

IDENTIFIKASI WAKTU PERINGATAN DINI BANJIR SISTEM SUNGAI JRAGUNG

Sri Puji Lestari
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta
sri.puji8@gmail.com

Istiarto
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta
istiarto@ugm.ac.id

Bambang Triatmodjo
Fakultas Teknik
Universitas Gadjah Mada
Yogyakarta
btriatmodjo@ugm.ac.id

Abstract

The purpose of this study is to analysis the time of flood early warning on the Jragung River system. This study uses hydrological modeling use Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System (HEC-HMS 4.2.1) software and hydraulic modeling use Hydrologic Engineering Center-River Analysis System (HEC-RAS) software. Simulation on this study use rainfall with return period 2, 5, 10, 20, 25, 50, and 100 years. The results of this research indicate that Q10 flood discharge causes flooding at sta. 17546 and Q50 flood discharge causes flooding at sta. 7164. The flood warning time at sta.17546 is, the maximum warning time potential (Twp) for 6 hours, detection time (Tr) for 5 hours, maximum mitigation time (Tw) for 1 hour, and rainfall depth 86.7 mm. While the flood warning time at sta.7164 is, the maximum warning time potential (Twp) is 6.1 hours, detection time (Tr) is 4.8 hours, the maximum mitigation time (Tw) is 1.3 hours, and rainfall depth 99 mm.

Keywords: flood, warning, time, detection, mitigation

Abstrak

Pada penelitian ini untuk mendeteksi waktu peringatan dini banjir pada sistem Sungai Jragung. Penelitian ini menggunakan pemodelan hidrologi menggunakan software HEC-HMS 4.2.1 (*Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modelling System*) dan pemodelan hidraulika menggunakan software HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center-River Analysis System*). Hasil analisis berdasarkan hujan kala ulang 2, 5, 10, 20, 25, 50, dan 100 tahun menunjukkan bahwa debit banjir Q10 menyebabkan banjir di sta.17546 dan Q50 menyebabkan banjir di sta. 7164. Waktu peringatan banjir di sta. sta.17546 ialah, potensi waktu peringatan maksimum (Twp) selama 6 jam, waktu deteksi (Tr) selama 5 jam, dan waktu mitigasi maksimum (Tw) selama 1 jam dengan kedalaman hujan 86.7 mm. Sedangkan waktu peringatan banjir di sta.7164 ialah, potensi waktu peringatan maksimum (Twp) selama 6.1 jam, waktu deteksi (Tr) selama 4.8 jam, dan waktu mitigasi maksimum (Tw) selama 1.3 jam dengan kedalaman hujan 99 mm.

Kata Kunci: banjir, peringatan, waktu, deteksi, mitigasi

PENDAHULUAN

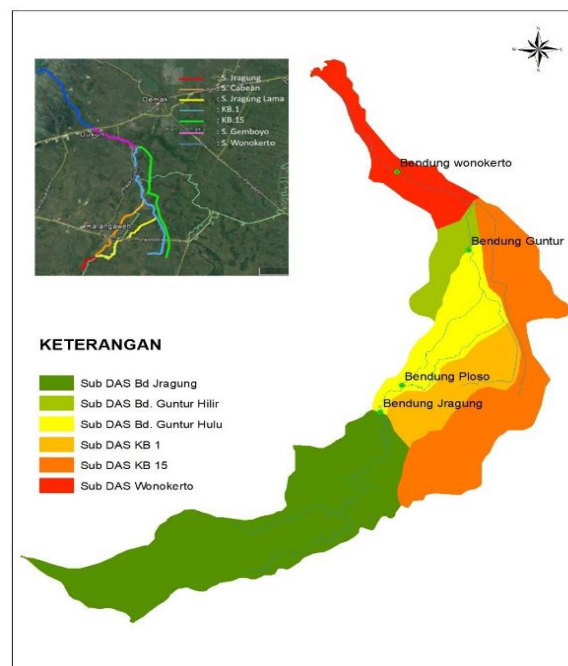
Banjir ini menyebabkan kerugian langsung (seperti sawah rusak dan tergenang) dan kerugian tidak langsung (seperti terhambatnya lalu-lintas akibat jalan terendam/terputus karena banjir). Upaa pengendalian banjir merupakan sesuatu yang kompleks yang melibatkan banyak disiplin ilmu teknik antara lain hidrologi, hidraulika, erosi DAS, teknik sungai, morfologi, dan sedimentasi (Kodoatie, dkk, 2001). Pengendalian banjir dapat dilakukan melalui 2 (dua) metode, yaitu metode struktur dan metode non-struktur (Kodoatie, dkk, 2001). Upaya mitigasi banjir secara struktural telah dilakukan pada sistem Sungai Jragung meliputi kegiatan normalisasi sungai (perbaikan alur sungai), peninggian tebing, dan peninggian bangunan struktural yang melintang di atas sungai. Namun demikian, upaya pengendalian secara non-struktural perlu dilakukan untuk memaksimalkan upaya mitigasi misalnya melalui sistem peringatan dini banjir. Peringatan dini atau *early warning system* (EWS) adalah sebuah tatanan penyampaian informasi hasil prediksi terhadap sebuah

ancaman kepada masyarakat sebelum terjadinya peristiwa yang dapat menimbulkan risiko (YPM, 2010). Adapun yang dimaksud sistem peringatan dini pada penelitian ini ditinjau dari tinggi muka air dan hujan kumulatif penyebab terjadinya luapan air, untuk mengidentifikasi waktu potensi peringatan dini yang meliputi waktu deteksi (*Detection time* (T_r),) waktu peringatan (*Time Warning Potential* (T_{wp})), dan waktu mitigasi (*Maximum mitigation time* (T_w)). Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- Menentukan kapasitas maksimum dan tinggi muka air dari sistem Sungai Jragung.
- Menentukan kedalaman hujan kumulatif yang menyebabkan potensi luapan banjir.
- Menentukan waktu potensi peringatan dini (yang meliputi waktu deteksi (*Detection time* (T_r),) waktu peringatan (*Time Warning Potential* (T_{wp})), dan waktu mitigasi (*Maximum mitigation time* (T_w)).
- Menentukan stasiun hujan yang berpengaruh sebagai indikator sistem peringatan dini banjir Sungai Jragung.

METODOLOGI

Lokasi pada penelitian ini adalah sistem Sungai Jragung yang meliputi Sungai Jragung, Sungai Jragung Lama, Sungai Cabean, dan Sungai KB 1. Sedangkan sub DAS penelitian meliputi Sub DAS Bendung Jragung, Sub DAS KB 1, dan Sub DAS Bendung Guntur Hulu. Adapun lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 29.



Gambar 29. Lokasi Penelitian Dan Skema Sungai Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari berbagai instansi terkait, antara lain:

- Data geometri dan debit Sungai, yang diperoleh dari Balai Besar Wilayah Sungai Pemali-Juana. Data geometri yang digunakan ialah data geometri pelaksanaan normalisasi sistem Sungai Jragung.
- Data Hujan, diperoleh dari Dinas PSDA Provinsi Jawa Tengah. Adapun data stasiun hujan dari BMKG yang digunakan antara lain: Stasiun Karang Sari, Stasiun Brumbung, dan Stasiun Bawen, Stasiun Banyumeneng, dan Stasiun Bd. Jragung.

- c. Peta antara lain peta tata guna lahan, peta *Digital Elevation Model (DEM)* dari *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, peta batas administrasi dan peta Daerah Aliran Sungai dari Kementerian Lingkungan Hidup.

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan hidrologi dan hidraulika, dengan rincian pemodelan dapat dilihat pada Tabel 36.

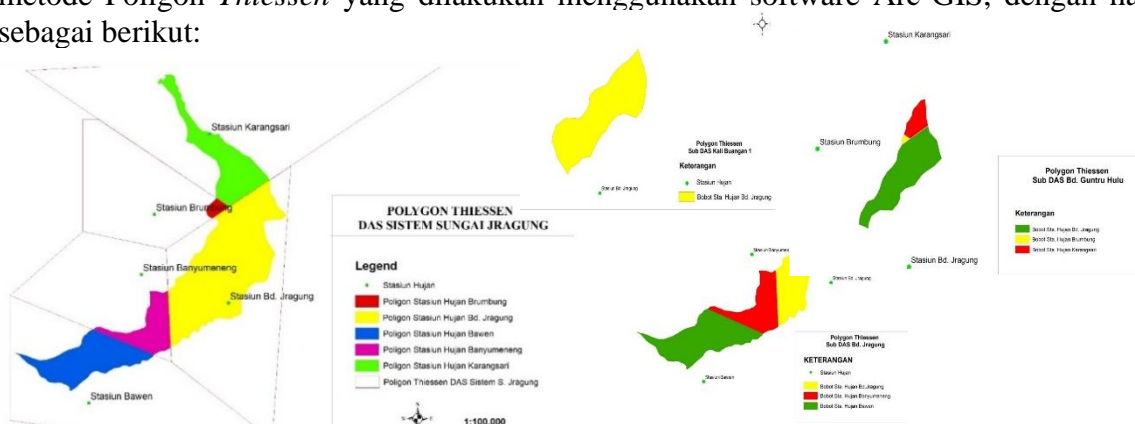
Tabel 36. Pemodelan hidrologi dan hidraulika yang digunakan

Pemodelan	Lokasi	Hasil
Pemodelan Hidrologi: secara manual dan menggunakan <i>software</i> HEC-HMS	1. Sub DAS Sungai Cabean, 2. Sub DAS Sungai KB 1 3. Sub DAS Bendung Jragung	Hidrograf aliran, Waktu Peringatan dini
Pemodelan Hidraulika menggunakan <i>software</i> HEC-RAS	1. Sungai Jragung 2. Sungai KB 1 3. Sungai Cabean	Kapasitas/debit sungai, tinggi muka air, waktu penjalaran banjir

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Pada penelitian ini terdapat 5 (lima) lokasi stasiun hujan yang digunakan untuk analisis hidrologi DAS Sistem Sungai Jragung. Analisis hujan DAS dilakukan dengan menggunakan metode Poligon *Thiessen* yang dilakukan menggunakan *software* Arc-GIS, dengan hasil sebagai berikut:



Gambar 30. Poligon Thiessen DAS Sistem Sungai Jragung

Tabel 37. Luas Poligon dan Pembobotan Koefisien Thiessen di DAS Sistem Sungai Jragung

x	y	Nama Stasiun Hujan	Koefisien Thiessen			
			DAS	Sub DAS Bd. Jragung	Sub DAS KB 1	Sub DAS Bd. Guntur Hulu
110.584	-6.918	Karangsari	0.18			0.17
110.516	-7.017	Brumbung	0.01			0.01
110.607	-7.126	Bd. Jragung	0.51	0.27	1	0.82
110.500	-7.091	Banyumeneng	0.11	0.26		
110.435	-7.249	Bawen	0.19	0.47		
Total Area			1	1	1	1

Pembobotan thiessen tersebut digunakan untuk menghitung hujan maksimum harian pada masing-masing sub DAS. Adapun data hujan maksimum harian tersebut digunakan untuk menghitung hujan rancangan sub DAS dengan menggunakan analisis frekuensi. Hujan rancangan pada masing-masing sub DAS dapat dilihat pada tabel Tabel 38.

Tabel 38. Hujan Rancangan Sub DAS

Kala Ulang	DAS Bd. Jragung	DAS Bd. Guntur Hulu	DAS KB 1
2	64.845	70.349	77.973
5	78.995	94.970	107.178
10	86.716	111.099	126.569
25	95.099	131.328	151.126
50	100.558	146.314	169.469
100	105.474	161.250	187.863

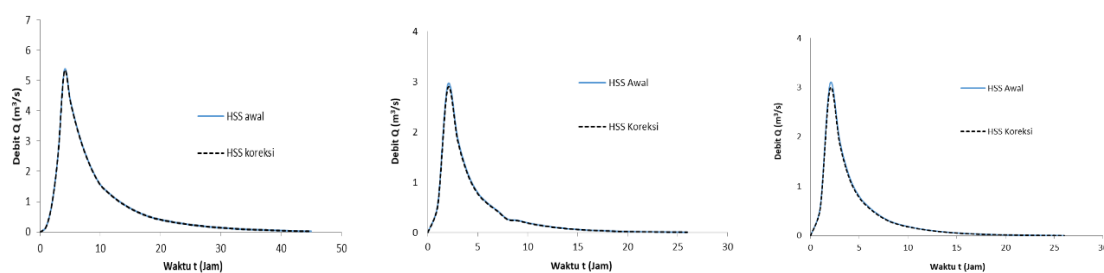
Hujan rancangan tersebut kemudian distribusikan menjadi hujan jaman-jaman. Karena keterbatasan data hujan, pola agihan pada penelitian ini didistribusikan dengan menggunakan *Alternating Block Method* (ABM). Sedangkan waktu konsentarsi (T_c) dihitung dengan menggunakan *Australian Rainfall-Runoff* dan diperoleh konsentrasi 5 jam (7.2% jam ke-1, 10.7% jam ke-2, 58.5% jam ke-3, 15.2% jam ke-4, dan 8.5% jam ke-5). Aliran dasar dihitung dengan menggunakan GAMA I dengan parameter luas sub DAS, panjang sungai semua tingkatan, dan kerapatan jaringan kuras (Tabel 39).

Tabel 39 Aliran Dasar di DAS Sistem Jragung

Parameter	Sub DAS Bd. Jragung	Sub DAS Bd. Guntur Hulu	Sub DAS KB 1
A, luas (km ²)	133.31	34.40	34.67
Panjang sungai semua tingkatan (km)	131.86	34.67	56.58
D, Kerapatan jaringan kuras (km/km ²)	0.99	1.01	1.63
Aliran Dasar (m ³ /s)	11.00	4.68	6.41

Tabel 40 Parameter HSS Nakayasu

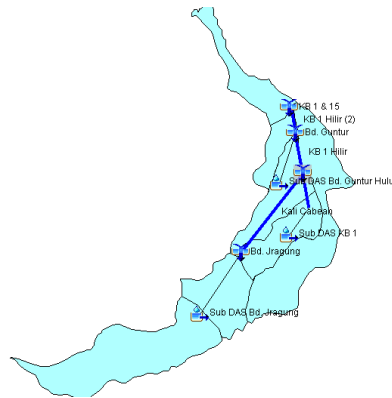
Parameter	Nilai		
	Sub DAS Bd. Jragung	Sub DAS Bd. Guntur	Sub DAS KB 1
A, Luas sub DAS (km ²)	133.31	34.40	34.67
L, Panjang sungai utama (km)	43.26	13.48	12.98
Tg, waktu konsentrasi (jam)	2.909	1.321	1.263
Tr, satuan waktu dari curah hujan (jam)	1.5	1	1
Tp, waktu dari permulaan banjir sampai puncak hidrograf (jam)	4	2	2
T _{0.3} , waktu dari puncak banjir sampai 0.3 kali debit puncak (jam)	4.364	2.643	2.527
Qp, debit puncak banjir (m ³ /s)	6.76	2.947	3.080



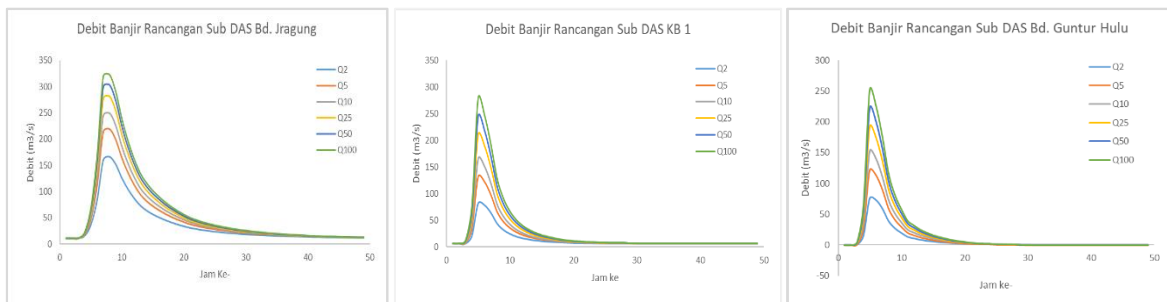
Gambar 31 Grafik Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu

Pemodelan dengan *Software* HEC-HMS

Permodelan dengan menggunakan HEC-HMS digunakan untuk memperoleh debit rancangan. Adapun *input* simulasi HEC-HMS ialah hujan rancangan dengan kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun yang telah didistribusikan menjadi hujan jam-jaman dengan menggunakan *Alternative Block Method* (ABM). Skema pemodelan dengan HEC HMS dapat dilihat pada Gambar 32, dan hasil simulasi berupa hidrograf aliran dapat dilihat pada Gambar 33.



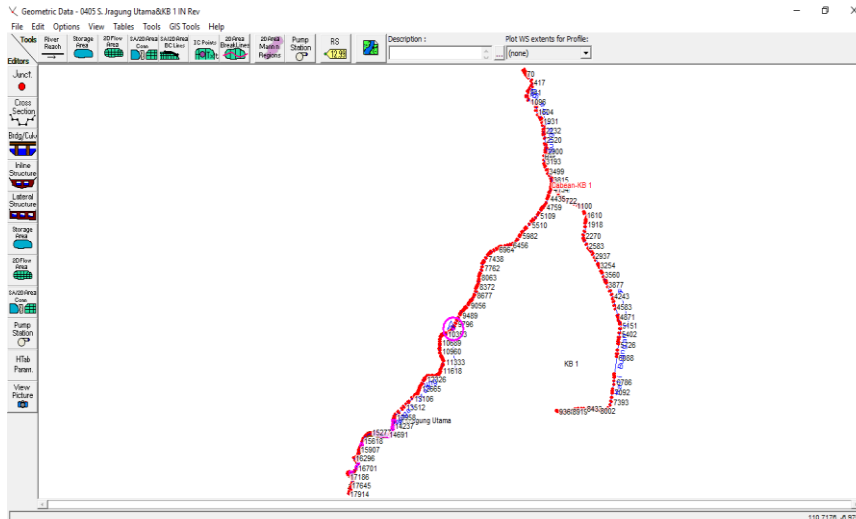
Gambar 32. Skema Simulasi HEC-HMS



Gambar 33. Hidrograf aliran masing-masing sub DAS

Pemodelan dengan *Software* HEC-RAS

Pemodelan HEC-RAS digunakan untuk menentukan kapasitas sungai dan tinggi muka air. Input dalam HEC-RAS berupa debit rancangan yang diperoleh dari hasil simulasi menggunakan software HEC-HMS. Pada pemodelan ini, hidrograf sub DAS Bendung Jragung dan sub DAS KB I sebagai *upstream boundary condition*, hidrograf sub DAS Bendung Guntur Hulu sebagai *lateral inflow*, dan *normal depth* sebagai *downstream boundary condition*. Simulasi yang dilakukan dengan menggunakan software HEC-RAS berupa simulasi debit akibat hujan kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.

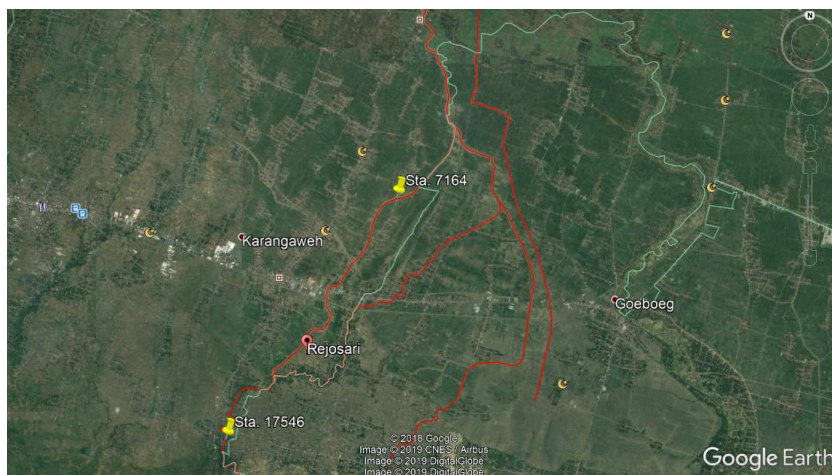


Gambar 34. Peniruan geometri sungai pada software HEC-RAS

Tabel 41. Hasil simulasi HEC-RAS dengan banjir kala ulang 2, 5, 20, 25, 50, dan 100 tahun

No.	Kala ulang	Meluap/TidakMeluap	Lokasi Luapan
1	Q2	Tidak terjadi luapan	-
2	Q5	Tidak terjadi luapan	-
3	Q10	Meluap	S. Jragung Hulu
4	Q25	Meluap	S. Jragung Hulu
5	Q50	Meluap	S. Jragung Hulu, S. Cabean,
6	Q100	Meluap	S. Jragung Hulu, S. Cabean,

Dari hasil simulasi hidraulika dengan menggunakan software HEC-RAS, debit kala ulang 10 tahun menyebabkan *bankfull capacity* di beberapa *cross section* Sungai Jragung, dengan *cross section* paling hulu yang meluap sta. 17546 (Desa Jragung, Kecamatan Karangawen) akibat debit $249\text{m}^3/\text{s}$ ($249\text{m}^3/\text{s}$ di Bd Jragung).. Hal ini disebabkan pada bagian ruas sungai ini tidak dilakukan kegiatan normalisasi yang terkendala oleh kondisi sosial masyarakat. Sedangkan beberapa *cross section* di Sungai Cabean mulai mencapai *bankfull capacity* pada debit kala ulang 50 tahun, dengan *cross section* paling hulu yang meluap adalah di sta. 7164 (Desa Sido Rejo, Kecamatan Karangawen) akibat debit $282\text{m}^3/\text{s}$ ($300\text{m}^3/\text{s}$ di Bd Jragung).



Gambar 35 Lokasi sta. 17546 dan sta. 7164

Indikator Peringatan Dini Sistem Sungai Jragung

Analisis peringatan dini banjir dilakukan untuk mengetahui waktu potensi peringatan (*Time Warning Potential (Twp)*), waktu deteksi (*detection time – Tr*), dan waktu mitigasi maksimum (*Time mitigation time - Tw*). Peringatan dini banjir sistem Sungai Jragung menggunakan 2 (dua) indikator, yaitu curah hujan dan tinggi muka air. Peringatan dini dengan indikator curah hujan menghasilkan waktu peringatan mulai dari terjadinya hujan hingga debit maksimum penyebab terjadinya yang diukur di titik kontrol yaitu Bendung Jragung. Sedangkan waktu perjalanan banjir dari titik kontrol ke lokasi-lokasi yang berpotensi mengalami luapan banjir diperoleh dengan penelusuran banjir (*routing*) dengan menggunakan *software* HE-RAS. Indikator curah hujan menggunakan acuan stasiun hujan Bendung Jragung yang telah lolos uji sensitifitas. Kedalaman hujan penyebab *bankfull capacity* dapat dilihat pada Tabel 42 dan Tabel 43.

Tabel 42 Kedalaman hujan penyebab *bankfull capacity* di sta. 17546

Hujan Rancangan	Jam ke-					Kedalaman Hujan (mm)	Debit Threshold (m ³ /s)	
	1	2	3	4	5		Sta. 17565	Sta. 17546
2	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-
10	6.2	9.3	50.7	13.2	7.3	86.7	249	249
25	6.8	10.1	55.6	5.6		78.2	249	249
50	7.2	10.7	57.6			75.5	249	249
100	7.6	11.3	56.8			75.6	249	249

Tabel 43 Kedalaman hujan penyebab *bankfull capacity* di sta. 7164

Hujan Rancangan	Jam ke-					Kedalaman Hujan (mm)	Debit Threshold (m ³ /s)	
	1	2	3	4	5		Sta. 17565	Sta. 7164
2	-	-	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	--
25	-	-	-	-	-	-	-	-
50	7.2	10.7	58.8	15.3	8.5	100.5	300	282
100	7.6	11.3	61.7	12.8		93.3	300	282

Dengan indikator curah hujan diperoleh waktu peringatan dini banjir yang terdiri dari waktu potensi peringatan (*Time Warning Potential (Twp)*), waktu deteksi (*detection time – Tr*), dan waktu mitigasi maksimum (*Time mitigation time - Tw*). Lama waktu peringatan dini untuk masing-masing lokasi dapat dilihat pada Tabel 44.

Tabel 44. Waktu peringatan maksimum di sta. 17546 dan sta. 7164 (dalam menit)

No.	Hujan Rancangan	Waktu Potensi Peringatan (Twp)		Waktu Deteksi Banjir (Tr)		Waktu Peringatan Maksimum	
		Sta. 17546	sta. 7164	Sta. 17546	sta. 7164	Sta. 17546	sta. 7164
1	2	-	-	-	-	-	-
2	5	-	-	-	-	-	-
3	10	359	-	300	-	59	-
4	25	347	-	219	-	128	-
5	50	339	366	179	291	160	76
6	100	332	352	175	223	157	129

Sistem peringatan dini banjir dengan indikator kedalaman hujan dinilai kurang akurat karena hanya menggunakan satu stasiun hujan yang dijadikan sebagai stasiun hujan acuan. Untuk meminimalisir tingkat kesalahan dalam sistem peringatan dini banjir maka perlu didukung

indikator lain yaitu tinggi muka air. Penentuan indikator tinggi muka air menggunakan HEC-RAS. Selain mengetahui tinggi muka air, HEC-RAS juga dapat digunakan untuk mengetahui waktu penjalaran banjir dari titik kontrol hulu ke titik kontrol hilir. Hasil *routing* menunjukkan bahwa waktu penjalaran dari sta.17570 ke sta 17546 sangat kecil (mendekati 0). Sedangkan waktu penjalaran banjir dari sta. 17570 ke sta. 7164 adalah 70 menit. Sehingga diperoleh waktu peringatan maksimum banjir sebagaimana disajikan dalam Tabel 45.

Tabel 45 Waktu peringatan total banjir

No.	Hujan Rancangan	Waktu Peringatan Maksimum					
		Bd. Jragung (HEC-HMS)		Bd. Jragung ke sta. hilir (HEC RAS)		Total	
		sta. 17570	sta. 7164	sta. 17570	sta. 7164	sta. 17570	sta. 7164
1	2	-	-	0	70	-	-
2	5	-	-	0	70	-	-
3	10	59	-	0	70	59	-
4	25	128	-	0	70	128	-
5	50	160	76	0	70	160	146
6	100	157	129	0	70	157	199

Operasional Peringatan Dini Banjir

Prinsip dari sistem peringatan dini ialah memberikan informasi yang cepat, akurat, tepat sasaran, mudah diterima, mudah dipahami, terpercaya dan berkelanjutan. Peringatan dini banjir pada sistem Sungai Jragung dengan memanfaatkan indikator curah hujan dan tinggi muka air, diharapkan dapat menghasilkan sistem peringatan dini yang akurat. Indikator curah hujan menggunakan data hujan yang diamati di stasiun hujan Bendung Jragung, sedangkan indikator tinggi muka air diamati di Bendung Jragung. Penggunaan dua indikator dalam sistem peringatan dini banjir ini diharapkan dapat menghasilkan peringatan dini yang akurat dan maksimal jika dibandingkan dengan hanya menggunakan salah satu indikator saja.

Dalam rangka mempermudah kesiap-siagaan banjir di sistem sungai Jragung digunakan 4 (empat) level peringatan, yaitu normal, siaga, waspada, dan awas. Adapun untuk mempermudah penyampaian level peringatan diberikan, level peringatan menggunakan warna yang berbeda yaitu biru untuk level normal, hijau untuk level waspada, kuning untuk level siaga, dan merah untuk level awas. level bahaya di dua titik kontrol hilir yaitu sta 17546 (Desa Jragung, Kecamatan Karangawen) dan sta 7164 (Desa Sido Rejo, Kecamatan Karangawen), dengan indikator peringatan sebagaimana disajikan dalam tabel Tabel 46 dan Tabel 47.

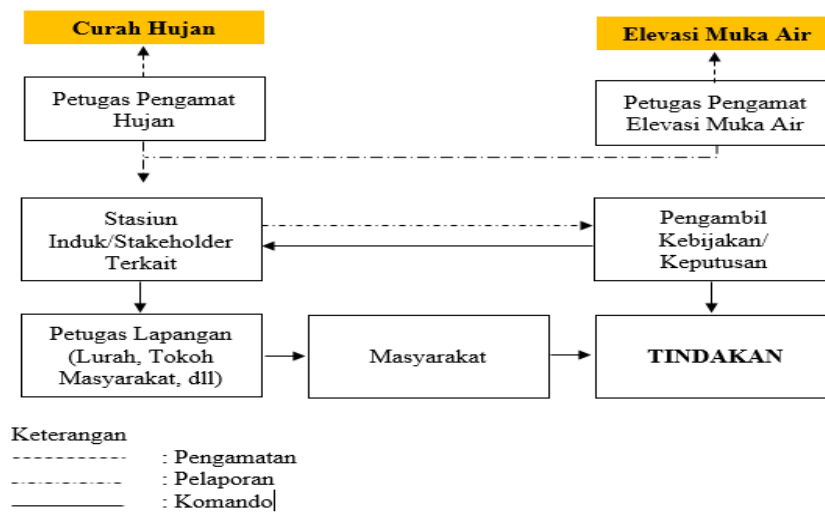
Tabel 46 Indikator peringatan dini di Sta. 17546 (Desa Jragung)

Level Peringatan	Kedalaman Hujan (mm)	Durasi Hujan (Jam)	Elevasi MA di Bd. Jragung (m)	TMA di Bd. Jragung	KET
NORMAL (<23.25 m)	< 65 mm	3	< 23.5	< 1.3	Waktu penjalaran dari Bendung Jragung ke Sta. 17546 adalah 0 menit
SIAGA (23.25 - 24 m)	65 mm s.d 75 mm	3	23.5 s.d 24.16	1.3 s.d 2	
WASPADA (24 - 24.75m)	75 mm s.d 105 mm	3	24.16 s.d 24.89	2 s.d 2.7	
AWAS (> 24.75 m)	> 105 mm	5	>24.89	> 2.7	

Tabel 47 Indikator peringatan dini di Sta 7164 (Desa Sido Rejo)

Level Peringatan	Kedalaman Hujan (mm)	Durasi Hujan (Jam)	Elevasi MA di Bd. Jragung (m)	TMA di Bd. Jragung	KET
NORMAL (<11 m)	70 mm	3	<23.94	< 1.8	Waktu penjalaran dari Bendung Jragung ke Sta. 7164 adalah 70 menit
SIAGA (11 - 11.75 m)	70 mm s.d 92 mm	3 4	23.94 s.d 24.18	1.8 s.d 2.6	
WASPADA (11.75 – 12.5 m)	92 mm s.d. 119 mm	4 5	24.18 s.d 25.41	2.6 s.d 3.3	
AWAS (> 12.5 m)	> 119 mm	5	> 25.41	> 3.3	

Sistem peringatan dini banjir Sungai Jragung bertujuan untuk memberikan informasi peringatan banjir kepada masyarakat yang berada pada daerah potensi ancaman. Kunci keberhasilan dari sistem peringatan dini ialah terkomunikasikannya potensi ancaman/bahaya kepada masyarakat terdampak sehingga mereka mengetahui lebih awal mengenai potensi ancaman/bahaya tersebut. Sistem peringatan dini banjir akan lebih efektif jika dilakukan dengan pendekatan komunikasi berbasis komunitas yang melibatkan tokoh masyarakat di daerah berpotensi ancaman/bahaya. Sistem penyampaian informasi peringatan banjir di Sungai Jragung dapat dilihat pada Gambar 36. **Error! Reference source not found.**



Gambar 36 Sistem informasi peringatan dini banjir Sungai Jragung

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan di Sistem Sungai Jragung, maka dapat dirumuskan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Berdasarkan hasil analisis menggunakan *software* HEC-RAS, terjadi potensi luapan air di Sungai Jragung (ruas sungai antara Bendung Jragung dan Bendung Ploso) dengan stasiun hulu luapan terjadi ialah sta 17546 (Desa Jragung, Kecamatan Karangawen) dan Sungai Cabean dengan stasiun hulu luapan terjadi pada sta 7164 (Desa Sido Rejo, Kecamatan Karangawen). Kedua stasiun ini dijadikan titik kontrol hilir dalam penelitian ini. Sedangkan titik kontrol hulu adalah Bendung Jragung.

- 2) Sta 17546 (Desa Jragung, Kecamatan Karangawen) mencapai *bankfull capacity* pada hujan kala ulang 10 tahun yang diakibatkan oleh debit $249 \text{ m}^3/\text{s}$ yang terukur di Bendung Jragung dengan kedalaman hujan 87 mm dengan durasi 5 jam.
- 3) Sta 7164 (Desa Sido Rejo, Kecamatan Karangawen) mencapai *bankfull capacity* pada hujan kala ulang 50 tahun yang diakibatkan oleh debit $300 \text{ m}^3/\text{s}$ yang terukur di Bendung Jragung dengan kedalaman hujan 100 mm dengan durasi 5 jam yang terukur.
- 4) Pada sta 17546, *expected warning time* atau waktu yang dibutuhkan dari hujan penyebab banjir menjadi aliran di titik kontrol hulu kurang lebih 59 menit sampai 157 menit, dengan waktu penjalaran mendekati 0 menit. Sedangkan pada sta 7146, *expected warning time* atau waktu yang dibutuhkan dari hujan penyebab banjir menjadi aliran di titik kontrol hulu kurang lebih 76 menit sampai dengan 129 menit dengan waktu rambatan dari titik kontrol hulu ke titik kontrol hilir 70 menit.
- 5) Pos curah hujan Bendung Jragung merupakan pos curah hujan acuan dalam peringatan dini banjir sistem Sungai Jragung dan Bendung Jragung menjadi titik pantau tinggi muka air.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, V. T., Maidment, D. R., Mays, L. W. 1988. Applied Hydrology. New York: McGraw-Hill Book Company,
- Ford, D., Pingel, N., DeVries, J.J., 2008. Hydrologic Modeling System HEC-HMS Application Guide. Washington, DC: USACE.
- Hydrologic Engineering Center, 2015. Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Application Guide.
- Istiarto, 2011. Modul Pelatihan Simulasi Aliran 1-Dimensi dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS.
- Ford, D., Pingel, N., DeVries, J.J., 2008. Hydrologic Modeling System HEC-HMS Application Guide. Washington, DC: USACE.
- Hydrologic Engineering Center. 2015. Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Application Guide.
- Kodoatie, R.J., Sugiyanto. 2001. Banjir. Semarang: Pustaka Pelajar
- Tim Kajian YPM. 2010. Standard Operating Procedure (SOP) Sistem Peringatan Dini sebelum Kejadian Banjir Bandang Daerah Aliran Sungai Kalijompo di Kabupaten Jember, Kerjasama Yayasan Pengabdian Masyarakat (YPM) dengan Japan International Cooperation Agency (JICA).