

ANALISIS KAPASITAS PENAMPANG *BOX CULVERT* PADA PROYEK LAND DEVELOPMENT SUB-WP 1C DI KECAMATAN SEPAKU KABUPATEN PENAJAM PASER UTARA

Donny Dwy Judianto Leihitu, S.T., MT ¹⁾ Budi Tjahjono, S.T., MT ²⁾ Anton Prasetyo³⁾

¹⁾ Dosen Teknologi Rekayasa Kontruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik Seruyan, Indonesia

Email: donnydwyjudiantoleihitu@gmail.com

²⁾ Dosen Teknologi Rekayasa Kontruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik Seruyan, Indonesia

Email : budi@poltes.ac.id

³⁾ Mahasiswa Teknologi Rekayasa Kontruksi Jalan dan Jembatan, Politeknik Seruyan, Indonesia

Abstract

Tingkat curah hujan yang tinggi dalam wilayah Land Development Sub-Wp 1c menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kemampuan drainase. tujuan penelitian ini apakah dimensi gorong-gorong kotak beton bertulang dengan ukuran 200 cm x 200 cm saat ini sudah sesuai serta berapakah dimensi gorong-gorong yang ideal dengan mempertimbangkan curah hujan yang ada di area Land Development Sub-Wp 1c. Data Primer diperoleh dari survey lapangan dan data sekunder di peroleh dari badan statistik untuk rata-rata curah hujan kecamatan sepaku serta data pendukung lainnya. Tahapan peneilitan ini menggunakan analisis hidrologi dan analisis hidrolika. Hasil perhitungan debit banjir rencana dan kapasitas gorong-gorong digunakan untuk menentukan kesesuaian dimensi gorong-gorong serta rekomendasi dimensi yang ideal. Diketahui bahwa dimensi gorong-gorong yang di gunakan saat ini telah memadai untuk menampung debit air, terutama saat puncak hujan yang dapat mencapai debit banjir rencana sebesar 66,4 m³/detik dan total debit semua gorong-gorong 68 m³/s. Berdasarkan perhitungan di atas, dimensi gorong-gorong kotak beton bertulang saat telah memenuhi kapasitas yang diperlukan untuk menangani debit banjir rencana di area Land Development Sub-WP 1C

Kata Kunci: Evaluasi, Kapasitas Gorong-gorong, Drainase, Curah Hujan.

I. PENDAHULUAN

Pembangunan Ibu Kota Negara (IKN) merupakan proyek strategis yang bertujuan untuk memindahkan ibu kota negara Indonesia dari Jakarta ke Kalimantan Timur. Proyek ini didasari oleh kebutuhan untuk memilih lokasi ibu kota yang lebih strategis yang dapat menangani pertumbuhan penduduk dan ekonomi Indonesia dengan lebih baik. Jakarta yang saat ini menjadi ibu kota negara menghadapi tantangan dalam mengelola pertumbuhan penduduk dan ekonomi, serta berisiko terhadap bencana alam seperti banjir dan gempa bumi. Kalimantan Timur sebagai lokasi yang dipilih memiliki potensi besar sebagai pusat pemerintahan dan inovasi yang ramah lingkungan, serta pusat sejarah dengan sektor energi terbarukan. Selain itu, Kalimantan Timur juga berperan sebagai pusat pengolahan dan logistik minyak dan gas bumi, serta memperkuat sektor pertanian dan destinasi wisata alam. Pembangunan IKN diharapkan dapat memacu kemajuan di Indonesia Timur dan membantu Indonesia mencapai tujuannya menjadi negara maju sesuai dengan visi Indonesia 2045. Dengan demikian, proyek ini bertujuan untuk memfokuskan pembangunan pada kepentingan nasional dan mempercepat transformasi ekonomi Indonesia.

PT. Nindya Karya yang merupakan salah satu perusahaan kontraktor terkemuka di Indonesia, telah dipercaya untuk melaksanakan pekerjaan Sub-Wp 1c dalam pengembangan lahan di Ibu Kota Negara. Tugas ini meliputi pengembangan kawasan yang akan menjadi bagian dari Ibu Kota Negara Indonesia, termasuk penanaman tanaman hijau, pembangunan infrastruktur, dan pembangunan fasilitas lain yang diperlukan untuk mendukung kegiatan pemerintahan dan bisnis di Ibu Kota Negara. Oleh karena itu, pekerjaan Sub-Wp 1c ini sangat krusial untuk mencapai tujuan pengembangan Ibu Kota Negara yang lebih baik dan lebih efisien. Pembangunan kawasan Land Development Sub-Wp 1c merupakan proyek yang penting untuk mengembangkan wilayah tersebut. Salah satu aspek yang perlu diperhatikan dalam perencanaan proyek ini adalah sistem drainase yang efektif.

Sistem drainase yang efisien sangat penting untuk mengelola air hujan dengan baik, menghindari genangan, dan melindungi lingkungan di sekitarnya. Area Land Development Sub-Wp 1c sedang mengalami pertumbuhan yang cepat, namun dengan kemajuan ini muncul tantangan terkait drainase yang harus diatasi

segera. Tingginya curah hujan di wilayah ini memengaruhi efektivitas sistem drainase yang ada. Oleh karena itu, dimensi gorong-gorong beton bertulang saat ini perlu dievaluasi untuk memastikan bahwa ukurannya memadai untuk menangani curah hujan di area tersebut. Penentuan ukuran gorong-gorong yang tepat juga harus dilakukan agar dapat mengatasi volume curah hujan yang tinggi di Land Development Sub-Wp 1c. Selain itu, penting untuk memastikan bahwa saluran gorong-gorong dapat menampung debit air sesuai dengan standar yang berlaku untuk mencegah banjir dan genangan air yang dapat merugikan. Gorong-gorong beton bertulang berukuran 200 cm x 200 cm dengan mutu beton f_c 30 Mpa digunakan untuk mengalirkan air hujan dari permukaan jalan atau lahan ke saluran drainase yang lebih besar. Namun, dalam konteks Land Development Sub-Wp 1c, perlu dipastikan apakah ukuran dan kualitas gorong-gorong ini memadai untuk mengatasi curah hujan yang ada di area proyek. Perencanaan saluran harus mengikuti langkah-langkah yang tepat untuk menentukan debit rencana serta kemiringan saluran yang ideal. Intensitas hujan dianalisis dengan metode rasional untuk mendapatkan debit rencana, yang kemudian dibandingkan dengan debit aktual untuk mengevaluasi kinerja saluran drainase. Gorong-gorong adalah elemen krusial dalam sistem drainase yang digunakan untuk memindahkan air hujan. Ukuran gorong-gorong harus disesuaikan dengan kemampuan menangani curah hujan di wilayah Land Development Sub-Wp 1c. Oleh karena itu, analisis terhadap dimensi gorong-gorong dalam proyek ini sangat penting untuk memastikan bahwa sistem drainase dapat mengelola curah hujan dengan baik dan untuk menentukan ukuran gorong-gorong yang tepat serta memastikan bahwa sistem dapat menampung debit air sesuai dengan standar yang berlaku. Selain itu, perlu diperhatikan bahwa selain curah hujan, limbah air dari bangunan yang akan dibangun di area tersebut seperti gedung pemerintahan, sekolah, dan rumah sakit juga harus diperhitungkan untuk perencanaan jangka panjang.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk Mengevaluasi apakah dimensi gorong-gorong kotak beton bertulang dengan ukuran 200 cm x 200 cm saat ini sudah sesuai dengan kebutuhan untuk mengairi area curah hujan di wilayah Land Development Sub-Wp 1c dan menentukan dimensi gorong-gorong yang ideal dengan mempertimbangkan curah hujan yang ada di kawasan Pengembangan Lahan Sub-Wp 1c, sebagaimana telah diuraikan dalam rumusan masalah sebelumnya.

II. METODE PENELITIAN

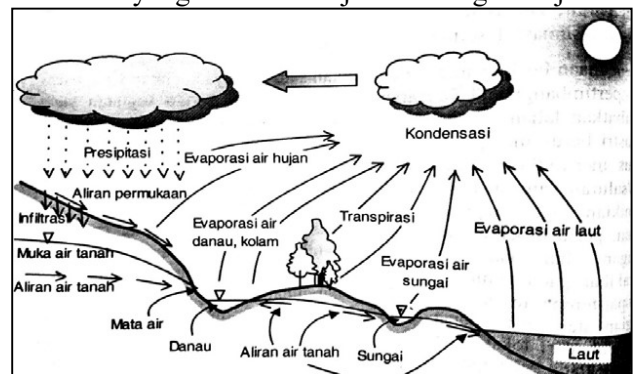
Drainase

Drainase, yang berasal dari kata bahasa Inggris "drainage," mengacu pada proses mengalirkan, membuang, atau mengalihkan air. Dalam teknik sipil, drainase secara umum didefinisikan sebagai tindakan untuk mengurangi jumlah kelebihan air akibat hujan, rembesan, atau irigasi dari suatu area atau lahan, sehingga fungsi lahan tidak terganggu. Selain itu, drainase juga bertujuan untuk menjaga kualitas air tanah. Dengan demikian, drainase tidak hanya mencakup air permukaan, tetapi juga air tanah (Haryon & E.F., 2008). Menurut Suripin (2004), drainase merupakan suatu sistem yang meliputi berbagai sarana seperti saluran, pipa, dan bangunan pendukung lainnya, yang berfungsi menampung, mengalirkan, dan membuang kelebihan air dari suatu wilayah agar tidak merusak lingkungan atau mengganggu kegiatan manusia. Sedangkan Hasmar (2011) menjelaskan bahwa drainase secara umum merupakan bidang ilmu yang mempelajari teknik-teknik untuk mengurangi kelebihan air pada suatu lokasi, baik yang bersumber dari hujan, rembesan, maupun sumber-sumber lainnya, sehingga fungsi wilayah tersebut tetap optimal. Dengan kata lain, drainase meliputi serangkaian bangunan yang dirancang untuk mengelola atau membuang kelebihan air dari suatu wilayah, sehingga pemanfaatan lahan dapat terlaksana secara efisien dan permasalahan yang timbul akibat kelebihan air dapat diatasi (Hasmar, 2012).

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi merupakan suatu proses untuk menilai debit banjir rancangan yang sangat berpengaruh terhadap debit maksimum dan kestabilan bangunan yang akan dibangun. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengatur aliran permukaan agar tidak terjadi genangan air. Sebagai langkah awal dalam perencanaan sistem drainase dan pengelolaan banjir, analisis hidrologi sangat penting untuk menentukan besarnya saluran drainase dengan menghitung debit yang akan ditangani. Debit rancangan yang dihitung dengan memperhitungkan perkiraan curah hujan pada periode tertentu dan debit air dari suatu daerah menjadi dasar perencanaan pengelolaan banjir. Perhitungan data ini dilakukan untuk mencegah terjadinya banjir, erosi, dan dampak negatif lingkungan lainnya.

Menurut Singh, hidrologi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari kualitas dan kuantitas air di Bumi dalam dimensi ruang dan waktu. Proses hidrologi meliputi pergerakan, sirkulasi, distribusi, dan eksplorasi air, yang semuanya penting bagi tahap pengembangan dan pengelolaan. Proses penguapan air dari permukaan laut akibat energi panas disebut presipitasi. Karena proses ini menghilangkan kandungan garam dari uap air yang naik ke atmosfer, uap tersebut menjadi murni. Ketika udara yang membawa uap ini bergerak, uap tersebut akan mengembun dan membentuk titik-titik air yang kemudian jatuh sebagai hujan.



Seperti yang digambarkan pada Gambar 1. siklus hidrologi berlangsung terus menerus.

Gambar 1. siklus hidrologi
(Sumber: Suripin, 2006)

Karena curah hujan memegang peranan penting dalam siklus hidrologi, maka pengukuran curah hujan menjadi sangat penting. Data curah hujan dikumpulkan menggunakan alat ukur yang tersebar di beberapa lokasi, yang hanya memberikan estimasi untuk wilayah di sekitarnya. Beberapa metode untuk menghitung banjir rancangan meliputi pendekatan empiris antara curah hujan dan limpasan (seperti metode Rational, Weduwen, Melchior, dsb.), penggunaan hidrograf satuan banjir, dan pengamatan langsung di lapangan.

Menghitung Tinggi Hujan Rata-Rata

Untuk menghitung rata-rata curah hujan di suatu wilayah yang memiliki beberapa stasiun penakar hujan, setiap stasiun mencerminkan karakteristik lingkungan yang berbeda-beda. Oleh karena itu, perlu dilakukan penyesuaian agar karakteristik stasiun-stasiun tersebut menjadi seragam atau mendekati sama. Beberapa metode perhitungan rata-rata curah hujan digunakan berdasarkan kondisi dan ketentuan wilayah yang bersangkutan.

Beberapa metode pengolahan data hujan:

a. Cara rata-rata aljabar

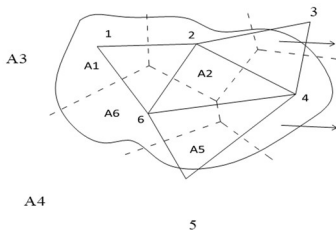
$$\bar{R} = 1 \left(\frac{R}{n} + R_b + R_c + \dots + R_n \right)$$

Keterangan:

b. Cara Poligon Thiessen

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A \text{ total}}$$

A total



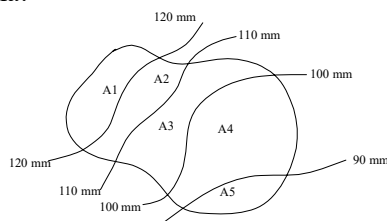
Gambar 2. Poligon Thiessen

c. Cara Poligon Isohyet

$$\bar{R} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A \text{ total}} \quad (2.2)$$

A total

Dimana:



Gambar 3. Poligon Isohyet

Koefisien Aliran Permukaan (C)

Koefisien C adalah rasio aliran permukaan puncak terhadap intensitas curah hujan. Faktor ini sangat memengaruhi hasil perhitungan debit banjir, dan menentukan nilai C yang akurat memerlukan pengalaman yang luas dalam mengukur debit. Beberapa faktor utama yang memengaruhi C meliputi laju infiltrasi tanah (atau persentase lahan kedap air), kemiringan lahan, tutupan vegetasi, dan intensitas curah hujan. Ketika permukaan basah, lahan kedap air, seperti aspal atau atap bangunan, akan menghasilkan aliran hampir 100%, terlepas dari kemiringannya. Tabel koefisien aliran berdasarkan metode rasional dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Koefisien Aliran

Koefisien aliran $C = C_1 + C_2 + C_3$					
Topografi, C_1		Tanah, C_2		Vegetasi, C_3	
Datar (<1%)	0,03	Pasir dan gravel	0,04	Hutan	0,04
Bergelombang (1-10%)	0,08	Lempung berpasir	0,08	Pertanian	0,11
Perbukitan (10-20%)	0,16	Lempung dan lanau	0,16	Padang rumput	0,21
Pegunungan (>20%)	0,26	Lapisan batu	0,26	Tanpa tanaman	0,28

Analisis Frekuensi Dan Probabilitas

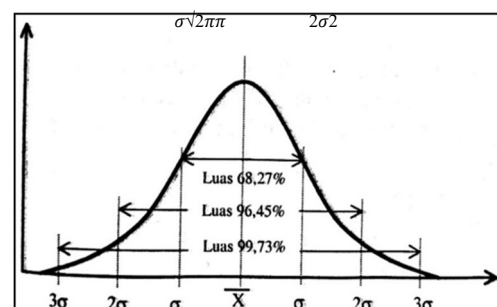
Frekuensi curah hujan mengacu pada probabilitas terjadinya hujan dengan jumlah yang sama atau lebih besar, sedangkan periode ulang mengacu pada perkiraan waktu terjadinya hujan dengan intensitas tertentu yang akan sama atau melebihi hujan sebelumnya. Dengan menggunakan distribusi probabilitas, tujuan analisis frekuensi dan probabilitas data hidrologi adalah untuk mengidentifikasi besarnya kejadian ekstrem yang terkait dengan frekuensi kejadiannya. Data hidrologi yang dianalisis dianggap bersifat stokastik, independen, dan terdistribusi secara acak (Suripin, 2006).

Analisis frekuensi memerlukan serangkaian data curah hujan dari stasiun pengukuran, baik yang dioperasikan secara manual maupun otomatis. Metode ini memanfaatkan karakteristik statistik data kejadian masa lalu untuk memperkirakan jumlah curah hujan di masa mendatang. Analisis frekuensi ini bergantung pada satu jenis rangkaian data, yaitu:

1. Distribusi Normal

Distribusi Gaussian, yang sering disebut sebagai distribusi normal atau kurva normal, memiliki fungsi kerapatan probabilitas (PDF) yang diketahui berbentuk lonceng, dan oleh karena itu disebut normal. Distribusi ini berbentuk lonceng yang simetris terhadap sumbu vertikal (Montarich L, 2010). Menurut Suripin (2006), rerata dan simpangan baku dari distribusi normal adalah sebagai berikut:

$$PP(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$$



Gambar 4. Kurva Distribusi Frekuensi Normal

Berikut rumus umum untuk distribusi normal yaitu:

$$Kt = \frac{XTT - XX}{S}$$

Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi (t_c) adalah durasi yang diperlukan air hujan untuk mengalir dari titik terjauh di DAS ke outlet (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan cekungan kecil terisi. Ada dua metode untuk menghitung waktu konsentrasi. Metode pertama membaginya menjadi dua bagian: waktu yang diperlukan air untuk mengalir melintasi permukaan tanah ke saluran terdekat (t_o), dan waktu yang diperlukan dari titik masuk saluran ke outlet (t_d).

Di dalam suatu DAS, debit limpasan maksimum terjadi ketika aliran dari titik terjauh bertemu dengan aliran dari hilir pada saat yang sama di lokasi pengukuran. Hal ini menunjukkan bahwa debit maksimum akan tercapai ketika durasi hujan sama dengan atau lebih lama dari waktu konsentrasi. Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$T_c = T_o + T_d$$

$$T_o = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right] \text{ menit}$$

$$T_d = \frac{L S}{60 V}$$

Waktu konsentrasi besarnya sangat bervariasi dan dapat dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut ini :

1. Luas daerah pengaliran
2. panjang saluran drainase
3. kemiringan dasar saluran
4. debit dan kecepatan aliran.

Analisis Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan yang diukur dalam volume atau tinggi air per satuan waktu. Secara umum, intensitas curah hujan cenderung meningkat seiring dengan lamanya curah hujan dan dengan bertambahnya periode ulang. Kurva Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF) menggambarkan hubungan antara intensitas curah hujan, durasi, dan frekuensi. Perhitungan intensitas curah hujan dilakukan melalui analisis empiris dan statistik terhadap data curah hujan. Intensitas hujan mengacu pada jumlah curah hujan yang terjadi

selama waktu ketika air hujan terkonsentrasi.

Durasi curah hujan yang pendek, seperti lima, tiga puluh, enam puluh menit, atau beberapa jam, biasanya terkait dengan intensitas curah hujan. Untuk menyusun kurva IDF, diperlukan data curah hujan jangka pendek. Selanjutnya, rumus Mononobe dapat digunakan untuk membuat kurva IDF berdasarkan data curah hujan jangka panjang. Rumusnya adalah sebagai berikut (Suripin, 2006).

$$I = \frac{R24}{24} + \left(\frac{24}{t} \right)^2$$

Dengan rumus SNI 03-3424-1994, maka intensitas curah hujannya dapat dihitung dengan rumus Van Breen, bahwa hujan harian terkonsentrasi selama 4 jam dengan jumlah hujan sebesar 90% dari jumlah hujan selama 24 jam:

$$I = (90\% \cdot xt) / 4$$

Debit Rencana

Debit rencana adalah debit maksimum dari saluran alami dengan periode ulang (rata-rata) yang telah ditentukan, yang dapat dibuang tanpa menimbulkan risiko terhadap proyek drainase atau stabilitas struktur bangunan. Debit ini dihitung melalui analisis debit puncak, yang umumnya didasarkan pada muka air harian. Selain itu, data curah hujan dengan periode ulang yang relevan untuk sistem drainase di wilayah studi juga digunakan dalam menentukan debit rencana.

$$Q = 0,278 \times C \times I t \times A$$

Analisis Hidrolika

Hidrolika merupakan salah satu cabang ilmu terapan dan rekayasa yang mempelajari sifat-sifat mekanis fluida, khususnya air, dalam aliran mikro dan makro. Teori hidraulika yang berfokus pada sifat-sifat rekayasa fluida berakar pada prinsip-prinsip mekanika fluida. Hidraulika digunakan dalam sistem tenaga fluida untuk menghasilkan, mengendalikan, dan mentransfer energi melalui fluida terkompresi. Beberapa konsep yang dibahas dalam hidraulika meliputi aliran pipa, desain bendungan, pompa, turbin, tenaga air, dinamika fluida, pengukuran aliran, dan perilaku aliran di saluran terbuka seperti sungai dan drainase.

Dalam mekanika fluida, terdapat dua jenis aliran: aliran saluran tertutup dan aliran saluran terbuka. Meskipun keduanya memiliki banyak kesamaan, perbedaan utamanya terletak pada keberadaan permukaan bebas. Aliran

saluran terbuka memiliki permukaan yang bersentuhan langsung dengan atmosfer, sedangkan aliran saluran tertutup tidak memiliki permukaan bebas karena air mengisi seluruh penampang saluran. Oleh karena itu, aliran saluran terbuka memiliki permukaan yang terpapar tekanan atmosfer, sedangkan aliran saluran tertutup tidak secara langsung dipengaruhi oleh tekanan atmosfer. Air pada umumnya mengalir dari hulu ke hilir hingga mencapai ketinggian tertentu, kecuali ada kekuatan lain yang memaksa aliran bergerak ke arah yang berlawanan.

Perhitungan Dimensi Saluran

Rumus umum:
 $Q = A \times V$

Kecepatan aliran rata-rata secara teoritis aliran dapat ditetapkan sebagai berikut:

1. Rumus Manning:

$$Q = (1/n) * R * H^{(2/3)} * S^{\wedge}$$

Kecepatan aliran rata-rata (V) dalam desain saluran drainase harus berada dalam rentang nilai tertentu, yaitu antara batas kecepatan aliran maksimum dan minimum. Rentang ini disesuaikan dengan jenis material saluran (seperti nilai c, n, atau k) dan kapasitas angkut sedimennya. Jika kecepatan aliran di bawah batas minimum, dapat terjadi pengendapan sedimen, pendangkalan saluran, dan pertumbuhan tanaman pengganggu (seperti gulma) di dasar saluran, yang dapat menghambat fungsinya. Sebaliknya, jika kecepatan aliran melampaui batas maksimum, erosi bisa terjadi pada dinding dan dasar saluran, terutama jika saluran tersebut tidak dirancang untuk menahan erosi atau tidak diperkuat. Contohnya adalah kecepatan minimum untuk saluran kecil dari tanah = 0,45 m/det, kecepatan minimum untuk saluran besar dari tanah = 0,60-0,90 m/det, dan kecepatan maksimum untuk saluran berbahan beton = 4 m/det.

Perhitungan Dimensi Gorong-gorong

Memperhitungkan berbagai faktor, termasuk debit air, kecepatan aliran, dan bentuk saluran. Berikut ini adalah beberapa contoh cara menghitung dimensi gorong-gorong yang dapat ditemukan dalam bahan referensi yang tersedia:

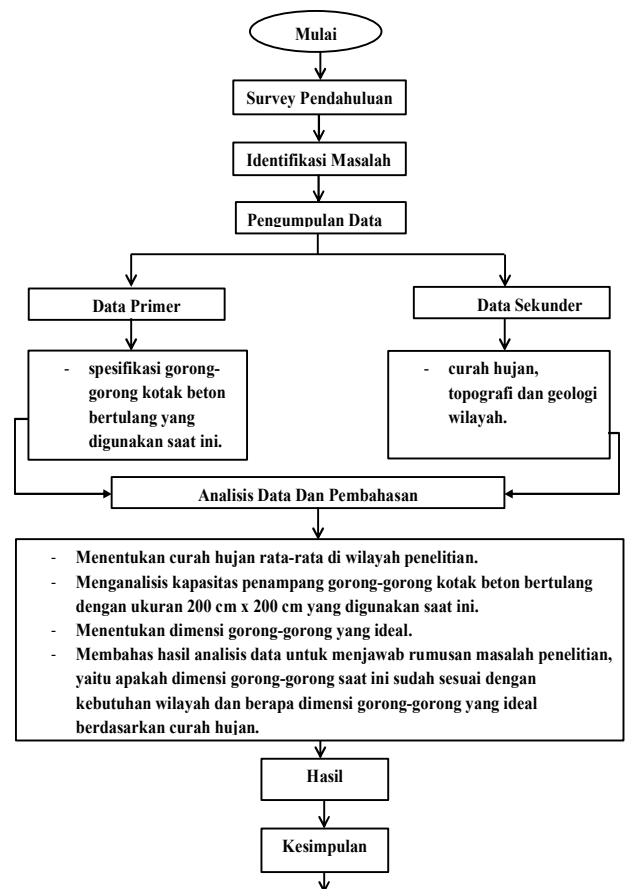
- Perhitungan Dimensi Gorong-gorong Segi Empat
 Kedalaman Air (h) = 0,7810 m

- Lebar dasar saluran (b) = 1,5620 m
- Tinggi saluran (H) = 0,9766 m
- Luas penampang (A) = tidak dinyatakan
- Keliling basah saluran (P) = tidak dinyatakan
- Jari-jari hidrolis (R) = tidak dinyatakan
- Kecepatan aliran (V) = tidak dinyatakan

III. METODE PENELITIAN

Proses Penelitiann

Proses penelitian ini ditampilkan dalam sebuah diagram alir metodologi yang dapat dilihat pada diagram alir:



Gambar 5. Diagram Alir Penelitian

Pengumpulan Data

Pengumpulan data primer diperlukan untuk mendapatkan informasi relevan langsung dari objek kajian, yang selanjutnya akan digunakan untuk analisis. Strategi utama pengumpulan data untuk survei adalah observasi lapangan. Pengamatan melalui survei lapangan mengenai spesifikasi teknis gorong-gorong beton bertulang berukuran 200 cm x 200 cm yang saat ini sedang dilaksanakan di proyek Pengembangan Lahan Sub-Wp 1c. Untuk data sekunder yang digunakan meliputi informasi mengenai curah hujan, kondisi topografi, dan geologi.

Tahapan Penelitian

Prosedur penelitian terdiri dari beberapa tahap utama yang penting untuk melakukan penelitian secara efektif. Secara umum, tahap-tahap tersebut meliputi:

1. Mengembangkan ide atau konsep awal, yang kemudian dijabarkan menjadi latar belakang, masalah, tujuan, dan ruang lingkup penelitian yang komprehensif.
2. Melakukan tinjauan menyeluruh atau studi pustaka terkait topik penelitian dan rumus yang akan digunakan, untuk memastikan pemahaman dan konteks penelitian yang lengkap.
3. Survei lapangan untuk mengumpulkan informasi tentang Survei lapangan dilakukan untuk mengamati dan mengukur dimensi fisik gorong-gorong beton bertulang, meliputi panjang, lebar, dan tinggi. Selain itu, dilakukan juga pengambilan foto untuk mendokumentasikan kondisi dan spesifikasi secara visual.
4. Data sekunder dikumpulkan dari sumber-sumber seperti Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) untuk informasi curah hujan historis. Data topografi diperoleh melalui peta topografi yang tersedia secara daring atau dari sumber terpercaya, dan dianalisis menggunakan perangkat lunak ArcGIS. Data geologi diakses melalui perangkat lunak GeoMapApp, dan data tambahan diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) dan Badan Geologi Indonesia.

Tahapan Analisis Data

Setelah data yang diperoleh dari pengujian akan dianalisis menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif. Metode analisis data yang akan diterapkan dalam penelitian ini meliputi:

1. Analisis Curah Hujan

Data curah hujan yang telah terkumpul akan dianalisis untuk mengetahui rata-rata curah hujan di wilayah Sub-Wp 1c Pengembangan Lahan. Analisis ini meliputi data curah hujan historis selama lima tahun terakhir, dengan menggunakan metode statistik seperti perhitungan rata-rata atau curve fitting. Curve fitting melibatkan pemodelan data curah hujan dengan fungsi

matematika yang sesuai. Selain itu, model hidrologi yang relevan akan digunakan untuk memprediksi rata-rata curah hujan, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti topografi, vegetasi, dan pola aliran air di wilayah tersebut.

2. Kapasitas penampang gorong-gorong dengan spesifikasi teknis 200 cm x 200 cm akan dianalisis melalui perhitungan berikut:

1). Perhitungan Dimensi Gorong-gorong Ideal

Berdasarkan analisis data curah hujan, debit air yang dihasilkan akan dihitung untuk menentukan dimensi gorong-gorong yang ideal. Beberapa metode perhitungan yang digunakan adalah:

a. Metode Hidrolik:

- Menghitung dimensi gorong-gorong berdasarkan debit air, laju aliran, dan parameter hidrolik lainnya.
- Mengumpulkan data hidrologi seperti curah hujan rata-rata dan intensitas curah hujan.
- Menggunakan persamaan hidrolik seperti persamaan Manning atau Bernoulli untuk menghitung debit dan laju aliran maksimum yang diizinkan, dan berdasarkan hasil tersebut menentukan dimensi gorong-gorong yang diperlukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Dalam analisis hidrologi dilakukan perhitungan yang meliputi sebaran frekuensi curah hujan, intensitas curah hujan, koefisien limpasan dari daerah tangkapan air, serta perhitungan debit banjir rencana.

Sebagai langkah awal, dilakukan pengumpulan data sebagai dasar perhitungan analisis hidrologi sebagai berikut:

1. Data curah hujan yang diperoleh dari BMKG selama
2. lima tahun terakhir, meliputi rata-rata curah hujan bulanan.
3. Peta wilayah Sub-WP 1C Pengembangan Lahan digunakan untuk menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS).
2. Data debit banjir rencana yang diperoleh melalui

analisis sebaran frekuensi curah hujan dan intensitas curah hujan.

Frekuensi Curah Hujan Rencana

Untuk menghitung debit banjir rencana di wilayah Sepaku, perlu ditentukan periode ulang curah hujan harian maksimum berdasarkan curah hujan rata-rata. Data curah hujan di wilayah Sepaku dapat dilihat pada Tabel 2. , Tabel 3. , Tabel 4. , Tabel 5. , dan Tabel 6.

Tabel 2. Rata - Rata Curah Hujan 2019

No	Bulan	Kecamatan Sepaku
-1	-2	-3
1.	Januari	154,00
2.	Februari	43,00
3.	Maret	268,00
4.	April	181,00
5.	Mei	213,00
6.	Juni	149,00
7.	Juli	38,00
8.	Agustus	15,00
9.	September	1,00
10.	Oktober	140,00
11.	Nopember	89,00
12.	Desember	156,00
	Rata-rata 2019	120,58

Tabel 3. Rata - Rata Curah Hujan 2018

No	Bulan	Kecamatan Sepaku
-1	-2	-3
1.	Januari	134
2.	Februari	337
3.	Maret	181
4.	April	317
5.	Mei	230
6.	Juni	170
7.	Juli	27
8.	Agustus	80
9.	September	124
10.	Oktober	136
11.	Nopember	249
12.	Desember	374
	Rata-rata 2018	197

Tabel 4. Rata - Rata Curah Hujan 2017

No	Bulan	Kecamatan Sepaku
-1	-2	-3
1.	Januari	157
2.	Februari	155
3.	Maret	299
4.	April	259
5.	Mei	360
6.	Juni	127
7.	Juli	126
8.	Agustus	198
9.	September	66
10.	Oktober	215
11.	Nopember	243
12.	Desember	245
	Rata-rata 2017	204,17

Tabel 5. Rata - Rata Curah Hujan 2016

No	Bulan	Kecamatan Sepaku
-1	-2	-3
1.	Januari	276
2.	Februari	305
3.	Maret	171
4.	April	464
5.	Mei	140
6.	Juni	200
7.	Juli	24
8.	Agustus	5
9.	September	0
10.	Oktober	0
11.	Nopember	0
12.	Desember	0
	Rata-rata 2016	131,96

Tabel 6. Rata - Rata Curah Hujan 2015

No	Bulan	Kecamatan Sepaku
-1	-2	-3
1.	Januari	201
2.	Februari	87
3.	Maret	165
4.	April	127
5.	Mei	224
6.	Juni	266
7.	Juli	58
8.	Agustus	35
9.	September	50
10.	Oktober	87,5
11.	Nopember	186,5
12.	Desember	377
	Rata-rata 2015	155,3

Tabel 7. Rata-rata Curah Hujan Tahunan Wilayah Sepaku

No	Tahun	Rata-rata/average
	1	2
1.	2019	120,58
2.	2018	197
3.	2017	204,17
4.	2016	131,96
5.	2015	155,3

Frekuensi Curah Hujan Rencana

Dari hasil perhitungan curah hujan di wilayah tersebut, maka perlu ditentukan periode ulang curah hujan harian maksimum yang akan digunakan dalam perhitungan debit banjir rencana. Informasi mengenai perhitungan frekuensi curah hujan rencana dapat dilihat pada tabel berikut. Tabel 8. dan Tabel 9.

Tabel 8. Prameter Statistik Curah Hujan

No.	Tahun	X_i	$X_i - X_{rata-rata}$	$(X_i - X_{rata-rata})^2$	$(X_i - X_{rata-rata})^3$	$(X_i - X_{rata-rata})^4$
1	2	3	4=4 ^o 2	5=4 ^o 2	6=5 ^o 3	7=4 ^o 2
1	2019	120,58	-41,222	1699,25	-70046,62	2887461
2	2018	197,00	35,198	1238,90	43606,77	1534871
3	2017	204,17	42,368	1795,05	76052,57	3222195
4	2016	131,96	-29,842	890,54	-26575,64	793070,
5	2015	155,30	-6,502	42,28	-274,88	1787,2
Jumlah		809,01	0,0000	5666,0209	22762,2032	8439385,8

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log X_i}{n} = \frac{11,00}{5} = 2,2$$

2. Standar Deviasi (S_d)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,042}{5 - 1}}$$

$$= 0,1019$$

3. Koefisien *Skewness* (C_s)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^3}{(n - 1)(n - 2)(S_d)^3}$$

$$= \frac{(5)(0,000062)}{(5 - 1)(5 - 2)(0,1019)^3}$$

$$= 0,0248$$

4. Koefisien *Kurtosis* (C_k)

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^4}{(n - 1)(n - 2)(n - 3)S_d^4}$$

$$= \frac{(5)^2(0,000465)}{(5 - 1)(5 - 2)(5 - 3)(0,1019)^4}$$

$$= 4,4930$$

Di bawah ini hasil perhitungan parameter statistik.

1. Curah hujan rata-rata (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{809,01}{5} = 161,802 \text{ mm}$$

2. Standar Deviasi (S_d)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{5666,0209}{5 - 1}}$$

$$= 37,6365$$

3. Koefisien *Skewness* (C_s)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n - 1)(n - 2)S_d^3}$$

$$= \frac{(5)(22762,2032)}{(5 - 1)(5 - 2)(37,6365)^3}$$

$$= 0,1779$$

4. Koefisien *Kurtosis* (C_k)

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n - 1)(n - 2)(n - 3)S_d^4}$$

$$= \frac{(5)^2(8439385,8087)}{(5 - 1)(5 - 2)(5 - 3)(37,6365)^4}$$

$$= -2,7424$$

5. Koefisien Varian (C_v)

$$C_v = \frac{S_d}{\bar{X}} = \frac{37,6365}{161,802} = 0,2326$$

Perhitungan Curah Hujan Rencana Metode Gumbel

Untuk perhitungan curah hujan rencana Metode Gumbel dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Prameter Statistik Curah Hujan Metode Gumbel

No.	Tahun	X_i	$X_i - X_{rata-rata}$	$(X_i - X_{rata-rata})^2$
1	2	3	4	5
1	2019	120,58	-41,2	1699,253
2	2018	197,00	35,2	1238,899
3	2017	204,17	42,4	1795,047
4	2016	131,96	-29,8	890,545
5	2015	155,30	-6,5	42,276
Jumlah		809,01	0,00	5666,0209

Dari hasil perhitungan pada tabel di atas diperoleh sebagai berikut.

1. Curah hujan rata-rata (\bar{X})

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{809,01}{5} = 161,802 \text{ mm}$$

2. Standar Deviasi (S_d)

Tabel 9. Parameter Statistik Curah Hujan Logaritma

No.	Tahun	X_i	$\log X_i$	$\frac{\log X_i - \log X_{rata-rata}}{\log X_{rata-rata}}$	$(\frac{\log X_i - \log X_{rata-rata}}{\log X_{rata-rata}})^2$	$(\frac{\log X_i - \log X_{rata-rata}}{\log X_{rata-rata}})^3$	$(\frac{\log X_i - \log X_{rata-rata}}{\log X_{rata-rata}})^4$
1	2	3	4	5	6=5 ^o 2	7=5 ^o 3	8=
1	2019	120,58	2,081	-0,118	0,014	-0,001651	0,000
2	2018	197,00	2,294	0,095	0,009	0,000857	0,000
3	2017	204,17	2,310	0,111	0,012	0,001350	0,000
4	2016	131,96	2,120	-0,079	0,006	-0,000494	0,000
5	2015	155,30	2,191	-0,008	0,000	-0,000001	0,000
Jumlah		809,01	11,00	0,00	0,042	0,000062	0,000

Di bawah ini hasil perhitungan parameter statistik.

1. Curah hujan rata-rata (\bar{X})

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{5666.0209}{5-1}}$$

$$= 37,6365$$

3. Untuk curah hujan rencana dengan Metode Gumbel digunakan persamaan-persamaan berikut.

a. $k = \frac{Y_t - Y_n}{S_n}$ di mana diketahui $n = 5$ sehingga diperoleh nilai $Y_n = 0,5236$ dan $S_n = 1,0628$

b. $Y_t = -\ln \left[-\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right]$ jika diketahui periode ulang (T_r) = 2 tahun maka

$$Y_2 = -\ln \left[-\ln \frac{2-1}{2} \right] = 0,3665$$

c. $k = \frac{Y_t - Y_n}{S_n} = \frac{0,3665 - 0,5236}{1,0628} = -0,1478$

d. Diperoleh curah hujan rencana dengan Metode Gumbel dengan persamaan berikut.

$$X_{Tr} = \bar{X} + k \cdot S_d$$

$$X_2 = 161,802 +$$

$$(-0,1478)(37,6365) = 156,2391 \text{ mm}$$

Perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Frekuensi Ulang

Kala Ulang T (tahun)	Reduce Variated (Yt)	Faktor Frekuensi (k)	Hujan Rancangan (Xr) mm
1	2	3	4
2	0.3665	-0.1478	156.2391
5	1.4999	0.9186	196.3767
10	2.2504	1.6247	222.9513
25	3.1985	2.5169	256.5283
50	3.9019	3.1787	281.4377

Uji Distribusi Frekuensi Curah Hujan Rencana

Uji ini dilakukan untuk memvalidasi apakah data curah hujan harian rata-rata di wilayah tersebut sesuai dengan distribusi teoritis yang diterapkan dan untuk menilai validitas hipotesis yang digunakan. Proses ini melibatkan Uji Smirnov-Kolmogorov, khususnya untuk Distribusi Gumbel. Untuk pengujian ini, diperlukan fungsi distribusi

kumulatif (CDF) dari Distribusi Gumbel, yang dirumuskan sebagai berikut.

$$F_{X_i}(x, \alpha, \beta) = e^{-e^{-\left(\frac{x-\beta}{\alpha}\right)}}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma_x$$

$$\beta = \mu_x - \gamma \cdot \alpha$$

$$\gamma = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{k=1}^n \frac{1}{k} - \ln n = 0,57721566490$$

Hasil perhitungan probabilitas distribusi empiris dari distribusi Gumbel diuraikan pada Tabel 12.

Tabel 12 Uji Smirnov-Kormogorov Distribusi Gumbel

m	Xi	log Xi	P	P(x<)	f(t) = (Xi - Xrt)/Sd	luas kurva	P'(x)	P'(x<)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = 1 - (4)	(5)	(6)	(7) = 1 -	
1	120,58	2,081	1,000	0,000	1,095	0,8740	0,126	0,874
2	197,00	2,294	2,000	-1,000	-0,935	0,4312	0,569	0,431
3	204,17	2,310	3,000	-2,000	-1,126	0,3387	0,661	0,339
4	131,96	2,120	4,000	-3,000	0,793	0,8030	0,197	0,803
5	155,30	2,191	5,000	-4,000	0,173	0,6210	0,379	0,621
								Max
m	Xi	log Xi	P	P(x<)	f(t) = (Xi - Xrt)/Sd	luas kurva	P'(x)	P'(x<)

Debit Rencana

Debit yang direncanakan dianalisis untuk wilayah Sub-WP 1C Pengembangan Lahan menggunakan Metode Rasional. Untuk menentukan nilai koefisien aliran C yang dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Nilai Koefisien Aliran C

NO	Kondisi Tutupan Lahan	C
1	Hutan Dataran Tinggi	0,65
2	Hutan Rawa Primer	0,50
3	Lahan Terbuka	0,40
4	Perkebunan	0,60
5	Pertanian	0,60
6	Semak Belukar	0,35
7	Pemukiman	0,35
8	Semak	0,30
9	Badan Air	0,25

Kesesuaian Dimensi Gorong-gorong

Ukuran gorong-gorong beton bertulang berukuran 200 cm x 200 cm perlu dievaluasi kemampuannya dalam menahan curah hujan yang bervariasi setiap tahunnya. Dengan curah hujan rata-rata 120,58 mm pada tahun 2019 dan curah hujan puncak 268 mm, tampaknya ukuran yang ada saat ini mungkin tidak memadai ketika terjadi hujan dengan intensitas tinggi.

1. Perhitungan Debit Banjir Rencana

Untuk menghitung debit banjir rencana, kita dapat menggunakan rumus berikut:

$$Q=I \cdot A \cdot C$$

Dengan luas wilayah 87.47161 km² (874.7161 ha) dan elevasi hulu 77,1 m serta elevasi hilir 63,2 m, serta data curah hujan tahunan rata-rata tertinggi mencapai 204,16 mm, maka akan dilakukan perhitungan debit banjir rancangan. Perhitungan ini akan menggunakan koefisien limpasan C sebesar 0,45 yang ditentukan berdasarkan jenis penggunaan lahan di wilayah tersebut.

2. Hitung Debit Banjir Rencana:

$$Q=0,45 \times 0,1667 \times 874.7161= 66,4 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Evaluasi Dimensi Gorong-Gorong

Terdapat 20 unit gorong-gorong dengan ukuran masing-masing 200 cm x 200 cm. Untuk menentukan kapasitas masing-masing gorong-gorong, kita akan menggunakan rumus persamaan Manning dalam perhitungan debitnya, yaitu sebagai berikut:

$$Q=1/n \cdot AR^{2/3}S^{1/2}$$

Langkah-Langkah Perhitungan menghitung Luas Penampang (A):

Luas Penampang (A) adalah
 $A = \text{lebar} \times \text{tinggi} = 2 \text{ m} \times 2 \text{ m} = 4 \text{ m}^2$
 Menghitung Keliling Basah

$$(P) = \text{lebar} + \text{tinggi} + \text{tinggi} + \text{lebar} = 2\text{m} + 2\text{m} + 2\text{m} + 2\text{m} = 8\text{m}$$

Menghitung jari-jari hidrolis
 (R): $R = x = A/P = 4\text{m}^2/8\text{m} = 0,5 \text{ m}^2$

Menghitung Debit untuk Satu Gorong-gorong:

(n = 0,013) (koefisien Manning untuk beton), dan (S) untuk kemiringan adalah 0.0029167 (kemiringan 0,29167%) menghitung debit satu gorong-gorong, kemudian kalikan dengan jumlah gorong-gorong (20).

Menggunakan Rumus Manning untuk Aliran (Q):

Rumus Manning untuk menghitung debit aliran adalah:

$$Q=1/n \cdot AR^{2/3}S^{1/2}$$

Substitusi nilai-nilai ini:

$$Q = 1/0.013 \times 4 \times (0.5)^{2/3} \times (0,29167)^{1/2}$$

$$Q = 1/0.013 \times 4 \times 0.3536 \times 0.0316$$

$$Q = 76.923 \times 4 \times 0.0112$$

$$Q = 3.4 \text{ m}^3/\text{s}$$

Menghitung Total Aliran untuk 20 Gorong-gorong:

Total aliran untuk 20 gorong-gorong adalah:

$$Q_{\text{total}} = 20 \times 3.4 \text{ m}^3$$

$$Q_{\text{total}} = 68 \text{ m}^3/\text{s}$$

Jadi, total kapasitas aliran untuk 20 gorong-gorong dengan ukuran 2m x 2m dan panjang 24m adalah sekitar 68 m³/s. Debit untuk satu gorong-gorong Sekitar 3.4 m³/s detik dan untuk total debit untuk 20 Gorong-gorong sekitar 68 m³/s.

Dimensi Ideal Gorong-Gorong

Dari analisis di atas, jelas bahwa ukuran box culvert yang ada sudah memadai serta sudah mengakomodasi debit yang diharapkan. perlu dirancang ukuran gorong-gorong yang ideal untuk debit rencana yang telah ada agar menemukan dimensi yang lebih ideal dengan debit rencana yang telah ada:

1. Hitung Kecepatan Aliran

Rumus Kecepatan Aliran:

$$V=Q/A$$

Dengan demikian, jika Anda mengetahui debit aliran dan luas penampang, maka Anda dapat menghitung kecepatan aliran air menggunakan rumus di atas.

Perhitungan:

Kecepatan Aliran (v)

$$V=(68\text{m}^3/\text{s})/(4 \text{ m}^2)=17\text{m/s}$$

2. Perhitungan Luas Penampang Ideal

Debit aliran yang diberikan adalah 68 m³/s dan untuk menentukan luas penampang ideal, maka kita dapat menggunakan rumus yang sama.

Perhitungan:

Luas Penampang (A):

$$A=(68\text{m}^3/\text{s})/(17\text{m}/\text{s})=4\text{ m}^2$$

Dengan demikian, luas penampang ideal untuk menampung debit aliran 68 m³/s adalah sekitar 4 m².

3. Ukuran Gorong-gorong yang Sesuai

Adapun dimensi alternatif yang sesuai dengan debit aliran 68 m³/s adalah sekitar 4 m² adalah sebagai berikut:

a. Dimensi Alternatif I:

3 m x 3 m

Kapasitas: 26,975 m³/dt

Kemiringan: 0,001833

b. Dimensi Alternatif II: 2 kali dengan lebar 2 meter dan tinggi 2,5 meter

Kapasitas: 28,881 m³/dt

Kemiringan: kemiringan 0,29167

Dengan demikian, ukuran dimensi gorong-gorong yang sesuai untuk menampung debit aliran 68 m³/s dengan luas penampang sekitar 4 m² adalah ukuran idealnya 2 kali dengan lebar 2 meter dan tinggi 2,5 meter

V. KESIMPULAN

Dari analisis dan pembahasan di atas, dapat diambil beberapa kesimpulan:

1. Kesesuaian Dimensi Gorong-gorong

Dari hasil penelitian diketahui bahwa dimensi box culvert beton bertulang saat ini sudah cukup untuk menampung debit air pada saat hujan ekstrem terutama pada saat puncak hujan yang dapat mencapai debit banjir rencana sebesar 66,4 m³/detik dan debit total seluruh gorong-gorong sebesar 68 m³/detik. Berdasarkan perhitungan di atas, dimensi box culvert beton bertulang saat ini sudah memenuhi kapasitas yang dibutuhkan untuk menampung debit banjir rencana di wilayah Sub WP 1C Pengembangan Lahan. Namun perlu diperhatikan kemungkinan adanya perubahan pola curah hujan atau perluasan wilayah di masa mendatang yang mungkin memerlukan evaluasi ulang dan penyesuaian dimensi gorong-gorong.

2. Rekomendasi Dimensi Ideal

Untuk luas penampang ideal untuk menampung debit aliran 68 m³/s adalah sekitar 4 m². Tetapi kita perlu mempertimbangkan beberapa faktor, termasuk kecepatan aliran dan kemiringan saluran. Dengan demikian, ukuran dimensi yang ideal gorong-gorong yang sesuai untuk menampung debit aliran 68 m³/s dengan luas penampang sekitar 4 m²

adalah ukuran idealnya 2 kali dengan lebar 2 meter dan tinggi 2,5 meter

DAFTAR PUSTAKA

Yansyah, R. A., Kusumastuti, D. I., & Tugiono, S. (2016). Analisa hidrologi dan hidrolika saluran drainase box culvert di jalan Antasari Bandar Lampung menggunakan program HEC-RAS. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 3(1), 1-12.

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). (2021). Data Curah Hujan dan Informasi Iklim. Diakses dari www.bmkg.go.id.

Pemerintah Kabupaten Penajam Paser Utara. (2020). Laporan Proyek Land Development Sub-WP 1C. Penajam Paser Utara: Dinas Pekerjaan Umum.

Rahman, A., & Salim, U. (2020). Analisis Kapasitas Drainase untuk Mengurangi Risiko Banjir. *Jurnal Teknik Sipil*, 8(1), 45-56.

Binnie, C., & Williams, D. (2009). *Design of Urban Stormwater Management Systems* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill.

Maraqy, M. H. (2013). Analisa Kapasitas Drainase Pada Ruas Jalan Lay Kecamatan Tenggara Kabupaten Kutai Kartanegara. *KURVA MAHASISWA*, 1(2), 325-339.

Sosrodarsono, Suyono. 1980. *Hidrologi Untuk Pengairan*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta

Suyono, Suyono. 1994. *Perbaikan dan Pengaturan Sungai*. PT. Pradnya Paramita, Jakarta.

Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Penerbit Beta Offset, Yogyakarta.

Viessman, W., Lewis, GL., dan Knapp, JW. 1989. *Introduction to Hydrology*. Harper Collins Pub. New York.

Soewarno. 1991. *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai*. Penerbit Nova, Bandung