



Penerapan Penelusuran Banjir (Flood Routing) untuk Sistem Peringatan Dini Banjir Sungai Benanain

Indradhi Lasmana¹, Ramzy GGL Sayonara², Joko Suparmanto³, Abraham Raymond⁴

^{1,2,3,4}Politeknik Negeri Kupang, Indonesia

E-mail: indraarieadeina@gmail.com

Article Info	Abstract
Article History Received: 2026-03-07 Revised: 2026-04-13 Published: 2026-05-16 Keywords: <i>Flood Routing;</i> <i>Muskingum Method;</i> <i>Early Warning System;</i> <i>Benanain River;</i> <i>Temef River.</i>	<p>Flooding is a hydrological event that is often difficult to predict and may cause significant losses. The Temef River is part of the upstream area of the Noel Benanain Watershed and has an important role in detecting flood events in the Benanain River system. The river has a main channel length of approximately 45.35 km from its upstream area on Mount Mutis to the Temef Dam inundation area. This study aims to apply flood routing using the Muskingum method as an input for flood control and early warning systems in the Benanain River, particularly in the Temef sub-watershed. The data used in this study consist of river water level and discharge data measured at two stations, namely Temef_1 as the upstream station and Temef_2i as the downstream station, with a river reach length of 30 km. Based on the Muskingum flood routing calculation, the obtained parameters are $X = 0.395$ and $K = 3.264$ hours, with routing coefficients $C0 = -0.26531$, $C1 = 0.53520$, and $C2 = 0.73012$. The results show that the travel time of the flood peak wave from Temef_1 to Temef_2i is approximately 3.264 hours. Therefore, the Muskingum flood routing method can be used as a reference in developing flood control and early warning systems, especially when integrated with real-time hydrological monitoring equipment and reliable supporting software.</p>
Artikel Info	Abstrak
Sejarah Artikel Diterima: 2026-03-07 Direvisi: 2026-04-13 Dipublikasi: 2026-05-16 Kata Kunci: <i>Penelusuran Banjir;</i> <i>Metode Muskingum;</i> <i>Sistem Peringatan Dini;</i> <i>Sungai Benanain;</i> <i>Sungai Temef.</i>	<p>Banjir merupakan suatu peristiwa hidrologi yang kadang sulit diprediksi kejadiannya dan sering mendatangkan kerugian. Sungai Temef adalah bagian dari hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Noel Benanain. Karakteristik Memiliki panjang sungai utama sekitar 45,35 km dari hulu di Gunung Mutis hingga area genangan bendungan. Sungai Temef mempunyai kontribusi yang cukup besar dalam deteksi kejadian banjir pada sungai Benanain. . Sungai ini dibendung oleh Bendungan Temef untuk mengendalikan banjir, menyediakan air baku, dan irigasi di wilayah Timor Tengah Selatan dan Malaka. Metode penelusuran banjir (metode muskingum) telah banyak digunakan oleh ahli-ahli hidrologi untuk melakukan pengendalian banjir. Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode Muskingum, diketahui bahwa nilai- nilai konstanta dan koefisien yang digunakan dalam perhitungan penelusuran banjir di Sungai Temef (DAS Benanain) pada ruas Temef_1 hingga Temef_2i adalah sebagai berikut : $X = 0,395$; $K = 3,264$ jam; $C0 = -0,26531$; $C1 = 0,53520$ dan $C2= 0,73012$. Perjalanan puncak gelombang banjir dari Temef_1 sampai Temef_2i dengan jarak 30 km berlangsung sekitar 3,264 jam.</p>

I. PENDAHULUAN

Sistem Peringatan Dini (Early Warning System) merupakan tindakan pencegahan yang meminimal resiko jatuhnya banyak korban ketika terjadi suatu bencana alam. Suatu sistem peringatan dini yang handal adalah sistem yang merupakan model dari suatu daerah tertentu, karena setiap daerah memiliki geomorfologi yang berbeda, sehingga ketika terjadi bencana, sistem tersebut akan memberikan informasi yang akurat dan terpercaya (Feriyonika et.al. 2008).

Sungai Benanain merupakan sungai utama dari DAS Benanain. Sungai Benanain memiliki panjang ± 128 km dan melintasi tiga Kabupaten, yaitu Kabupaten Timor Tengah Selatan (TTS),

Kabupaten Timor Tengah Utara (TTU), dan Kabupaten Malaka. Hulu Sungai Benanain berada di Kabupaten TTS dan muara sungai terletak di Kabupaten Malaka. Hampir setiap tahun Sungai Benanain meluap dan menyebabkan banjir di Kabupaten Malaka. Wilayah yang paling sering dilanda banjir akibat luapan Sungai Benanain adalah Kecamatan Malaka Barat, Kecamatan Malaka Tengah, dan Kecamatan Weliman.

Banjir diakhir bulan Desember 2011 s/d Januari 2012 yang menggenangi 4 (empat) Desa, yaitu : Desa Lasaen, Desa Sikun, Desa Umatoos, Desa Fafoe sehingga merusak ratusan hektar lahan perkebunan dan raturan areal pemukiman di 4 Desa tersebut. Kondisi dan potensi masalah pada sungai Benanain hanpir setiap tahun

terjadi, sehingga perlu sistem peringatan dini untuk mencegah resiko kerugian jiwa dan harta benda dapat diminimalisir

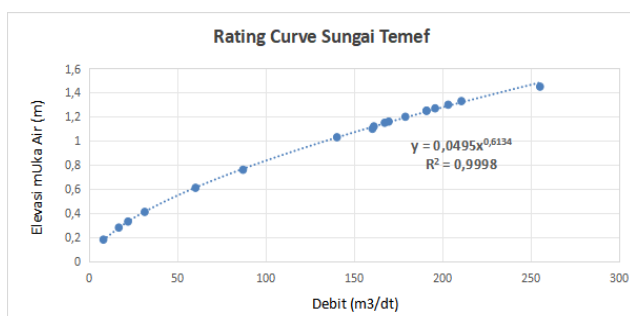
Sungai Temef adalah bagian dari hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Noel Benanain. Karakteristik Memiliki panjang sungai utama sekitar 45,35 km dari hulu di Gunung Mutis hingga area genangan bendungan. Sungai Temef mempunyai kontribusi yang cukup besar dalam deteksi kejadian banjir pada sungai Benanain. . Sungai ini dibendung oleh Bendungan Temef untuk mengendalikan banjir, menyediakan air baku, dan irigasi di wilayah Timor Tengah Selatan dan Malaka.

Berdasarkan pemikiran di atas dan nilai kemanfaatan dari metode penelusuran banjir tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode penelusuran banjir dengan mengambil kasus Sungai Benanain. Pemilihan Sungai Benanain (sub DAS Temef) semata-mata sebagai kasus saja dan sekaligus diharapkan dapat berguna sebagai bagian analisis kejadian banjir .

II. METODE PENELITIAN

Bahan untuk kajian penelusuran banjir ini adalah data tinggi muka air (TMA) Sungai Temef yang diperoleh Balai Wilayah Sungai NT II untuk periode pengukuran pada periode bulan Maret 2023. Data debit sungai Temef yang diukur di dua tempat pos pengukuran yaitu pos pengukuran SG Temef (bagian hulu) dan pos pengukuran Manggarai (bagian hilir).

Data Pengukuran debit dibagian Hilir dilakukan pengamatan langsung. Untuk memperoleh nilai debit aliran (Q) menggunakan persamaan lengkung debit (rating curve) . Persamaan rating curve Sungai Temef $Y = 0,0495 X^{0,6134}$



Gambar 1 . Rating Curve Sungai Temef

Tabel 1. Hasil Pengukuran Debit Sngai Temef

Waktu t (jam)	Debit Inflow (m³/dt)	Debit Outflow (m³/dt)
0	8,20	6,09
1	16,86	6,43
2	22,04	8,20
3	31,40	10,67
4	60,00	23,29
5	85,87	34,23
6	140,95	62,22
7	156,90	82,02
8	140,20	98,23
9	124,25	114,20
10	106,45	120,12
11	93,80	131,26
12	84,93	137,54
13	75,64	129,18
14	69,68	117,86
15	64,63	96,33
16	59,03	77,57
17	52,97	64,52
18	49,07	52,79
19	43,44	39,55
20	40,43	35,72
21	34,66	26,44
22	31,37	24,14
23	30,30	20,61
24	28,78	17,50

Sumber : BWS NT II dan Pengamatan, 2023

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

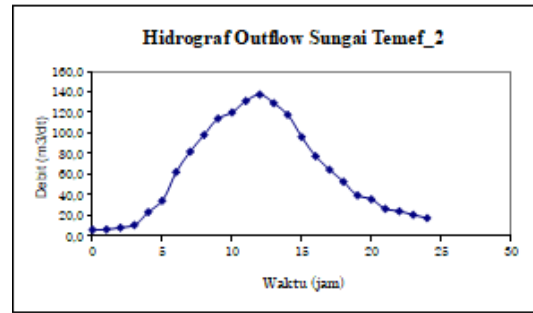
A. Data Pengamatan

Data pengamatan hidrograf I dan D yang diukur dari dua tempat lokasi pengukuran, dalam hal ini hidrograf I diperoleh dari pos pengukuran Temef-1 (Kab. TTS) dan hidrograf D diperoleh dari Pos pengukuran Temef 2 dengan jarak antara I dan D sepanjang (L) 30 Km.

Tabel 2. Data Inflow (I)

Jam	Tinggi Muka Air (m)	Debit (m³/dt)
0	0,2	8,2
1	0,3	16,9
2	0,3	22,0
3	0,4	31,4
4	0,6	60,0
5	0,8	85,9
6	1,0	140,9
7	1,1	156,9
8	1,0	140,2
9	1,0	124,2
10	0,9	106,4
11	0,8	93,8
12	0,8	84,9

Jam	Tinggi Muka Air (m)	Debit (m ³ /dt)
13	0,70	75,64
14	0,67	69,68
15	0,64	64,63
16	0,60	59,03
17	0,57	52,97
18	0,54	49,07
19	0,50	43,44
20	0,48	40,43
21	0,44	34,66
22	0,41	31,37
23	0,40	30,30
24	0,37	28,78
Q Rata-rata		66,07

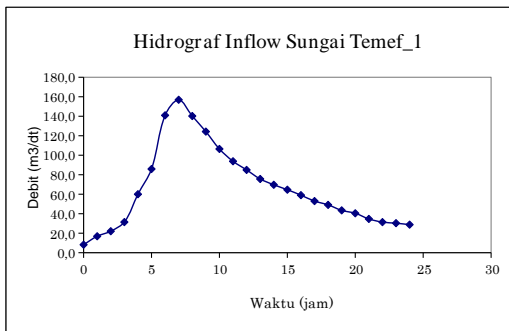


B. Menentukan Nilai Nilai Akumulasi tampungan (S) berdasarkan debit inflow dan outflow Sungai Benanain (Temef)

Tabel 4. Nilai Akumulasi tampungan (S) berdasarkan I – O

Waktu t (jam)	Debit Inflow (m ³ /dt)	Debit Outflow (m ³ /dt)	S= (I - O)dt m ³ /dt	S rata-rata m ³ /dt	S akumulatif m ³ /dt
0	0,76	0,50	0,26	0,00	0,00
1	2,95	1,75	1,20	0,73	0,73
2	13,95	4,25	9,70	5,45	6,18
3	24,86	9,30	15,56	12,63	18,81
4	38,40	14,82	23,58	19,57	38,38
5	54,49	19,75	34,74	29,16	67,54
6	70,15	26,49	43,66	39,20	106,74
7	77,42	33,92	43,50	43,58	150,32
8	72,74	44,15	28,59	36,05	186,37
9	62,01	51,95	10,06	19,33	205,69
10	52,35	56,72	-4,37	2,85	208,54
11	42,13	60,45	-18,32	-11,35	197,19
12	35,33	61,70	-26,37	-22,35	174,85
13	30,82	58,83	-28,01	-27,19	147,66
14	26,25	51,65	-25,40	-26,71	120,95
15	23,55	41,55	-18,00	-21,70	99,25
16	21,22	33,55	-12,33	-15,17	84,09
17	18,76	28,25	-9,49	-10,91	73,18
18	16,24	22,17	-5,93	-7,71	65,47
19	14,65	17,20	-2,55	-4,24	61,23
20	12,52	14,71	-2,19	-2,37	58,86
21	11,36	11,65	-0,29	-1,24	57,62
22	9,34	10,00	-0,66	-0,48	57,14
23	8,21	7,85	0,36	-0,15	56,99
24	7,85	7,34	0,51	0,44	57,43
25	0,00	0,00	0,00	0,26	57,68

Sumber : Hasil Hasil Perhitungan



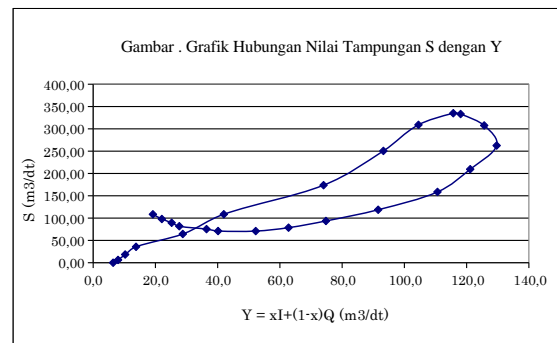
Tabel 3. Data Outflow (D)

DAS : Benanain
Nama Sungai : Temef_2
Data Debit Outflow

Tgl/Bln/Thn :
2 Maret 2023

Jam	Tinggi Muka Air (m)	Debit (m ³ /dt)
0	0,15	6,09
1	0,16	6,43
2	0,18	8,20
3	0,21	10,67
4	0,34	23,29
5	0,43	34,23
6	0,62	62,22
7	0,74	82,02
8	0,83	98,23
9	0,91	114,20
10	0,93	120,12
11	0,99	131,26
12	1,01	137,54

Jam	Tinggi Muka Air (m)	Debit (m ³ /dt)
13	2,43	129,18
14	2,25	117,86
15	1,98	96,33
16	1,75	77,57
17	1,58	64,52
18	1,37	52,79
19	1,18	39,55
20	1,075	35,72
21	0,94	26,44
22	0,86	24,14
23	0,75	20,61
24	0,72	17,50
Q rata-rata		61,47



C. Menentukan nilai x dan K

Untuk menentukan nilai x dan K dari ruas sungai Benanain (Temef 1) antara dan Temef_2, maka terlebih dulu di susun suatu tabel perhitungan hubungan antara inflow (I) yang terukur (point 2).

Proses Tabulasi tersebut ditempuh sesuai dengan prosedur dalam perhitungan metode Muskingum. Dalam tabulasi itu sesungguhnya merupakan suatu bentuk trail and error dalam penentuan nilai x dan K. Nilai x diasumsikan (misal x = 0.1) kemudian dimasukkan ke dalam perhitungan (0.1 I + 0.9 D) untuk berbagai waktu seperti yang telah diuraikan di atas.

Sebagai pedoman dalam pemilihan nilai x, seperti yang disebutkan dalam berbagai buku hidrologi, bahwa untuk sungai alami nilainya berkisar antara 0 hingga 0.50. Akan tetapi nilai tersebut tidak mutlak berlaku pada sungai alami, kadang-kadang nilainya bisa negatif. Besar kecilnya nilai x pada sungai alami sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor antara lain: kecuraman lereng sungai (slope of river).

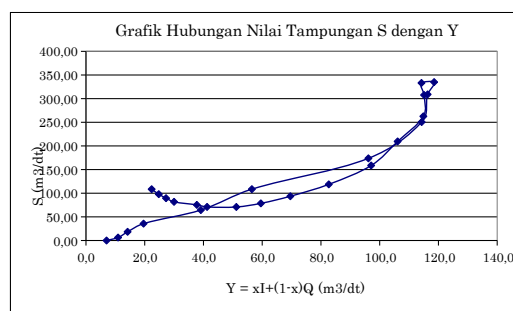
Nilai K adalah merupakan konstanta penampungan (storage constant) yaitu rasio tampungan terhadap debit, dan mempunyai dimensi waktu yang besarnya kira-kira sama dengan waktu perjalanan untuk melewati bagian ruas sungai yang ditinjau. Dalam Wilson (1974) disebutkan dari hasil analisis beberapa gelombang banjir menunjukkan bahwa waktu perjalananan antara pusat masa banjir di bagian hulu mencapai bagian hilir dari suatu ruas sungai yang ditinjau besarnya sama dengan nilai K.

Untuk membantu memudahkan dalam penentuan nilai x digunakan pendekatan nilai koefisien korelasi (r) antara Kumulatif Storage (S) dengan [x I + (1 - x) D]. Bila nilai (r) lebih besar dari 0.7 berarti terdapat hubungan korelasi antara kedua faktor tersebut, atau dengan kata lain hubungan kedua faktor mendekati garis lurus. Akan tetapi bila nilai (r) kurang dari 0.7 berarti tidak ada hubungan antara kedua faktor dan tidak akan terbentuk hubungan garis lurus (Soemarto, 1987)

Tabel 5. Hubungan Nilai Tampungan Komulatif S dengan $Y = x I + (1 - x) Q$ X = 0,15

x	Inflow (m3/dt)	Outflow (m3/dt)	Y	Sakumulatif (m3/dt)
0,15				
	8,20	6,09	6,41	0,00
	16,86	6,43	7,99	6,27
	22,04	8,20	10,28	18,40
	31,40	10,67	13,78	35,68
	60,00	23,29	28,79	64,41
	85,87	34,23	41,98	108,58
	140,95	62,22	74,03	173,76
	156,90	82,02	93,25	250,56
	140,20	98,23	104,52	308,99
	124,25	114,20	115,71	335,00
	106,45	120,12	118,07	333,19
	93,80	131,26	125,64	307,63
	84,93	137,54	129,65	262,59
	75,64	129,18	121,15	209,52
	69,68	117,86	110,63	158,67
	64,63	96,33	91,58	118,73
	59,03	77,57	74,79	93,60
	52,97	64,52	62,78	78,56
	49,07	52,79	52,23	70,93
	43,44	39,55	40,13	71,02
	40,43	35,72	36,42	75,32
	34,66	26,44	27,67	81,80
	31,37	24,14	25,22	89,53
	30,30	20,61	22,06	97,99
	28,78	17,50	19,19	108,47

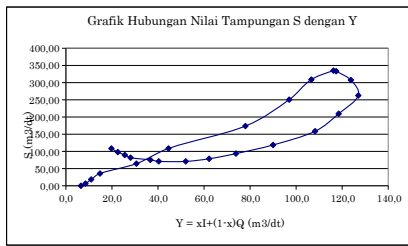
Sumber : Hasil Perhitungan



Tabel 6. Hubungan Nilai Tampungan Komulatif S dengan $Y = x I + (1 - x) Q$ X = 0,25

x	Inflow (m3/dt)	Outflow (m3/dt)	Y	Sakumulatif (m3/dt)
0,20				
	8,20	6,09	6,52	0,00
	16,86	6,43	8,52	6,27
	22,04	8,20	10,97	18,40
	31,40	10,67	14,81	35,68
	60,00	23,29	30,63	64,41
	85,87	34,23	44,56	108,58
	140,95	62,22	77,97	173,76
	156,90	82,02	97,00	250,56
	140,20	98,23	106,62	308,99
	124,25	114,20	116,21	335,00
	106,45	120,12	117,38	333,19
	93,80	131,26	123,77	307,63
	84,93	137,54	127,02	262,59
	75,64	129,18	118,47	209,52
	69,68	117,86	108,22	158,67
	64,63	96,33	89,99	118,73
	59,03	77,57	73,87	93,60
	52,97	64,52	62,21	78,56
	49,07	52,79	52,05	70,93
	43,44	39,55	40,33	71,02
	40,43	35,72	36,66	75,32
	34,66	26,44	28,08	81,80
	31,37	24,14	25,58	89,53
	30,30	20,61	22,55	97,99
	28,78	17,50	19,75	108,47

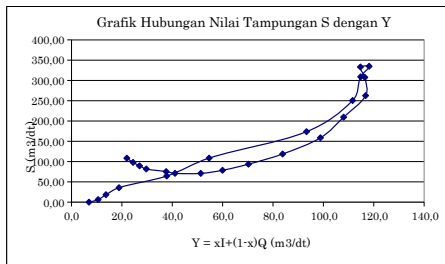
Sumber : Hasil Perhitungan



Tabel 7. Hubungan Nilai Tampungannya Komulatif S dengan $Y = xI + (1-x)Q$ $X = 0,395$

x 0,395	Inflow (m³/dt)	Outflow (m³/dt)	Y	Sakumulatif (m³/dt)
	8,20	6,09	6,93	0,00
	16,86	6,43	10,55	6,27
	22,04	8,20	13,67	18,40
	31,40	10,67	18,85	35,68
	60,00	23,29	37,79	64,41
	85,87	34,23	54,63	108,58
	140,95	62,22	93,32	173,76
	156,90	82,02	111,60	250,56
	140,20	98,23	114,81	308,99
	124,25	114,20	118,17	335,00
	106,45	120,12	114,72	333,19
	93,80	131,26	116,46	307,63
	84,93	137,54	116,76	262,59
	75,64	129,18	108,03	209,52
	69,68	117,86	98,83	158,67
	64,63	96,33	83,81	118,73
	59,03	77,57	70,25	93,60
	52,97	64,52	59,95	78,56
	49,07	52,79	51,32	70,93
	43,44	39,55	41,09	71,02
	40,43	35,72	37,58	75,32
	34,66	26,44	29,69	81,80
	31,37	24,14	27,00	89,53
	30,30	20,61	24,44	97,99
	28,78	17,50	21,95	108,47

Sumber : Hasil Perhitungan



Tabel 8. Hubungan Nilai Tampungannya Komulatif S dengan $Y = xI + (1-x)Q$ $X = 0,431$

x 0,431	Inflow (m³/dt)	Outflow (m³/dt)	Y	Sakumulatif (m³/dt)
	8,20	6,09	7,00	0,00
	16,86	6,43	10,92	6,27
	22,04	8,20	14,17	18,40
	31,40	10,67	19,60	35,68
	60,00	23,29	39,11	64,41
	85,87	34,23	56,49	108,58
	140,95	62,22	96,15	173,76
	156,90	82,02	114,29	250,56
	140,20	98,23	116,32	308,99
	124,25	114,20	118,53	335,00
	106,45	120,12	114,22	333,19
	93,80	131,26	115,12	307,63
	84,93	137,54	114,87	262,59
	75,64	129,18	106,10	209,52
	69,68	117,86	97,10	158,67
	64,63	96,33	82,67	118,73
	59,03	77,57	69,58	93,60
	52,97	64,52	59,54	78,56
	49,07	52,79	51,19	70,93
	43,44	39,55	41,23	71,02
	40,43	35,72	37,75	75,32
	34,66	26,44	29,98	81,80
	31,37	24,14	27,26	89,53
	30,30	20,61	24,79	97,99
	28,78	17,50	22,36	108,47

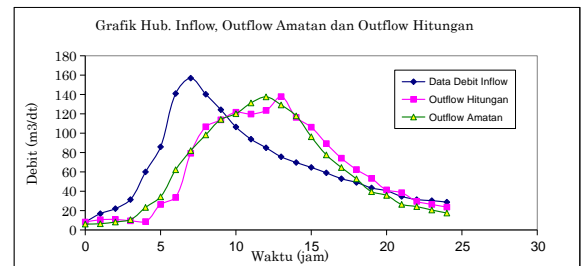
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 9. Penelusuran Banjir Metode Muskingum Parameter Konstan Sungai L = 30 km

t (jam)	Inflow (m³/dt)	Co x I2	C1 x I1	C2 x O1	Total Q _{outflow} (m³/dt)	Total Q _{aman} (m³/dt)
0	8,20				8,20	6,09
1	16,86	-4,47	9,02	5,99	10,54	6,43
2	22,04	-5,85	9,02	7,70	10,87	8,20
3	31,40	-8,33	11,79	5,99	9,46	10,67
4	60,00	-15,92	16,80	7,79	8,67	23,29
5	85,87	-22,78	32,11	17,00	26,33	34,23
6	140,95	-37,40	45,96	24,99	33,56	62,22
7	156,90	-41,63	75,43	45,43	79,24	82,02
8	140,20	-57,20	83,97	59,88	106,66	98,23
9	124,25	-52,96	75,04	71,72	113,79	114,20
10	106,45	-28,24	66,50	83,38	121,63	120,12
11	93,80	-24,89	56,97	87,70	119,78	131,26
12	84,93	-22,53	50,20	95,83	123,51	137,54
13	75,64	-20,07	57,45	100,42	137,81	129,18
14	69,68	-18,49	40,48	94,31	116,31	117,86
15	64,63	-17,15	37,29	86,05	106,20	96,33
16	59,03	-15,66	34,59	70,33	89,26	77,57
17	52,97	-14,05	31,59	56,64	74,18	64,52
18	49,07	-13,02	28,35	47,10	62,43	52,79
19	43,44	-11,53	26,26	38,54	53,28	39,55
20	40,43	-10,73	23,25	28,87	41,40	35,72
21	34,66	-9,20	21,64	26,08	38,52	26,44
22	31,37	-8,32	18,55	19,30	29,53	24,14
23	30,30	-8,04	16,79	17,62	26,37	20,61
24	28,78	-7,64	16,22	15,05	23,63	17,50

Sumber : Hasil Perhitungan

Diketahui :			
L =	30 km	K =	3,264
V =	2,553 m/dt	Co =	-0,26531
x =	0,395	C1 =	0,53520
dt =	1 jam	C2 =	0,73012
		Co + C1 + C2 =	1,00
		Qout Hit	137,81
		Qout Aman	137,54



Grafik Hubungan antara inflow (I) di Temef_1 dengan prakiraan outflow (O) di Temef_2

Hasil perhitungan ketiga koefisien di atas dengan memasukkan nilai $x (= 0,395)$ dan $K (= 3,264)$ diperoleh nilai sebagai berikut: $C0 = -0,26531$; $C1 = 0,53520$ dan $C2 = 0,73012$. Setelah nilai koefisien diperoleh dan dengan bantuan persamaan (6), maka kita dapat memperkirakan / menghitung laju debit outflow (D) di stasiun pengukuran di bagian hilirnya, dalam hal ini adalah pos Temef_2i.

Mengetahui laju outflow (O) di bagian hilir ini menjadi suatu hal sangat penting, karena bila di pos pengukuran di bagian hulu diketahui telah terjadi kenaikan muka air atau debit (gelombang banjir), maka kita dapat memperkirakan berapa lama pusat gelombang banjir tersebut sampai di pos bagian hilir dan seperti apa pola debit yang akan terjadi di bagian hilir. Dengan demikian bila metode

penelusuran banjir ini dikaitkan dengan program pengendalian dan peringatan dini bahaya banjir, maka akan dapat disusun suatu program pemberitahuan atau antisipasi kepada penduduk / masyarakat yang berdiam di sekitar aliran sungai. Sehingga masyarakat dapat bersiap-siap untuk mengantisipasi atau menyelamatkan harta dan jiwa dari terpaan bahaya banjir yang lebih besar.

IV. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode Muskingum, diketahui bahwa nilai-nilai konstanta dan koefisien yang digunakan dalam perhitungan penelusuran banjir di Sungai Temef (DAS Benanain) pada ruas Temef_1 hingga Temef_2i adalah sebagai berikut : $X = 0,395$; $K = 3,264$ jam; $C0 = -0,26531$; $C1 = 0,53520$ dan $C2 = 0,73012$

Perjalanan puncak gelombang banjir dari Temef_1 sampai Temef_2i dengan jarak 30 km berlangsung sekitar 3,264 jam.

Metode penelusuran banjir dengan metode Muskingum ini dapat dijadikan sebagai masukan dalam program Pengendalian dan Sistem Peringatan Dini Banjir. Apalagi bila diintegrasikan dengan peralatan pengukuran hidrologi yang bekerja secara real time dan didukung dengan software yang handal, maka nilai manfaatnya akan lebih baik lagi.

B. Saran

Pembahasan terkait penelitian ini masih sangat terbatas dan membutuhkan banyak masukan, saran untuk penulis selanjutnya adalah mengkaji lebih dalam dan secara komprehensif tentang Penerapan Penelusuran Banjir (Flood Routing) untuk Sistem Peringatan Dini Banjir Sungai Benanain.

DAFTAR RUJUKAN

- Gill, M. A. (1978). Flood routing by the Muskingum method. *Journal of Hydrology*, 36(3-4), 353-363.
- Cunge, J. A. (1969). On the subject of a flood propagation computation method: Muskingum method. *Journal of Hydraulic Research*, 7(2), 205-230.
- Koussis, A. D. (2009). Assessment and review of the hydraulics of storage flood routing 70 years after the presentation of the Muskingum method. *Hydrological Sciences Journal*, 54(1), 43-61.
- Ponce, V. M., & Yevjevich, V. (1978). Muskingum-Cunge method with variable parameters. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*.
- Perumal, M., & Price, R. K. (2013). A fully mass conservative variable parameter McCarthy-Muskingum method: Theory and verification. *Journal of Hydrology*, 502, 89-102.
- Geem, Z. W. (2011). Parameter estimation of the nonlinear Muskingum model using parameter-setting-free harmony search. *Journal of Hydrologic Engineering*, 16(8), 684-688.
- Karahan, H., Gurarslan, G., & Geem, Z. W. (2013). Parameter estimation of the nonlinear Muskingum flood-routing model using a hybrid harmony search algorithm. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(3), 352-360.
- Bozorg-Haddad, O., Hamed, F., Orouji, H., Pazoki, M., & Loáiciga, H. A. (2015). A re-parameterized and improved nonlinear Muskingum model for flood routing. *Water Resources Management*, 29, 3419-3440.
- Zhang, S., Kang, L., Zhou, J., & Huang, J. (2017). A new modified nonlinear Muskingum model and its parameter estimation using the adaptive genetic algorithm. *Hydrology Research*, 48(1), 17-28.
- Barati, R. (2013). Application of excel solver for parameter estimation of the nonlinear Muskingum models. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 17, 1139-1148.
- Bazargan, J., & Norouzi, H. (2018). Investigation the effect of using variable values for the parameters of the linear Muskingum method using the particle swarm algorithm. *Water Resources Management*, 32, 4763-4777.
- Bozorg-Haddad, O., Abdi-Dehkordi, M., Hamed, F., Pazoki, M., & Loáiciga, H. A. (2019). Generalized storage equations for flood routing with nonlinear Muskingum models. *Water Resources Management*, 33, 2677-2691.

- Easa, S. M. (2013). Improved nonlinear Muskingum model with variable exponent parameter. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(12), 1790–1794.
- Perumal, M., & Sahoo, B. (2007). Volume conservation controversy of the variable parameter Muskingum-Cunge method. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(5), 475–485.
- Perumal, M., & Raju, K. G. R. (1998). Approximate convection-diffusion flood routing method. *Journal of Hydrologic Engineering*, 3(2), 160–164.
- Tang, X., Knight, D. W., & Samuels, P. G. (1999). Variable parameter Muskingum-Cunge method for flood routing in a compound channel. *Journal of Hydraulic Research*, 37(5), 591–614.
- Vatankhah, A. R. (2014). Discussion of parameter estimation for nonlinear Muskingum models. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19(5), 1013–1015.
- Luo, J., Xie, J., & Li, X. (2018). Flood routing in river reaches using a three-parameter Muskingum model combined with an improved bat algorithm. *Water*, 10(9), 1130.
- Atashi, V., Barati, R., & Lim, Y. H. (2023). Development of a distributed nonlinear Muskingum model by considering snowmelt effects for flood routing in the Red River. *Scientific Reports*, 13, 21356.
- Akbari, R., Afzali, S. H., & Mousavi, S. J. (2020). Flood routing: Improving outflow using a new nonlinear Muskingum model with four variable parameters coupled with PSO-GA algorithm. *Water Resources Management*.
- Duan, H., Li, F., & Yan, H. (1992). Multi-objective optimal model for flood routing in river systems. *Journal of Hydrology*, 134(1–4), 121–132.
- Moramarco, T., Saltalippi, C., & Singh, V. P. (2004). Estimation of mean velocity in natural channels based on Chiu's velocity distribution equation. *Journal of Hydrologic Engineering*, 9(1), 42–50.
- Barbetta, S., Moramarco, T., & Brocca, L. (2012). Rating curve estimation for hydrometric stations using a discharge-stage relation and uncertainty analysis. *Hydrological Sciences Journal*, 57(5), 942–954.
- Sahoo, B., Perumal, M., Moramarco, T., & Barbetta, S. (2014). Rating curve development at ungauged river sites using variable parameter Muskingum discharge routing method. *Water Resources Management*, 28, 3783–3800.
- Alfieri, L., Burek, P., Dutra, E., Krzeminski, B., Muraro, D., Thielen, J., & Pappenberger, F. (2013). GloFAS: Global ensemble streamflow forecasting and flood early warning. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 1161–1175.
- Thielen, J., Bartholmes, J., Ramos, M. H., & de Roo, A. (2009). The European Flood Alert System—Part 1: Concept and development. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 125–140.
- Cloke, H. L., & Pappenberger, F. (2009). Ensemble flood forecasting: A review. *Journal of Hydrology*, 375(3–4), 613–626.
- Najafi, H., Shrestha, P. K., Rakovec, O., Apel, H., Vorogushyn, S., Kumar, R., Thober, S., Merz, B., & Samaniego, L. (2024). High-resolution impact-based early warning system for riverine flooding. *Nature Communications*, 15, 3726.
- Wandi, I. A., & Ashari, A. (2023). Monitoring ketinggian air dan curah hujan dalam early warning system bencana banjir berbasis IoT. *IJEIS: Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems*, 13(1), 101–110.
- Raka Buana, A., dkk. (2018). Analisis banjir dengan metode Muskingum Cunge dan Sistem Informasi Geografis (SIG) di Kelurahan Banyuanyar, Surakarta. *Matriks Teknik Sipil*, 6(4).