

ANALISIS ATAS GORONG-GORONG JALUR LINGKAR LUAR BENDUNGAN RAKNAMO

Iin A. L. Touselak¹ (iintouselak.it@gmail.com)
Denik S. Krisnayanti² (denik.krisnayanti@gmail.com)
Partogi H. Simatupang³ (simatupangpartogi@gmail.com)
Ruslan Ramang⁴ (ruslan_ramang@gmail.com)

ABSTRAK

Bendungan Raknamo berlokasi di Desa Raknamo, Kecamatan Amabi Oefeto, Kabupaten Kupang dan terdapat jalur lingkaran luar yang mengelilingi waduk bendungan tersebut. Sepanjang jalur lingkaran luar Bendungan Raknamo terdapat 49 titik gorong-gorong yang berfungsi untuk mengalirkan air dari sungai utama Noel Puames maupun anak sungai pada DAS Bendungan Raknamo. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas dan kekuatan struktur gorong-gorong pada jalur lingkaran luar Bendungan Raknamo. Metode yang digunakan dalam perhitungan debit rencana adalah metode Rasional dan metode HSS Nakayasu. Hasil analisis debit rencana gorong-gorong CK 9 dengan kala ulang 10 tahun sebesar 10,6559 m³/dtk, sedangkan debit *existing* gorong-gorong CK 9 sebesar 4,1095 m³/dtk. Oleh karena itu, gorong-gorong CK 9 tersebut perlu diperbesar agar dapat melewati debit rencana kala ulang 10 tahun. Hasil analisis struktur gorong-gorong CB 3 adalah tegangan kerja maksimum akibat beban-beban yang bekerja sebesar 30,06 kN/m² pada dinding geser gorong-gorong, sedangkan kekuatan struktur gorong-gorong untuk tegangan *ultimate* sebesar 1512,95 kN/m² dan modulus keruntuhan beton sebesar 3492,99 kN/m². Nilai tegangan kerja maksimum lebih kecil daripada kekuatan struktur gorong-gorong, sehingga tidak terjadi keruntuhan struktur dan tidak terjadi rembesan.

Kata Kunci: Gorong-gorong; Jalur Lingkaran Luar Bendungan Raknamo; Kapasitas gorong-gorong; Kekuatan struktur

ABSTRACT

Raknamo Dam is located in Raknamo Village, Amabi Oefeto District, Kupang Regency and there is an outer ring road around reservoir area. Along the Raknamo Dam outer ring road, there are 49 culvert points to let the water flow from the main river Noel Puames and the tributaries in Raknamo Dam watershed. This research aimed to determine the capacity and structure strength of culverts on Raknamo Dam outer ring road. Discharge design calculated using Rational method and Synthetic Unit Hydrograph Nakayasu method. The analysis result of water discharge design for CK 9 are 10,6559 m³/sec and existing culvert discharge for CK 9 are 4,1095 m³/sec. Therefore, the dimension of culvert CK 9 need to be enlarged to drain the water stream with discharge design for 10-year return period. Results of culvert CB 3's structure analysis are the maximum working stresses due the loads work are 30,06 kN/m², while the structure strength for ultimate stresses are 1512,95 kN/m² and the modulus of rupture are 3492,99 kN/m². The maximum working stresses are smaller than the structure strength, therefore not occurred structural collapse also the seepage.

Key Words: Culvert; Raknamo Dam Outer Ring Road; Culvert capacity; Structure strength

¹ Prodi Teknik Sipil, FST Undana;

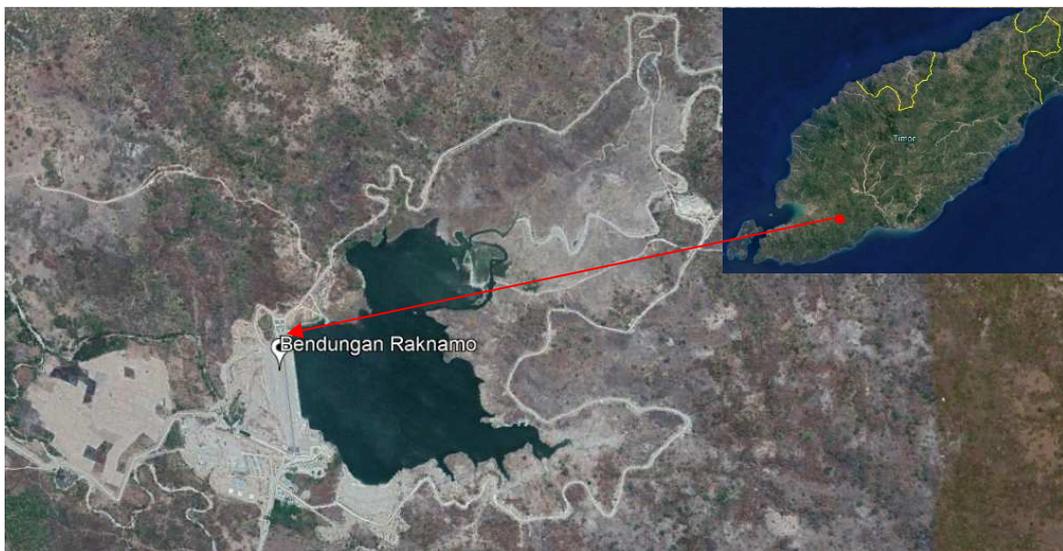
² Prodi Teknik Sipil, FST Undana;

³ Prodi Teknik Sipil, FST Undana;

⁴ Prodi Teknik Sipil, FST Undana.

PENDAHULUAN

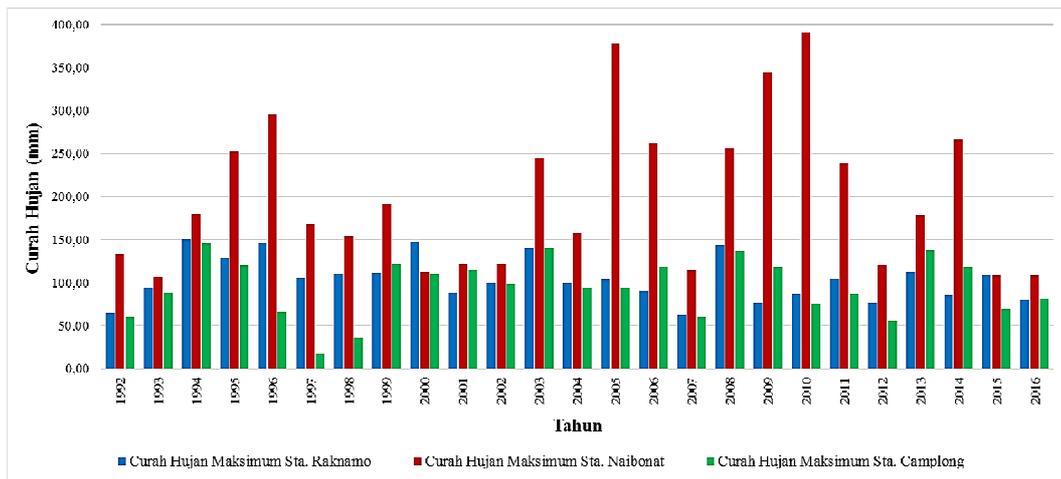
Bendungan Raknamo merupakan salah satu bendungan di pulau Timor yang berlokasi di Desa Raknamo, Kecamatan Amabi Oefeto, Kabupaten Kupang. Pada Bendungan Raknamo terdapat bangunan pelengkap bendungan yaitu jalur lingkaran luar yang mengelilingi daerah genangan waduk. Jalur lingkaran luar ini memiliki panjang 8.725,06 m dengan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Jalan ini merupakan jalan inspeksi yang berfungsi untuk memeriksa dan memantau genangan serta saluran pada daerah yang dilalui jalan tersebut. Pada suatu badan jalan perlu dibangun bangunan pelengkap jalan sebagai pendukung dari jalan tersebut seperti jembatan, gorong-gorong, tembok penahan, saluran drainase dan lainnya. Pada jalur lingkaran luar Bendungan Raknamo terdapat bangunan pelengkap jalan yaitu gorong-gorong yang memotong badan jalan pada ruas tertentu. Sepanjang jalur lingkaran luar Bendungan Raknamo terdapat 49 titik gorong-gorong. Gorong-gorong ini berfungsi untuk mengalirkan air dari sungai utama maupun anak sungai yang termasuk dalam daerah aliran sungai (DAS) Bendungan Raknamo. Lokasi Bendungan Raknamo ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Bendungan Raknamo

Pembangunan gorong-gorong perlu dilakukan perencanaan dengan mempertimbangkan faktor hidrolis agar gorong-gorong tersebut dapat mengalirkan air ke daerah genangan waduk bendungan dengan baik. Jika gorong-gorong dengan penampang yang dibangun tidak dapat melewati air pada saat debit banjir puncak tahunan maka akan menghambat aliran air masuk ke daerah genangan dan merusak konstruksi jalan akibat adanya genangan pada badan jalan. Analisis debit rencana menggunakan data curah hujan dari tiga pos stasiun hujan yaitu pos stasiun hujan Raknamo, Naibonat dan Camplong pada tahun 1992 hingga 2016. Rekapitulasi curah hujan maksimum ketiga pos stasiun hujan ditunjukkan pada Gambar 2.

Pembangunan gorong-gorong juga perlu mempertimbangkan faktor kekuatan struktur bangunan agar dapat menahan beban-beban yang membebani konstruksi gorong-gorong seperti beban mati, beban lalu lintas, beban akibat tekanan hidrostatik dan tekanan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kapasitas gorong-gorong yang terdapat pada jalur lingkaran luar Bendungan Raknamo untuk mengalirkan air sungai debit banjir kala ulang 10 tahun, serta kekuatan struktur gorong-gorong dalam menahan beban yang bekerja.



Gambar 2. Rekapitulasi Data Curah Hujan Maksimum Stasiun Hujan Raknamo, Naibonat dan Camplong

TINJAUAN PUSTAKA

Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan daerah di mana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi yang ditetapkan berdasarkan aliran air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasarkan air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian. Nama sebuah DAS ditandai dengan nama sungai yang bersangkutan dan dibatasi oleh titik kontrol, yang umumnya merupakan stasiun hidrometri.

Aliran sungai pada suatu DAS dihubungkan oleh suatu jaringan satu arah di mana cabang dan anak sungai mengalir ke dalam sungai induk yang lebih besar dan membentuk suatu pola aliran. Pola itu tergantung dari kondisi topografi, geologi, iklim dan vegetasi yang terdapat di dalam DAS tersebut. Pola sungai menentukan bentuk suatu Daerah Aliran Sungai yang dapat dibagi menjadi empat bentuk, yaitu daerah pengaliran memanjang, radial paralel dan kompleks (Suyono & Takeda, 2003).

Analisis Hidrologi

Hidrologi berasal dari bahasa Yunani yaitu *hydrologia* yang berarti ilmu air. Secara umum hidrologi adalah ilmu yang mempelajari masalah keberadaan air di bumi dan hidrologi itu sendiri memberikan alternatif bagi pengembangan sumber daya air bagi keperluan air baku, pertanian, industri dan kelistrikan (Hadisusanto, 2011). Dalam studi hidrologi terdapat tiga fase penting pada siklus hidrologi yaitu hujan, aliran dan penguapan.

Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana dihitung dengan analisis probabilitas frekuensi curah hujan. Menurut Soemarto (1987), dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi dan empat jenis distribusi yang umum digunakan dalam bidang hidrologi yaitu Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Log Pearson Tipe III dan Distribusi Gumbel Tipe I. Parameter-parameter yang dilakukan adalah C_s , C_v dan C_k . Syarat pemilihan untuk metode distribusi adalah:

1. Distribusi Normal: $C_s = 0$ dan $C_k = 3$
2. Distribusi Log Normal: $C_s = 3C_v$
3. Distribusi Log Pearson Tipe III: $C_s \neq 0$
4. Distribusi Gumbel Tipe I: $-1,1396 < C_s \leq 1,1396$ dan $C_k = 5,4002$

Curah hujan rencana adalah curah hujan terbesar yang mungkin terjadi di suatu daerah pada periode ulang tertentu yang dipakai sebagai dasar perhitungan perencanaan suatu bangunan. Penentuan curah hujan rencana diperlukan untuk ditransformasikan menjadi debit rencana.

Uji Kesesuaian Frekuensi

Tujuan pemeriksaan uji kesesuaian frekuensi adalah untuk mengetahui kebenaran antara hasil pengamatan dengan model distribusi yang diharapkan atau yang diperoleh secara teoritis dan mengetahui kebenaran hipotesa (diterima/ditolak). Terdapat dua jenis uji kesesuaian frekuensi data curah hujan, yaitu (Soewarno, 1995):

1. Uji chi-kuadrat (*chi-square*)

Uji ini mengkaji ukuran perbedaan yang terdapat di antara frekuensi yang diobservasi dengan yang diharapkan dan digunakan untuk menguji simpangan secara vertikal di mana hipotesa diterima apabila nilai χ_{hitung}^2 lebih kecil dari nilai kritis (χ_{cr}^2).

2. Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji ini digunakan untuk menguji simpangan secara horizontal di mana hipotesa diterima apabila nilai D lebih kecil dari nilai kritis D_0 .

Debit Rencana

Debit rencana adalah debit dengan periode ulang tertentu (T) yang diperkirakan akan melalui suatu sungai atau bangunan air. Terdapat beberapa metode yang sering digunakan dalam menghitung atau memperkirakan besarnya debit rencana seperti Metode Rasional dan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu.

1. Metode Rasional

Metode rasional sering digunakan dalam perencanaan saluran umumnya, dengan rumus (Badan Standarisasi Nasional, 2016):

$$Q_d = 0,2778 \times C \times I \times A \quad (1)$$

dimana:

Q_d = debit rencana dengan masa ulang T tahun (m^3/dtk)

C = koefisien pengaliran

I = intensitas curah hujan selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = luas daerah aliran sungai (km^2)

2. Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Rumus untuk perhitungan debit banjir puncak akibat hujan satuan dari hidrograf satuan sintetik Nakayasu adalah (Soewarno, 1995):

$$Q_p = \frac{c \cdot A \cdot R_o}{3,6 (0,3 \cdot T_p + T_{0,3})} \quad (2)$$

dimana:

Q_p = debit puncak banjir (m^3/det)

A = luas daerah pengaliran sampai *outlet* (km^2)

R_o = hujan satuan (mm)

T_p = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari puncak sampai 30% dari debit puncak

Bangunan Pelengkap Jalan

Bangunan pelengkap jalan merupakan bangunan yang dibuat dalam rangka pengamanan konstruksi jalan dari pengaruh dan kondisi alam sekitarnya terutama air. Beberapa macam bangunan pelengkap jalan adalah saluran air jalan, tembok penahan tanah atau turap dan jembatan (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).

Gorong-Gorong

Gorong-gorong adalah saluran air yang memungkinkan air untuk mengalir dari sisi jalan ke sisi lainnya yang terletak di bawah jalan raya, jalur kereta api atau konstruksi lainnya. Gorong-gorong berfungsi untuk mengalirkan air dari sisi jalan ke sisi lainnya dan menghubungkan dua ruas jalan yang terpisah akibat adanya aliran air yang memotong ruas jalan tersebut. Berdasarkan fungsinya, maka gorong-gorong disarankan dibuat dengan tipe konstruksi yang permanen dan desain umur rencana 10 tahun. Jenis-jenis gorong-gorong berdasarkan material konstruksinya yaitu gorong-gorong dari baja, PVC dan beton.

Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika bertujuan untuk mengetahui kemampuan penampang dalam menampung debit rencana. Perencanaan hidrolika pada gorong-gorong adalah untuk mendesain dimensi gorong-gorong yang dapat melewati air saat debit banjir rencana. Perhitungan debit saluran *existing* menggunakan Persamaan (3).

$$Q_e = V \times A \quad (3)$$

dimana:

Q_e = debit saluran *existing* (m^3/dtk)

V = kecepatan aliran (m/dtk)

A = luas penampang basah (m^2)

Kecepatan aliran (V) dapat dihitung dengan menggunakan rumus Manning (Departemen Jenderal Bina Marga, 1990).

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S_o^{1/2} \quad (4)$$

dimana:

V = kecepatan aliran (m^2)

n = koefisien Manning

R = jari-jari hidrolis (m)

S_o = kemiringan dasar sungai

Analisis Struktur

Analisis struktur bertujuan untuk mengetahui kemampuan konstruksi gorong-gorong dalam menahan beban yang ada. Perhitungan struktur sesuai Standar Gorong-Gorong Persegi Beton Bertulang dilakukan dengan perhitungan beban terbesar dari kombinasi pembebanan-pembebanan berikut: berat sendiri, beban lalu lintas dan beban-beban lainnya akibat tekanan tanah dan tekanan hidrostatis (Direktorat Jenderal Bina Marga, Tanda tahun). Berdasarkan beban-beban yang bekerja pada struktur gorong-gorong, maka kombinasi beban yang sesuai dalam perhitungan analisis struktur adalah kombinasi nomor 1. Terdapat tiga jenis tanah dengan pada DAS Bendungan Raknamo, yaitu tanah kompleks mediteran dan titosol, tanah latosol kuning merah dan litosol, serta tanah regosol (Krisnayanti, Udiyana, & Muskanan, 2018). Berdasarkan jenis tanah tersebut di mana memiliki tekstur lempung berpasir, maka berat jenis tanah rata-rata (γ) sebesar $1,50 \text{ g/cm}^3$.

Kombinasi beban yang bekerja kemudian dianalisis untuk memperoleh tegangan kerja pada struktur gorong-gorong. Kemudian dianalisis kekuatan konstruksi gorong-gorong dengan perhitungan untuk struktur pelat lantai dan dinding geser, kemudian dilakukan perhitungan seperti pelat dengan dua tumpuan sejajar. Analisis kekuatan struktur dihitung menggunakan Persamaan (5) dan (6).

1. Tegangan *ultimate* (σ_u)

Tegangan ijin struktur atau tegangan *ultimate* dihitung menggunakan Persamaan (5) (Gere & Timoshenko, 2000).

$$\sigma_u = \frac{M_r \cdot y}{I} \quad (5)$$

dimana:

- σ_u = tegangan *ultimate* atau tegangan ijin struktur (kN/m^2)
- M_r = momen rencana (Nmm)
- y = jarak tepi penampang dari sumbu netral (m)
- I = momen inersia penampang (m^4)

2. Modulus keruntuhan beton (f_r)

Perhitungan modulus keruntuhan beton menggunakan Persamaan (6) (Badan Standarisasi Nasional, 2002).

$$f_r = 0,7 \sqrt{f_c'} \quad (6)$$

dimana:

- f_r = modulus keruntuhan beton (N/mm^2)
- f_c' = mutu kuat tekan beton (MPa)

Analisis kekuatan struktur gorong-gorong bertujuan untuk mengetahui kekuatan struktur dalam menahan beban-beban yang bekerja pada gorong-gorong, di mana struktur bangunan tidak runtuh dan tidak terjadi rembesan (tidak terjadi retakan). Hasil analisis struktur atas beban-beban yang bekerja pada gorong-gorong, kemudian dibandingkan dengan kekuatan konstruksi gorong-gorong tersebut. Tegangan kerja maksimum akibat beban-beban yang bekerja harus lebih kecil dari tegangan *ultimate* dari struktur gorong-gorong. Selain itu, perlu dilakukan analisis untuk mengetahui tidak terjadi rembesan di mana tegangan kerja maksimum harus lebih kecil dari modulus keruntuhan beton.

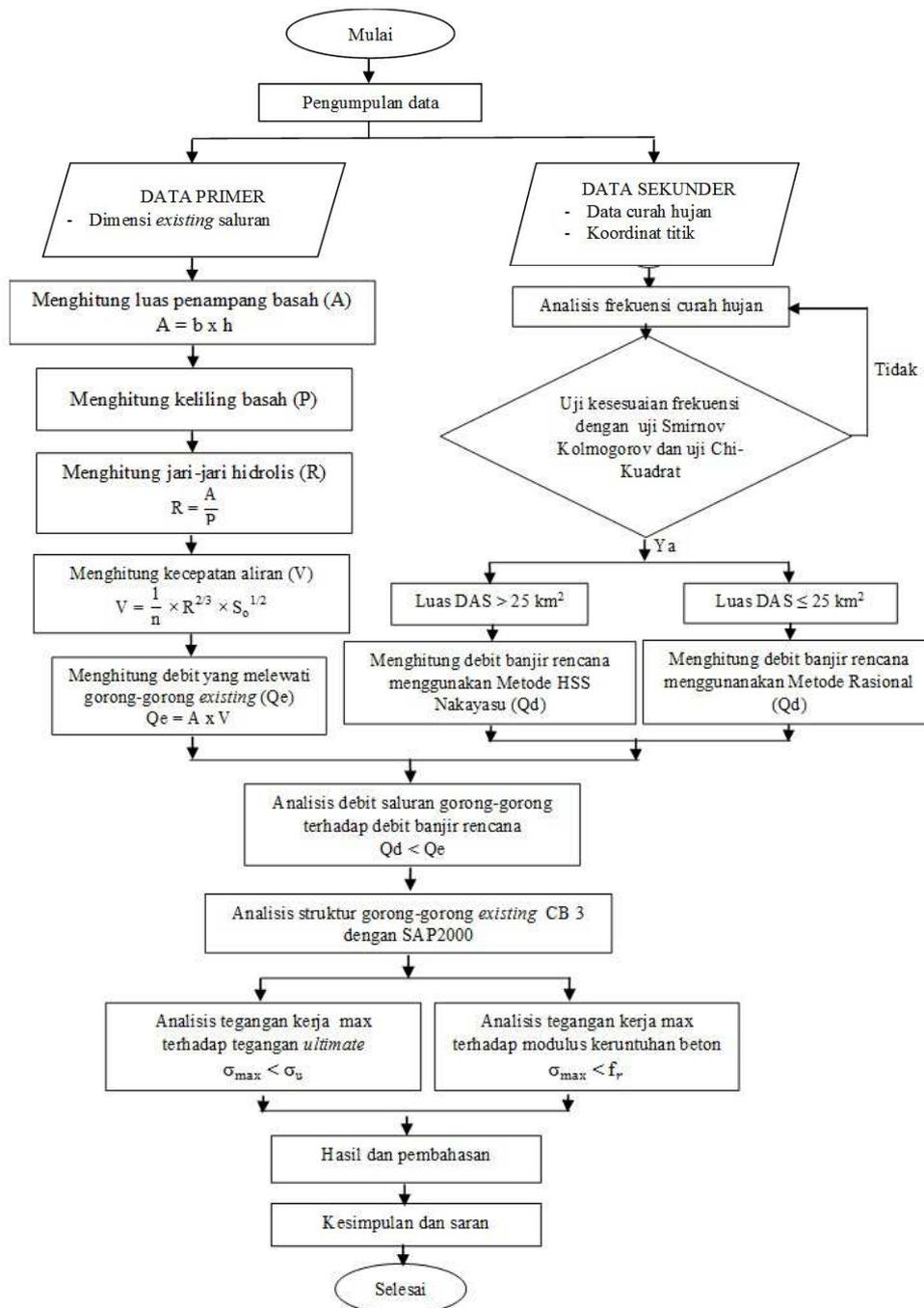
METODE PENELITIAN

Tahapan penelitian digambarkan pada diagram alir penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 3.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Gorong-Gorong *Existing*

Penelitian ini dilakukan pada jalur lingkaran luar Bendungan Raknamo Kabupaten Kupang. Analisis dilakukan pada gorong-gorong *existing* yang terdapat di sepanjang jalur lingkaran luar Bendungan Raknamo, yang mana merupakan gorong-gorong beton berbentuk segi empat. Penelitian ini dilakukan guna menganalisis gorong-gorong yang sudah ada dengan menghitung kapasitas gorong-gorong tersebut untuk melewati air saat debit banjir serta ketahanan struktur atas beban akibat berat sendiri, perkerasan jalan, kendaraan, tekanan hidrostatik dan tekanan tanah aktif. Gorong-gorong *existing* yang terdapat pada jalur lingkaran luar Bendungan Raknamo adalah sebanyak 49 buah gorong-gorong. Pengambilan data gorong-gorong dilakukan secara langsung pada lokasi penelitian.



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian

Analisis Hidrologi

Perhitungan Curah Hujan Rencana

Perhitungan frekuensi data curah hujan dilakukan dengan menggunakan metode distribusi Normal, metode Log Normal, metode Log Pearson Tipe III dan metode Gumbel Tipe I. Data curah hujan yang digunakan merupakan data curah hujan pada tahun 1992 hingga 2016 dari hasil perhitungan curah hujan pos stasiun hujan Raknamo, Naibonat dan Camplong dengan metode *point rainfall*. Syarat pemilihan untuk metode distribusi sesuai dengan hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Syarat Pemilihan dan Hasil Perhitungan Metode Distribusi

Jenis Distribusi	Syarat	Perhitungan	Kesimpulan
Normal	Cs = 0	Cs = 0,7084	Tidak Memenuhi
	Ck = 3	Ck = 1,6888	
Log Normal	Cs = 3Cv	Cs = 0,0832	Tidak Memenuhi
		3Cv = 0,2601	
Log Pearson Tipe III	Cs ≠ 0	Cs = 0,0832	Memenuhi
Gumbel Tipe I	-1,1396 < Cs ≤ 1,1396	Cs = 0,7084	Tidak Memenuhi
	Ck = 5,4002	Ck = 1,6888	

Berdasarkan hasil perhitungan frekuensi data curah hujan, maka metode yang memenuhi syarat keterpenuhan adalah metode distribusi Log Pearson Tipe III. Rekapitulasi perhitungan curah hujan rencana dengan menggunakan metode distribusi Log Pearson Tipe III ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Curah Hujan Rencana Metode Log Pearson Tipe III

No	Periode Ulang (Tahun)	Curah Hujan Rencana Metode Log Pearson Tipe III (mm)
1	2	93,6193
2	5	130,9243
3	10	156,5285
4	25	189,7875
5	50	215,1904

Pemeriksaan Uji Kesesuaian Frekuensi

Berdasarkan hasil uji kesesuaian frekuensi metode distribusi Log Pearson Tipe III dengan menggunakan kedua metode uji kesesuaian yaitu uji Smirnov-Kolmogorov dan uji Chi-Kuadrat dapat diterima dan hasil perhitungan curah hujan rencana dapat digunakan pada perhitungan debit banjir rencana.

Perhitungan Debit Rencana

Debit rencana dapat dilakukan dengan menggunakan metode rasional maupun metode HSS Nakayasu. Hasil analisis data penelitian diketahui bahwa gorong-gorong yang memotong aliran air sungai adalah sebanyak 22 buah, sedangkan 27 buah gorong-gorong lainnya ditempatkan pada daerah dengan topografi jalan agar tidak menimbulkan genangan pada badan jalan. Gorong-gorong dengan luas DAS lebih dari 25 km² adalah gorong-gorong CB 3 yang kemudian digunakan metode HSS Nakayasu untuk perhitungan debit rencana, sedangkan gorong-gorong dengan luas DAS kurang dari 25 km² menggunakan metode Rasional.

1. Perhitungan Debit Rencana dengan Metode Rasional

Debit rencana dengan metode rasional dihitung dengan Persamaan (1), dan rekapitulasi perhitungannya ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Perhitungan Debit Rencana dengan Metode Rasional

Nama Gorong- Gorong	Luas DAS	Panjang	Elevasi	Elevasi Hilir	Kemiringan	Waktu Konsentrasi (jam)	Intensitas Curah Hujan (mm/jam)	Koefisien Pengaliran	Debit Rencana (m ³ /dtk)
	(km ²)	Sungai (m)	Hulu (m)	(m)	Dasar Sungai				
	A	L	t ₁	t ₂	S ₀ = (t ₂ -t ₁)/L	t _c = (0,0195 L ^{0,77} S ₀ ^{-0,385})/60	I = (R ₂₄ /24) (24/t _c) ^{2,3}	C	Q _d = 0,2778 C I A
CK 3	0,0477	401	+128	+119	0,0224	0,1416	199,7263	0,3500	0,9267
CK 4	0,0899	566	+147	+123	0,0424	0,1445	197,0242	0,3500	1,7221
CK 7	0,1124	559	+152	+121	0,0555	0,1291	212,4270	0,3500	2,3214
CK 9	1,0586	2350	+260	+120	0,0596	0,3795	103,5265	0,3500	10,6559
CK 12	0,2819	1180	+229	+127	0,0864	0,1935	162,2279	0,3500	4,4467
CK 14	0,1026	628	+160	+115	0,0717	0,1279	213,7124	0,3500	2,1319
CK 17	0,0265	135	+117	+115	0,0148	0,0719	313,9362	0,3500	0,8078
CK 21	0,0097	68,5	+136	+127	0,1314	0,0184	778,7079	0,3500	0,7350
CK 23	0,0988	525	+154	+119	0,0667	0,1146	229,9970	0,3500	2,2093
CK 24	0,0394	292	+147	+119	0,0959	0,0634	341,2137	0,3500	1,3072
CK 28	0,0493	204	+134	+117	0,0833	0,0508	395,6709	0,3500	1,8954
CK 31	0,1810	747	+168	+117	0,0683	0,1490	193,0872	0,3500	3,3980
CK 32	0,0120	130	+131	+118	0,1000	0,0335	522,5283	0,3500	0,6094
CK 34	0,0331	279	+154	+119	0,1254	0,0552	374,2223	0,3500	1,2044
CK 37	0,0114	101	+127	+119	0,0792	0,0301	560,2730	0,3500	0,6188
CK 42	0,0159	98	+138	+126	0,1224	0,0249	636,3263	0,3500	0,9834
CK 44	0,0441	335	+157	+118	0,1164	0,0654	334,2126	0,3500	1,4332
CK 45	0,0176	170	+146	+118	0,1647	0,0340	517,5182	0,3500	0,8838
CB 1	1,2407	2700	+232	+107	0,0463	0,4654	90,3630	0,3500	10,9004
CB 2	2,7217	4400	+207	+107	0,0177	0,9809	54,9684	0,3500	14,5461
CB 4	1,7520	3200	+223	+124	0,0309	0,6195	74,6761	0,3500	12,7209

2. Perhitungan Debit Rencana dengan HSS Nakayasu

Perhitungan debit rencana dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu digunakan pada daerah aliran sungai (DAS) dengan luas lebih dari 25 km². Gorong-gorong CB 3 yang memotong aliran sungai utama Noel Puames memiliki luas DAS sebesar 26,1192 km².

Debit rencana dengan metode HSS Nakayasu dilakukan dengan perhitungan parameter awal, untuk mengetahui kurva hubungan waktu dan hidrograf satuan debit rencana. Hasil perhitungan debit rencana untuk gorong-gorong CB 3 dengan metode HSS Nakayasu pada periode ulang 10 tahun, diketahui debit puncak adalah sebesar 101,7158 mm/detik.

Analisis Hidrolika

Untuk mengetahui debit gorong-gorong *existing* maka dilakukan analisis hidrolika sesuai cara perhitungan debit gorong-gorong tipe segi empat. Berdasarkan dimensi gorong-gorong pada tiap titik, dapat dibagi menjadi tujuh tipe gorong-gorong. Perhitungan analisis hidrolika diasumsikan air yang melewati gorong-gorong dalam keadaan tinggi muka air setinggi h atau dalam keadaan penuh gorong-gorong untuk gorong-gorong tipe 1, 2, 3 dan 4, sedangkan untuk gorong-gorong tipe 5, 6 dan 7 dalam perhitungan analisis hidrolika digunakan tinggi lereng sungai sebagai tinggi h. Perhitungan dimensi gorong-gorong sesuai dengan tipe segi empat dan ditunjukkan pada Tabel 4.

Kecepatan aliran air dihitung menggunakan rumus Manning pada Persamaan (4), hasil perhitungan ditunjukkan pada Tabel 4. Nilai koefisien Manning diambil sebesar 0,0130 sesuai dengan bahan dari dinding gorong-gorong yaitu saluran beton. Setelah diperoleh nilai kecepatan aliran tiap gorong-gorong, maka dapat dilakukan perhitungan debit gorong-gorong dengan Persamaan (3). Hasil perhitungan debit gorong-gorong *existing* ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Rekapitulasi Perhitungan Debit Gorong-Gorong Existing

Nama Gorong-Gorong	Tipe Gorong-Gorong	Dimensi Gorong-Gorong (mm)		Jumlah Lubang Gorong-Gorong	Kemiringan Dasar Sungai $S_0 = (t_2 - t_1)/L$	Luas Penampang Basah (m^2) $A = b \cdot h \cdot m$	Keliling Basah P	Jari-Jari Hidrolis (R) $R = A/P$	Koefisien Manning n	Kecepatan Aliran (m/dtk) $V = (1/n) (R^{2/3}) (S_0^{1/2})$	Debit Existing (m^3/dtk) $Q_e = A \cdot V$
		b	h								
CK 3	Tipe 2	800	800	1	0,0224	0,6400	3,2000	0,2000	0,0130	3,9412	2,5224
CK 4	Tipe 2	800	800	1	0,0424	0,6400	3,2000	0,2000	0,0130	5,4172	3,4670
CK 7	Tipe 3	800	800	2	0,0555	1,2800	6,4000	0,2000	0,0130	6,1951	7,9298
CK 9	Tipe 2	800	800	1	0,0596	0,6400	3,2000	0,2000	0,0130	6,4211	4,1095
CK 12	Tipe 4	800	800	2	0,0864	1,2800	6,4000	0,2000	0,0130	7,7346	9,9002
CK 14	Tipe 2	800	800	1	0,0717	0,6400	3,2000	0,2000	0,0130	7,0421	4,5070
CK 17	Tipe 2	800	800	1	0,0148	0,6400	3,2000	0,2000	0,0130	3,2020	2,0493
CK 21	Tipe 2	800	800	1	0,1314	0,6400	3,2000	0,2000	0,0130	9,5357	6,1028
CK 23	Tipe 2	800	800	1	0,0667	0,6400	3,2000	0,2000	0,0130	6,7925	4,3472
CK 24	Tipe 2	800	800	1	0,0959	0,6400	3,2000	0,2000	0,0130	8,1464	5,2137
CK 28	Tipe 2	800	800	1	0,0833	0,6400	3,2000	0,2000	0,0130	7,5943	4,8603
CK 31	Tipe 2	800	800	1	0,0683	0,6400	3,2000	0,2000	0,0130	6,8739	4,3993
CK 32	Tipe 1	600	600	1	0,1000	0,3600	2,4000	0,1500	0,0130	6,8673	2,4722
CK 34	Tipe 1	600	600	1	0,1254	0,3600	2,4000	0,1500	0,0130	7,6916	2,7690
CK 37	Tipe 1	600	600	1	0,0792	0,3600	2,4000	0,1500	0,0130	6,1118	2,2002
CK 42	Tipe 1	600	600	1	0,1224	0,3600	2,4000	0,1500	0,0130	7,5991	2,7357
CK 44	Tipe 2	800	800	1	0,1164	0,6400	3,2000	0,2000	0,0130	8,9761	5,7447
CK 45	Tipe 1	600	600	1	0,1647	0,3600	2,4000	0,1500	0,0130	8,8133	3,1728
CB 1	Tipe 5	4200	1050	1	0,0463	4,4100	6,3000	0,7000	0,0130	13,0485	57,5440
CB 2	Tipe 5	4200	1350	1	0,0177	5,6700	6,9000	0,8217	0,0130	8,9853	50,9468
CB 3	Tipe 7	4200	1500	3	0,0273	18,9000	21,6000	0,8750	0,0130	11,6289	219,7858
CB 4	Tipe 6	4200	950	2	0,0309	7,9800	12,2000	0,6541	0,0130	10,1952	81,3575

Nilai debit gorong-gorong harus lebih besar dari debit rencana ($Q_e > Q_d$), apabila belum memenuhi syarat maka gorong-gorong tersebut tidak dapat melewati air pada saat debit rencana banjir. Hasil rekapitulasi perhitungan debit rencana (Q_d) dan debit gorong-gorong existing (Q_e) untuk menentukan kapasitas gorong-gorong dan ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rekapitulasi Debit Rencana dan Debit Gorong-Gorong Existing

Nama Gorong-Gorong	Debit Rencana	Debit Existing	Keterangan Kapasitas
	(m^3/dtk) $Q_d = 0,2778 C I A$	(m^3/dtk) $Q_e = A \cdot V$	
CK 3	0,9267	2,5224	Memenuhi
CK 4	1,7221	3,4670	Memenuhi
CK 7	2,3214	7,9298	Memenuhi
CK 9	10,6559	4,1095	Tidak Memenuhi
CK 12	4,4467	9,9002	Memenuhi
CK 14	2,1319	4,5070	Memenuhi
CK 17	0,8078	2,0493	Memenuhi
CK 21	0,7350	6,1028	Memenuhi
CK 23	2,2093	4,3472	Memenuhi
CK 24	1,3072	5,2137	Memenuhi
CK 28	1,8954	4,8603	Memenuhi
CK 31	3,3980	4,3993	Memenuhi
CK 32	0,6094	2,4722	Memenuhi
CK 34	1,2044	2,7690	Memenuhi
CK 37	0,6188	2,2002	Memenuhi
CK 42	0,9834	2,7357	Memenuhi
CK 44	1,4332	5,7447	Memenuhi
CK 45	0,8838	3,1728	Memenuhi
CB 1	10,9004	57,5440	Memenuhi
CB 2	14,5461	50,9468	Memenuhi
CB 3	101,7158	219,7858	Memenuhi
CB 4	12,7209	81,3575	Memenuhi

Diketahui terdapat satu titik gorong-gorong pada jalur lingkaran luar Bendungan Raknamo yang tidak memenuhi syarat yaitu $Q_e > Q_d$, untuk melewati debit banjir rencana kala ulang 10 tahun, yaitu gorong-gorong CK 9. Oleh karena itu, dimensi gorong-gorong tersebut perlu diperbesar agar dapat melewati debit banjir rencana kala ulang 10 tahun yang melewati titik gorong-gorong tersebut.

Analisis Struktur

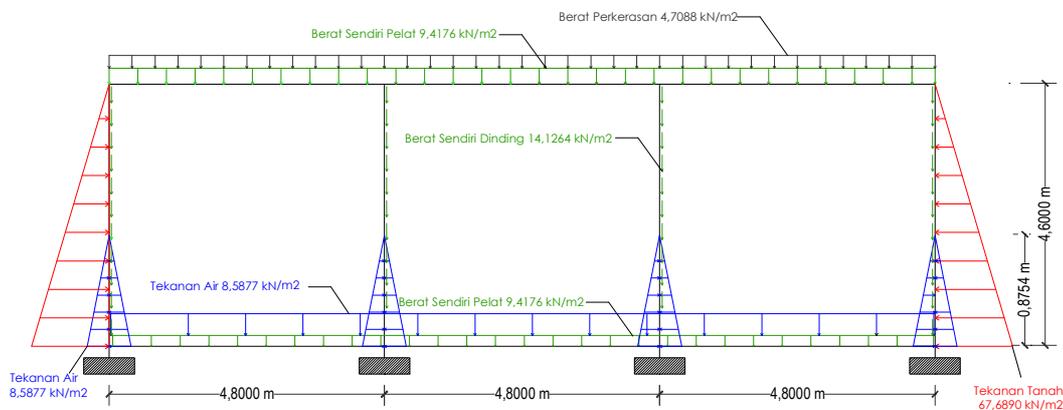
Analisis struktur dilakukan untuk mengetahui kekuatan konstruksi menahan beban-beban yang bekerja pada gorong-gorong *existing*. Berdasarkan data-data perencanaan yang diperoleh, perhitungan analisis struktur hanya dilakukan untuk gorong-gorong CB 3.

Idealisasi Struktur

Struktur bangunan gorong-gorong CB 3 diidealisasikan sebagai dinding geser untuk dinding gorong-gorong sedangkan pelat bagian atas dan bawah diidealisasikan sebagai struktur pelat lantai.

Pembebanan

Beban yang bekerja pada gorong-gorong CB 3 adalah beban akibat berat sendiri yang termasuk juga berat perkerasan jalan, beban kendaraan, beban akibat tekanan hidrostatik dan beban akibat tekanan tanah aktif. Idealisasi struktur dan besar pembebanan serta orientasi arah pembebanan pada gorong-gorong CB 3 ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Idealisasi Struktur dan Pembebanan Gorong-Gorong CB 3

Hasil Analisis Struktur

Berdasarkan beban-beban yang bekerja pada gorong-gorong CB 3, kombinasi beban yang sesuai untuk perhitungan analisis struktur adalah kombinasi nomor 1. Analisis struktur untuk gorong-gorong CB 3 atas beban yang bekerja menggunakan program SAP2000 v14. Tegangan kerja hasil analisis struktur ditunjukkan pada Tabel 6.

Analisis Kekuatan Struktur

Analisis kekuatan struktur dilakukan dengan membandingkan tegangan dari hasil analisis struktur dengan tegangan *ultimated* dan modulus keruntuhan beton konstruksi gorong-gorong CB 3. Hasil perhitungan tegangan *ultimate* dan modulus keruntuhan beton gorong-gorong CB 3 ditunjukkan pada Tabel 6. Kemudian dilakukan kontrol tegangan kerja maksimum akibat beban-beban terhadap tegangan *ultimate* dan modulus keruntuhan beton struktur gorong-gorong CB 3.

Tabel 6. Rekapitulasi Analisis Kekuatan Struktur Gorong-Gorong CB 3

Bagian Struktur CB 3	Tegangan Maksimum (kN/m ²)	Tegangan <i>Ultimate</i> (kN/m ²)	Modulus Keruntuhan Beton (kN/m ²)	Kontrol
Pelat Lantai Atas	$\sigma_{11top} = 14,74$	$\sigma_u = 2762,00$	$f_r = 3492,99$	OK
	$\sigma_{11bottom} = -16,88$	$\sigma_u = 2762,00$	$f_r = 3492,99$	OK
	$\sigma_{22top} = 2,95$	$\sigma_u = 1968,80$	$f_r = 3492,99$	OK
	$\sigma_{22bottom} = -3,38$	$\sigma_u = 1968,80$	$f_r = 3492,99$	OK
Pelat Lantai Bawah	$\sigma_{11top} = 11,97$	$\sigma_u = 2762,00$	$f_r = 3492,99$	OK
	$\sigma_{11bottom} = -11,97$	$\sigma_u = 2762,00$	$f_r = 3492,99$	OK
	$\sigma_{22top} = 2,40$	$\sigma_u = 1968,80$	$f_r = 3492,99$	OK
	$\sigma_{22bottom} = -2,40$	$\sigma_u = 1968,80$	$f_r = 3492,99$	OK
Dinding Geser	$\sigma_{11top} = -6,01$	$\sigma_u = 1512,95$	$f_r = 3492,99$	OK
	$\sigma_{11bottom} = 4,64$	$\sigma_u = 2077,75$	$f_r = 3492,99$	OK
	$\sigma_{22top} = -30,06$	$\sigma_u = 1512,95$	$f_r = 3492,99$	OK
	$\sigma_{22bottom} = 23,15$	$\sigma_u = 1512,95$	$f_r = 3492,99$	OK

Dari Tabel 6 diketahui tegangan kerja maksimum akibat beban-beban yang bekerja lebih kecil daripada tegangan *ultimate* dan modulus keruntuhan beton. Hasil analisis kekuatan struktur diketahui bahwa beban-beban struktur gorong-gorong CB 3 dapat ditahan oleh konstruksi gorong-gorong CB 3, sehingga tidak terjadi keruntuhan struktur dan tidak terjadi rembesan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu:

1. Nilai debit banjir rencana dengan kala ulang 10 tahun yang terbesar yaitu 101,7158 m³/dtk pada titik gorong-gorong CB 3 yang dilewati aliran sungai utama Noel Puames. Sedangkan nilai debit banjir rencana anak sungai lain pada DAS Raknamo di sekitar jalur lingkaran luar yang terbesar yaitu pada gorong-gorong CB 2 sebesar 14,5461 m³/dtk dan yang terkecil pada gorong-gorong CK 32 sebesar 0,6094 m³/dtk.
2. Tipe gorong-gorong yang terdapat pada jalur lingkaran luar Bendungan Raknamo adalah gorong-gorong beton bertulang segi empat. Dimensi gorong-gorong *existing* dibagi dalam tujuh tipe. Hasil analisis debit rencana dan debit gorong-gorong *existing* terdapat satu titik gorong-gorong yang tidak memadai untuk mengalirkan air saat debit banjir rencana kala ulang 10 tahun, yaitu gorong-gorong CK 9. Oleh karena itu, dimensi gorong-gorong tersebut perlu diperbesar agar dapat mengalirkan debit banjir rencana kala ulang 10 tahun.
3. Tegangan kerja maksimum akibat beban-beban yang bekerja berdasarkan analisis struktur gorong-gorong CB 3 bernilai lebih kecil daripada tegangan *ultimate* dan modulus keruntuhan beton, sehingga struktur gorong-gorong CB 3 dapat menahan beban-beban yang bekerja.

SARAN

Saran yang dapat diberikan terkait dengan penelitian ini antara lain:

1. Dimensi gorong-gorong *existing* yang belum memenuhi perlu diperbesar agar dapat mengalirkan debit banjir rencana kala ulang 10 tahun pada titik gorong-gorong tersebut.
2. Perlu dilakukan pengawasan dan perawatan gorong-gorong terhadap sedimentasi yang mungkin terjadi untuk menghindari kurangnya optimalnya gorong-gorong dalam melewatkan aliran air.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Standarisasi Nasional. (2002). *SNI 03-847-2002 Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 2415-2016 Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Departemen Jenderal Bina Marga. (1990). *Petunjuk Desain Drainase Permukaan Jalan*. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2005). *Dasar-Dasar Perencanaan Bangunan Pelengkap Jalan*. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (Tanda tahun). *Standar Gorong-Gorong Persegi Beton Bertulang*. Jakarta.
- Gere, J., & Timoshenko, S. (2000). *Mekanika Bahan Jilid 1 Edisi ke-4*. Jakarta: Erlangga.
- Hadisusanto, N. (2011). *Aplikasi Hidrologi*. Jakarta: Jogja Mediautama.
- Krisnayanti, D., Udiyana, I., & Muskanan, M. (2018). Pendugaan Erosi dan Sedimentasi Menggunakan Metode Usle dan Musle pada DAS Noel-Puames. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(2): 149.
- Soemarto, C. (1987). *Hidrologi Teknik*. Surabaya: Usaha Nasional.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi - Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data Jilid 1*. Bandung: Nova.
- Suyono, S., & Takeda, K. (2003). *Hidrologi untuk Pengairan*. Jakarta: Pradnya Paramita.

