

Contents list available at journal.uib.ac.id**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

Analysis of the Capacity and Effectiveness of Urban Drainage System

Analisis Kapasitas Dan Efektivitas Sistem Saluran Drainase Perkotaan

Jody Martin Ginting¹, Elisa Eriany Pardosi², Sri Anggreini³

^{1,2,3}Teknik Sipil, Teknik, Universitas Internasional Batam

Email korespondensi: elysaeriyani5@gmail.com

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
<p>Kata kunci :</p> <p>Drainase perkotaan HEC-RAS GEV Debit rencana Kapasitas saluran</p>	<p>Penelitian ini mengevaluasi kapasitas saluran drainase di Jalan Ocarina, Kota Batam. Analisis hidrologi menggunakan tiga distribusi probabilitas menunjukkan bahwa distribusi <i>Generalized Extreme Value</i> (GEV) adalah yang paling sesuai berdasarkan uji Kolmogorov-Smirnov. Debit rencana periode ulang 25 tahun yang dihitung dengan Metode Rasional adalah 1,546 m³/det, sedangkan kapasitas saluran U-ditch eksisting hanya 1,17 m³/det. Validasi menggunakan HEC-RAS menunjukkan hasil muka air yang mendekati tepi saluran, mengonfirmasi bahwa kapasitas hidraulik tidak memadai. Saluran juga tidak memenuhi standar tinggi jagaan 0,25 m untuk debit 1,5–5,0 m³/det sesuai KP-04 Ditjen Pengairan. Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas saluran tidak memadai sehingga diperlukan peningkatan dimensi saluran atau penambahan infrastruktur pendukung untuk mengurangi risiko genangan.</p>
ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Keywords:</p> <p>Urban drainage HEC-RAS GEV Design flow Channel capacity</p>	<p><i>This study evaluates the drainage capacity of Ocarina Road, Batam City. Hydrological analysis using three probability distributions shows that the Generalized Extreme Value (GEV) distribution is the most appropriate based on the Kolmogorov-Smirnov test. The 25-year return period design flow calculated using the Rational Method is 1.546 m³/s, while the capacity of the existing U-ditch channel is only 1.17 m³/s. Validation using HEC-RAS shows water levels approaching the channel edges, confirming that the hydraulic capacity is inadequate. The channel also does not meet the 0.25 m safety height standard for discharge of 1.5–5.0 m³/sec according to KP-04 of the Directorate General of Water Resources. These results indicate that the channel capacity is inadequate, requiring an increase in channel dimensions or the addition of supporting infrastructure to reduce the risk of flooding.</i></p>

1. Pendahuluan

Sistem drainase perkotaan berfungsi sebagai infrastruktur kritis dalam pengelolaan aliran air permukaan di kawasan berpenduduk padat [1]. Namun, kapasitasnya yang sering kali tidak memadai memicu terjadinya banjir perkotaan yang mengganggu berbagai aspek kehidupan perkotaan [2]. Analisis kapasitas dan efektivitas saluran drainase sangat penting untuk memastikan pengelolaan air

yang optimal dan mencegah terjadinya genangan maupun banjir [3]. Genangan air yang merendam jalan mengakibatkan jalan tersebut tidak dapat dilalui, yang memicu penumpukan kendaraan dan penundaan perjalanan berjam-jam [4]. Lebih lanjut, frekuensi kejadian banjir di beberapa kawasan perkotaan dapat mencapai tiga hingga empat kali dalam setahun, dengan setiap kejadiannya menimbulkan kerugian ekonomi. Oleh karena itu, dampak dan frekuensi banjir ini menunjukkan tren yang semakin meningkat [5].

Kapasitas dan efektivitas sistem drainase perkotaan pada akhirnya ditentukan oleh dua unsur fundamental: perencanaan yang komprehensif dan pemeliharaan yang berkelanjutan [6]. Dalam praktiknya, banyak kota menghadapi tantangan ganda, yakni sistem yang awalnya dirancang tanpa analisis hidrologi yang memadai atau infrastruktur yang telah menua dan tidak terpelihara [7]. Masalah operasional seperti pertumbuhan vegetasi, penumpukan sampah, dan sedimentasi secara konsisten mengurangi kapasitas saluran.

Metodologi untuk menilai sistem drainase perkotaan di wilayah yang berkembang pesat menghadapi tantangan besar, karena data hidrologi historis sering kali tidak lagi mencerminkan kondisi terbaru di lapangan. Sebagian besar penelitian terkini masih berfokus pada analisis hidrologi atau penilaian kapasitas hidraulik secara terpisah, tanpa mengintegrasikan dinamika spasial perkembangan kota dan dampak kumulatifnya terhadap kinerja drainase. Selain itu, masih terdapat kekurangan penelitian terkait efektivitas penggunaan beberapa metode distribusi statistik secara bersamaan, seperti Gumbel, Log Pearson Tipe III dan GEV, untuk memprediksi curah hujan yang lebih akurat di lingkungan urban tropis dengan variabilitas tinggi [9] [10].

Hasil dari studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baik secara praktis maupun akademis. Kontribusi praktis meliputi penyusunan dasar ilmiah untuk pengembangan rencana induk drainase perkotaan, menyediakan masukan untuk kerangka kebijakan desain infrastruktur yang adaptif terhadap perubahan iklim. Temuan ini diharapkan dapat menjadi panduan bagi pemerintah daerah dalam pengambilan keputusan untuk memitigasi risiko banjir dan mendukung pembangunan perkotaan yang berkelanjutan. Secara metodologis, penelitian ini menyumbangkan sebuah kerangka kerja analitis yang komprehensif yang menggabungkan analisis hidrologi, hidraulik, dan spasial. Pada akhirnya, seluruh rangkaian penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan ketahanan kota terhadap banjir dan mendukung pengembangan perkotaan yang berkelanjutan.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Sistem Drainase Perkotaan dan Permasalahannya

Sistem drainase perkotaan memiliki peran penting dalam pengelolaan aliran air hujan dan mencegah banjir, namun seringkali menghadapi berbagai permasalahan seperti tersumbatnya saluran, kurangnya kapasitas, dan ketidaksesuaian desain dengan kebutuhan kota yang berkembang pesat [11]. Kegagalan sistem drainase dapat memicu efek berantai pada infrastruktur kritis lainnya [1]. Dampak yang langsung sering terjadi adalah genangan dan banjir yang dapat menghambat mobilitas serta aktivitas ekonomi. Banjir mencapai nilai yang sangat signifikan yang dapat mengakibatkan gangguan bisnis sehingga mengalami kerugian ekonomi [5].

2.2 Analisis Hidrologi untuk Perencanaan Drainase

Analisis hidrologi menggunakan data curah hujan historis untuk memperkirakan kejadian hujan ekstrem pada berbagai periode ulang. Metode Gumbel dan Log Pearson III dalam analisis frekuensi

banjir, memberikan hasil yang dapat diandalkan [9]. Pendekatan *Generalized Extreme Value* (GEV) semakin populer karena fleksibilitasnya dalam memodelkan kejadian ekstrem dan metode ini efektif dalam menganalisis data dengan variabilitas tinggi [12].

2.3 Analisis Kapasitas Hidraulik dan Pemodelan Saluran

Evaluasi kapasitas hidraulik umumnya menggunakan persamaan Manning dengan mempertimbangkan geometri saluran, kekasaran, dan kemiringan. Pemodelan EPA SWMM untuk mengevaluasi kapasitas drainase dan *software* HEC-RAS dapat visualisasi profil muka air dan validasi profil muka air dan validasi desain saluran [13] [14]. Aspek penting dalam perencanaan meliputi tinggi jagaan (*freeboard*) yang harus memenuhi standart untuk mencegah luapan. Berdasarkan standart perencanaan irigasi bagian bangunan ditjen pengairan, tinggi jagaan minimum bervariasi sesuai besar debitnya [15]. Selain itu, pemilihan jenis saluran harus disesuaikan dengan kondisi lapangan dan pertimbangan pemeliharaan jangka panjang.

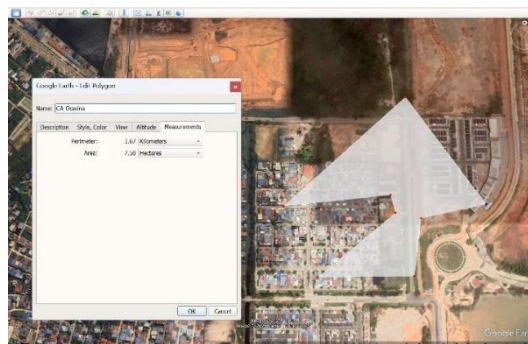
3. Metode Penelitian

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Jalan Ocarina, Kecamatan Bengkong, Kota Batam, Kepulauan Riau. Kawasan ini memiliki kepadatan penduduk yang tinggi dan tingkat pembangunan yang masif. Sebagai jalur akses utama bagi masyarakat, lokasi studi memiliki nilai strategis yang signifikan. Evaluasi dilakukan pada saluran drainase sepanjang 1.2 kilometer dan luas *catchment area* 1.67 kilometer, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Lokasi penelitian
Sumber : Google Earth



Gambar 2. Keliling *catchment area*
Sumber : Google Earth

3.2 Data dan Sumber

Informasi yang diperoleh hingga data yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini diperoleh melalui pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer, yaitu hasil tinjauan terhadap Jalan

Ocarina. Jalan Ocarina memiliki satu jenis saluran, yaitu saluran u-ditch yang biasa disebut saluran tipe u, seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Saluran u-ditch
Sumber: Survey lapangan

Data sekunder, yaitu data curah hujan yang diperoleh dari pengamatan dari tahun 2005 hingga 2024, dilakukan selama 20 tahun untuk dianalisis, dan penulis hanya menampilkan data curah hujan maksimum yang telah dirangkum dapat dilihat pada Tabel 1. Data curah hujan maksimum berasal dari Stasiun BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) di Stasiun Hang Nadim Batam.

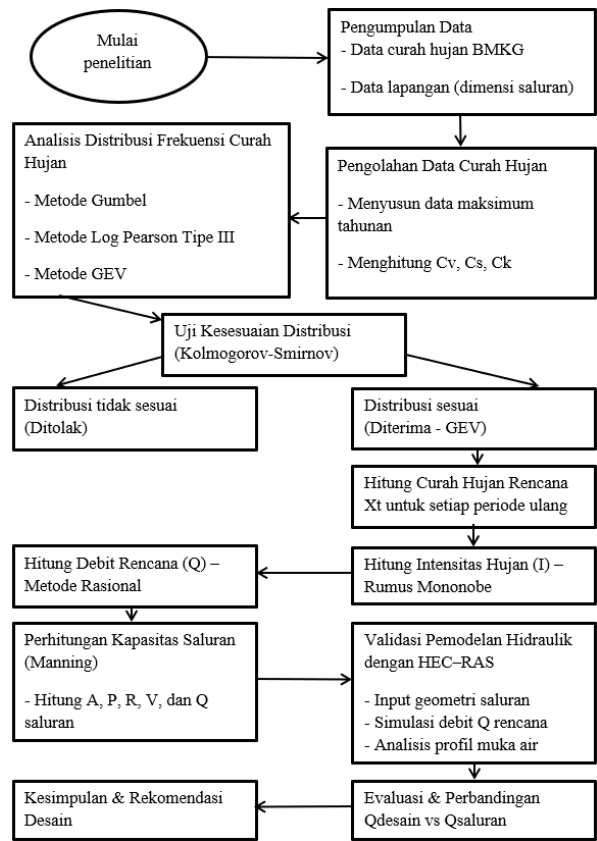
Tabel 1. Data Intensitas Hujan di Batam, khususnya di sekitar Area Hang Nadim

No	Tahun	Januari	Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	Agustus	September	Oktober	November	Desember	Max
1	2024	88.3	68.3	87.8	86.2	70.2	46.2	16.1	70.5	54.1	32.8	74.2	59.8	88.3
2	2023	148.8	62.9	298.4	38	56	69.3	41.8	84.2	31	53.4	53.6	137.1	298.4
3	2022	55.8	76.8	38.5	61	30	123.1	44.2	62.9	34.8	48.2	43.7	35.5	123.1
4	2021	192.1	1	58.1	68.6	83.2	48.1	22.5	35.7	83.2	55.7	47.5	80.9	192.1
5	2020	37.1	15.5	10	62.3	115.2	56.4	47.3	80.5	60.1	59.5	48.1	37.5	115.2
6	2019	118	14.1	9.2	12.7	25	64.7	28.6	32.6	32.8	44.9	137.5	96.4	137.5
7	2018	74.5	5	39.6	51.2	34.5	45.7	15	92.9	48.3	27.5	84.5	65.5	92.9
8	2017	85.9	16	149.3	48.3	92.6	43.5	19.3	87	38.7	64.5	155.7	36.2	155.7
9	2016	154.2	109	9.7	17.5	61.9	45.5	67	36.6	18.5	55.9	104.2	74.2	154.2
10	2015	0	9.4	37.1	9.8	60.1	30.6	15	46	18.1	58	68.2	50.6	68.2
11	2014	6.3	0	29.6	57.7	34.6	41.3	39.4	76.4	60.5	7.8	59.4	116.7	116.7
12	2013	4.9	1.5	10.5	55	36.2	4.5	8.6	19.7	18.1	2.5	64.5	46.4	64.5
13	2012	0.3	2.7	77.6	30.9	39.9	6.8	4.6	0.1	5.6	11.6	3.6	11.2	77.6
14	2011	279.5	4.3	30.8	64.4	19.5	42.1	67.8	91.4	70.8	110.8	163.3	53.7	279.5
15	2010	18	23	83.4	50.7	58.2	37.4	30.4	31.2	94.1	61.2	50.5	23.2	94.1
16	2009	5.2	22.2	99.3	36.6	45.5	89.2	34.2	40.4	69	36.2	65.4	49.1	99.3
17	2008	57	73.9	81.2	38.8	27.3	42.9	67	64.4	103.2	28.4	38.5	117.4	117.4
18	2007	174	25.9	65	27	59	51	84.4	72.8	35	63.8	39	209	209
19	2006	246.3	34.4	46.4	53	57	81	69.7	51.8	26.8	34.5	35.1	197.4	246.3
20	2005	145.8	8.8	34.8	86.7	67.2	18.8	43.2	41	34.8	67.8	60.8	33	145.8

Sumber: BMKG Hang Nadim (2005-2024)

3.3 Metode Analisis

Analisis dalam studi ini terdiri dari aspek hidrologi dan hidraulik. Tahap hidrologi dimulai dengan perhitungan curah hujan rencana menggunakan tiga metode distribusi statistik, yaitu Metode Distribusi Gumbel, Metode Log Pearson Tipe III dan Metode GEV.



Gambar 4. Flowchart Tahapan Metodologi Penelitian

3.4 Perhitungan Frekuensi data Hujan

Penentuan jenis distribusi frekuensi hujan dilakukan berdasarkan parameter statistik Koefisien Variasi (Cv), Koefisien Kemencengan (Cs), dan Koefisien Kurtosis (Ck) yang dihitung dari data curah hujan historis. Ketiga parameter tersebut digunakan untuk menggambarkan karakteristik sebaran data, seperti tingkat keragaman, ketidaksimetrisan, dan keruncingan distribusi, sehingga dapat ditentukan jenis distribusi probabilitas yang paling sesuai.

- a. Koefisien Variasi (Cv) menunjukkan tingkat keragaman data dan dihitung dengan persamaan:

$$Cv = \frac{s}{\bar{x}} \tag{1}$$

di mana s adalah simpangan baku, dan \bar{x} adalah nilai rata-rata.

- b. Koefisien Kemencengan (Cs) digunakan untuk mengukur ketidaksimetrisan distribusi data, dihitung menggunakan:

$$Cs = \frac{n \sum (x - \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \tag{2}$$

Semakin besar nilai Cs, semakin miring distribusi ke arah kanan atau kiri.

- c. Koefisien Kurtosis (Ck) digunakan untuk menilai tingkat keruncingan puncak distribusi dengan persamaan:

$$Ck = \frac{n \sum (x - \bar{x})^4}{s^4} \tag{3}$$

- d. Nilai rata-rata hujan dihitung menggunakan:

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \tag{4}$$

- e. Sedangkan simpangan baku diperoleh melalui:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n-1}} \tag{5}$$

Pemilihan distribusi kemudian dilakukan dengan mencocokkan nilai C_v , C_s , dan C_k terhadap kriteria distribusi. Distribusi Normal digunakan jika $C_v = 0$ dan $C_s = 0$; Log-Normal digunakan jika $C_v > 0$, $C_s \leq 3$, dan $C_k \leq 5,383$; Gumbel digunakan jika $C_s \leq 1,1396$ dan $C_k \leq 5,4002$; sementara Log Pearson III digunakan jika $C_s \neq 0$. Apabila data tidak memenuhi persyaratan distribusi klasik tersebut, maka digunakan pendekatan Generalized Extreme Value (GEV).

3.5 Intensitas Hujan

Intensitas curah hujan merupakan besar curah hujan yang terkonsentrasi dalam periode waktu tertentu (mm/jam). Dalam analisis hidrologi, intensitas hujan dihitung berdasarkan curah hujan maksimum harian (R_{24}). Untuk mengonversi R_{24} menjadi intensitas hujan berdurasi lebih pendek, digunakan Rumus Mononobe, yang umum dipakai dalam perencanaan hidrologi.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3} \text{ mm/jam} \quad (5)$$

Keterangan:

R_{24} = Curah hujan 24 jam (mm)

t = Durasi hujan (jam)

I = Intensitas hujan (mm/jam)

Rumus ini menghasilkan nilai intensitas hujan untuk berbagai durasi, yang diperlukan dalam perhitungan debit banjir rancangan.

3.6 Debit Rencana

Debit maksimum rencana (Q) dihitung menggunakan Metode Rasional, yang umum digunakan dalam perancangan drainase perkotaan. Metode ini menghubungkan intensitas hujan (I), koefisien aliran permukaan (C), dan luas daerah tangkapan (A). Ketiga parameter tersebut menggambarkan besarnya limpasan permukaan yang terjadi selama hujan.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (6)$$

Keterangan:

- Q = Debit rencana (m^3/det)
- C = Koefisien aliran permukaan (-)
- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- A = Luas daerah tangkapan (ha)
- 0.278 = Faktor konversi dari ($\text{mm} \cdot \text{ha}/\text{jam}$) \rightarrow m^3/det

Metode Rasional memberikan estimasi debit puncak yang diperlukan untuk merencanakan kapasitas saluran agar mampu mengalirkan limpasan hujan dan mencegah banjir.

3.7 Area Drainase dan Kapasitas Saluran

Luas penampang basah saluran (A) dihitung dengan mengalikan lebar dasar saluran (b) dan tinggi aliran (h) menggunakan persamaan:

$$A = b \times h \quad (7)$$

Keterangan:

- A = luas penampang basah (m^2)
- b = lebar saluran (m)
- h = tinggi aliran dalam saluran (m)

Pada sistem drainase perkotaan, debit aliran perlu dianalisis untuk memastikan kapasitas saluran mampu mengalirkan limpasan ke titik terendah secara optimal. Perhitungan kapasitas saluran dilakukan menggunakan Persamaan Manning, yang memperhitungkan luas penampang, kekasaran, bentuk saluran, dan kemiringan dasar.

$$Q = A \times \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \tag{8}$$

Keterangan:

- Q = debit aliran dalam saluran (m³/det)
- A = luas penampang aliran (m²)
- n = koefisien kekasaran Manning
- R = jari-jari hidraulik (A/P) (m)
- S = kemiringan energi atau dasar saluran (m/m)
- P = keliling basah (m)

Debit aliran diperhitungkan untuk menentukan dimensi saluran yang aman dan efisien. Nilai A , R , dan S digunakan untuk menghitung kapasitas aliran, sehingga dapat dipastikan bahwa saluran mampu menampung debit rencana tanpa menyebabkan limpasan atau genangan.

3.8 Tinggi Jagaan

Tinggi jagaan merupakan selisih antara elevasi muka air maksimum dengan tepi tanggul saluran atau permukaan tanah. Nilai ini harus diperhitungkan untuk memastikan air tidak meluap keluar dari saluran.

Tabel 2. Tinggi Jagaan untuk Saluran Pasangan

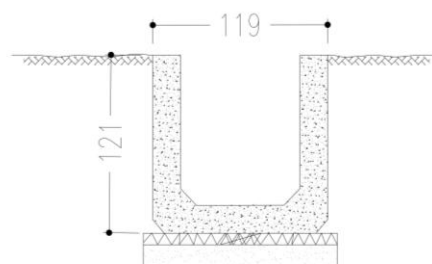
Debit (m ³ /det)	F (m)
< 0,5	0,20
0,5 - 1,5	0,20
1,5 - 5,0	0,25
5,0 - 10,0	0,30
10,0 - 15,0	0,40
> 15,0	0,50

Sumber: Standar Perencanaan Irigasi, KP-04, Bagian Pembangunan, Ditjen Pengairan, 1986.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Bentuk dan Kondisi Saluran Eksisting

Saluran drainase di Jalan Ocarina berupa saluran u-ditch dengan kondisi fisik yang berfungsi menyalurkan limpasan dari badan jalan dan area sekitar. Dimensi hasil pengukuran lapangan adalah $b = 1,19$ m, $h = 1,21$ m, dengan karakteristik aliran yang cenderung stabil.



Gambar 5. Ilustrasi saluran u-ditch

Sumber: AutoCAD

4.2 Analisis Hidrologi dan Intensitas Hujan

Data curah hujan maksimum tahunan dari BMKG Hang Nadim (2005–2024) digunakan untuk analisis hidrologi. Nilai curah hujan maksimum tertinggi tercatat pada tahun 2023 (298,4 mm). Perhitungan intensitas hujan menggunakan Rumus Mononobe menghasilkan intensitas untuk berbagai periode ulang.

Tabel 2. Intensitas hujan

Tahun	Maks	Intensitas Hujan
2024	88.3	30.5518
2023	298.4	103.2464
2022	123.1	42.5926
2021	192.1	66.4666
2020	115.2	39.8592
2019	137.5	47.575
2018	92.9	32.1434
2017	155.7	53.8722
2016	154.2	53.3532
2015	68.2	23.5972
2014	116.7	40.3782
2013	64.5	22.317
2012	77.6	26.8496
2011	279.5	96.707
2010	94.1	32.5586
2009	99.3	34.3578
2008	117.4	40.6204
2007	209	72.314
2006	246.3	85.2198
2005	145.8	50.4468

Sumber: Perhitungan Pribadi

4.3 Analisis Distribusi Frekuensi Metode Gumbel

Hasil perhitungan distribusi menggunakan metode Gumbel disajikan dalam Tabel 3. Dalam analisis ini, data telah disusun secara berurutan dari nilai tertinggi ke nilai terendah.

Tabel 3. Perhitungan distribusi metode Gumbel

No	Xi	(Xi - Xrata-rata)^2
1	298.4	23904.252
2	279.5	18417.204
3	246.3	10508.300
4	209	4252.344
5	192.1	2333.856
6	155.7	141.848
7	154.2	108.368
8	145.8	4.040
9	137.5	39.564
10	123.1	428.076
11	117.4	696.432
12	116.7	733.868
13	115.2	817.388
14	99.3	1979.360
15	94.1	2469.096
16	92.9	2589.792
17	88.3	3079.140
18	77.6	4381.116
19	68.2	5713.848
20	64.5	6286.904

Sumber: Perhitungan pribadi

Untuk menentukan nilai simpangan baku, diperlukan pembuatan tabel perhitungan simpangan baku yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan rata-rata curah hujan maksimum

No	Tahun	X	(X - Xrata-rata)	(X - Xrata-rata)^2	(X - Xrata-rata)^3	(X - Xrata-rata)^4
1	2024	88.3	-55.49	3079.140	-170861.484	9481103.755
2	2023	298.4	154.61	23904.252	3695836.417	571413268.460
3	2022	123.1	-20.69	428.076	-8856.895	183249.147
4	2021	192.1	48.31	2333.856	112748.588	546884.296
5	2020	115.2	-28.59	817.388	-23369.126	668123.306
6	2019	137.5	-6.29	39.564	-248.858	1565.318
7	2018	92.9	-50.89	2589.792	-131794.520	6707023.121
8	2017	155.7	11.91	141.848	1689.411	20120.883
9	2016	154.2	10.41	108.368	1128.112	11743.645
10	2015	68.2	-75.59	5713.848	-431909.778	32648060.110
11	2014	116.7	-27.09	733.868	-19880.487	538562.388
12	2013	64.5	-79.29	6286.904	-498488.626	39525163.163
13	2012	77.6	-66.19	4381.116	-289986.075	19194178.282
14	2011	279.5	135.71	18417.204	2499398.768	339193406.861
15	2010	94.1	-49.69	2469.096	-122689.385	6096435.551
16	2009	99.3	-44.49	1979.360	-88061.731	3917866.405
17	2008	117.4	-26.39	696.432	-18378.843	485017.670
18	2007	209	65.21	4252.344	277295.359	18082430.345
19	2006	246.3	102.51	10508.300	1077205.843	110424370.992
20	2005	145.8	2.01	4.040	8.121	16.322

Sumber: Perhitungan pribadi

Dengan demikian didapatkan nilai simpangan baku (S_x) sebesar 66.658. Penulis telah menentukan jenis distribusi dengan data yang sesuai untuk distribusi berdasarkan perhitungan parameter $C_s = 1.15$, $C_v = 0$, dan $C_k = 2.9$. Nilai ekstrem intensitas hujan akan dimasukkan ke dalam perhitungan dengan beberapa periode kembali, yaitu periode kembali 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun ditampilkan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan periode kembali

Periode Ulang (T)	YT	Curah Hujan Harian Maksimum Untuk Berbagai Periode Ulang
2	0.366513	133.681
5	1.499940	206.623
10	2.250367	254.917
15	2.673752	282.164
20	2.970195	301.242
25	3.198534	315.937
50	3.901939	361.205
100	4.600149	406.138

Sumber: Perhitungan pribadi

4.4 Analisis Distribusi Frekuensi Metode Log Pearson III

Melalui penerapan metode distribusi frekuensi Log Pearson Tipe III, dimungkinkan untuk menghitung nilai rata-rata logaritmik curah hujan serta memperoleh nilai curah hujan desain untuk periode kembali seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Log Pearson Tipe III

No	Tahun	X_i	$\text{Log} X_i$	$(\text{Log} X_i - \text{Log } X)^2$	$(\text{Log} X_i - \text{Log } X)^3$
1	2024	88.3	1.946	0.0287	-0.0049
2	2023	298.4	2.475	0.1293	0.0465
3	2022	123.1	2.090	0.0006	0.0000
4	2021	192.1	2.284	0.0283	0.0048
5	2020	115.2	2.061	0.0029	-0.0002
6	2019	137.5	2.138	0.0005	0.0000
7	2018	92.9	1.968	0.0217	-0.0032
8	2017	155.7	2.192	0.0059	0.0005
9	2016	154.2	2.188	0.0053	0.0004
10	2015	68.2	1.834	0.0792	-0.0223
11	2014	116.7	2.067	0.0023	-0.0001
12	2013	64.5	1.810	0.0934	-0.0286
13	2012	77.6	1.890	0.0508	-0.0114
14	2011	279.5	2.446	0.1097	0.0363
15	2010	94.1	1.974	0.0201	-0.0028
16	2009	99.3	1.997	0.0140	-0.0017
17	2008	117.4	2.070	0.0021	-0.0001
18	2007	209	2.320	0.0420	0.0086
19	2006	246.3	2.391	0.0763	0.0211
20	2005	145.8	2.164	0.0024	0.0001

Sumber: Perhitungan pribadi

Tabel Nilai k untuk distribusi Log Pearson Tipe III
(Soewarno, 1995)

Kemencengan (CS)	Periode Ulang							
	2	5	10	25	50	100	500	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0,5	0,1
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970	7.250
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652	6.600
2.2	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444	6.200
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298	5.910
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147	5.660
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990	5.390
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828	5.110
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661	4.820
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489	4.540
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.496	2.957	3.401	4.395
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.998	2.453	2.891	3.312	4.250
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.967	2.407	2.824	3.223	4.105
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.939	2.359	2.755	3.132	3.960
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.910	2.311	2.686	3.041	3.815
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.886	2.261	2.615	2.949	3.670
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.849	2.211	2.544	2.856	3.525
0.2	-0.033	0.830	1.301	1.818	2.159	2.472	2.763	3.380
0.1	-0.017	0.836	1.292	1.785	2.107	2.400	2.670	3.235
0.0	0.000	0.842	1.282	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
-0.1	0.017	0.836	1.270	1.761	2.000	2.252	2.482	2.950
-0.2	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388	2.810
-0.3	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294	2.675
-0.4	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201	2.540
-0.5	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108	2.400
-0.6	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016	2.275
-0.7	0.166	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926	2.150
-0.8	0.132	0.856	1.166	1.488	1.606	1.733	1.837	2.035
-0.9	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749	1.910
-1.0	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664	1.800
-1.2	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501	1.625
-1.4	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351	1.465
-1.6	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.200	1.216	1.280
-1.8	0.282	0.799	0.945	1.035	1.069	1.089	1.097	1.130
-2.0	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	0.995	1.000
-2.2	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907	0.910
-2.5	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800	0.802
-3.0	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667	0.668

Berdasarkan data pada Tabel 6, Penulis menghitung nilai rata-rata Log X, simpangan baku logaritma (S Log X), dan koefisien kemiringan (Cs) untuk menentukan nilai T yang terdapat dalam Tabel Frekuensi KT.

Hasil perhitungan ini kemudian digunakan oleh penulis untuk menerapkan rumus logaritma dalam menentukan debit hujan yang direncanakan, yang ditunjukkan dalam Tabel 7, dengan mempertimbangkan periode ulang T (Log Xt).

Tabel 7. Perhitungan periode kembalinya curah hujan rencana

Periode Ulang (T)	Kt	Log Xt	Xt= 10LogXt (mm)
2	-0.05	2.105544	127.5
5	0.824	2.275141	188.4
10	1.309	2.369253	234.0
25	1.849	2.474039	297.9
50	2.211	2.544283	350.2
100	2.544	2.608901	406.4

Sumber: Perhitungan pribadi

4.5 Analisis Distribusi Frekuensi Metode GEV

Analisis *Generalized Extreme Value* (GEV) digunakan untuk analisis risiko dan kejadian ekstrem seperti kerugian saham atau bencana alam [12]. Dalam bidang hidrologi, metode GEV digunakan untuk menganalisis data curah hujan atau debit aksimum tahunan guna memperkirakan nilai ekstrem yang mungkin terjadi di masa mendatang. Perhitungan distribusi GEV terhadap curah hujan dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan distribusi GEV

NO	MAX	W1	W2	W1*X	W2*X
1	64.5	0	0	0	0
2	68.2	0.052632	0	3.589474	0
3	77.6	0.105263	0.005848	8.168421	0.453801
4	88.3	0.157895	0.017544	13.94211	1.549123
5	92.9	0.210526	0.035088	19.55789	3.259649
6	94.1	0.263158	0.05848	24.76316	5.502924
7	99.3	0.315789	0.087719	31.35789	8.710526
8	115.2	0.368421	0.122807	42.44211	14.14737
9	116.7	0.421053	0.163743	49.13684	19.10877
10	117.4	0.473684	0.210526	55.61053	24.71579
11	123.1	0.526316	0.263158	64.78947	32.39474
12	137.5	0.578947	0.321637	79.60526	44.22515
13	145.8	0.631579	0.385965	92.08421	56.27368
14	154.2	0.684211	0.45614	105.5053	70.33684
15	155.7	0.736842	0.532164	114.7263	82.85789
16	192.1	0.789474	0.614035	151.6579	117.9561
17	209	0.842105	0.701754	176	146.6667
18	246.3	0.894737	0.795322	220.3737	195.8877
19	279.5	0.947368	0.894737	264.7895	250.0789
20	298.4	1	1	298.4	298.4

Sumber: Perhitungan pribadi

Dari Tabel 8, penulis dapat menghitung nilai L1 (λ_1), L2 (λ_2), L3 (λ_3), Tau3 (τ_3), dan c untuk menghitung ξ (*shape*), σ (*scale*), dan μ (*location*). Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Hasil perhitngan ξ (*shape*), σ (*scale*), dan μ (*location*)

Qty	Value
n	20
b0	143.79
b1	90.825
b2	68.626287
L1 (λ_1)	143.79
L2 (λ_2)	37.86
L3 (λ_3)	10.597719
Tau3 (τ_3)	0.2799186
c	-0.021159
xi (<i>shape</i>)	-0.164962
sigma (<i>scale</i>)	45.744144
mu (<i>location</i>)	123.89267

Sumber: Perhitungan pribadi

Dari Tabel 8 dan 9 penulis dapat menentukan nilai X_t (nilai rancangan) dari periode ulang T. Hasil perhitungan X_t pada periode ulang dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Perhitungan nilai rancangan pada periode ulang

Periode Ulang	X _t (mm)
2	140.1617158
5	184.6763991
10	209.8869112
25	237.5867871
50	255.5109204
100	271.3601688

Sumber: Perhitungan pribadi

Pengujian Kolmogorov-Smirnov

Pengujian *Kolmogorov-Smirnov* (K-S) dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara data curah hujan maksimum tahunan dengan distribusi teoritis yang digunakan, yaitu distribusi *Generalized Extreme Value* (GEV).

Tabel 11. Hasil pengujian K-S

T	X (mm)	Fn (Rank/n)	G(X)	Fn - G(X)
1	64.5	0.05	0.039052419	0.010947581
2	68.2	0.1	0.048183311	0.051816689
3	77.6	0.15	0.078123587	0.071876413
4	88.3	0.2	0.125013645	0.074986355
5	92.9	0.25	0.149451834	0.100548166
6	94.1	0.3	0.156238684	0.143761316
7	99.3	0.35	0.187533021	0.162466979
8	115.2	0.4	0.299463968	0.100536032
9	116.7	0.45	0.311010059	0.138989941
10	117.4	0.5	0.316441228	0.183558772
11	123.1	0.55	0.361513874	0.188486126
12	137.5	0.6	0.478492492	0.121507508
13	145.8	0.65	0.544870766	0.105129234
14	154.2	0.7	0.609094806	0.090905194
15	155.7	0.75	0.620141526	0.129858474
16	192.1	0.8	0.834763118	0.034763118
17	209	0.85	0.897307601	0.047307601
18	246.3	0.9	0.971128648	0.071128648
19	279.5	0.95	0.993235263	0.043235263
20	298.4	1	0.997563086	0.002436914

Sumber: Perhitungan pribadi

Distribusi GEV diterima karena $D < D_{0.05}$ [13]. Berdasarkan hasil perhitungan Tabel 11, diperoleh nilai statistik uji $D = 0.1885$, sedangkan nilai kritis uji pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$ adalah $D_{0.05} = 0,3041$. Karena nilai D lebih kecil dari $D_{0.05}$ ($0,1885 < 0.3041$), maka hipotesis nol (H_0) yang menyatakan bahwa data mengikuti distribusi GEV diterima.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa distribusi GEV cocok digunakan untuk memodelkan data curah hujan maksimum tahunan pada lokasi penelitian dan dapat digunakan untuk menghitung curah hujan rancangan (X_t) pada berbagai periode ulang.

4.6 Perhitungan Debit Rencana Menggunakan Distribusi GEV

Berdasarkan analisis frekuensi curah hujan ekstrem, distribusi *Generalized Extreme Value* (GEV) merupakan distribusi yang paling sesuai menurut uji Kolmogorov-Smirnov. Oleh karena itu, GEV digunakan untuk menentukan curah hujan rencana pada berbagai periode ulang, dengan parameter yang diestimasi menggunakan metode *L-moments*. Curah hujan rencana 24 jam kemudian dikonversi menjadi intensitas hujan efektif (I) menggunakan persamaan Mononobe dengan durasi efektif $t = 1$ jam. Debit rencana selanjutnya dihitung menggunakan Metode Rasional dengan luas daerah tangkapan 7,50 ha berdasarkan deliniasi *Google Earth*. Koefisien limpasan ditetapkan sebesar 0,9 untuk area kedap air (jalan, atap, dan perkerasan) dan 0,7 untuk area campuran. Hasil perhitungan debit rencana disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12. Perhitungan debit rencana menggunakan distribusi GEV

Periode Ulang (T)	X_t (mm)	Intensitas (I) mm/jam	Q (m ³ /s) C = 0.9	Q (m ³ /s) C = 0.7
2 tahun	140.162	48.591	0.912	0.709
5 tahun	184.676	64.024	1.201	0.934
10 tahun	209.887	72.764	1.365	1.062
25 tahun	237.587	82.367	1.546	1.202
50 tahun	255.511	88.581	1.662	1.293
100 tahun	271.360	94.075	1.765	1.373

Sumber: Perhitungan pribadi

Nilai-nilai debit rencana tersebut menjadi dasar dalam perencanaan penampang saluran drainase. Untuk menentukan dimensi saluran yang sesuai, debit rencana (Q_{desain}) dari periode ulang pilihan (misalnya 10 atau 25 tahun) dimasukkan ke dalam perhitungan kapasitas saluran menggunakan persamaan Manning pada tahap berikutnya.

4.7 Perencanaan Saluran Drainase

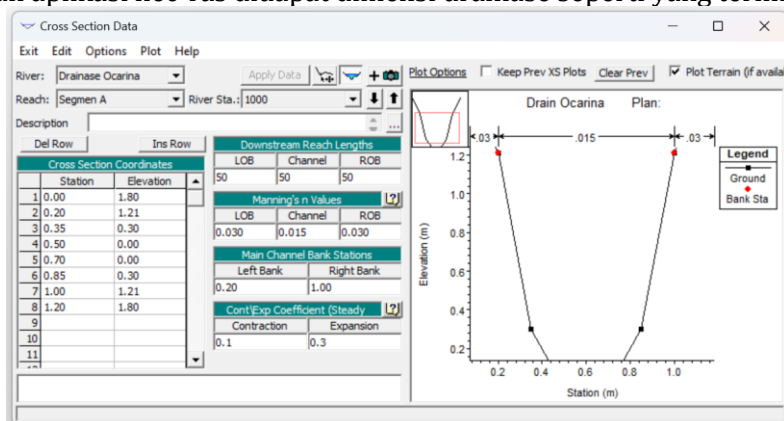
Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, dimensi saluran eksisting memiliki lebar bagian dalam $b = 1,19$ m dan tinggi bagian dalam $h = 1,21$ m. Dengan kemiringan dasar saluran $S = 0,0005$ dan koefisien kekasaran Manning $n = 0,015$, kapasitas saluran dihitung menggunakan persamaan Manning.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dengan luas penampang $A = 1,44$ m², keliling basah $P = 3,61$ m, dan jari-jari hidraulik $R = 0,399$ m, kapasitas aliran saluran eksisting adalah $Q_{\text{saluran}} = 1,16$ m³/det. Sementara itu, berdasarkan analisis hidrologi dengan distribusi GEV, debit rencana untuk periode ulang 25 tahun diperoleh sebesar $Q_{\text{desain}} = 1,546$ m³/det. Dengan demikian, kapasitas saluran eksisting masih lebih kecil dibandingkan debit rencana, sehingga saluran eksisting belum mampu menampung debit limpasan pada kondisi hujan rencana periode ulang 25 tahun.

Berdasarkan hasil tersebut, saluran eksisting tidak dapat dikategorikan aman, dan diperlukan perencanaan ulang saluran drainase agar kapasitasnya mencukupi untuk menyalurkan debit limpasan di lokasi tersebut.

4.8 Validasi Dimensi Dengan Software HEC-RAS

Hasil running dengan aplikasi hec-ras didapat dimensi drainase seperti yang terlihat dalam Gambar 5.



Gambar 5. *Output* HEC-RAS.
Sumber: Aplikasi HEC-RAS

Berdasarkan hasil pemodelan HEC-RAS, validasi dimensi saluran drainase yang direncanakan menunjukkan kinerja hidraulik yang sangat baik. Seperti yang ditunjukkan oleh hasil pengukuran lapangan, saluran mampu menampung debit sebesar 1,16 m³/detik sedangkan debit rencana periode ulang 25 tahun sebesar 1,546 m³/det, sehingga saluran tidak mampu menampung debit rencana tersebut.

Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa dimensi saluran yang diusulkan telah tervalidasi secara numerik melalui simulasi HEC-RAS dan bahwa mereka layak untuk diimplementasikan. Diharapkan desain ini dapat membantu sistem drainase yang efisien yang berfungsi dengan baik dalam kondisi lapangan nyata.

5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil analisis hidrologi, distribusi *Generalized Extreme Value* (GEV) merupakan distribusi yang paling sesuai untuk memodelkan curah hujan ekstrem di wilayah Jalan Ocarina, Kota Batam, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil uji Kolmogorov-Smirnov dengan nilai $D < D_{0,05}$. Curah hujan rencana dan intensitas hujan yang diperoleh dari distribusi GEV digunakan untuk menghitung debit rencana, dan menghasilkan debit periode ulang 25 tahun sebesar 1,546 m³/det menggunakan Metode Rasional. Kapasitas hidraulik saluran U-ditch eksisting hanya sebesar 1,17 m³/det berdasarkan

perhitungan Manning, sehingga tidak mampu menampung debit rencana tersebut. Validasi menggunakan software HEC-RAS menunjukkan bahwa elevasi muka air berada sangat dekat dengan tepi saluran, mengonfirmasi bahwa kapasitas saluran tidak memadai. Selain itu, saluran eksisting tidak memenuhi standar tinggi jagaan 0,25 meter untuk debit 1,5–5,0 m³/det sesuai Standar Perencanaan Irigasi KP-04 Bagian Bangunan Ditjen Pengairan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa saluran eksisting tidak memadai untuk kondisi hujan rencana, sehingga diperlukan perencanaan ulang dimensi saluran atau penambahan infrastruktur pendukung seperti sumur resapan, saluran sekunder, atau peningkatan kapasitas hidraulik untuk mengurangi risiko genangan di Jalan Ocarina.

Daftar Rujukan

- [1] A. K. B. De Oliveira, B. P. Battemarco, G. Barbaro, M. V. R. Gomes, F. M. Cabral, R. de Oliveira Pereira Bezerra and M. G. Miguez, "Evaluating the role of urban drainage flaws in triggering cascading effects on critical infrastructure, affecting urban resilience," *Infrastructures*, 7(11), p. 153, 2022.
- [2] L. Cea and P. Costabile, "Flood risk in urban areas: Modelling, management and adaptation to climate change," *A review. Hydrology*, 9(3), p. 50, 2022.
- [3] I. Indrastuti and Y. Yunita, "Analisis Sistem Drainase terhadap Genangan (Banjir) di Kota Batam (studi kasus: jalan duyung kecamatan batu ampar)," *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP)*, 1(2), pp. 183-189, 2020.
- [4] L. K. Mamuyac, J. R. D. Reyes, L. S. Lumanglas, E. L. Rebotiaco, A. Fukuda and A. M. Fillone, "Flood-induced effects on vehicular traffic in Metro Manila, Philippines," *Natural Hazards*, pp. 1-27, 2025.
- [5] R. Taguchi, M. Tanoue, D. Yamazaki and Y. Hirabayashi, "Global-scale assessment of economic losses caused by flood-related business interruption," *Water*, 14(6), p. 967, 2022.
- [6] H. Tansar, H. F. Duan and O. Mark, "A multi-objective decision-making framework for implementing green-grey infrastructures to enhance urban drainage system resilience," *Journal of Hydrology*, 620, p. 129381, 2023.
- [7] A. P. Monachese, M. T. Gómez-Villarino, J. López-Santiago, E. Sanz, A. F. Almeida-Ñauñay and S. Zubelzu, "Challenges and innovations in urban drainage systems: sustainable drainage systems focus," *Water*, 17(1), p. 76, 2024.
- [8] M. I. Hartini, C. Nuraini, F. Milanie and A. S. A. Abdiyanto, "Characteristics and Management of Drainage Infrastructure in Medan Sunggal District, Medan City," *International Journal Paper Advance and Scientific Review*, 4(4), pp. 62-90, 2023.
- [9] A. Handique, S. Acharjee, U. Dhadumia, J. Gogoi, P. Das and B. Nath, "Flood frequency analysis in the lower Burhi Dehing River in Assam, India using Gumbel Extreme Value and log Pearson Type III methods," *Discover Geoscience*, 2(1), p. 75, 2024.
- [10] C. G. Anghel and D. Ianculescu, "An In-Depth Statistical Analysis of the Pearson Type III Distribution Behavior in Modeling Extreme and Rare Events," *Water*, 17(10), p. 1539, 2025.
- [11] A. J. Saputra, "Knowledge Sharing: Tantangan dalam Mewujudkan Pengelolaan Sumber Daya Air yang Berkelanjutan," *LANDMARK: Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 2(1), pp. 126-131, 2024.

- [12] A. M. Hakam and A. K. Jaya, "Estimating Conditional Value at Risk in Non-Cyclical Sector Companies Using the Extreme Value Theory Approach," *Jurnal Matematika, Statistika dan Komputasi*, 21(1), pp. 159-175, 2024.
- [13] A. T. G. T. A. J. I. C. Miranda, "Evaluasi Kapasitas Drainase Untuk Penanggulangan Banjir di Jalan Kolonel Sulaiman Amin Dengan Pemodelan EPA SWMM," *Syntax Literate; Jurnal Ilmiah Indonesia*, 7(11), pp. 17353-17372, 2022.
- [14] D. E. Z. Sholikha, S. Sutoyo and M. I. Rau, "Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan, 7(2)," *Pemodelan Sebaran Genangan Banjir Menggunakan HEC-RAS di Sub DAS Cisadane Hilir*, pp. 147-160, 2022.
- [15] D. Irigasi, *Standar Perencanaan Irigasi*, Bandung: PT. Galang Persada, 1986.