

ANALISIS PEMASANGAN *BOX CULVERT* (2 m x 1.5 m) SEBAGAI SALURAN PENYEIMBANG DI KM 54+490 SAMPAI DENGAN KM 55+070

Dicky Arisikam¹⁾, Heru Kuswanto²⁾, Muhammad Arifudin³⁾, Felix Joel Ledowikj⁴⁾

¹⁾²⁾³⁾ Direktorat Prasarana, PT. Kereta Api Indonesia (Persero), ⁴⁾ Program Studi Teknik dan Pengelolaan

Sumber Daya Air, Institut Teknologi Bandung

Email : dicky.arisikam@kai.id¹⁾, heru.kuswanto@kai.id²⁾, muhammad.arifudin@kai.id³⁾, felixjoel.fj@gmail.com⁴⁾

Abstrak

Kereta api merupakan salah satu prasarana transportasi darat yang memegang peran penting dalam mendistribusikan barang dan penumpang. Namun dalam penyelenggaraan perkeretaapian saat ini masih terdapat beberapa kendala terutama disebabkan oleh bencana alam. Secara umum, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat 95% bencana yang terjadi di Indonesia didominasi oleh bencana hidrometeorologi yang salah satunya adalah banjir.

Pada bulan Februari tahun 2021 telah terjadi banjir di jalur kereta api tepatnya antara Stasiun Lemahabang – Kedunggedeh, DAOP 1 Jakarta pada jalur rel KM54+490 sampai KM 55+070 yang menyebabkan tergosnya tubuh baan jalur hulu dan hilir jalur kereta api sehingga mengakibatkan terhentinya operasional Kereta Api.

Oleh karena itu akan direncanakan *box culvert* sejumlah 31 buah untuk mengalirkan debit banjir 5 tahunan serta menjadi saluran penyeimbang bagi rel kereta api apabila kembali terjadi fenomena banjir.

Kata kunci : kereta api, banjir, *box culvert*

Abstract

Train is one of the land transportation infrastructure that have an important role in distributing things and passengers. However, currently there are still some obstacles in the operation of the railway, mainly caused by natural disasters. In general, the National Disaster Management Agency (BNPB) noted that 95% of disasters that occurred in Indonesia were dominated by hydrometeorological disasters, one of which was flooding.

In February 2021, there was a flood on the railway line, precisely between Lemahabang - Kedunggedeh Station, DAOP 1 Jakarta on the rail line KM54+490 to KM 55+070 which caused the body of the upstream and downstream rail lines collapse, resulting in the cessation of the train operations.

Therefore, a total of 31 box culverts will be planned to drain the 5-year flood discharge and become a balancing channel for the railroad if the flood phenomenon occurs again.

Keywords : train, flood, box culvert

I. PENDAHULUAN

Kereta api merupakan salah satu prasarana transportasi darat yang memegang peran penting dalam mendistribusikan barang dan penumpang ke suatu wilayah. Namun dalam penyelenggaraan perkeretaapian saat ini masih terdapat beberapa kendala terutama disebabkan oleh bencana alam.

Secara umum, Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) memberikan catatan penting terkait dengan kondisi kebencanaan di Indonesia. Tercatat 95% bencana yang terjadi di Indonesia didominasi oleh bencana hidrometeorologi yaitu berupa longsor, angin, banjir, dan lain – lain.

Banjir merupakan salah satu dari jenis kebencanaan yang menyebabkan kendala dalam pelaksanaan perkeretaapian. Banjir biasanya disebabkan oleh berbagai kondisi seperti kondisi geografis daerah, fenomena alam, dan kegiatan manusia yang berdampak pada perubahan dari tata ruang wilayah maupun tata guna lahan.

Pada bulan Februari tahun 2021 telah terjadi banjir di jalur kereta api tepatnya antara Stasiun Lemahabang – Kedunggedeh, DAOP 1 Jakarta pada jalur rel KM54+490 sampai KM 55+070 yang menyebabkan tergosnya tubuh baan jalur hulu dan hilir jalur kereta api sehingga mengakibatkan terhentinya operasional Kereta Api.

Oleh karena itu, dengan kejadian banjir yang terjadi, akan direncanakan *box culvert* untuk bisa mengalirkan aliran dari hulu ke hilir rel kereta api serta menjadi saluran penyeimbang bagi rel kereta api agar ketika fenomena banjir terjadi kembali, tubuh rel kereta api tidak akan tergos dan tidak mengganggu operasional dari Kereta Api.

II. METODE PENELITIAN

Secara umum penyebab banjir disebabkan oleh curah hujan, pengaruh fisiografi, erosi dan sedimentasi, penurunan kemampuan penyerapan air, drainase yang buruk, dan masih banyak lagi. Dampak dari banjir adalah kerugian baik secara materi maupu non materi. Kerugian dibagi menjadi dua yakni kerugian banjir langsung dan banjir tak langsung (Kodoatie et al. 2002).

Hujan merupakan komponen masukan yang paling penting dalam proses hidrlogi, dimana hujan tersebut berasal dari uap air di atmosfer sehingga bentuk dan jumlahnya dipengaruhi oleh faktor klimatologi seperti angin, temperatur, dan tekanan atmosfer (Triatmodjo, B. 2009).

Menghitung debit rancangan drainase perkotaan umumnya dihitung dengan metode Rasional :

$$Q = C \times I \times A$$

dimana:

Q = kapasitas pengaliran (m³/detik)

C = koefisien pengaliran (bergantung daerah yang dilalui)

I = intensitas hujan (mm/jam)

A = luas daerah pengaliran (km²)

Dalam perancangan saluran drainase dan *box culvert*, tipe yang digunakan yaitu:

a. Trapesium

Umumnya terbentuk dari tanah, membutuhkan ruang yang cukup, berfungsi

untuk pengaliran air hujan, air rumah tangga maupun air irigasi.

b. Persegi panjang

Tidak banyak membutuhkan ruang, tetapi harus dibentuk dari pasangan atau beton, berfungsi sebagai saluran air hujan, air rumah tangga maupun air irigasi.

Koefisien Manning (n) merupakan suatu nilai kekasaran pada sebuah saluran/sungai berdasarkan jenis material penampang saluran yang dapat mempengaruhi kecepatan aliran.

Tabel 1. Koefisien Manning untuk Jenis Saluran

Tanah	Lurus, baru, seragam, landai dan bersih	0.010 - 0.033
	Berleleok, landai dan berumput	0.023 - 0.040
	Tidak teratur dan kotor	0.050 - 0.140
	Tanah berbatu, kasar dan tidak teratur	0.035 - 0.045
Pasangan	Batu kosong	0.023 - 0.035
	Pasangan batu bebal	0.017 - 0.030
Beton	Halus, sambungan baik dan rata	0.014 - 0.018
	Kurang halus dan sambungan kurang rata	0.018 - 0.050

Analisa frekuensi merupakan sebuah metode untuk memperkirakan sebuah data statistik dalam arti memperoleh probabilitas untuk terjadinya suatu peristiwa hidrologi dalam bentuk debit atau curah hujan rencana. Adapun metode yang digunakan pada analisis frekuensi adalah Distribusi *Normal*, *Log Normal*, *Pearson III*, *Log Pearson III*, dan *Gumbel*. Hasil dari analisa frekuensi tersebut akan digunakan sebagai dasar perhitungan perencanaan hidrologi untuk antisipasi setiap kemungkinan yang terjadi.

Untuk menentukan kesesuaian distribusi frekuensi empiris dari sampel data terhadap fungsi distribusi frekuensi teoritis yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi empiris, diperlukan pengujian secara statistik. Dalam menentukan kesesuaian distribusi frekuensi pada perhitungan statistik hidrologi sering diterapkan dua cara pengujian yaitu Uji kesesuaian *Smirnov-Kolmogorov* dan Uji *Chi Square*.

Berikut merupakan persamaan uji kecocokan distriibusi *Chi Square*:

$$X_{i=1}^k = \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$$

- X^k = parameter chi-square terhitung
- k = jumlah sub kelompok
- O_i = nilai pengamatan pada sub kelompok
- E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok

Berikut merupakan persamaan uji kecocokan distribusi *Smirnov - Kolmogorov*:

$$D_n = \max|P(x) - P_o(x)|$$

- D_n = jarak vertikal antara pengamatan dengan teoritisnya
- $P(x)$ = probabilitas dari sampel data
- $P_o(x)$ = probabilitas dari teoritisnya

Intensitas hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi secara kontinyu pada suatu kurun waktu dimana air tersebut berkonsentrasi. Untuk menghitung debit banjir rencana pada suatu perencanaan drainase dimana waktu konsentrasinya sangat singkat dan luas daerah alirannya sangat kecil, dapat digunakan metode Rasional. Intensitas hujan dapat dihitung dengan berbagai metode, salah satunya ialah Mononobe.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}}$$

dimana:

- I = intensitas hujan (mm/jam)
- t = lama hujan (jam)
- R_{24} = hujan harian maksimum dalam 24 jam (mm)

Untuk menghitung debit rencana pada saluran *box culvert* digunakan persamaan Manning. Berikut merupakan persamaan Manning:

$$v = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times \sqrt{S}$$

$$Q = Av$$

dimana:

- n = Koefisien Manning
- R = Jari-jari hidrolis (m)
- S = Kemiringan dasar saluran
- Q = Debit rencana (m^3/s)
- A = Luas penampang saluran (m^2)
- v = Kecepatan saluran (m/s)

III. ANALISIS DAN PERANCANGAN

Secara umum metodologi pada kajian ini antara lain:

- a. Studi literatur.
- b. Mengumpulkan data terkait proyek tersebut.
- c. Melakukan pengujian terhadap data hujan dengan uji konsistensi, *outlier*, dan *trend*.
- d. Menentukan curah hujan wilayah dan curah hujan periode ulang dengan 5 metode yakni Metode *Normal*, *Log Normal*, *Pearson III*, *Log Pearson III*, dan *Gumbel*.
- e. Melakukan pengujian curah hujan periode ulang (uji kecocokan distribusi) dengan menggunakan 3 metode yakni *Chi Square*, *Smirnov - Kolmogorov*, dan *Kesesuaian Distribusi*.
- f. Menentukan *catchment area*.
- g. Menentukan jumlah *box culvert* yang diperlukan untuk menangani permasalahan banjir.

I.1 Data

Digunakan data hujan dari Stasiun Bendung Cibeeet (stasiun terdekat dari lokasi tinjauan) sebanyak 10 tahun (2010 – 2020).

Tabel 2. Data Hujan Stasiun Bendung Cibeeet

Tanggal	Curah Hujan Bendung Cibeeet
1-Jan-10	46
2-Jan-10	44
3-Jan-10	51
4-Jan-10	
5-Jan-10	1
6-Jan-10	81
7-Jan-10	23
8-Jan-10	3
9-Jan-10	6
10-Jan-10	40
11-Jan-10	2
12-Jan-10	6
...	
Tanggal	Curah Hujan Bendung Cibeeet
27-Dec-20	-
28-Dec-20	5.0
29-Dec-20	-
30-Dec-20	-
31-Dec-20	-

I.2 Pengujian Penyaringan Data Hujan

Sebelum dilakukan analisis, suatu seri data hujan dari pos penakar hujan perlu diperiksa terlebih dahulu kelayakannya melalui uji konsistensi, *outlier*, dan *trend - Spearman*.

Tabel 3. Uji Konsistensi Data Hujan

Tahun	Hujan (mm)	Sk*	Sk**	Sk**
2010	332	176	2,42	2,42
2011	218	62	0,85	0,85
2012	77	-79	-1,08	1,08
2013	186	30	0,42	0,42
2014	145	-11	-0,15	0,15
2015	100	-56	-0,76	0,76
2016	117	-39	-0,53	0,53
2017	143	-13	-0,17	0,17
2018	142	-14	-0,19	0,19
2019	80	-76	-1,04	1,04
2020	173	17	0,24	0,24
Jumlah	1713	Sk** min		-1,08
Rata-Rata	156	Sk** maks		2,42
n	11	R		3,50
S	72,92	Q		2,42
Kontrol 95 %				
Q/n ^{0,5}	0,729	<	1,148	OK
R/n ^{0,5}	1,054	<	1,295	OK

Tabel 4. Uji Outlier Data Hujan

No	Xi	ln Xi	KET.
1	332	5,81	OK
2	218	5,38	OK
3	77	4,34	OK
4	186	5,23	OK
5	145	4,98	OK
6	100	4,61	OK
7	117	4,76	OK
8	143	4,96	OK
9	142	4,96	OK
10	80	4,38	OK
11	173	5,15	OK
Rerata	156	4,96	
Skew		0,34	
SD		0,43	
K _N		2,088	
X _H		352,64	
X _L		57,63	

Tabel 5. Uji Ketiadaan Trend Data Hujan

No	Curah Hujan Max	Rank	Peringkat		dt	dt ²
			CH	Rt		
1	332	1	332	1	0	0
2	218	2	218	2	0	0
3	77	3	186	4	1	1
4	186	4	173	11	7	49
5	145	5	145	5	0	0
6	100	6	143	8	2	4
7	117	7	142	9	2	4
8	143	8	117	7	-1	1
9	142	9	100	6	-3	9
10	80	10	80	10	0	0
11	173	11	77	3	-8	64
Jumlah						132
n						11
Kp						0,400
t						1,31
Hipotesa						
Hipotesa diterima jika nilai t < tc ->				tidak ada trend (Rt dan Tt independen, tidak saling tergantung)		
Hipotesa ditolak jika nilai t > tc ->				Ada trend		
Analisa			Kesimpulan			
± α/2	2,50%		1,31	<	2,262	
uji dua sisi	t _{0,05}	2,262	Diterima, data tidak ada trend			
dk	9					

I.3 Penentuan Curah Hujan Wilayah dan Curah Hujan Periode Ulang

Curah hujan wilayah yang digunakan menggunakan curah hujan maksimum tahunan dari Stasiun Bendung Cibeeet dikarenakan stasiun hujan yang digunakan dalam perhitungan hanya 1.

Tabel 6. Curah Hujan Wilayah

Tahun	Curah Hujan Maksimum	Curah Hujan Wilayah (mm)
2010	332,0	332,0
2011	218,0	218,0
2012	77,0	77,0
2013	186,0	186,0
2014	145,0	145,0
2015	100,0	100,0
2016	117,0	117,0
2017	143,0	143,0
2018	142,0	142,0
2019	80,0	80,0
2020	173,0	173,0
total	1713,0	1713,0

Sedangkan untuk curah hujan periode ulang dihitung dengan menggunakan 5 metode perhitungan yakni Metode Normal, Log Normal, Pearson III, Log Pearson III, dan Gumbel.

Tabel 7. Metode Normal

PERIODE ULANG	Xt (mm)
1000	381.08
200	343.58
100	325.39
50	305.51
25	283.41
10	249.19
5	217.08
2	155.73

Tabel 8. Metode Log Normal

PERIODE ULANG	Xt (mm)
1000	544.74
200	435.82
100	391.13
50	347.51
25	304.69
10	248.57
5	205.36
2	142.56

Tabel 9. Metode Gumbel

PERIODE ULANG	Xt (mm)
1000	515.79
200	424.13
100	384.56
50	344.84
25	304.83
10	250.90
5	208.21
2	143.74

Tabel 10. Metode Log Pearson III

PERIODE ULANG	Xt (mm)
1000	675.83
200	501.08
100	435.74
50	375.53
25	319.82
10	251.87
5	203.46
2	139.09

Tabel 11. Metode Pearson III

PERIODE ULANG	Xt (mm)
1000	539.09
200	439.96
100	397.19
50	354.21
25	310.83
10	252.27
5	206.17
2	139.18

I.4 Pengujian Kecocokan Distribusi

Kecocokan dalam pemilihan fungsi distribusi akan diuji dengan menggunakan metode pengujian dan dengan tingkat interval kepercayaan tertentu. Metode yang digunakan adalah *Chi Square*, *Smirnov – Kolmogorov*, dan Uji Kesesuaian Distribusi.

Tabel 12. Uji Smirnov - Kolmogorov

Uji Smirnov - Kolmogorov			
	Δ Maksimum	Δ Kritis	Status
Gumbel	0.057	0.396	DITERIMA
Normal	0.035	0.396	DITERIMA
Log Normal	0.035	0.396	DITERIMA
Pearson III	0.108	0.396	DITERIMA
Log Pearson III	0.049	0.396	DITERIMA

Tabel 13. Uji Chi Square

Uji Chi Square (x ²)			
	Chi-square (x ²) Hitung	Chi-square (x ²) Kritis	Status
Gumbel	0.364	7.815	DITERIMA
Normal	0.364	7.815	DITERIMA
Log Normal	0.364	7.815	DITERIMA
Pearson III	0.364	7.815	DITERIMA
Log Pearson III	0.364	7.815	DITERIMA

Tabel 14. Uji Kesesuaian Distribusi

No	Distribusi	Syarat (Subarkah, 1980)	Curah Hujan Wilayah	Status
1	Gumbel	Cs ≤ 1.1396	Cs = 0.229	TIDAK LAYAK
		Ck ≤ 5.4002	Ck = 3.397	TIDAK LAYAK
2	Log Pearson III	Cs ≠ 0	Cs = 0.468	LAYAK
3	Normal	Cs = 0	Cs = 0.042	LAYAK
		Ck ≤ 5.383	Ck = 3.184	TIDAK LAYAK
4	Log Normal	Cs = 3	Cs = 0.373	TIDAK LAYAK
		Cs/Cv = 3	Cs/Cv = 1.105	TIDAK LAYAK
5	Pearson III	Tidak spesifik		

Dari hasil pengujian menggunakan metode *Chi Square* dan *Smirnov – Kolmogorov*, seluruh metode distribusi dapat digunakan. Akan tetapi setelah dilakukan uji kesesuaian distribusi, Metode distribusi *Log Pearson III* yang tepat dan akan digunakan dalam perhitungan.

I.5 Penentuan Catchment Area

Catchment Area yang digunakan untuk perhtiugan terdiri dari 3 jenis tutupan lahan yakni bahu rel (jalan kerikil dan tanah), persawahan, dan perumahan. *Catchment area* didapatkan seluas 100.6 ha. *Catchment Area* juga akan menentukan berapa besar koefisien pengaliran (C) dalam perhitungan debit.



Gambar 1. Data Hujan Stasiun Bendung Cibeeet

I.6 Penentuan Jumlah Box Culvert

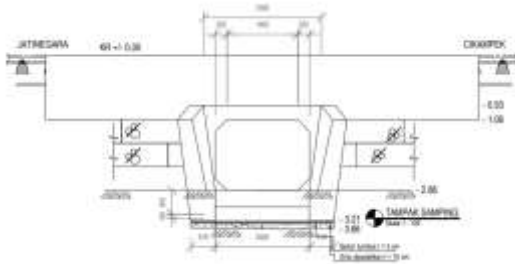
Untuk menenentukan jumlah *box culvert* yang dibutuhkan dalam menangani permasalahan banjir, dilakukan perhitungan debit kapasitas untuk 1 *box culvert*. Perhitungan debit yang mengalir pada saluran *box culvert* menggunakan persamaan Manning.

Tabel 15. Perhitungan Kapasitas Debit 1 Box Culvert dan Dimensi Saluran

PERSEGI PANJANG		
b	2,00	m
y	1,50	m
A basah	3,00	m ²
P basah	7,00	m
n (koef.manning)	0,014	
R	0,43	
Slope	0,001	0.1%
Q kapasitas box culvert	3,85	m ³ /s
3 Box Culvert	11,56	m ³ /s
V	1,284	m/s
Vizin : beton	1,5	m/s

Qout	3,85	m ³ /s
x (m)	0,33	m
b (m)	2,00	m
y (m)	4,939	m
z	0,25	
A	18,033	
P	12,416	
R	1,4524285	
n	0,023	
S	0,0026455	
Q	2,87	
Fb	1,34	
Kedalaman hidrolis (D)	3,57	
Lebar Puncak basah (T)	4,47	
Lebar Dasar	2,00	
Lebar Puncak Saluran (m)	4,80	
Kedalaman saluran (m)	4,91	

Dari hasil analisis yang telah dilakukan didapat kapasitas debit dalam kondisi penuh yang mampu dialirkan oleh 1 box culvert (2 m x 1.5 m) adalah 3.85 m³/s. Dengan debit dari box culvert tersebut, dapat ditentukan dimensi saluran drainase dari box culvert yaitu lebar dasar 2 m, lebar puncak 4.8 m, serta kedalaman saluran sebesar 4.91 m. Berikut ialah tampak potongan melintang box culvert 2 m x 1.5 m:



Gambar 2. Potongan Melintang Box Culvert 2 m x 1.5 m

Setelah didapatkan kapasitas debit yang mampu dialirkan oleh box culvert, dilakukan perhitungan debit banjir menggunakan metode Rasional. Untuk menghitung debit dengan metode Rasional diperlukan nilai Intensitas Hujan yang didapatkan dengan menggunakan rumus Mononobe. Berikut merupakan

parameter serta hasil perhitungan intensitas hujan di wilayah tinjauan:

Tabel 16. Parameter serta Hasil Perhitungan Intensitas Hujan Mononobe

L	9.00	m
nd	0.013	
S	0.001	
t1	1.417851446	menit
b (m)	2.00	
y (m)	1.500	
A	3.000	
P	7.000	
R	0.428571429	
n	0.014	
V	1.283967726	m/s
t2	0.116825366	menit
	1.534676813	menit
tc = t1 + t2	0.025577947	jam

Perhitungan Intensitas Hujan		
Log Pearson III		Mononobe
Periode Ulang	Xtr (mm)	I (mm/jam)
2	139,09	457,390684
5	203,46	669,062521
10	251,87	828,263975
25	319,82	1051,70298
50	375,53	1234,88097
100	435,74	1432,88165
200	501,08	1647,73761
1000	675,83	2222,40524

Berdasarkan 3 jenis tutupan lahan dari catchment area wilayah tinjauan didapatkan nilai koefisien pengaliran komposit (C) sebagai berikut:

Tabel 17. Perhitungan Koefisien Pengaliran (C)

Perhitungan Koefisien Debit	
C (area rei)	0,55
C (area persawahan)	0,525
C (area perumahan)	0,5
Area Perumahan	8146 m ²
Area Rel	861617 m ²
Area Persawahan	136186 m ²
Area Total	1005949 m ²
C komposit	0,5462

Setelah seluruh parameter perhitungan debit dengan menggunakan metode rasional didapatkan, maka didapatkan debit banjir dengan periode ulang sebagai berikut:

Tabel 18. Debit Banjir Periode Ulang

Perhitungan Debit Periode Ulang			
Periode Ulang (tahun)	Intensitas Hujan (mm/jam)	I (m/s)	Q
2	457,3906845	0,00012705	69,81052375
5	669,0625207	0,00018585	102,1175257
10	828,2639745	0,00023007	126,4160898
25	1051,702984	0,00029214	160,5190894
50	1234,880971	0,00034302	188,4771385
100	1432,881652	0,00039802	218,6975424
200	1647,73761	0,0004577	251,4905298
1000	2222,405241	0,00061733	339,2007732

Dengan meninjau debit maupun area 1 box culvert (2 m x 1.5 m) dan dibandingkan dengan debit banjir

periode ulang tahunan yang telah dianalisis, maka akan didapatkan keperluan *box culvert* (2 m x 1.5 m) untuk mengalirkan debit banjir di wilayah tinjauan sebagai berikut:

Tabel 19. Jumlah *Box Culvert* yang dibutuhkan

Tinjau Area	
A	92.27
Jumlah <i>Box Culvert</i>	31
Tinjau Debit	
Q kapasitas per <i>box culvert</i>	3.85
Q5tahun	118.48
Jumlah <i>Box Culvert</i>	31

Departemen Pekerjaan Umum. 2015. Dasar-Dasar Perencanaan Drainase Jalan. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

Departemen Pekerjaan Umum. 2005. Inspeksi dan Pemeliharaan Drainase Jalan. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan 1 *box culvert* dengan dimensi 2 m x 1.5 m mampu untuk menampung debit sebesar 3.85 m³/s atau 11.56 m³/s untuk 3 *box culvert* dengan dimensi yang sama. Dengan data hujan dari stasiun Bendung Cibeet dan catchment area seluas 110.6 ha diperoleh debit banjir 5 tahunan sebesar 118.48 m³/s. Jika digunakan *box culvert* dengan dimensi 2 m x 1.5 m, maka dibutuhkan sekitar 31 *box culvert* di lokasi tersebut.

REFERENSI

- Badan Standardisasi Nasional (BSN). SNI 2415. 2016 *Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana*.
- Chow, Ven Te. 1998. *Open Channel Hydraulic*. Singapore: McGraw Hill.
- Bahan Kuliah Teknik dan Pengelolaan Sumber Daya Air. Institut Teknologi Bandung. 2019. *Sistem dan Rekayasa Drainase*
- Farid, M. (2019). *Bahan Kuliah Teknik dan Pengelolaan Sumber Daya Air Institut Teknologi Bandung. Sistem dan Rekayasa Drainase*. Bandung: Teknik dan Pengelolaan Sumber Daya Air ITB
- Suripin, 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi.
- Badan Standardisasi Nasional (BSN). SNI 03-3424-1994. *Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan*. Jakarta.