



Analisis Luas Genangan Akibat Keruntuhan Bendungan (*Dam Break*) Kuwil Kawangkoan Dengan Program HEC-RAS

Christhio A. P. Lombogia^{#a}, Liany A. Hendratta^{#b}, Jeffry S. F. Sumarauw^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia

^achristhiolombogia021@student.unsrat.ac.id, ^blianyhendratta@unsrat.ac.id, ^cjeffrysumarauw@unsrat.ac.id

Abstrak

Menurut ketentuan dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia mengenai bendungan, setiap bendungan wajib memiliki dokumen Rencana Tindak Darurat (RTD) yang diperbaharui setiap lima tahun. Penyusunan RTD tersebut harus didasarkan pada analisis potensi keruntuhan bendungan. Penelitian ini secara umum bertujuan untuk melakukan analisis potensi keruntuhan Bendungan Kuwil Kawangkoan yang berlokasi di Kabupaten Minahasa Utara, dengan mengacu pada Pedoman Klasifikasi Bahaya Bendungan sesuai Peraturan Pemerintah No. 37 Tahun 2010 tentang Bendungan. Studi ini memberikan hasil bahwa curah hujan PMP di DTA Waduk Kuwil Kawangkoan adalah sebesar 1297,18 mm, debit banjir PMF di Kuwil Kawangkoan adalah sebesar 2476,57 m³/det, dan Skenario keruntuhan Bendungan Kuwil Kawangkoan dengan dampak paling ekstrem adalah overtopping, yang menghasilkan genangan seluas $\pm 1.689,49$ ha. Wilayah terdampak meliputi Kelurahan Kuwil, Maumbi, Malendeng, Kairagi Satu, Paal IV, Kairagi Dua, Kairagi Weru, Tikala Baru, Paal Dua, Komo Luar, Pinaesaan, Wenang Utara, Sindulang Satu, Bitung Karangria, dan Wawonasa. Kedalaman genangan maksimum pada titik representatif masing-masing wilayah berkisar antara 2,69 m hingga 22,06 m. Berdasarkan kedalaman banjir tersebut, sebagian besar wilayah seperti Kuwil, Maumbi, Malendeng, Kairagi Satu, Paal IV, Kairagi Dua, Kairagi Weru, Tikala Baru, Paal Dua, Komo Luar, Pinaesaan, Wenang Utara, Sindulang Satu, Bitung Karangria, dan Wawonasa dikategorikan sebagai Zona Bahaya Tinggi.

Kata kunci: keruntuhan bendungan, Bendungan Kuwil Kawangkoan, Probable Maximum Flood, genangan banjir, HEC-RAS

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Sumber daya air merupakan Anugerah Tuhan yang sangat penting bagi kehidupan dan kesejahteraan masyarakat Indonesia. Sejalan dengan pasal 33 ayat (3) Undang-undang Dasar Negara Republik Indonesia Tahun 1945, undang-undang ini menyatakan bahwa sumber daya air dikuasai oleh negara dan dipergunakan untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat secara adil. Atas penguasaan sumber daya air oleh negara dimaksud, negara menjamin hak setiap orang untuk mendapatkan air dan memanfaatkan sumber daya air secara optimal bagi kemakmuran dengan tetap menjamin kelangsungan dan kelestarian sumber daya air melalui pengaturan hak atas air dan hak dalam pemanfaatan sumber daya air.

Namun di balik manfaatnya yang besar, bendungan juga memiliki potensi bahaya jika tidak dikelola dengan baik. Salah satu risiko paling serius adalah terjadinya banjir akibat keruntuhan atau kegagalan bendungan. Berdasarkan Permen PU No. 27 Tahun 2015, kegagalan bendungan diartikan sebagai keruntuhan sebagian atau seluruh struktur bendungan, bangunan pelengkap, atau kerusakan lain yang mengakibatkan bendungan tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

1.2. Rumusan Masalah

1. Berapa besar terjadinya Probable Maximum Flood (PMF) pada Daerah Tangkapan Air untuk Waduk Kuwil Kawangkoan?
2. Bagaimana karakteristik luasan dan kedalaman banjir maksimum Bendungan Kuwil Kawangkoan apabila terjadi keruntuhan bendungan yang disimulasikan oleh Hec-Ras?
3. Bagaimana klasifikasi tingkat bahaya pada lokasi terdampak dari banjir oleh keruntuhan Bendungan Kuwil Kawangkoan?
4. Bagaimana mitigasi bencana yang dilakukan untuk mengantisipasi keruntuhan Bendungan Kuwil Kawangkoan?

1.3. Batasan Penelitian

1. Analisa dan simulasi keruntuhan pada Bendungan Kuwil Kawangkoan hanya dilaksanakan dengan Software HEC-RAS.
2. Analisa mengenai stabilitas pada Bendungan Kuwil Kawangkoan tidak dilakukan.
3. Analisa Geoteknik pada Bendungan Kuwil Kawangkoan tidak dilakukan.
4. Keruntuhan pada Bendungan Kuwil Kawangkoan diasumsikan terjadi akibat overtopping dan atau piping disebabkan oleh kondisi pada saat Q1000th dan Q PMF.
5. Transport sedimen pada simulasi banjir tidak diperhatikan.
6. Hanya membahas daerah genangan banjir akibat keruntuhan Bendungan Kuwil Kawangkoan.
7. Penilaian klasifikasi tingkat bahaya banjir berpedoman pada Keputusan Dirjen SDA No. 257/KPTS/D/2011, mengenai Pedoman Klasifikasi Bahaya Bendungan.
8. Tidak membahas kerugian ekonomi, dan dampak kerusakan lingkungan yang timbul akibat keruntuhan Bendungan Kuwil Kawangkoan.

1.4. Tujuan Penelitian

1. Mengetahui Probable Maximum Flood (PMF) pada Daerah Tangkapan Air untuk Waduk Kuwil Kawangkoan.
2. Mengetahui luasan dan kedalaman akibat banjir yang disebabkan oleh keruntuhan Bendungan Kuwil Kawangkoan.
3. Memberikan klasifikasi tingkat bahaya yang terjadi jika Bendungan Kuwil Kawangkoan mengalami keruntuhan.
4. Membuat upaya mitigasi bencana untuk mengantisipasi keruntuhan Bendungan Kuwil Kawangkoan.

1.5. Manfaat Penelitian

Hasil dari studi ini diharapkan dapat dijadikan masukan guna menyusun Rencana Tindak Darurat (RTD) pada Bendungan Kuwil Kawangkoan pada tahun-tahun selanjutnya.

1.6. Lokasi Penelitian

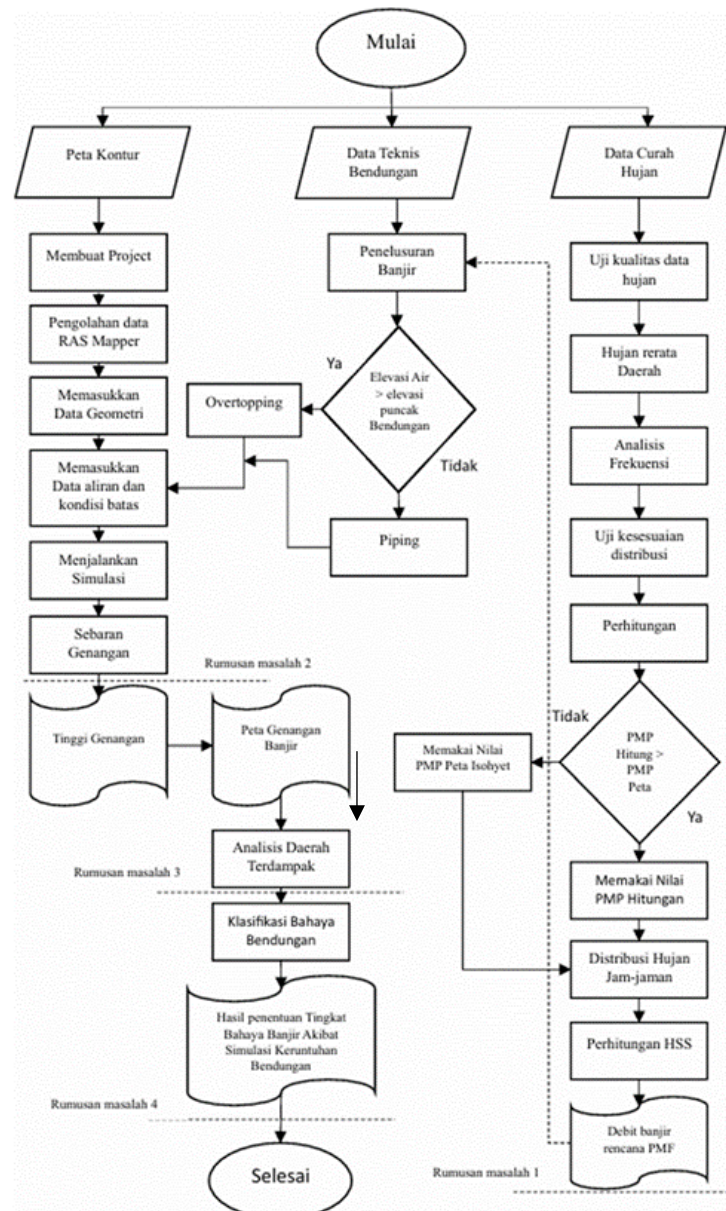
Bendungan Kuwil Kawangkoan terletak di Desa Kawangkoan, Kecamatan Kalawat, Kabupaten Minahasa Utara, Provinsi Sulawesi Utara, pada Daerah Aliran Sungai Tondano, pada koordinat 1° 26' 31,96" LU dan 114° 46' 50,16" BT.



Gambar 1. Lokasi Penelitian (Google Earth)

2. Tahap Penelitian

Tahap penelitian digambarkan dalam alur yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

3. Kajian Literatur

3.1. Bendungan

Menurut peraturan menteri nomor 72/PRT/1997 tentang keamanan Bendungan “bendungan adalah setiap bangunan penahan air buatan, jenis urugan atau jenis lainnya yang menampung air atau dapat menampung air, termasuk pondasi, bukit/tebing tumpuan, serta bangunan pelengkap dan peralatannya termasuk juga bendungan limbah galian, tetapi tidak termasuk bendung dan tanggul”.

3.2. Keruntuhan Bendungan

Merujuk Peraturan Menteri PUPR No. 27 Tahun 2015, bahwa kegagalan bendungan merupakan keruntuhan sebagian atau seluruh atau bangunan pelengkapannya dan atau kerusakan yang mengakibatkan tidak berfungsinya bendungan.

3.3. Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dalam studi ini adalah untuk meramalkan kondisi Bendungan Kuwil Kawangkoan ketika Waduk Kuwil Kawangkoan mendapatkan hujan terekstrem yaitu Hujan Maksimum Boleh Jadi atau PMP (*Probable Maksimum Precipitation*) yang mana selanjutnya hujan tersebut akan menimbulkan banjir terekstrem, yaitu Banjir Maksimum Boleh Jadi atau PMF (*Probable Maksimum Flood*).

3.4. Program HEC-RAS

HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*) adalah perangkat lunak yang memungkinkan untuk melakukan simulasi hidraulik aliran satu dimensi, melakukan perhitungan aliran sungai tidak seragam satu atau dua dimensi, melakukan model pergerakan sedimen dalam aliran tidak seragam dan aliran tidak seragam penuh, melakukan analisis suhu air, dan melakukan pemodelan kualitas air secara umum.

3.5. Penentuan Tingkat Klasifikasi Bahaya

Klasifikasi bahaya banjir berdasarkan kedalaman umumnya dibagi menjadi beberapa tingkatan: rendah kurang dari 1 m, sedang 1 - 2 m, dan tinggi jika lebih dari 2 m. Kementerian Pekerjaan Umum (PU) menggunakan standar ini sebagai bagian dari penentuan peta rawan bencana untuk mengklasifikasikan tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap banjir, yang dapat membantu dalam perencanaan dan penanggulangan bencana. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air (2011:32).

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisis Hidrologi

4.1.1. Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis hidrologi secara umum adalah satu kesatuan analisis awal dalam perencanaan suatu bangunan hidraulik terutama pada bendungan. Analisis hidrologi ini menggunakan data curah hujan yang diperoleh dari Unit Pengelola Bendungan (UPB) Kuwil Kawangkoan yang berupa data hujan harian maksimum tahunan pada Sasiun Hujan Sawangan selama 10 tahun (tahun 2015-2024).

Tabel 1. Rekapitulasi Curah Hujan Harian Maksimum, Tahunan Stasiun Hujan Sawangan

Tahun	CH _{max} (mm)	Ch _{max} terurut (mm)
2015	90,00	76,00
2016	90,70	90,00
2017	180,00	90,70
2018	76,00	120,00
2019	130,00	121,00
2020	121,00	130,00
2021	175,00	150,00
2022	165,00	165,00
2023	150,00	175,00
2024	120,00	180,00
$\overline{CH}_{mm}$	129,77	129,77
n	10	10

Sumber: Analisis 2025

4.1.2. Uji Kelayakan Data Hujan

Tabel 2 merupakan Hasil Uji Outlier Data Hujan.

Tabel 2. Hasil Uji Outlier

No.	Tahun	Curah Hujan Maksimum (Ch _{max})	Ln Ch _{max}
1.	2015	90.00	4.500
2.	2016	90.70	4.508
3.	2017	180.00	5.193
4.	2018	76.00	4.331
5.	2019	130.00	4.868
6.	2020	121.00	4.796
7.	2021	175.00	5.165
8.	2022	165.00	5.106
9.	2023	150.00	5.011
10.	2024	120.00	4.787
$\overline{Ln} (CH) (mm)$			4.826
$S_{Ln} (CH) (mm)$			0.302
K_n			2.037
n			10
$X_H (mm)$			230.67134
$X_L (mm)$			67.4680542

Sumber: Analisis 2025

Keterangan:

- n = jumlah data curah hujan
 CH = curah hujan (mm)
 $Ln(CH)$ = Ln curah hujan (mm)
 $\overline{Ln} (CH)$ = rerata Ln curah hujan (mm)
 $S_{Ln} (CH)$ = standar deviasi dari rerata Ln curah hujan (mm)
 K_n = parameter *Grubbs and Beck*
 X_H = batas atas nilai data curah hujan (mm)
 X_L = batas bawah nilai data curah hujan (mm)

Dari perhitungan di atas tersebut, kini dapat diketahui bahwa nilai batas atas data (XH) adalah senilai 230,67 mm dan nilai batas bawah data (XL) adalah senilai 67,46, sehingga dapat dipastikan bahwa nilai-nilai pada deret data hujan tersebut tidak ada yang harus dibuang, karena nilainya tidak ada yang melewati nilai batas atas (XH) dan bawah (XL).

4.1.3. Hujan Daerah

Tabel 3. Perhitungan Hujan Wilayah

Tahun	CH Point Rainfall (mm)	CH Basin Rainfall (mm)
2015	90,00	89,96
2016	90,70	90,66
2017	18,00	179,93
2018	76,00	75,97
2019	130,00	129,95
2020	121,00	120,95
2021	175,00	174,93
2022	165,00	164,93
2023	150,00	149,94
2024	120,00	119,95
Adjustment factor for area 50 km ²		98%
Adjustment for fixed observational time intervals (6-hour)		1.02

Sumber: Analisis 2025

Uraian perhitungan: (Contoh perhitungan pada data hujan tahun 2015) sebagai berikut:
 Basin Rainfall = (CH Point Rainfall) x (Adjustment factor for area 50 km²).
 (Adjustment factor for fixed observational time intervals x (6-hour))
 = 90,00 x 98% x 1,02 = 89,96 mm

4.1.4. Uji Kesesuaian Distribusi dengan Metode Smirnov-Kolmogorof dan Metode Chi-Square

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Uji Smirnov-Kolmogorof

Metode Curah Hujan Distribusi Frekuensi	Uji Smirnov-Kolmogorof			
	Derajat Kebebasan (DK) 5%	Dkritis	Dmax_hitung	Keterangan
Gumbel	5%	0,409	0,0936	Dkritis > Dmax_hitung Diterima
Log Pearson III	5%	0,409	0,1533	Dkritis > Dmax_hitung Diterima
Normal	5%	0,409	0,1401	Dkritis > Dmax_hitung Diterima
Log Normal	5%	0,409	0,2320	Dkritis > Dmax_hitung Diterima

Sumber: Analisis 2025

Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Uji Chi-Square

Metode Curah Hujan Distribusi Frekuensi	Uji Chi-Square			
	Derajat Kebebasan (DK) 5%	Dkritis (cr ²)	Dmax_hitung (h ²)	Keterangan
Gumbel	5%	3,841	3,6	Dkritis > Dmax_hitung Diterima
Log Pearson III	5%	3,841	1,2	Dkritis > Dmax_hitung Diterima
Normal	5%	3,841	0,4	Dkritis > Dmax_hitung Diterima
Log Normal	5%	3,841	1,2	Dkritis > Dmax_hitung Diterima

Sumber: Analisis 2025

Dengan pembuktian matematis ini, dapat diketahui bahwa sebaran curah hujan rancangan hasil metode distribusi frekuensi terpilih adalah metode Distribusi Normal karena memiliki selisih nilai yang paling jauh diantara distribusi yang ada.

4.1.5. Hujan Maksimum Boleh Jadi (PMP)

Tabel 6. Data Hujan Harian Maksimum Tahunan (*Point Rainfall*)

Nomor	Tahun	CH _{max} (mm)	Ch _{max} terurut (mm)
1	2015	90,00	76,00
2	2016	90,70	90,00
3	2017	180,00	90,70
4	2018	76,00	120,00
5	2019	130,00	121,00
6	2020	121,00	130,00
7	2021	175,00	150,00
8	2022	165,00	165,00
9	2023	150,00	175,00
10	2024	120,00	180,00
$\sum CH$ (mm)			1297,70
$\bar{X}_n$ (mm)			129,77
Sd (Sn)			37,10
n			10

Sumber: Analisis 2025

dengan:

CH = curah hujan (mm)

$\sum C$ = jumlah data hujan (mm)

$\bar{X}_n$ = rerata curah hujan (mm)

S_n = standar deviasi curah hujan (mm)

n = jumlah data curah hujan

Berikut uraian perhitungan Tabel 6:

$$\bar{X}_n = \frac{\sum_{i=1}^n (CH)_i}{n} = \frac{1297,7}{10} = 129,7 \text{ mm} \quad (1)$$

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((CH)_i - (\bar{CH}))^2}{n-1}} = 37,10 \text{ mm} \quad (2)$$

Berdasarkan data curah hujan pada Tabel 6, dilakukan perhitungan Hujan Boleh Jadi atau *PMP* yang sesuai dengan ketentuan BSN pada RSNI T-02-2004:

$$\bar{X}_p = \bar{X}_n \cdot f_1 \cdot f_2 = 129,7 \cdot 99,70\% \cdot 105\% = 135,84 \text{ mm} \quad (3)$$

$$S_p = S_n \cdot f_3 \cdot f_4 = 37,10 \cdot 106\% \cdot 130\% = 51,13 \text{ mm} \quad (4)$$

$$X_m = \bar{X}_p + K_m + S_p = 135,8 \text{ mm} + (10,02 \cdot 51,1) = 648,17 \text{ mm} \quad (5)$$

PMP basin rainfall = PMP point rainfall x adjustment factor for area x adjustment factor for fixed observational time intervals

PMP basin rainfall = 648,1 x 98% x 1,02

PMP basin rainfall = 647,91 mm

Diketahui Nilai PMP Peta Isohyet DAS Bendungan Kuwil Kawangkoan berada pada nilai 300 – 600 Poin, sedangkan Nilai PMP Hitung bernilai 647,91 Poin, maka sesuai dengan bagan alir kita akan menggunakan nilai PMP Hitung.

4.1.6. Debit Banjir Rencana (PMF)

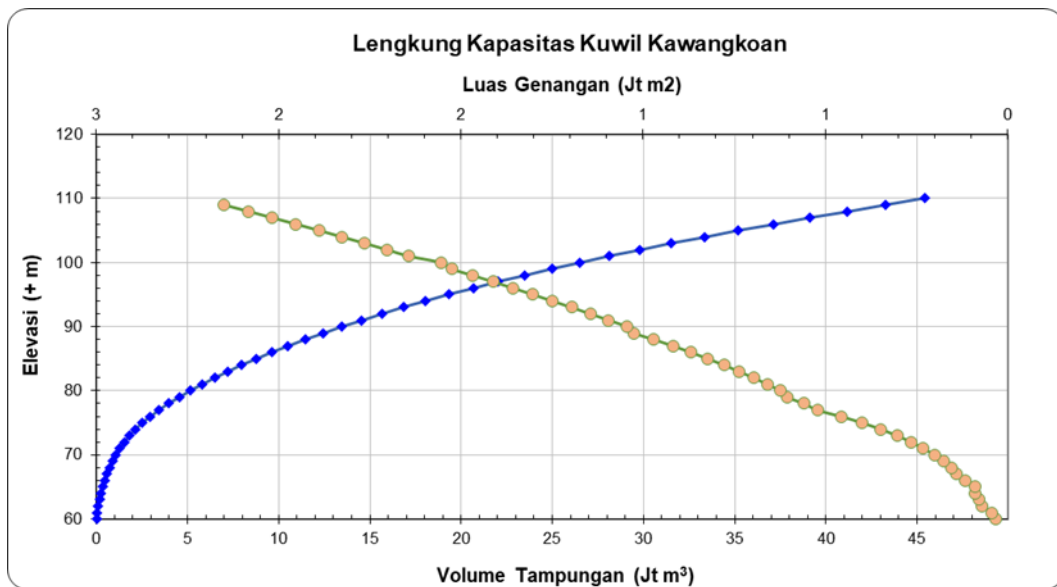
Tabel 7. Rekapitulasi Perhitungan Debit Banjir Rancangan HSS Nakayasu

t (jam)	Q ₂₅ HSS Nakayasu (m ³ /det)	Q ₅₀ HSS Nakayasu (m ³ /det)	Q ₁₀₀ HSS Nakayasu (m ³ /det)	Q ₂₀₀ HSS Nakayasu (m ³ /det)	Q ₁₀₀₀ HSS Nakayasu (m ³ /det)	Q _{PMF} HSS Nakayasu (m ³ /det)
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
1	28,034	29,874	31,382	32,728	35,474	94,073
2	155,250	165,440	173,790	181,246	196,456	520,973
4	639,555	681,531	715,931	746,645	809,301	2146,151
4	738,021	786,459	826,155	861,598	933,901	2476,572
5	613,397	653,656	686,649	716,107	776,201	2058,373
6	594,084	633,075	665,029	693,559	751,761	1993,563
7	572,591	610,172	640,970	668,468	724,565	1921,442
8	538,342	573,675	602,631	628,484	681,225	1806,512
9	461,269	491,544	516,354	538,506	583,697	1547,880
10	343,612	366,164	384,646	401,147	434,811	1153,056
11	295,706	315,114	331,019	345,220	374,190	992,299
12	257,658	274,569	288,428	300,802	326,044	864,623
13	226,031	240,866	253,023	263,878	286,022	758,490
14	199,219	212,295	223,010	232,578	252,095	668,520
15	176,235	187,802	197,281	205,745	223,010	591,391
16	161,094	171,667	180,331	188,068	203,850	540,581
17	147,253	156,918	164,838	171,910	186,336	494,136
18	134,601	143,436	150,676	157,140	170,326	451,681
19	123,037	131,112	137,730	143,639	155,693	412,874
20	112,466	119,847	125,897	131,298	142,316	377,402
21	102,803	109,551	115,080	120,017	130,089	344,977
22	93,971	100,138	105,193	109,706	118,912	315,337
23	85,897	91,535	96,155	100,280	108,695	288,245
24	78,517	83,670	87,894	91,664	99,357	263,480
25	71,771	76,482	80,342	83,789	90,820	240,842
26	65,605	69,911	73,439	76,590	83,017	220,150
27	59,968	63,904	67,130	70,010	75,885	201,235
28	54,816	58,414	61,362	63,995	69,365	183,946
29	50,106	53,395	56,090	58,496	63,405	168,142
30	45,801	48,808	51,271	53,471	57,958	153,696
31	41,866	44,614	46,866	48,877	52,978	140,491
32	38,269	40,781	42,839	44,677	48,426	128,420
Q maksimum	738,021	786,459	826,155	861,598	933,901	2476,572

Sumber: Analisis 2025

4.1.7. Lengkung Kapasitas Waduk

Untuk dapat mengetahui apakah debit banjir rancangan PMF mengalami overtopping atau tidak, maka perlu dilakukan penelusuran banjir melalui pelimpah. Untuk data lengkung kapasitas Waduk Kuwil Kawangkoan adalah sebagai berikut:



Gambar 3. Grafik Lengkung Kapasitas Waduk Kuwil Kawangkoan 2025

4.1.8. Penelusuran Banjir (Flood Routing)

Berikut ini adalah hasil Penelusuran Banjir Lewat Pelimpah, (*elv of crest spillway* +100,2, *elv of crest dam* +106).

Tabel 8. Perhitungan Penelusuran Banjir di Atas Pelimpah Bendungan Kuwil Kawangkoan

	0	3	4	5	6	2	1	7
<i>t</i> (jam)	Inflow (Q_{PMF}) (m^3/det)	<i>SI</i> (m^3)	ψ (m^3/det)	<i>f</i> (m^3/det)	<i>S2</i> (m^3)	<i>H</i> (m)	<i>Qpelimpah</i> (m^3/det)	Elevasi (+m)
0,0	0,000					0,2521	0,000	100,452
1,0	94,073	25.427.935,76	19,84204	66,88	25.427.983	0,9251	47,04	101,125
2	520,973	26.211.819,96	19,84074	327,36	26.212.080	1,4871	307,523	101,687
3,6	2146,151	26.866.496,48	19,83966	1.353,40	26.867.523	3,7010	1.333,562	103,901
4,0	2476,572	29.445.225,49	19,83540	2.331,20	29.446.203	5,8108	2.311,36	106,011
5,0	2058,373	31.902.715,52	19,83133	2.287,30	31.902.672	5,7161	2.267,473	105,916
6,0	1993,563	31.792.410,04	19,83151	2.045,80	31.792.169	5,1950	2.025,968	105,395
7,0	1921,442	31.185.440,53	19,83252	1.977,34	31.185.372	5,0473	1.957,50	105,247
8,0	1806,512	31.013.366,98	19,832802	1.883,81	31.013.273	4,8455	1.863,977	105,045
9,0	1547,880	30.778.309,69	19,83319	1.697,03	30.778.123	4,4425	1.677,196	104,642
10,0	1153,056	30.308.875,14	19,83397	1.370,30	30.308.548	3,7375	1.350,47	103,937
11,0	992,299	29.487.714,33	19,83533	1.092,51	29.487.437	3,1381	1.072,677	103,338
12,0	864,623	28.789.548,19	19,836480	948,30	28.789.404	2,8269	928,461	103,027
13,0	758,490	28.427.091,19	19,83708	831,39	28.426.974	2,5747	811,56	102,775
14,0	668,520	28.133.276,94	19,83757	733,34	28.133.179	2,3631	713,505	102,563
15,0	591,391	27.886.845,43	19,83797	649,79	27.886.762	2,1828	629,956	102,383
16,0	540,581	27.676.861,73	19,83832	585,82	27.676.798	1,9698	565,99	102,170
17,0	494,136	27.428.696,08	19,83873	537,20	27.428.647	1,9399	517,358	102,140
18,0	451,681	27.393.873,22	19,83879	492,75	27.393.829	1,8440	472,909	102,044
19,0	412,874	27.282.158,31	19,83897	452,12	27.282.118	1,7563	432,28	101,956
20,0	377,402	27.180.041,59	19,83914	414,98	27.180.004	1,6762	395,138	101,876
21,0	344,977	27.086.698,40	19,83930	381,03	27.086.664	1,6029	361,189	101,803
22,0	315,337	27.001.374,95	19,83944	350,00	27.001.344	1,5359	330,16	101,736

23,0	288,245	26.923.382,21	19,83957	321,63	26.923.354	1,4747	301,791	101,675
24,0	263,480	26.852.090,36	19,83968	295,70	26.852.064	1,4188	275,862	101,619
25,0	240,842	26.786.923,66	19,83979	272,00	26.786.900	1,3677	252,16	101,568
26,0	220,150	26.727.355,88	19,83989	250,34	26.727.334	1,3209	230,496	101,521
27,0	201,235	26.672.905,96	19,83998	230,53	26.672.886	1,2782	210,693	101,478
28,0	183,946	26.623.134,20	19,84006	212,43	26.623.116	1,2391	192,59	101,439
29,0	168,142	26.577.638,67	19,84014	195,88	26.577.622	1,2034	176,044	101,403
30,0	153,696	26.536.051,96	19,84021	180,76	26.536.037	1,1708	160,919	101,371
31,0	140,491	26.498.038,25	19,84027	166,93	26.498.024	1,1409	147,09	101,341
32,0	128,420	26.463.290,55	19,84033	154,30	26.463.278	1,1137	134,455	101,314

Sumber: Analisis 2025

Berdasarkan Tabel 8 di atas, dapat diketahui bahwa Bendungan Kuwil Kawangkoan mengalami overtopping, karena tercatat bahwa peramalan elevasi tertinggi debit banjir maksimum terekstrem yaitu QPMF pada waduk adalah setinggi + 106,011 m, yang mana elevasi puncak tubuh bendungan adalah +106 m.

4.2. Simulasi Keruntuhan Bendungan

Hasil simulasi keruntuhan Bendungan dengan scenario Overtopping dan Pipping menggunakan HEC-RAS ditampilkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.



Gambar 4. Hasil Luasan Banjir Simulasi Keruntuhan Bendungan Kuwil Kawangkoan akibat *Overtopping* pada HEC-RAS.



Gambar 5. Hasil Luasan Banjir Simulasi Keruntuhan Bendungan Kuwil Kawangkoan akibat *Piping* pada HEC-RAS

Tabel 9. Luas Genangan Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan Kuwil Kawangkoan

NO	Kejadian Keruntuhan	Luas		
		(m ²)	(km ²)	(ha)
1.	Piping	14.124.405	14,124405	1.412,4405
2.	Overtopping	16.894.906	16,894906	1.689,4906

Sumber: Analisis 2025

Berdasarkan Tabel 9 dapat disimpulkan keruntuhan Bendungan Kuwil Kawangkoan akibat Overtopping menghasilkan luasan banjir paling besar dimana pada skenario terjadinya overtopping pada bendungan kuwil kawangkoan menghasilkan luas genangan seluas 16.894.906 m² atau memiliki selisih 2.770.501 m² dibanding skenario piping yang hanya menghasilkan genangan seluas 14.124.405 m². Pada analisis selanjutnya ditampilkan analisis overtopping yang menghasilkan luasan genangan banjir paling besar.

4.3. Penentuan Tingkat Klafisikasi Bahaya Banjir Akibat Keruntuhan Bendungan

Klasifikasi bahaya banjir berdasarkan kedalaman umumnya dibagi menjadi beberapa tingkatan: rendah kurang dari 1 m, sedang 1 - 2 m, dan tinggi jika lebih dari 2 m. Kementerian Pekerjaan Umum (PU) menggunakan standar ini sebagai bagian dari penentuan peta rawan bencana untuk mengklasifikasikan tingkat kerentanan suatu wilayah terhadap banjir, yang dapat membantu dalam perencanaan dan penanggulangan bencana. Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air (2011:32).

Tabel 10. Klasifikasi Bahaya Banjir Berdasarkan Kedalaman Banjir

No	Kecamatan	Kelurahan	Kedalaman	Tingkat Bahaya terhadap kedalaman banjir
			(m)	
1	Kalawat	Kuwil	22,06	Tinggi
2	Kalawat	Maumbi	19,47	Tinggi
3	Tikala	Malendeng	3,05	Tinggi
4	Mapanget	Kairagi Satu	6,48	Tinggi
5	Tikala	Paal IV	5,43	Tinggi
6	Mapanget	Kairagi Dua	12,21	Tinggi
7	Tikala	Kairagi Weru	11,07	Tinggi
8	Tikala	Tikala Baru	5,13	Tinggi
9	Paal Dua	Paal Dua	10,97	Tinggi
10	Wenang	Komo Luar	6,07	Tinggi
11	Wenang	Pinaesaan	7,03	Tinggi
12	Wenang	Wenang Utara	2,69	Tinggi
13	Tuminting	Sindulang Satu	9,00	Tinggi
14	Tuminting	Bitung Karangria	3,20	Tinggi
15	Singkil	Wawonasa	8,73	Tinggi

Sumber: Analisis 2025

Berdasarkan Tabel 10, diperoleh hasil zonasi bahaya disetiap wilayah administrasi yang terdampak, dengan keterangan bahwa dari 15 titik yang ditinjau yang memiliki ketinggian genangan banjir terendah adalah Kelurahan Wenang Utara dengan ketinggian genangan banjir 2,69 m dan kelurahan yang memiliki ketinggian banjir tertinggi adalah Kelurahan Kuwil dengan ketinggian genangan banjir mencapai 22,06 m.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Besarnya debit banjir rancangan maksimum dengan kala ulang 1000 tahun menggunakan metode HSS Nakayasu sebesar 933,9 m³/dt, untuk debit banjir rancangan maksimum boleh jadi (Probable Maximum Flood) menggunakan metode HSS Nakayasu sebesar 2476,5 m³/dt., luas genangan banjir terluas yaitu pada kondisi Overtopping dengan luas banjir seluas 1.689,4 ha dengan kedalaman maksimum air pada hilir bendungan setinggi 22,06 m dengan jarak 890 m dari bendungan, Pada kondisi piping di elevasi +100 pada bagian hilir terdapat luasan banjir seluas 1.412,4 ha.

Secara berurutan tinggi banjir maksimumnya di titik representatif kelurahannya adalah 22,06 m, 19,47 m, 3,05 m, 6,48 m, 5,43 m, 12,21 m, 11,07 m, 5,13 m, 10,97 m, 6,07 m, 7,03 m, 2,69 m, 9,00 m, 3,20 m, dan 8,73 m. Berdasarkan karakteristik tinggi genangan banjir tersebut, Kelurahan Kuwil, Maumbi, Malendeng, Kairagi Satu, Paal IV, Kairagi Dua, Kairagi Weru, Tikala Baru, Paal Dua, Komo luar, Pinaesaan, Wenang Utara, Sindulang Satu, Bitung Karangria, dan Wawonasa tergolong sebagai Zona Bahaya Tinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan analisis yang dilakukan penulis dalam proses penyusunan studi ini, maka penulis mendapatkan beberapa saran bagi penulis dan pembaca yaitu sebagai berikut:

1. Perlunya kemudahan untuk dapat mengakses data teknis bendungan dan data curah hujan terbaru agar dalam kajian hidrologi kelengkapan data curah hujan dengan rentang tahun yang lebih terbaru bisa digunakan sehingga hasil dari analisis hidrologi dapat lebih akurat.
2. Terkait peta DEM (Digital Elevation Model) sebaiknya menggunakan peta yang terbaru yang diambil dari website DEMNAS yang mana derajat ketelitian elevasi terhadap kondisi existing diyakini dapat lebih akurat, karena hal ini tentu dapat menyempurnakan peramalan

pemetaan genangan dan karakteristik banjirnya.

3. Pada saat melakukan simulasi menggunakan aplikasi HEC-RAS 5.0.7. terdapat kendala lamanya durasi pemrosesan pada aplikasi dikarenakan titik pengukuran crosssection sungai dan pengukuran pada titik yang ingin ditinjau sudah berjumlah banyak sehingga terjadinya keterlambatan proses simulasi, untuk itu penulis menyarankan untuk menggunakan PC yang lebih memadai pada saat ingin meninjau titik atau lokasi dalam jumlah yang banyak.

Referensi

- Asmaranto, Runi, 2021, HEC-Geo,RAS-HEC,Ras-Mapper Panduan Praktis Insinyur Pengairan untuk Analisis Hidrolika Sungai – Genangan Banjir, Magetan: CV, AE Media Grafika.
- Badan Standarisasi Nasional. 2004. Tata Cara Penghitungan Hujan Maksimum Bolehjadi dengan Metode Hersfield. RSNi T-02-2004. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Balai Wilayah Sungai Sulawesi I, 2025. Data Curah Hujan
- Balai Wilayah Sungai Sulawesi I, UPB Kuwil Kawangkoan, Dokumen RTD.
- Departemen Pekerjaan Umum Dirjen Pengairan, 1999, Panduan Perencanaan Bendungan Urugan Volume 2 Analisis Hidrologi, Jakarta.
- Ghozi, R, Suprijanto, H, 2018, Analisa Keruntuhan Bendungan Keureuto dengan menggunakan Bantuan Software Zhong Xing HY21, Jurnal Pengairan: Universitas Brawijaya.
- Fread, D. L. 1999. Program Methodology. Dalam U.S. Army Corps of Engineers. User's Manual BOSS DAMBRK: Chapter 6. Madison: BOSS International.
- Harto, S. 1983. Mengenal Dasar Hidrologi Terapan. Cetakan Kedua. Yogyakarta: Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Harto, S. 1990. Analisis Hidrologi. Yogyakarta: Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 27, 2015, Bendungan, Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. 2011. Klasifikasi Bahaya Bendungan. Pedoman Teknis Konstruksi dan Bangunan Sipil. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- Limantara, L. M. 2009. Hidrologi Terapan. Malang: CV. Citra Malang.
- Linsley, R.K., Max, A.K., & Paulhus, J.L.H. 1996. Hydrology for Engineers. Third edition. Dalam Yani, S., & Edi, H. (Editor). Hidrologi untuk Insinyur. Edisi Ketiga. Jakarta: Erlangga.
- Muhammad Shiddiq Khadafi, 2023, Analisis Keruntuhan Bendungan Saradan dengan Program Hec-Ras berbasis Inasafe.
- Murtiwiyanto, 1988, Metode Perhitungan Penelusuran Banjir.
- Rizki Ardiansyah, 2017, Analisis Keruntuhan Bendungan Manggar menggunakan Aplikasi Zhong Xing Hy21.
- Salas, J. D., German, G., Fernando, R. S., Pierre, Y. J., & Jazuri, A. 2014. Uncertainty of the PMP and PMF. Dalam Saeid, E. (Editor). Handbook of Engineering Hydrology: 575 603. Boca Raton: CRC Press.
- SNI 2415, 2016, Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Soedibyo, 2003, Teknik Bendungan, Banjarnegara: PT, Pradnya Paramita.
- Soemarto, C.D. 1999. Hidrologi Teknik. Cetakan Kedua Dengan Perbaikan. Jakarta: Erlangga.
- Soewarno. 1995. Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data. Jilid I. Bandung: Nova.
- Soewarno. 1995. Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data. Jilid II. Bandung: Nova.
- Sosrodarsono, Suyono dan Kensaku, T. 1976 Editor, 1997, Bendungan Tipe Urugan, Jakarta: Pradnya Paramita Jakarta.
- Sosrodarsono, Suyono dan Kensaku, T. 2003, Hidrologi Untuk Pengairan, Jakarta: PT,Pradnya Paramita.
- Subarkah, I. 1980. Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air. Bandung: Idea Dharma.
- Triatmodjo, B. 2013. Hidrologi Terapan. Cetakan Ketiga. Yogyakarta: Beta Offset.
- US Army Corps of Engineers Hydrolic Engineering Center, 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.
- US Army Corps of Engineers Hydrolic Engineering Center, 2016, HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual, U,S, Army Corps of Engineers Institute for Water Resources Hydrologic Engineering Center (CEIWR-HEC) 609 Second Street Davis, CA 95616-4687.
- World Meteorological Organization. 2009. Manual on Estimation of Probable Maximum Precipitation. WMO-No. 1045. Geneva: World Meteorological Organization.