAS. Metode yang digunakan dalam pemodelan ini adalah *Rainfall - Runoff*.

**Tabel 2. Data teknis Bendungan Tempuran**

No	Data Teknis	Keterangan
1	Sungai	S. Manggok
2	Panjang sungai	3,35 m
3	Luas DTA	4,44 km <sup>2</sup>
4	Tipe tubuh bendungan	Urugan tanah homogen
5	Panjang puncak bendungan	490,00 m
6	lebar puncak bendungan	4,00 m
7	Elevasi puncak bendungan	+123,00 mdpl
8	Tinggi bendungan dari dasar sungai	10,60 m
9	Tipe pelimpah	Mercu Ogee
10	Elevasi mercu pelimpah	+120,80 mdpl
11	Panjang puncak pelimpah	16,00 m

Komponen kehilangan (*loss*) ditentukan dengan metode SCS *Curva Number (CN)* dan komponen *transform* metode SCS *Unit Hydrograph (US Army Corps, 2010)*. Dengan bantuan penambahan *software HEC Geo HMS* pada program ArcGIS didapatkan nilai parameter CN dan *Lag Time*. Sebelum hidrograf banjir digunakan perlu dilakukan kalibrasi dan verifikasi parameter terlebih dahulu agar tinggi muka air waduk perhitungan sama dengan atau mendekati tinggi muka air waduk observasi. Setelah didapatkan hidrograf banjir rencana kemudian melakukan analisa sebaran genangan banjir akibat keruntuhan bendungan. Keruntuhan bendungan dapat diakibatkan oleh *piping* dan *overtopping* (Murdiani, 2020). Dari hasil analisa sebaran genangan banjir didapatkan sebaran yang meliputi luas genangan, wilayah terdampak, tinggi genangan air dan waktu tempuh banjir.

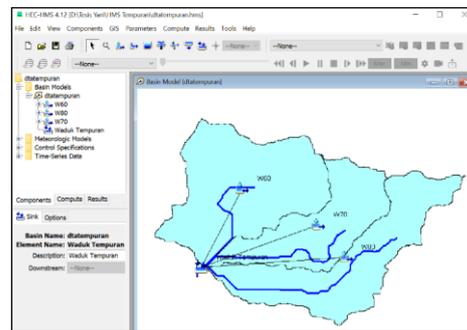
### Hasil dan Pembahasan

Data hujan sebelum digunakan untuk analisis hujan rencana PMP, dilakukan penyaringan data hujan harian maksimum tahunan terlebih dahulu. Penyaringan data hujan meliputi uji pencilan (*outliers*), uji ketidakadaan *trend*, uji *stationer/*kestabilan dan uji persistensi dan didapatkan hasil hujan rencana PMP sebesar 456,93 mm dengan Metode *Hersfield*.

Hasil analisa hujan PMP dengan Metode *Hersfield* lebih kecil jika dibandingkan dengan Peta Isohiet PMP yaitu sebesar 525 mm (<https://sda.pu.go.id/balai/teknikbendungan/peta/pmp>). Namun dalam penelitian ini hujan PMP yang digunakan adalah hujan PMP yang didapat dari Metode *Hersfield* karena data hujan telah diperbarui sampai tahun 2021. Sedangkan Peta Isohiet merupakan data tahun 2012.

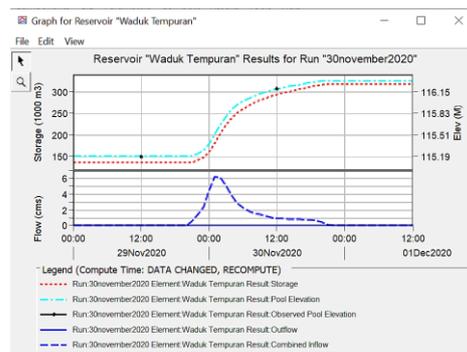
Model yang digunakan untuk menganalisa banjir PMF adalah dengan *software HEC-HMS* dengan melakukan pembagian DAS ke dalam sub DAS yang lebih kecil, dan dengan hujan rancangan

didistribusikan ke jam-jaman melalui distribusi *Huff-1* serta menggunakan *Areal Reduction Factor* dan faktor reduksi temporal (Singh, 1994). Pembagian sub-das dilakukan dengan menggunakan bantuan *software Sistem Informasi Geografis* seperti pada Gambar 9.



**Gambar 9. Pembuatan subbasin DTA Bendungan Tempuran dengan software SIG**

Pemodelan hujan menjadi limpasan perlu melalui proses kalibrasi parameter model sehingga diperoleh hubungan yang baik antara hidrograf hasil perhitungan dengan hidrograf hasil pengamatan. Pada lokasi penelitian terdapat catatan tinggi muka air waduk yang dilakukan sekali dalam sehari. Kalibrasi dilakukan dengan data kejadian pada 30 November 2020. Hasil kalibrasi dan verifikasi dapat dilihat pada Gambar 10.



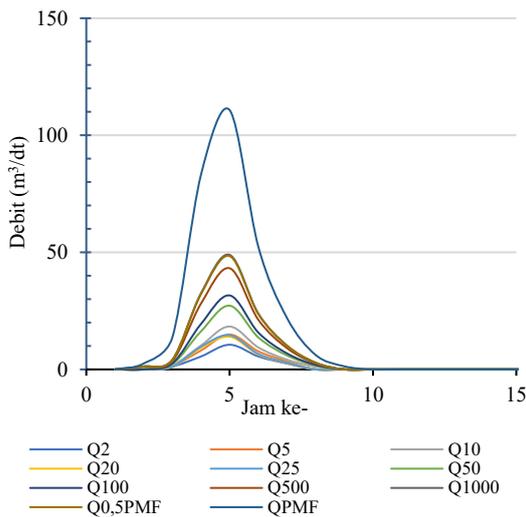
**Gambar 10. Kalibrasi parameter model kejadian 30 November 2020**

Tabel 3. Parameter *basin models* DTA Bendungan Tempuran dalam HEC-HMS

Subbasin	Area (km <sup>2</sup> )	CN		Ia		Impervious (%)	Lag Time (Menit)
		Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah		
W60	1,81	83,80	80,80	9,82	12,07	19,50	25,00
W70	1,10	85,25	82,25	8,79	10,97	28,75	26,45
W80	1,47	84,88	81,88	9,05	11,25	23,65	33,61

Dari hasil kalibrasi parameter model dengan *trial and error* didapatkan perubahan parameter model seperti pada Tabel 3. Pada kejadian 30 November 2020 dari hasil kalibrasi didapatkan nilai RMSE sebesar 0,105, *PBias* 0,02% dan *NS* 0,989. Berdasarkan hasil dari kalibrasi dapat disimpulkan penilaian kedekatan hasil model dan pengamatan adalah *very good* dimana nilai RMSE dari kalibrasi antara 0,00 sampai dengan 0,50, nilai *NS* antara 0,60 sampai dengan 1,00, serta nilai *PBIAS* dibawah 10.

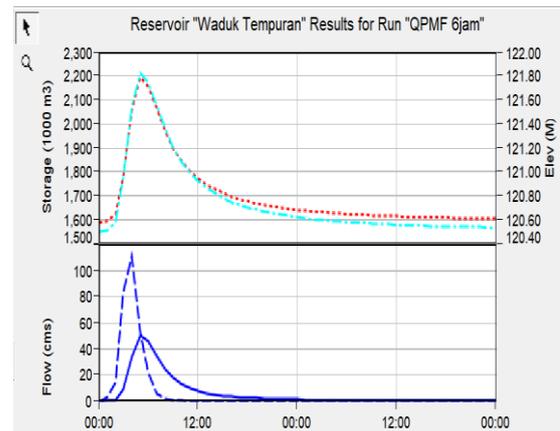
Dari analisa debit banjir rencana menggunakan beberapa macam durasi hujan didapatkan debit banjir terbesar pada durasi hujan 6 jam. Dengan demikian hidrograf banjir dengan durasi 6 jam akan digunakan untuk analisa penelusuran banjir pada pelimpah dan juga untuk analisa keruntuhan bendungan. Hidrograf debit banjir rencana dengan menggunakan pemodelan HEC-HMS dengan durasi 6 jam pada Gambar 11.



Gambar 11. Hidrograf debit banjir rencana Bendungan Tempuran

Analisa penelusuran banjir pada pelimpah menggunakan pemodelan HEC-HMS adalah dengan menambahkan reservoir pada komponen basin mode. Pada penelusuran banjir melalui pelimpah ini, *initial elevation* (elevasi muka air waduk pada awal penelusuran banjir) direncanakan pada elevasi +120,80 m yang bertepatan dengan elevasi mercu *spillway*. Hasil dari analisa

penelusuran banjir pada pelimpah disajikan pada Gambar 12. Dalam penelusuran banjir melalui pelimpah pada kondisi hujan PMP didapat tidak terjadi *overtopping* pada bendungan, sehingga analisa sebaran banjir akibat keruntuhan bendungan dilakukan dengan kondisi *piping* atas dan *piping* bawah.



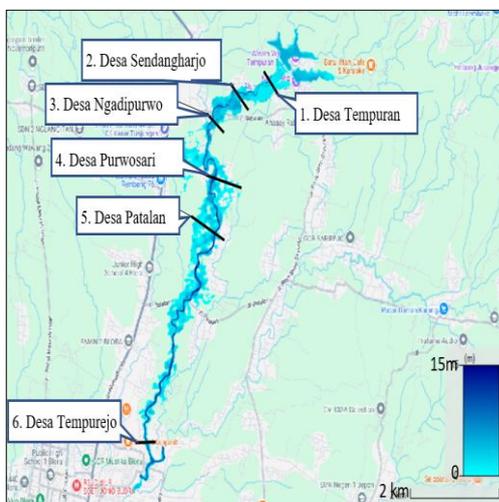
Gambar 12. Hidrograf penelusuran banjir pada pelimpah

Simulasi keruntuhan bendungan akibat *piping* atas dan *piping* bawah dengan parameter yang ditetapkan berdasarkan rentang kemungkinan nilai karakteristik keruntuhan bendungan sebagai berikut (Chalid, 2022): (1) Waktu keruntuhan yang diterbitkan oleh USACE (2007) ditetapkan 0,1 – 4 jam dan oleh Ferc (1988) ditetapkan 0,1 – 1 jam, sehingga dalam simulasi waktu keruntuhan diambil 2 jam untuk kondisi *overtopping* dan *piping*. (2) Rata-rata lebar keruntuhan menurut USACE (2007)  $(0,5 - ) \times HD$  (tinggi bendungan). Tinggi Bendungan Tempuran adalah 10,60 m, rata-rata lebar keruntuhan menurut USACE (2007) 0,5 – 5 x HD, yang berarti antara 5,3 – 53 m. Sedangkan rata-rata lebar keruntuhan menurut Rerc (1988)  $(1 - 5) \times HD$  yang berarti antar 10,6 – 53 m. Dalam analisa ini diambil rata-rata lebar rekahan sepanjang 40 m. (3) Kemiringan lereng sisi keruntuhan, berdasarkan USACE dan FERC kemiringan lereng sisi keruntuhan 0–1. Dalam analisa ini diambil kemiringan lereng sisi keruntuhan 1:1 dan skenario parameter yang digunakan dalam simulasi Analisa Penelusuran Banjir akibat keruntuhan bendungan dengan pemodelan HEC-RAS dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Matriks skenario parameter analisa penelusuran banjir akibat keruntuhan Bendungan Tempuran**

Skenario	Piping atas	Piping bawah	Satuan
Elevasi Puncak Bendungan	+123,0	+123,0	meter
Upper Boundary	$Q_{PMF}$	$Q_{PMF}$	
Lower Boundary	Zero gradient	Zero gradient	
Panjang Bendungan	240	240	meter
Lebar Spillway	16	16	meter
Elevasi Mercu Spillway	+120,8	+120,8	meter
Lebar rekahan rata-rata	40	40	meter
Elevasi Final dasar keruntuhan dasar	+115,5	+115,5	meter
Kemiringan Sisi Keruntuhan Kiri	1	1	
Kemiringan Sisi Keruntuhan Kanan	1	1	
Waktu Keruntuhan	1,5	1,5	jam
Elevasi Pusat Piping	+122,3	+117,5	meter
Tinggi MAW awal simulasi	+122,3	+120,8	meter

Hasil dari simulasi penelusuran banjir akibat keruntuhan Bendungan Tempuran dengan kondisi piping bawah dengan  $Q_{PMF}$  adalah; luas genangan banjir sebesar 2,61 km<sup>2</sup> yang digambarkan dalam bentuk peta genangan. Peta genangan ini disajikan pada Gambar 13. Untuk kondisi piping atas luas genangan banjir adalah 1,58 km<sup>2</sup>. Karena luas genangan banjir akibat keruntuhan bendungan dengan kondisi piping bawah lebih luas dari luas genangan banjir akibat dengan kondisi piping atas, maka yang akan dibahas hanya hasil analisa sebaran genangan banjir akibat keruntuhan bendungan dalam akibar piping bawah dan sebaran genangan banjir tanpa keruntuhan bendungan dengan  $Q_{PMF}$ . Hasil simulasi penelusuran banjir tanpa keruntuhan bendungan dengan  $Q_{PMF}$  disajikan pada Gambar 14.



**Gambar 13. Peta genangan akibat keruntuhan bendungan kondisi piping bawah**

Dari peta sebaran genangan banjir akibat keruntuhan bendungan piping bawah (Gambar 13)

dapat disajikan sebaran genangan banjir yang meliputi wilayah genangan, luas genangan, kedalaman genangan, kecepatan banjir dan waktu kedatangan banjir pada setiap desa pada Tabel 5. Sedangkan perbandingan sebaran genangan banjir akibat keruntuhan bendungan dan tanpa keruntuhan bendungan ditinjau di masing-masing ruas disajikan pada Tabel 6.



**Gambar 14. Peta genangan dengan  $Q_{PMF}$  tanpa keruntuhan bendungan**

Wilayah genangan banjir yang dikaji dibatasi dari hilir Bendungan Tempuran sampai pertemuan Sungai Lusi di Desa Tempurejo yaitu sejauh 6,99 km. Terdapat 6 lokasi titik pengamatan sungai yang berada didekat permukiman setiap desa yang terdampak genangan banjir.

**Tabel 5. Sebaran genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Tempuran kondisi *piping* bawah**

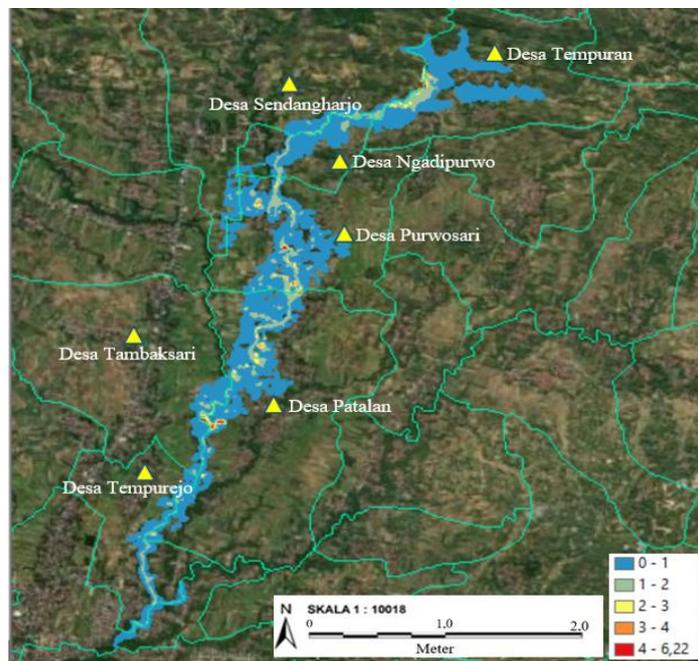
No	Desa terdampak	Luas genangan (km <sup>2</sup> )	Jarak dari bendungan (km)	Kedalaman banjir (m)	Waktu tempuh banjir (jam)	Kecepatan banjir (m/dt)
1	Tempuran	0,25	0 - 0,79	0 - 9,10	0 - 5,56	0 - 5,61
2	Sendangharjo	0,19	0,02 - 3,09	0 - 11,58	0,15 - 24,00	0 - 4,31
3	Ngadipurwo	0,25	0,79 - 2,36	0 - 12,96	0,71 - 20,61	0 - 3,96
4	Purwosari	0,63	2,04 - 3,20	0 - 15,12	1,64 - 24,00	0 - 4,62
5	Patalan	0,72	2,84 - 6,23	0 - 14,72	2,45 - 24,00	0 - 6,22
6	Tempurejo	0,18	6,20 - 7,25	0 - 10,79	4,17 - 24,00	0 - 4,95

**Tabel 6. Perbandingan sebaran genangan banjir akibat keruntuhan bendungan dan tanpa keruntuhan bendungan**

No	Wilayah terdampak	Jarak Dari Bendungan (km)	Kedalaman Banjir (m)			Waktu Tempuh Banjir (jam)		
			<i>Piping</i> Bawah	<i>Piping</i> Atas	Tanpa Dam break	<i>Piping</i> Bawah	<i>Piping</i> Atas	Tanpa dam break
1	Desa Tempuran	0,48	8,74	7,37	6,03	0,58	1,17	4,80
2	Desa Sendangharjo	1,42	11,58	8,39	6,41	0,92	1,25	4,80
3	Desa Ngadipurwo	2,21	11,63	9,18	8,14	1,58	1,75	4,80
4	Desa Purwosari	3,62	11,96	9,97	7,30	2,08	2,42	6,88
5	Desa Patalan	4,60	7,84	6,84	3,60	2,50	2,92	6,88
6	Desa Tempurejo	6,52	10,03	8,71	2,56	5,25	5,75	8,80

**Tabel 7. Tinggi genangan banjir ditinjau dari kedalaman yang terdalam di tiap desa**

No	Desa	El. muka air banjir (+mdpl)	El. dasar sungai (+mdpl)	El. tanggul sungai (+mdpl)	Tinggi genangan dari dasar sungai (m)	Tinggi genangan dari tanggul sungai (m)
1	Tempuran	110,10	101,00	109,21	9,10	0,89
2	Sendangharjo	109,58	98,00	107,00	11,58	2,58
3	Ngadipurwo	107,96	95,00	105,00	12,96	2,96
4	Purwosari	101,12	86,00	99,00	15,12	2,82
5	Patalan	97,72	83,00	96,81	14,72	0,91
6	Tempurejo	90,79	80,00	89,00	10,79	1,79



**Gambar 15. Peta kecepatan banjir akibat keruntuhan bendungan dengan *piping* bawah**

Desa-desanya yang terdampak yaitu Desa Tempuran, Sendangharjo, Ngadipurwo, Purwosari, Patalan dan Desa Tempurejo. Lokasi terdekat adalah Desa Tempuran sejauh 0,48 km dari bendungan, dan terjauh adalah Desa Tempurejo dengan jarak 6,52 km dari bendungan. Lokasi dan jarak desa yang tergenang dari bendungan, kedalaman (ditentukan dari dasar sungai) dan waktu tempuh banjir disajikan pada Tabel 5. Desa yang paling luas terdampak adalah Desa Patalan yaitu seluas 0,72 km<sup>2</sup> dengan jarak 2,84 km. Selain itu dapat diketahui juga kecepatan banjir yang terjadi bervariasi antara 0-6,22 m/dt. Kecepatan banjir yang terjadi disajikan pada Gambar 15.

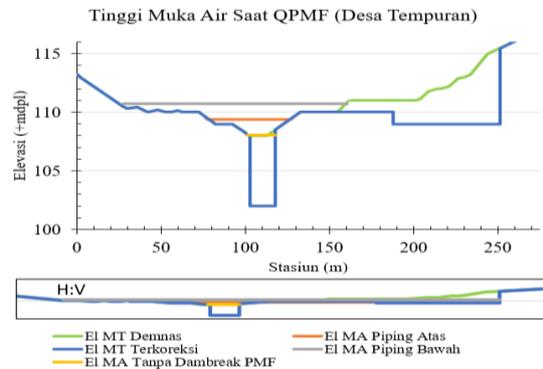
Kedalaman banjir tertinggi terdapat di Desa Purwosari dengan kedalaman air terdalam 11,96 m. Sedangkan desa tergenang dengan kedalaman yang paling rendah adalah Desa Tempurejo yaitu 2,56 m tanpa adanya keruntuhan bendungan. Waktu tempuh tercepat yang dihitung berdasarkan saat muka air tertinggi, adalah di Desa Tempuran pada saat keruntuhan bendungan akibat *piping* bawah, yaitu 0,58 jam dari awal terjadinya keruntuhan bendungan. Sedangkan waktu terlama di Desa Tempurejo saat terjadi debit  $Q_{PMF}$  tanpa adanya keruntuhan bendungan.

Di hilir Bendungan Tempuran belum ada catatan kejadian banjir. Selain itu pencatatan tinggi muka air waduk jam-jaman pada saat terjadi banjir juga belum tersedia, sehingga debit hasil model belum dikalibrasi. Maka dalam penelitian ini dilakukan tinjauan genangan saat terjadi *dambreak* dan tidak terjadi *dambreak*. Tinjauan muka air banjir  $Q_{PMF}$  pada saat terjadi *dambreak* dan tanpa *dambreak* diambil pada ruas sungai yang dekat dengan permukiman tergenang. Gambar 16 menunjukkan kedalaman banjir  $Q_{PMF}$  saat terjadi keruntuhan bendungan kondisi *piping* bawah, keruntuhan bendungan kondisi *piping* atas dan tanpa adanya keruntuhan bendungan.

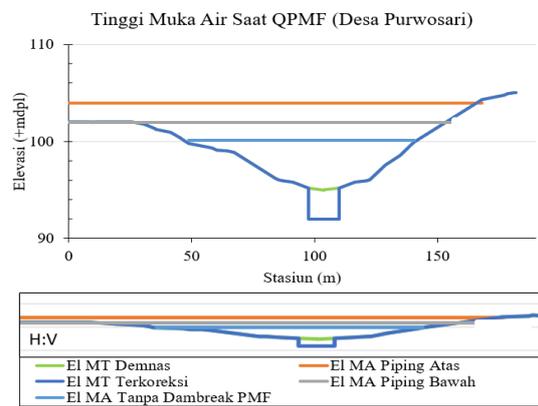
Dari gambar tersebut tampak bahwa tinggi muka air genangan banjir akibat keruntuhan bendungan kondisi *piping* bawah lebih tinggi dibandingkan dengan tinggi muka air akibat keruntuhan bendungan kondisi *piping* atas dan tinggi muka air tanpa ada keruntuhan bendungan dengan debit banjir  $Q_{PMF}$ . Hal ini dikarenakan kondisi bendungan dan karakteristik rekahan lebih bawah/*piping* bawah mempunyai potensi keruntuhan yang lebih besar dibandingkan dengan kondisi rekahan lebih atas / *piping* atas (Firmada *et al.*, 2024).

Tinggi muka air tanpa keruntuhan bendungan lebih rendah dibandingkan dengan tinggi muka air akibat keruntuhan bendungan, karena debit banjir yang melimpas lebih kecil dibandingkan dengan debit

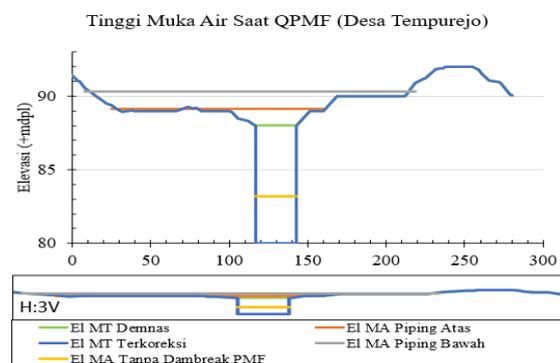
banjir akibat keruntuhan bendungan. Debit banjir yang melimpas akibat keruntuhan bendungan termasuk air di waduk, sedangkan tanpa keruntuhan bendungan hanya debit  $Q_{PMF}$ .



Gambar 16. (a). Tinggi muka air  $Q_{PMF}$  ruas 1



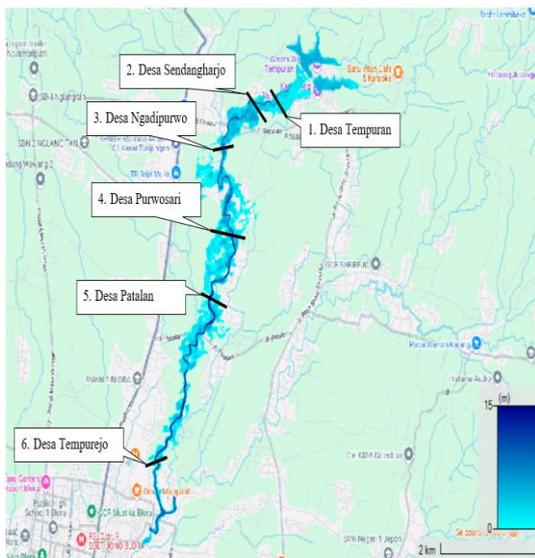
Gambar 16. (b). Tinggi muka air  $Q_{PMF}$  ruas 4



Gambar 16. (c). Tinggi muka air  $Q_{PMF}$  ruas 6

Kedalaman genangan air banjir yang paling dalam di setiap desa akibat keruntuhan bendungan dengan kondisi *piping* bawah disajikan pada Tabel 7, Sedangkan lokasi genangan banjir yang terdalam di setiap desa disajikan pada Gambar 17. Dapat diketahui genangan yang terdalam jika ditinjau dari dasar sungai terdapat pada Desa Purwosari dengan kedalaman 15,12 m, sedangkan jika ditinjau dari tanggul sungai genangan yang terdalam terdapat pada Desa Ngadipuro dengan kedalaman 2,96 m.

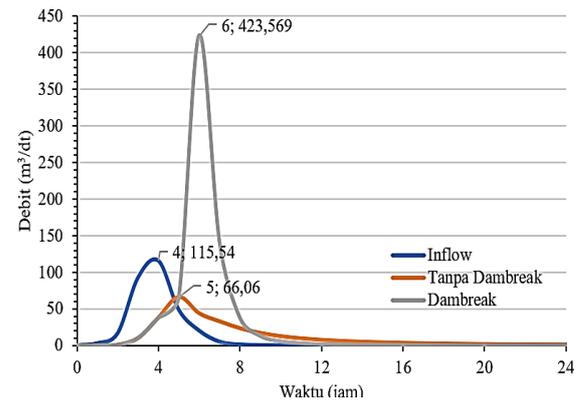
Selain tinggi muka air, juga dilakukan tinjauan terhadap hidrograf debit banjir saat terjadi *dambreak* dan tidak terjadi *dambreak* dengan debit banjir rencana  $Q_{PMF}$ . Perbandingan hidrograf banjir saat terjadi *dambreak* dan tidak terjadi *dambreak* disajikan pada Gambar 18. Debit banjir saat terjadi *dambreak* adalah 423,57 m<sup>3</sup>/dt lebih besar jika dibandingkan dengan tanpa *dambreak* yang sebesar 66,06 m<sup>3</sup>/dt. Hal ini dikarenakan saat terjadi *dambreak* debit air yang keluar dari waduk meliputi inflow dari DTA bendungan dan air yang ada dalam tampungan waduk, sedangkan saat tidak terjadi *dambreak* hanya inflow dari DTA bendungan yang keluar dari waduk.



Gambar 17. Lokasi genangan banjir terdalam dalam setiap desa

Hidrograf debit banjir saat *dambreak* pada jam ke-1 adalah pada saat debit puncak yang kemudian menurun. Namun saat jam ke-4 mulai naik lagi dikarenakan adanya inflow dari DTA bendungan yang mulai naik saat jam ke-2 sampai jam puncak pada jam ke-4. Dalam penelitian Arifin *et al.* (2021) debit banjir rencana  $Q_{PMF}$  sebesar 137,26 m<sup>3</sup>/dt sedangkan dalam penelitian ini sebesar 115,54 m<sup>3</sup>/dt. Hal ini dikarenakan perbedaan panjang data hujan yang digunakan dalam penelitian Arifin *et al.* (2021) 16 tahun, sedang dalam penelitian ini 31 tahun. Keruntuhan bendungan akibat *piping* atas berdampak di lima belas desa di Kecamatan Bloro Kota yang tergenang banjir. Kedalaman genangan tertinggi adalah 2 m terjadi di Desa Tempuran, Sendangharjo, Ngadipurwo, Purwosari, Keser, Tambaksari, Patalan dan Desa Bangkle. Dalam penelitian ini keruntuhan bendungan akibat *piping* bawah berdampak di 6 desa di Kecamatan Bloro Kota. Kedalaman genangan tertinggi 3 m di Desa Ngadipurwo jika di ukur dari tebing sungai. Hal ini dikarenakan perbedaan kondisi topografi alur sungai yang dalam penelitian ini menggunakan peta

demnas yang sudah dikoreksi dengan pengukuran di lapangan.



Gambar 18. Perbandingan hidrograf debit banjir saat terjadi *dambreak* dan tidak terjadi *dambreak*

Dalam penelitian Arifin *et al.* (2021) genangan banjir yang diperoleh sepanjang 9,91 km dari hilir bendungan yaitu sampai di Desa Kamolan dengan waktu tempuh 6 jam. Sedang dalam penelitian ini sepanjang 6,56 km di Desa Tempurejo dengan waktu tempuh banjir 5 jam 15 menit. Hal ini dikarenakan wilayah genangan yang dikaji dalam penelitian hanya sampai di pertemuan dengan Sungai Lusi yaitu sepanjang 6,56 km.

## Kesimpulan

Dari hasil analisa sebaran genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Tempuran disimpulkan sebagai berikut: Debit banjir PMF yang digunakan dalam analisa penelusuran banjir akibat keruntuhan Bendungan Tempuran sebesar 115,536 m<sup>3</sup>/dt. Analisa keruntuhan bendungan akibat *piping* bawah dengan pemodelan HEC-RAS didapatkan luas genangan 2,61 km<sup>2</sup> dan dengan kedalaman beraneka ragam antara 0 – 15 m yang ditinjau dari dasar sungai, serta kedalaman antara 0 – 3 m jika ditinjau dari tebing sungai. Dari hasil pemetaan wilayah yang terdampak genangan banjir adalah Desa Tempuran, Desa Sendangharjo, Desa Ngadipurwo, Desa Purwosari, Desa Patalan dan Desa Tempurejo. Dimana desa terdekat adalah Desa Tempuran dan desa terjauh adalah Desa Tempurejo sejauh 6,56 km dari hilir bendungan. Sedangkan waktu tempuh banjir tercepat 48 menit ke Desa Tempuran dan waktu tempuh banjir terlama 5 jam 15 menit di Kelurahan Tempurejo pada saat terjadi keruntuhan bendungan akibat *piping* bawah.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana, Satuan Kerja

Operasi dan Pemeliharaan SDA Pemali Juana, dan PT. Indra Karya yang telah mendukung data, ide, maupun gagasan dalam penelitian ini.

## Daftar Pustaka

Arifin, M., & Budiyanto, M. A. (2021). Analisis Keruntuhan Bendungan (Dam Break Analysis) dalam Upaya Mitigasi Bencana (Studi Kasus di Waduk/Bendungan Tempuran). *Civil Engineering and Technology Journal*, 3(1), 27-47.

Balai Teknik Bendungan. (2022). *Analisa Curah Hujan*. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Ditjen SDA: Jakarta

Blumenfeld, J. (2019). *From TRMM to GPM: The Evolution of NASA Precipitation Data* | Earthdata.

Brunner, G.W. (2014). *Using HEC-RAS for Dam Break Studies*. U.S. Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC) 609 Second Street Davis, CA 95616-4687

Chalid, I. (2022). *Analisis Keruntuhan Bendungan Pondok Menggunakan HEC-RAS 5.0.7*. Universitas Islam Indonesia: Jakarta

Firnanda, M. A. P., Dewi, V. A. K. & Rahayu, T. (2024). Analisa Banjir Bandang Akibat Keruntuhan Bendung Alam pada Daerah Hulu Kota Batu Jawa Timur. *Media Teknik Sipil*, 22(1), 10-17.

Ginting, J. M., Sujono, J., & Jayadi, R. (2019, November). Analisis hubungan data hujan satelit dengan hujan terukur ARR Kalibawang. *In Pros. Konf. Pascasarj. Tek. Sipil, No. November* (pp. 89-102).

Hartyan, D. E. & Suripin. 2024. Pemodelan Debit Banjir Rencana Berbasis Data Hujan Satelit pada Daerah Tangkapan Air Bendungan Meninting. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 30(1), 2024, 1-8.

Hou, A. Y., Kakar, R. K., Neeck, S., Azarbarzin, A.A., Kummerow, C. D., Kojima, M., Oki, R., Nakamura, K., & Iguchi, T. (2014). The Global Precipitation Measurement Mission. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 95(5), 701–722.

Murdiani, K. S., Sangkawati, S. & Sadono. K. W. (2020). Pemodelan Keruntuhan Bendungan Menggunakan HEC-RAS 2D Studi Kasus Bendungan Gondang Kabupaten Karanganyar. *Rekayasa*, 13(2), 2020. doi: 10.21107/rekayasa.v13i2.6872

Pratiwi, D. W., Sujono, J., & Rahardjo, A. P. (2017). Evaluasi Data Hujan Satelit Untuk Prediksi Data Hujan Pengamatan Menggunakan Cross Correlation. *Prosiding Semnastek*.

PT. Indra Karya. (2023). *Laporan Akhir Pemeriksaan Besar Dalam Rangka Ijin Operasi Bendungan Tempuran*. Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana: Semarang.

Samosir, D. Y., Yuliara, I. M., & Prasetya, R. (2021). Perbandingan dan Analisis Pola Spasial Curah Hujan Data IMERG (Integrated Multi-Satellite Retrievals for GPM) dan Data Observasi di Provinsi Bali. *Buletin fisika*, 22(2), 67-76

Singh, V. P. (1994). *Elementary Hydrology*. Prentice Hall.

Tong, K., Zhao, Y., Wei, Y., Hu, B., & Lu, Y. (2018). Evaluation and hydrological validation of GPM precipitation products over the Nanliu River Basin, Beibu Gulf. *Water*, 10(12), 1777.

US Army Corps of Engineers. 2010. User Manual Hec-HMS. US Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC) 609 Second Street Davis, CA 95616-4687