

Evaluasi Saluran Drainase Dalam Menanggulangi Banjir Pada Kawasan Jalan Gua Lourdes Kota Kupang

Marciana F. Yaya Laka¹, Wilhelmus Bunganaen¹, Dantje A. T. Sina¹
¹Jurusan Teknik Sipil, Universitas Nusa Cendana, Kota Kupang,

^{*}Penulis korespondensi (marcianalaka01@gmail.com)

Abstract

Drainage on the Gua Lourdes road, Oetete Village, Kupang City often experiences flooding during the rainy season. This condition causes flooding on the road and the area around the location. The evaluation was carried out to determine the ability of the drainage channel in the observation area to drain flood discharge at the reviewed return period, namely the return period of 2 years, 5 years, 10 years, 25 years, 50 years and 100 years. The length of the channel reviewed upstream is 143 m and downstream is 188 m which is divided into 7 segments. The evaluation was conducted by comparing the design flood discharge (Q) and the flood discharge in the existing drainage channel (Q_s). The results of the calculation of the design flood discharge (Q) are obtained by summing the rainwater flood discharge (Q_{ah}) with the Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph Method and the dirty water discharge (Q_{ak}). The results obtained at a return period of 2, 5, 10, 25, 50 and 100 years are 86,142 m³/det, 118,641 m³/det, 150,152 m³/det, 181,881 m³/det, 208,075 m³/det, and 234,292 m³/det. While the calculation results for the existing drainage channel flood discharge in each segment are 30,629 m³/det, 20,387 m³/det, 27,906 m³/det, 26,248 m³/det, 22,038 m³/det, 16,927 m³/det, 53,259 m³/det. So that after the evaluation, a condition is obtained where the design flood discharge is greater than the existing drainage channel discharge ($Q > Q_s$) for each return period. Therefore, the existing drainage channel cross section at the location under review cannot accommodate the design flood discharge at the 2, 5, 10, 25, 50 and 100 year return periods. For this reason, it is necessary to re-design the channel by using the most ideal channel dimension cross-section size at the 2-year return period so as to obtain a condition where the drainage channel can accommodate the design flood discharge capacity.

Keywords: Evaluation, Drainage, Flooding, Lourdes Cave Road, Nakayasu Synthetic Unit Hydrograph.

Abstrak

Drainase pada ruas jalan Gua Lourdes, Kelurahan Oetete, Kota Kupang sering mengalami luapan banjir pada waktu musim penghujan. Kondisi ini menyebabkan banjir pada jalan dan daerah disekitar lokasi tersebut. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan saluran drainase pada daerah pengamatan dalam mengalirkan debit banjir pada kala ulang yang ditinjau yaitu kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun. Panjang saluran yang ditinjau ke hulu 143 m dan ke hilir 188 m yang dibagi dalam 7 segmen. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan debit banjir rancangan (Q) dan debit banjir pada saluran drainase eksisting (Q_s). Hasil perhitungan debit banjir rancangan (Q) diperoleh dengan menjumlahkan debit banjir air hujan (Q_{ah}) dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu dan debit air kotor (Q_{ak}). Hasil yang diperoleh pada kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun adalah 86,142 m³/det, 118,641 m³/det, 150,152 m³/det, 181,881 m³/det, 208,075 m³/det, dan 234,292 m³/det. Sedangkan hasil perhitungan untuk debit banjir saluran drainase eksisting pada tiap segmen yaitu 30,629 m³/det, 20,387 m³/det, 27,906 m³/det, 26,248 m³/det, 22,038 m³/det, 16,927 m³/det, 53,259 m³/det. Sehingga setelah dilakukan evaluasi, diperoleh kondisi dimana debit banjir rancangan lebih besar daripada debit saluran drainase eksisting ($Q > Q_s$) untuk setiap kala ulang. Oleh karena itu, penampang saluran drainase eksisting pada lokasi yang ditinjau tidak dapat menampung debit banjir rancangan pada kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun. Untuk itu, perlu dilakukan perencanaan ulang pada saluran tersebut dengan menggunakan ukuran penampang dimensi saluran yang paling ideal yaitu pada kala ulang 2 tahun sehingga diperoleh kondisi dimana saluran drainase dapat menampung kapasitas debit banjir rancangan.

Kata kunci: Evaluasi, Drainase, Banjir, Jalan Gua Lourdes, Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Pendahuluan

Kota Kupang merupakan Ibukota Provinsi Nusa Tenggara Timur dengan peningkatan jumlah penduduk yang semakin pesat dari tahun ke tahun. Seiring dengan peningkatan jumlah penduduk, maka kebutuhan permukiman juga meningkat. Peningkatan kebutuhan meliputi tempat tinggal, sarana pendidikan, kesehatan dan perkembangan industri. Peningkatan permukiman mengakibatkan berkurangnya lahan terbuka sebagai tempat meresapnya air ke dalam tanah. Berkurangnya area resapan air menyebabkan drainase mengalami penyempitan alur akibat pemukiman yang semakin meluas. Penyempitan alur drainase yang berlangsung terus menerus dan disertai hujan dengan intensitas tinggi, menyebabkan air akan sulit meresap ke dalam tanah. Kondisi ini menyebabkan terjadinya luapan air dari badan sungai yang mengakibatkan limpasan (*run off*) sehingga terjadinya banjir di beberapa lokasi dan menggenangi jalan raya. Dikutip dari liputan6.com (2022), daerah yang sering terjadi banjir di Kota Kupang yaitu Kawasan Gua Lourdes, Kelurahan Sikumana, Kelurahan Kayu Putih, Kelurahan Oebufu, Kelurahan Merdeka, kawasan Tuak Daun Merah, Naimata, Penfui, dan Airnona.

Drainase pada Jalan Gua Lourdes yang berada di Kelurahan Oetete Kota Kupang hampir setiap tahun mengalami luapan banjir yang menyebabkan Jalan Cak Doko dan daerah sekitarnya mengalami genangan banjir. Pada bulan Februari 2022 dimana air meluap yang berasal dari drainase tersebut akibat curah hujan tinggi, menyebabkan kesulitan bagi warga sekitar dan pengendara yang melewati jalan tersebut. Padahal diketahui bahwa Jalan Cak Doko merupakan jalan primer dan memiliki topografi dataran rendah di sekitarnya, sehingga ketika mengalami banjir akan mengganggu aktivitas lalu lintas. Penyebab permasalahan banjir tersebut dikarenakan ketidakmampuan drainase dalam mengalirkan debit banjir. Berdasarkan data yang ada, saluran drainase yang merupakan bagian dari jalur sungai Merdeka. Luas *catchment area* pada daerah tinjauan di depan kawasan Gua Lourdes kearah hulu 13,527 km² dengan penampang drainase eksistingnya yang kecil serta gradien aliran yang cukup besar. Panjang saluran ke hulu 143 m dan panjang saluran ke hilir 188 m. Saluran drainase eksisting tersebut memiliki ukuran dimensi rata-rata untuk lebar permukaan 3,52 m, lebar dasar 3,09 m, dan tinggi saluran 2,29 m. Selain itu, berdasarkan pengamatan, kondisi alur drainase ini relatif kurang memadai karena pada beberapa bagian mengalami pendangkalan dan penyempitan akibat sedimentasi lumpur/tanah dan sampah yang mempengaruhi keefektifitasan drainase.

Berdasarkan uraian latar belakang yang ada, maka perlu dilakukan suatu kajian untuk mengevaluasi kinerja saluran drainase serta menentukan upaya penanganan terhadap permasalahan banjir tersebut.

Tinjauan Pustaka

Pengertian Drainase

Menurut Suripin (2004), drainase secara umum didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan/rembesan sehingga fungsi lahan/kawasan tidak terganggu.

Analisis Hidrologi

Perhitungan curah hujan daerah

Cara menentukan curah hujan rerata harian maksimum daerah dilakukan berdasarkan pengamatan beberapa stasiun pencatat hujan. Perhitungan curah hujan rata-rata maksimum ini dapat menggunakan beberapa metode, diantaranya menggunakan metode rata-rata aljabar, metode Isohiet, dan metode poligon Thiessen.

1. Metode Rata – Rata Aljabar (Aritmatik)

Metode ini merupakan perhitungan curah hujan rata-rata secara aljabar di dalam dan di sekitar daerah datar dengan menganggap bahwa sifat curah di daerah tersebut adalah seragam (*uniform*). Rumus perhitungan untuk metode ini sebagai berikut (Hadisusanto, N., 2010).

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \times (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)$$

Dimana:

- \bar{R} = Curah hujan rata – rata (mm)
 n = Jumlah titik – titik pos pengamatan
 R_1, R_2, \dots, R_n = Curah hujan di tiap titik pos pengamatan (mm)

2. Metode Garis Isohiet

Isohiet adalah garis kontur yang menghubungkan tempat-tempat yang mempunyai jumlah hujan yang sama. Perhitungan hujan rata-rata metode Isohiet dapat dilakukan dengan cara (Hadisusanto, N., 2010) sebagai berikut.

$$\bar{R} = \frac{A_1 \frac{I_1 + I_2}{2} + A_2 \frac{I_2 + I_3}{2} + \dots + A_n \frac{I_n + I_{n+1}}{2}}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Dimana:

- \bar{R} = Curah hujan rata-rata daerah (mm)
 A_1, A_2, \dots, A_n = Luas daerah yang dibatasi oleh garis isohiet ke 1 dan 2, 2 dan 3, ..., n dan n+1
 $I_1, I_2, \dots, I_n, I_{n+1}$ = Garis isohiet ke 1, 2, 3, ..., n, n+1.

3. Metode Poligon Thiessen

Perhitungan curah hujan rerata Metode Poligon Thiessen (Hadisusanto, N., 2010) sebagai berikut.

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Dimana:

- \bar{R} = Curah hujan rata-rata daerah (mm)
- A_1, A_2, \dots, A_n = Bagian daerah yang mewakili titik pengamatan 1, 2, ..., n
- n = Jumlah titik-titik (stasiun) pengamatan

Frekuensi curah hujan

Metode yang digunakan untuk menghitung distribusi frekuensi (Triatmodjo, 2008) antara lain Metode Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Gumbel Tipe I, dan Distribusi Log Pearson Tipe III.

1. Distribusi Normal

Berdasarkan distribusi Normal, dalam menghitung hujan rancangan apabila data yang digunakan berupa sampel maka dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$X_T = \bar{X} + K_T \times S$$

Dimana:

- X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi pada kala ulang T tahun (mm)
- \bar{X} = Nilai rata – rata data hujan (mm)
- K_T = Nilai kala ulang Variabel Reduksi Gauss
- S = Standar deviasi

2. Distribusi Log Normal

Berdasarkan distribusi Log Normal, dalam menghitung hujan rancangan apabila data yang digunakan berupa sampel maka dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + K_T \times S \text{ Log } X$$

Dimana:

- Log X_T = Nilai logaritma hujan rancangan dengan kala ulang T
- $\overline{\text{Log } X}$ = Nilai rata – rata dari Log X (mm)
- K_T = Nilai kala ulang Variabel Reduksi Gauss
- S Log X = Standar deviasi nilai logaritma

3. Distribusi Gumbel Tipe I

Berdasarkan Distribusi Gumbel Tipe I, dalam menghitung hujan rancangan apabila data yang digunakan berupa sampel maka dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$X_T = \bar{X} + K \times S$$

Dimana:

- X_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi pada kala ulang T tahun (mm)
- \bar{X} = Nilai rata – rata data hujan (mm)
- K = Koefisien frekuensi

$$K = \frac{(Y_T - Y_n)}{S_n}$$

Dimana:

- Y_n = Reduced mean
- S_n = Reduced standard
- Y_T = Reduced variate
- $Y_T = \ln \left(-\ln \frac{T_r - 1}{T_r} \right)$
- S = Standar deviasi

4. Distribusi Log-Pearson Tipe III

Berdasarkan distribusi Log-Pearson Tipe III, apabila data yang digunakan dalam perhitungan hujan rancangan berupa sampel maka dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\text{Log } X_T = \overline{\text{Log } X} + G \times S \text{ Log } X$$

Dimana:

- Log X_T = Nilai logaritma hujan rancangan dengan kala ulang T
- $\overline{\text{Log } X}$ = Nilai rata – rata dari Log X (mm)
- G = Koefisien frekuensi
- S Log X = Standar deviasi nilai logaritma

Uji persyaratan statistik

Sebelum menganalisis data hujan dengan salah satu distribusi di atas, perlu dicek parameter-parameter statistik yang memenuhi syarat seperti pada Tabel 1.

No.	Jenis Distribusi	Persyaratan
1	Normal	Cs = 0
2	Log Normal	Cs = 3 Cv
3	Gumbel Tipe I	Cs = 1,14 Ck = 5,4002
4	Log Pearson Tipe III	Selain dari nilai di atas

Uji kecocokan

Diperlukan pengujian parameter untuk menguji kecocokan (*the goodness of fittest test*) distribusi frekuensi sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut. Pengujian parameter yang sering dipakai adalah Uji Chi-kuadrat dan Smirnov-Kolmogrov (Suripin, 2004).

Koefisien limpasan (C)

Koefisien limpasan (*run off*) ditentukan berdasarkan tata guna lahan daerah tangkapan. Koefisien ini berkisar antara 0-1 yang disesuaikan dengan kepadatan penduduk di daerah tersebut. Semakin padat penduduknya maka koefisien limpasannya akan semakin besar sehingga debit air yang harus dialirkan oleh saluran drainase tersebut akan semakin besar pula (Suripin, 2004). Perhitungan koefisien limpasan dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$C = \frac{\sum (C_i) (A_i)}{A_{\text{total}}}$$

Dimana:

- C = Koefisien limpasan
 C_i = Koefisien limpasan penggunaan lahan tertentu
 A_i = Luas penggunaan lahan tertentu (ha atau km²)
 A_{total} = Luas total *catchment area* (ha atau km²)

Distribusi hujan jam – jaman

Waktu terjadinya hujan di Indonesia tidak lebih dari 7 jam, maka dalam perhitungan distribusi curah hujan efektif jam-jaman digunakan curah hujan terpusat selama 5 jam sehari. Untuk pendekatan ini digunakan rumus yang dikembangkan oleh Ishiguro pada tahun 1953 di Jepang, yang dikenal dengan rumus Mononobe dalam (Sutapa, 2005). Rumus empiris tersebut dapat ditulis dengan persamaan berikut.

$$I_T = \frac{R_{24}}{T} \times \left(\frac{T}{t}\right)^{2/3}$$

Dimana:

- I_T = Intensitas curah hujan (mm/jam)
 R₂₄ = Curah hujan maksimum harian selama 24 jam (mm)
 T = Waktu hujan terpusat (5 jam)
 t = Lamanya curah hujan (jam)

Rumus yang digunakan untuk perhitungan “Curah hujan ke T” adalah sebagai berikut.

$$R_T = (t \times I_T) - ((T - 1) \times I_{(T-1)})$$

Dimana:

- R_T = Hujan Rata – rata pada jam ke T
 I_T = Hujan Rata – rata sampai jam ke T

Debit air hujan

Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu merupakan salah satu metode yang umum digunakan di Indonesia untuk mendapatkan hidrograf banjir rancangan dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Penelitian hidrograf banjir dengan menggunakan metode HSS Nakayasu ini dilakukan pertama kali di Jepang oleh Dr. Nakayasu pada tahun 1940. HSS Nakayasu dikembangkan berdasarkan hasil pengamatan dari hidrograf satuan alami yang berasal dari sejumlah besar DAS yang ada di Jepang.

Untuk membuat suatu hidrograf banjir pada sungai, perlu dicari karakteristik atau parameter daerah pengaliran tersebut. Adapun beberapa karakteristik parameter daerah alirannya (Fattah, 2018), seperti:

- Tenggang waktu dari permukaan hujan sampai puncak hidrograf (*time of peak*).
- Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time lag*).

- Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*).
- Luas daerah tangkapan air (DAS).
- Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*)
- Koefisien pengaliran

Rumus dari HSS Nakayasu (Syarifudin, 2017) adalah:

$$Q_p = \frac{C \cdot A \cdot R_0}{3,6(0,3 \cdot T_p + T_{0,3})}$$

Dimana:

- Q_p = Debit puncak banjir (m³/det)
 C = Koefisien pengaliran
 A = Luas daerah tangkapan sampai outlet (km²)
 R₀ = 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

Untuk menentukan T_p dan T_{0,3} digunakan pendekatan rumus sebagai berikut:

- T_p = T_g + 0,8 T_r
 T_{0,3} = α T_g
 T_r = 0,5 T_g s/d T_g

Dimana:

- 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 (jam)
 T_g = *time lag* yaitu waktu antara hujan sampai debit puncak banjir (jam).
 T_r = Durasi hujan (jam)

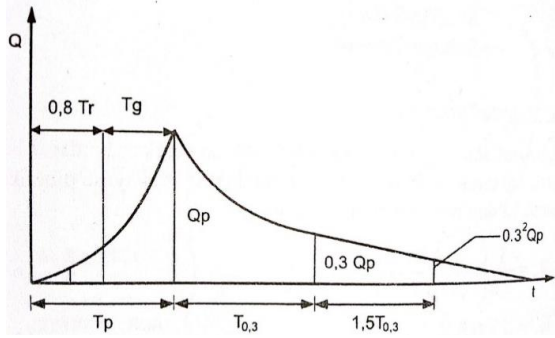
T_g dihitung dengan ketentuan sebagai berikut:

- Sungai dengan panjang alur L < 15 km:
 $T_g = 0,21 L^{0,7}$
- Sungai dengan panjang alur L > 15 km:
 $T_g = 0,4 + 0,058 L$

Dimana:

- L = Panjang sungai
 α = Parameter hidrograf,
 $= 0,47 (A \times L)^{0,25} / T_g$

Bentuk Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu dapat dilihat pada Gambar 1 (Suripin, 2004: 186).



Gambar 1 Bentuk Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

a. Pada waktu naik: $0 < t < T_p$

$$Q_a = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} Q_p$$

Dimana:

Q_a = Limpasan sebelum mencari debit puncak (m^3/det)

t = Waktu (jam)

b. Pada waktu turun (*decreasing limb*)

1) Selang nilai: $T_p \leq t \leq (T_p + T_{0,3})$

$$Q_{d_1} = Q_p \times 0,3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0,3}}}$$

Dimana Q_{d_1} adalah limpasan pertama setelah debit puncak (m^3/det)

2) Selang nilai: $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q_{d_2} = Q_p \times 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5T_{0,3})}{1,5 \times T_{0,3}}}$$

Dimana Q_{d_2} adalah limpasan kedua setelah debit puncak (m^3/det)

3) Selang nilai: $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

$$Q_{d_3} = Q_p \times 0,3^{\frac{(t-T_p+1,5T_{0,3})}{2 \times T_{0,3}}}$$

Dimana Q_{d_3} adalah limpasan terakhir setelah debit puncak (m^3/det)

Debit Air Kotor

Diperkirakan besarnya air buangan yang masuk ke saluran pengumpul air buangan sebesar 70% dari kebutuhan standar air minum (Suhardjono, 1984). Rumus yang digunakan untuk perhitungan debit air kotor adalah sebagai berikut.

$$Q_{ak} = \frac{P_n \times (q \times 70\%)}{A}$$

Dimana:

Q_{ak} = Debit air kotor (liter/detik/ km^2)

P_n = Jumlah penduduk (orang)

q = Jumlah kebutuhan air bersih (liter/detik/orang)

A = Luas daerah berpengaruh (km^2)

Menurut Suhardjono (1984), perhitungan untuk mencari pertumbuhan jumlah penduduk sebagai berikut.

1. Metode Aritmatik

Rumus untuk perhitungan proyeksi jumlah penduduk Metode Aritmatik yaitu:

$$P_n = P_0(1 + nr)$$

Dimana:

P_n = Jumlah penduduk pada tahun rancangan

P_0 = Jumlah penduduk pada tahun dasar

n = Selisih tahun proyeksi terhadap tahun dasar

r = Laju pertumbuhan penduduk

$$r = \frac{\text{Jmlh pend. pd thn dasar} - \text{Jmlh pend. 1 thn sblm thn dasar}}{\text{Jmlh pend. 1 thn sblm thn dasar}} \times 100\%$$

2. Metode Geometri

Rumus untuk perhitungan proyeksi jumlah penduduk metode geometri yaitu:

$$P_n = P_0 \times (1 + r)^n$$

Dimana:

P_n = Jumlah penduduk pada tahun rancangan

P_0 = Jumlah penduduk pada tahun dasar

n = Selisih tahun proyeksi terhadap tahun dasar

r = Laju pertumbuhan penduduk

3. Metode Eksponensial

Rumus untuk perhitungan proyeksi jumlah penduduk metode geometri yaitu:

$$P_n = P_0 \times e^{r \cdot n}$$

Dimana:

P_n = Jumlah penduduk pada tahun rancangan

P_0 = Jumlah penduduk pada tahun dasar

e = Bilangan eksponensial = 2,7182818

r = Angka pertumbuhan penduduk

n = Selisih tahun proyeksi terhadap tahun dasar

Perhitungan Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan adalah debit banjir yang digunakan sebagai dasar untuk merancang tingkat pengamanan bahaya banjir pada suatu kawasan dengan penerapan angka-angka kemungkinan terjadinya banjir terbesar. Debit rancangan (Q) adalah jumlah dari debit air hujan (Q_{ah}) dengan menggunakan metode HSS Nakayasu dan debit air buangan rumah tangga (Q_{ak}).

$$Q = Q_{ah} + Q_{ak}$$

Dimana:

Q = Debit banjir rancangan (m^3/det)

Q_{ah} = Debit air hujan (m^3/det)

Q_{ak} = Debit air kotor (m^3/det)

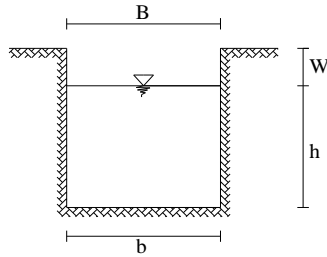
Analisis Hidrolika

Dimensi penampang saluran

Dimensi saluran dihitung dengan cara menggunakan rumus – rumus untuk perhitungan aliran seragam dengan mempertimbangkan efisiensi hidrolis, kepraktisan saluran dan ekonomis saluran (Suripin, 2004). Dimensi penampang saluran drainase untuk berbagai

macam bentuk dapat ditentukan dari persamaan berikut.

1. Penampang saluran berbentuk persegi
 Penampang saluran berbentuk persegi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Penampang Saluran Persegi Panjang

- a. Luas penampang basah (A)

$$A = b \times h$$

- b. Keliling basah (P)

$$P = b + 2h$$

- c. Jari – jari hidrolis (R)

$$R = \frac{A}{P}$$

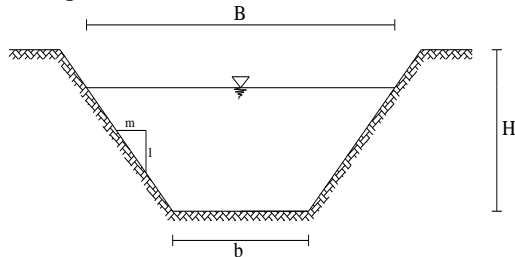
- d. Tinggi jagaan (W)

$$W = \sqrt{0,5h}$$

Dimana:

- B = Lebar permukaan (m)
- b = Lebar dasar saluran (m)
- W = Tinggi jagaan (m)
- h = Tinggi air di dalam saluran (m)

2. Penampang saluran berbentuk trapesium
 Penampang saluran berbentuk persegi dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Penampang Saluran Trapesium

- a. Kemiringan saluran (m)

$$\frac{l}{m} = \frac{H}{(B - b)/2}$$

- b. Luas penampang basah (A)

$$A = (b + mh)h$$

- c. Keliling basah (P)

$$P = b + 2h\sqrt{m^2 + 1}$$

- d. Jari – jari hidrolis (R)

$$R = \frac{A}{P}$$

- e. Tinggi jagaan (W)

$$W = \sqrt{0,5h}$$

Dimana:

- B = Lebar permukaan (m)
- b = Lebar dasar saluran (m)
- W = Tinggi jagaan (m)
- h = Tinggi air di dalam saluran (m)
- H = Kedalaman saluran (m)
- m = kemiringan saluran

Kemiringan dasar saluran

Kemiringan dasar saluran digunakan dalam menentukan nilai waktu konsentrasi dan mempengaruhi kecepatan aliran air dalam saluran (Suripin, 2004). Kemiringan dasar saluran dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$S_0 = \frac{\Delta t}{L} = \frac{(t_2 - t_1)}{L}$$

Dimana:

- S_0 = Kemiringan dasar saluran
- Δt = Perbedaan ketinggian dasar saluran antara hilir dan hulu sungai (m)
- t_2 = Tinggi tanah dibagian tertinggi (m)
- t_1 = Tinggi tanah dibagian terendah (m)
- L = Panjang saluran (m)

Kecepatan Aliran

Kapasitas saluran dihitung berdasarkan kondisi penampang melintang saluran pada lokasi penampang yang ditentukan. Kapasitas saluran diukur pada setiap titik yang mewakili masing-masing daerah tangkapan air. Kapasitas didapatkan dengan cara mengalikan luas penampang saluran dengan kecepatan. Kecepatan setiap penampang dihitung berdasarkan Rumus Manning (Chow, 1997) dalam (Suripin, 2004).

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S_0^{\frac{1}{2}}$$

Dimana:

- V = Kecepatan aliran (m/det)
- n = Koefisien Kekasaran Manning
- R = Jari-jari hidrolis (m)
- A = Luas penampang basah (m²)
- P = Keliling penampang basah (m)
- S_0 = Kemiringan dasar saluran

Debit Saluran

Setelah didapatkan besarnya kecepatan saluran, nilai tersebut dikalikan dengan luasan penampang saluran (A) yang formula perhitungannya adalah sebagai berikut.

$$Q_s = V \times A$$

Dimana:

- Q_s = Debit pada saluran (m³/det)
- V = Kecepatan aliran (m/det)
- A = Luas penampang basah (m²)

Evaluasi Kapasitas Drainase Eksisting

Perhitungan dimensi saluran didasarkan pada debit yang harus ditampung oleh saluran (Q_s dalam

m³/det) lebih besar atau sama dengan debit rancangan yang diakibatkan oleh debit banjir rancangan (Q dalam m³/det). Kondisi tersebut dibuat dalam pertidaksamaan berikut.

1. Jika $Q_s > Q$ berarti saluran drainase eksisting memenuhi syarat (aman) dan saluran tidak perlu dilakukan perbaikan.
2. Jika $Q_s < Q$ berarti saluran drainase eksisting tidak memenuhi syarat dan harus dilakukan perbaikan.

Berdasarkan pertidaksamaan di atas solusi yang tepat untuk saluran rencana, dapat dikelompokkan ke dalam 2 (dua) alternatif, yaitu:

1. Alternatif 1

Mempertahankan saluran eksisting yang sudah ada, dimana debit banjir rancangan lebih kecil dari debit aliran pada dimensi saluran eksisting ($Q_s > Q$) sehingga tidak perlu dilakukan perencanaan saluran yang baru.

2. Alternatif 2

Memperbesar dimensi saluran, dimana debit banjir rancangan lebih besar dari debit aliran pada dimensi saluran eksisting ($Q_s < Q$) sehingga perlu dilakukan perbaikan pada saluran tersebut.

Metode

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada kawasan Jalan Gua Lourdes, Kelurahan Oetete, Kecamatan Oebobo, Kota Kupang, Provinsi Nusa Tenggara Timur (10°09'59,86" LS – 123°35'39,98" BT) dengan luas *catchment area*nya 13,527 km².

Jenis Data

1. Data primer

Data primer diperoleh dari studi lapangan pada ruas drainase yang ada di Kawasan Jalan Gua Lourdes yaitu berupa hasil dokumentasi, data hasil pengukuran langsung tentang kondisi drainase (panjang, kemiringan dan dimensi saluran) serta pengukuran elevasi terjadinya luapan banjir pada daerah tinjauan.

2. Data sekunder

Data sekunder yang dipakai dalam penelitian ini sebagai berikut :

- a. Data curah hujan tahun 2003 – 2022 yaitu pada Stasiun Lasiana yang diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Lasiana.
- b. Data *Digital Elevation Model (DEM)* yang diperoleh dari *Website* Badan Geospasial Indonesia.
- c. Peta tata guna lahan yang diperoleh dari peta per wilayah dalam *Website* Badan Geospasial Indonesia.
- d. Jumlah penduduk Kota Kupang yang diperoleh dari *Website* BPS Kota Kupang.

Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Theodolite

Theodolite digunakan untuk mengukur kemiringan dasar saluran eksisting pada Segmen A, Segmen B, segmen C, Segmen E, Segmen F, dan Segmen G. Theodolite yang digunakan yaitu Theodolite Topcon DT – 200.

2. GPS

GPS digunakan dalam menentukan titik – titik pengamatan banjir dan untuk menentukan kemiringan dasar saluran eksisting pada Segmen D. GPS yang digunakan yaitu GPS Garmin 62.

3. Meteran

Meteran yang digunakan yaitu meteran 5 meter yang berfungsi untuk mengukur dimensi saluran eksisting pada lokasi penelitian.

4. Software ArcGIS v.10.5

ArcGIS digunakan dalam menganalisis *catchment area* dan penentuan tata guna lahan lokasi penelitian.

Teknik Analisis Data

Data yang diperoleh kemudian dianalisis dengan menggunakan metode dan rumus sesuai hasil studi pustaka. Adapun tahap-tahap analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut.

1. Analisis hidrologi

Analisis hidrologi terdiri dari:

- a. Menghitung frekuensi curah hujan dengan menggunakan empat metode yaitu Metode Distribusi Normal, Metode Distribusi Log Normal, Metode Distribusi Gumbel Tipe I, dan Metode Distribusi Log Pearson Tipe III.
- b. Menentukan Koefisien C. Koefisien C merupakan koefisien yang tergantung pada tataguna lahan dan kelas kemiringan lereng yang terdapat pada wilayah *catchment area*. Penentuan luas daerah dan tataguna lahan menggunakan aplikasi software ArcGIS v.10.5 dan Tabel Nilai Koefisien Limpasan (C) untuk berbagai jenis tutupan lahan.
- c. Menentukan debit air hujan (Q_{ah}) dengan Metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu pada berbagai kala kala ulang.

2. Menentukan debit air kotor

Perhitungan debit air kotor terdiri dari:

- a. Menghitung proyeksi jumlah penduduk dengan tiga metode yaitu Metode Aritmatik, Metode Geometri, dan Metode Eksponensial.
- b. Menghitung debit air kotor penduduk (Q_{ak})

3. Menentukan debit banjir rancangan (Q)

Perhitungan debit banjir rancangan dihitung dengan menjumlahkan debit air hujan (Q_{ah}) dan debit air kotor (Q_{ak}).

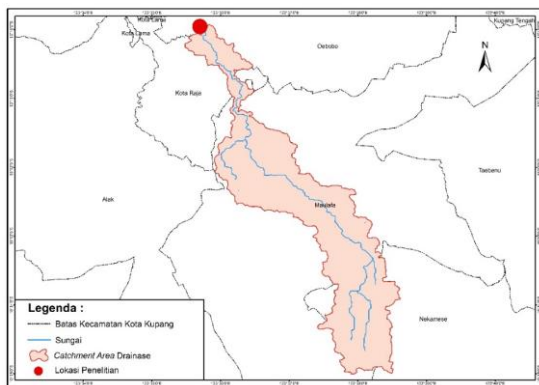
4. Analisis Hidrolika
 Analisis hidrolika terdiri dari:
- Menentukan kapasitas penampang saluran eksisting (Q_s).
 - Mengevaluasi kapasitas drainase eksisting.

Hasil dan Pembahasan

Deskripsi Daerah Penelitian

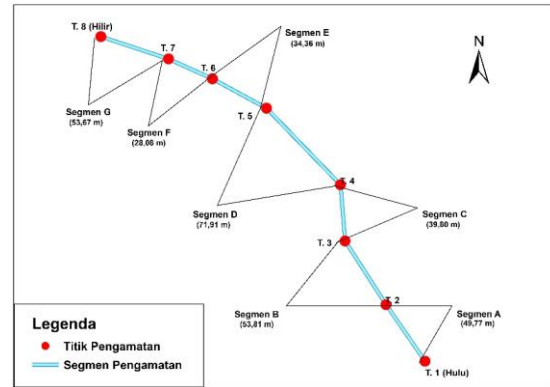
Catchment area pada penelitian ini masuk dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) Merdeka dimana sungai ini mengalir di wilayah bagian tengah Kota Kupang. Berdasarkan analisis data DEM dengan menggunakan aplikasi *ArcGis v.10.5*, maka *Catchment area* yang mempengaruhi luapan banjir di lokasi kajian dapat dilihat pada Gambar 4. Daerah penelitian untuk mengevaluasi sistem drainase ini berada di Kelurahan Oetete, Kecamatan Oebobo, Kota Kupang dengan luas *catchment areanya* 13,527 km² dan panjang sungainya 12,668 km. Batas fisik lokasi penelitian berbatasan dengan beberapa wilayah yakni:

- Sebelah Utara : berbatasan dengan Kecamatan Oebobo
 Sebelah Selatan: berbatasan dengan Kecamatan Oebobo
 Sebelah Barat : berbatasan dengan Kecamatan Kota Raja
 Sebelah Timur : berbatasan dengan Kecamatan Oebobo



Gambar 4 *Catchment Area* Penelitian

Titik lokasi pengamatan banjir ditentukan berdasarkan saluran yang sering terjadinya luapan. Panjang saluran yang ditinjau dari Jalan Cak Doko (samping Gua Lourdes) 331 m dengan jumlah titik yang diambil sebanyak 8 titik. Titik–titik tersebut dibagi dalam beberapa segmen dimana penamaan segmen dari hulu ke hilir yaitu segmen A, B, C, D, E, F, dan G. yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Penamaan Segmen pada Lokasi Pengamatan

Frekuensi curah hujan

Berdasarkan hasil perhitungan frekuensi curah hujan rancangan untuk setiap kala ulang dengan berbagai metode distribusi yang ada, maka hasil rekapitulasi perhitungan curah hujan rancangan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Curah Hujan Rancangan Dengan Berbagai Metode Distribusi

No.	Kala Ulang (Tahun)	Curah Hujan untuk Setiap Distribusi (mm)			
		Normal	Log Normal	Gumbel Tipe I	Log Pearson Tipe III
1	2	110,802	97,724	102,854	111,620
2	5	155,965	152,793	160,192	153,749
3	10	179,623	193,098	198,149	194,592
4	25	202,653	242,524	246,123	235,694
5	50	221,023	290,874	281,708	269,559
6	100	236,077	337,602	317,030	303,030

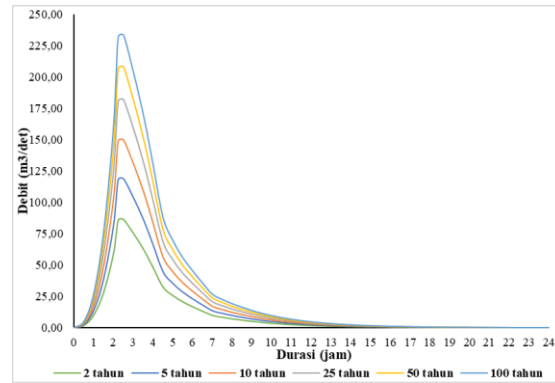
Debit air hujan (Q_{ah})

Perhitungan debit air hujan menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu dengan kala ulang yang diperhitungkan dalam analisis debit banjir rancangan ini adalah 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun. Hasil perhitungan superposisi HSS Nakayasu untuk debit maksimum kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun maka dibuat rekapitulasi hasil perhitungan dan grafik yang dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 6.

Tabel 3 Rekapitulasi Debit Maksimum Kala Ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun

t (jam)	Kala Ulang					
	2 tahun	5 tahun	10 tahun	25 tahun	50 tahun	100 tahun
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,5	1,817	2,502	3,167	3,836	4,387	4,932
1	10,061	13,859	17,540	21,245	24,298	27,315
1,5	28,198	38,840	49,159	59,542	68,097	76,552
2	59,219	81,569	103,238	125,044	143,010	160,768

t (jam)	Kala Ulang					
	2 tahun	5 tahun	10 tahun	25 tahun	50 tahun	100 tahun
2,24	85,511	117,785	149,075	180,563	206,506	232,148
2,5	86,098	118,593	150,097	181,801	207,922	233,740
3	75,243	103,641	131,174	158,880	181,708	204,271
3,5	62,807	86,513	109,495	132,622	151,678	170,511
3,94	49,933	68,779	87,050	105,437	120,586	135,560
4	41,631	57,343	72,576	87,906	100,536	113,020
4,5	32,455	44,704	56,580	68,530	78,377	88,109
5	25,653	35,335	44,722	54,168	61,951	69,643
5,5	20,596	28,370	35,906	43,490	49,739	55,915
6	16,705	23,010	29,123	35,274	40,343	45,352
6,49	13,230	18,224	23,065	27,937	31,951	35,918
6,5	11,682	16,091	20,365	24,667	28,211	31,714
7	9,835	13,547	17,146	20,767	23,751	26,700
7,5	8,308	11,443	14,483	17,543	20,063	22,554
8	7,057	9,720	12,302	14,901	17,042	19,158
8,5	6,027	8,302	10,507	12,726	14,555	16,362
9	5,049	6,955	8,802	10,662	12,194	13,708
9,5	4,230	5,827	7,374	8,932	10,215	11,484
10	3,544	4,881	6,178	7,483	8,558	9,621
10,5	2,969	4,090	5,176	6,269	7,170	8,060
11	2,487	3,426	4,336	5,252	6,007	6,753
11,5	2,084	2,870	3,633	4,400	5,032	5,657
12	1,746	2,405	3,043	3,686	4,216	4,739
12,5	1,463	2,015	2,550	3,088	3,532	3,971
13	1,225	1,688	2,136	2,587	2,959	3,326
13,5	1,027	1,414	1,790	2,168	2,479	2,787
14	0,860	1,185	1,499	1,816	2,077	2,335
14,5	0,720	0,992	1,256	1,521	1,740	1,956
15	0,604	0,831	1,052	1,275	1,458	1,639
15,5	0,506	0,697	0,882	1,068	1,221	1,373
16	0,424	0,584	0,739	0,895	1,023	1,150
16,5	0,355	0,489	0,619	0,749	0,857	0,964
17	0,297	0,410	0,518	0,628	0,718	0,807
17,5	0,249	0,343	0,434	0,526	0,602	0,676
18	0,209	0,287	0,364	0,441	0,504	0,567
18,5	0,175	0,241	0,305	0,369	0,422	0,475
19	0,146	0,202	0,255	0,309	0,354	0,398
19,5	0,123	0,169	0,214	0,259	0,296	0,333
20	0,103	0,142	0,179	0,217	0,248	0,279
20,5	0,086	0,119	0,150	0,182	0,208	0,234
21	0,072	0,099	0,126	0,152	0,174	0,196
21,5	0,060	0,083	0,105	0,128	0,146	0,164
22	0,051	0,070	0,088	0,107	0,122	0,137
22,5	0,042	0,058	0,038	0,090	0,102	0,115
23	0,036	0,049	0,033	0,075	0,086	0,097
23,5	0,030	0,041	0,030	0,063	0,072	0,081
24	0,025	0,034	0,031	0,053	0,060	0,068
MAX	86,098	118,593	150,097	181,801	207,922	233,740



Gambar 6 Rekapitulasi Hidrograf Debit Maksimum HSS Nakayasu

Debit air kotor (Q_{ak})

Perhitungan debit air kotor selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Perhitungan Debit Air Kotor

No.	Kala Ulang	Pertumbuhan Penduduk (jiwa/km ²)	Debit Air Kotor Kota (m ³ /det/km ²)	Debit Air Kotor (m ³ /det)
1	2	2719	0,003	0,045
2	5	2936	0,004	0,048
3	10	3338	0,004	0,055
4	25	4904	0,006	0,081
5	50	9312	0,011	0,153
6	100	33574	0,041	0,552

Perhitungan Debit Banjir Rancangan (Q)

Perhitungan debit banjir selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Perhitungan Debit Banjir Rancangan

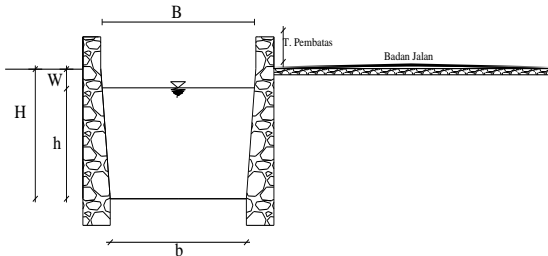
No.	Kala Ulang	Debit Air Hujan (m ³ /det)	Debit Air Kotor (m ³ /det)	Debit Banjir Rancangan (m ³ /det)
1	2	86,098	0,045	86,142
2	5	118,593	0,048	118,641
3	10	150,097	0,055	150,152
4	25	181,801	0,081	181,881
5	50	207,922	0,153	208,075
6	100	233,740	0,552	234,292

Analisis Hidrolika

Jenis penampang saluran eksisting yang dianalisis merupakan penampang saluran trapesium dengan tebal pasangan batunya adalah 40 cm. Data serta gambar model penampang saluran eksisting pada lokasi penelitian yang akan di analisis dapat dilihat pada Tabel 6 dan Gambar 7.

Tabel 6 Dimensi Penampang Drainase Pada Lokasi Tinjauan

No. Segmen	Dimensi Saluran Eksisting	Kondisi Eksisting Saluran			
		B	b	H	
1	A	3,20	2,70	2,40	Pasangan batu, disiar
2	B	3,40	2,90	2,40	Pasangan batu, disiar
3	C	3,80	3,30	2,50	Pasangan batu, disiar
4	D	3,20	2,70	2,40	Pasangan batu diplester
5	E	4,00	3,70	1,80	Pasangan batu, disiar
6	F	3,60	3,30	1,50	Pasangan batu, disiar
7	G	3,50	3,00	3,00	Pasangan batu, disiar



Gambar 7 Model Penampang Saluran Eksisting Tiap Segmen A, B, dan C

Hasil perhitungan debit kapasitas saluran eksisting pada setiap segmen dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Hasil Perhitungan Debit Kapasitas Saluran Pada Tiap Segmen

No.	Segmen	Q_s (eksisting) m ³ /det
1	A	30,629
2	B	20,387
3	C	27,906
4	D	26,248
5	E	22,038
6	F	16,927
7	G	53,259

Evaluasi Kapasitas Drainase Eksisting

Berdasarkan hasil analisis hidrologi dan hidrolika di atas, selanjutnya dilakukan analisis perbandingan antar hasil nilai debit rancangan pada berbagai kala ulang dan debit saluran drainase eksisting. Jika debit saluran drainase eksisting lebih kecil dari debit banjir rancangan maka dapat dipastikan saluran tersebut melimpas ($Q_s(\text{eksisting}) < Q$). Sebaliknya jika debit saluran drainase eksisting lebih besar daripada debit banjir rancangan maka saluran drainase tidak meluap, ($Q_s(\text{eksisting}) > Q$).

Redesain saluran drainase eksisting

Perencanaan dimensi penampang saluran rencana harus mampu menampung debit banjir rancangan, dimana debit saluran rencana harus lebih besar dari debit banjir kala ulang ($Q_s(\text{rencana}) > Q$). Namun, melihat kondisi di lapangan, pelebaran pada dimensi penampang yang direncanakan tidak dapat dilakukan karena posisi pemukiman warga yang terlalu dekat dengan saluran drainase seperti yang

dapat dilihat pada Gambar 8. Sehingga dalam penelitian ini, redesign yang dapat dilakukan yaitu pengerukan atau memperdalam saluran drainase. Lebar salurannya disesuaikan dengan lebar saluran eksisting yang paling kecil dari ketujuh segmen yang ditinjau. Dalam redesign ini, kapasitas debit saluran menggunakan debit banjir rancangan kala ulang 2 tahun.



Gambar 8 Kondisi Drainase yang Dekat dengan Pemukiman

Untuk perencanaan redesign saluran yang melimpas ditentukan dengan cara "TRIAL AND ERROR", dimana dimensi penampang drainase pada lokasi yang ditinjau direncanakan sama untuk lebar dasar salurannya (b) dan tinggi muka airnya (h) dibuat bervariasi.

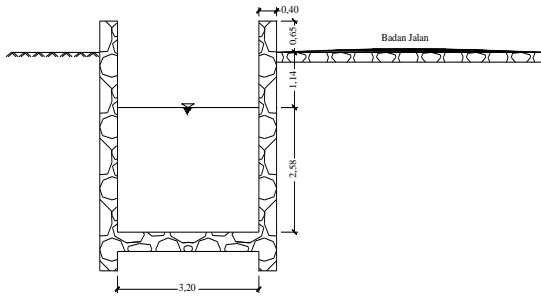
Bentuk penampang = Persegi
 Lebar dasar saluran (b) = 3,20 m
 Koefisien Kekasaran Manning (n) = 0,02 (Pasangan batu diplester)

Debit kapasitas saluran rencana (Q_s) = 86,142 m³/det

Debit kapasitas saluran rencana ($Q_s(\text{rencana})$) dengan variasi nilai tinggi muka air (h) harus lebih besar dibanding debit banjir rancangan pada kala ulang 2 tahun (Q). Perbandingan nilai debitnya dapat dilihat pada Tabel 8 dan gambar potongan melintang untuk Segmen A dapat dilihat pada Gambar 8.

Tabel 8 Hasil Perbandingan Debit Rancangan (Q) Kala Ulang 2 Tahun dan Debit Saluran Rencana (Q_s)

No. Segmen	h	Q_s (rencana) (m ³ /det)	ΔQ (m ³ /det)	Q 2 tahun	
				86,142	Hasil
1	A	2,58	86,142	-0,0001	Aman
2	B	3,87	86,142	-0,0001	Aman
3	C	3,58	86,142	-0,0001	Aman
4	D	3,50	86,142	-0,0002	Aman
5	E	3,01	86,142	-0,0002	Aman
6	F	2,56	86,142	-0,0001	Aman
7	G	2,45	86,142	-0,0001	Aman



Gambar 9 Penampang Melintang Saluran Rencana Segmen A

Berdasarkan hasil redesain untuk setiap kala ulang yang diperoleh di atas, dapat diketahui terdapat berbagai variasi nilai tinggi muka air (h) untuk memenuhi persamaan $Q_s > Q$ agar saluran drainase dapat dikatakan aman.

Kesimpulan

1. Besar debit banjir rancangan (Q) yang diperoleh dari jumlah debit air hujan (Q_{ah}) dan debit air kotor (Q_{ak}) dengan kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun adalah 86,142 m³/det, 118,641 m³/det, 150,152 m³/det, 181,881 m³/det, 208,075 m³/det, dan 234,292 m³/det.
2. Hasil evaluasi dengan melakukan perbandingan antara debit banjir rancangan dan debit saluran drainase eksisting diperoleh kondisi dimana debit banjir rancangan lebih besar daripada debit saluran drainase eksisting ($Q > Q_s$) untuk setiap kala ulang. Maka, dapat diketahui bahwa penampang drainase eksisting pada lokasi yang ditinjau tidak dapat menampung debit banjir rancangan dengan kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun pada *catchment area*. Oleh karena itu, perlu dilakukan perencanaan ulang (redesain) pada saluran tersebut dengan menggunakan ukuran penampang dimensi saluran yang paling ideal yaitu pada kala ulang 2 tahun dimana penampang yang direncanakan berbentuk persegi dengan lebar dasar saluran (b) = 3,2 m dan tinggi saluran (H) yang dibuat bervariasi. Ukuran penampang dimensi saluran hasil redesain dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9 Penampang Dimensi Saluran Hasil Redesain

No.	Segmen	Dimensi Saluran Redesain (H)	
		b	H
1	A		3,71
2	B		5,26
3	C		4,92
4	D	3,20	4,83
5	E		4,24
6	F		3,69
7	G		3,55

Daftar Pustaka

- Fattah, S. 2018. *Analisis Penggunaan Medote HSS Nakayasu untuk Pengendalian Banjir Di Kelurahan Sei Sikambing C di Kecamatan Helvetia Kota Medan*. Skripsi. Medan: Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Hadisusanto, N. (2010). *Aplikasi Hidrologi*, Malang: Jogja Mediautama.
- liputan6.com. (2022). *Banjir Merendam Kota Kupang, Banyak Drainase Tersumbat Sampah*. Retrieved October 12, 2022, from <https://www.liputan6.com/regional/read/4895326/banjir-merendam-kota-kupang-banyak-drainase-tersumbat-sampah>.
- Suhardjono. (1984). *Drainase*. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset
- Syarifudin. 2017. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Sutapa, I Wayan, 2005. *Kajian Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Untuk Perhitungan Debit Banjir Rancangan di Daerah Aliran Sungai Kodina*. Majalah Ilmiah Mektek VII No. 1. Palu: Universitas Tadulako.
- Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.