

Evaluasi Dimensi *Box Culvert* pada Saluran Drainase Jalan Arteri Soekarno Hatta (Studi Kasus: Ruas Untung Surapati-Hajimena)

Evaluation of Box Culvert Dimensions in the Soekarno Hatta Arterial Road Drainage Canal (Case Study: Untung Surapati - Hajimena Section)

Aniessa Rinny Asnaning, Iskandar Zulkarnain

Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan

Jurusan Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Lampung

Jl. Soekarno-Hatta no. 10 Rajabasa – Bandar Lampung 35144

*E-mail : aniessa.rinny@polinela.ac.id

ABSTRACT

Flow system engineering using box culvert had done in arterial road Soekarno Hatta section Untung Surapati-Hajimena, precisely on the Way Kandis river channel. As population growth, on the box culvert's upstream, had frequently been flooding when it rains with high intensity. It could predict that run off discharge was increased as an impact increasing runoff coefficient due to the growth of the built area in its upstream. It indicated that the box culvert dimension is not suitable to serve runoff discharge. Therefore the evaluation is needed to assess whether the dimension of box culvert was still capable of serving the flowing runoff discharge. The existing box culvert dimension could not serve the runoff discharge in 10, 20, and 25 year return periods are 10.13 m³/s, 11.07 m³/s, dan 11,37 m³/s. It was recommended to use precast concrete ($n = 0.03$) and 0.015 in slope. The evaluation shown that to serve runoff discharge in 10, 20, and 25 year return period, minimum needed box culvert with dimensions are 1.9 x 1.9 (m), 2.0 x 2.0 (m), and 2.0 x 2.0 (m). Refer to it, then recommended the dimension of box culvert is 2.0 x 2.0 m. It could install more than one with an adjustment dimension if the slope were difficult to reach in the recommended dimension

Keywords: river, flood, discharge, box culvert.

Naskah ini diterima pada tanggal 3 Februari 2020, direvisi pada tanggal 17 Februari 2020 dan disetujui untuk diterbitkan pada tanggal 15 April 2020

PENDAHULUAN

Keberadaan jalan arteri Soekarno Hatta merupakan infrastruktur strategis dalam perekonomian kawasan baik regional maupun nasional. Jalan arteri tersebut sangat vital dalam mendukung pergerakan orang dan barang menggunakan moda transportasi darat. Pembangunan jalan arteri tersebut selain memberikan manfaat positif juga memberikan dampak negatif terkait tata aliran pada segmen tertentu.

Penimbunan badan jalan sampai dengan elevasi tertentu untuk mendapatkan kelandaian yang direncanakan membutuhkan rekayasa tata aliran, dalam hal ini adalah debit limpasan yang

secara alami akan menuju badan air melintasi badan jalan tersebut. Rekayasa yang dapat dilakukan adalah dengan memasang *box culvert* untuk mengalirkan air yang terhalang timbunan badan jalan.

Salah satu rekayasa tata aliran menggunakan *box culvert* dilakukan pada ruas Untung Surapati-Hajimena, tepatnya pada alur sungai Way Kandis. Seiring pertumbuhan penduduk dari waktu ke waktu, pada hulu *box culvert* tersebut sering mengalami permasalahan genangan / banjir saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi. Kondisi ini dapat diduga bahwa debit limpasan meningkat sebagai akibat peningkatan koefisien limpasan dikarenakan pertumbuhan kawasan terbangun pada daerah tangkapan.

Saat terjadi genangan, kerugian material berupa rusaknya infrastruktur pemukiman (jalan rusak, genangan di jalan, rusaknya perabot rumah akibat genangan masuk di rumah), sumur terendam sehingga tidak dapat digunakan, dan lainnya. Sedangkan kerugian immateril yang terjadi adalah menurunnya kualitas lingkungan akibat genangan.

Berdasarkan kondisi tersebut, dapat diperkirakan bahwa dimensi *box culvert* untuk kondisi saat ini tidak sesuai lagi mengingat laju pertumbuhan kawasan terbangun pada daerah tangkapan. Untuk itu diperlukan evaluasi dimensi *box culvert* apakah masih sesuai dengan besaran debit banjir yang harus dilayani. Jika tidak sesuai lagi maka dibutuhkan *box culvert* dengan dimensi tertentu untuk melayani debit banjir rencana.

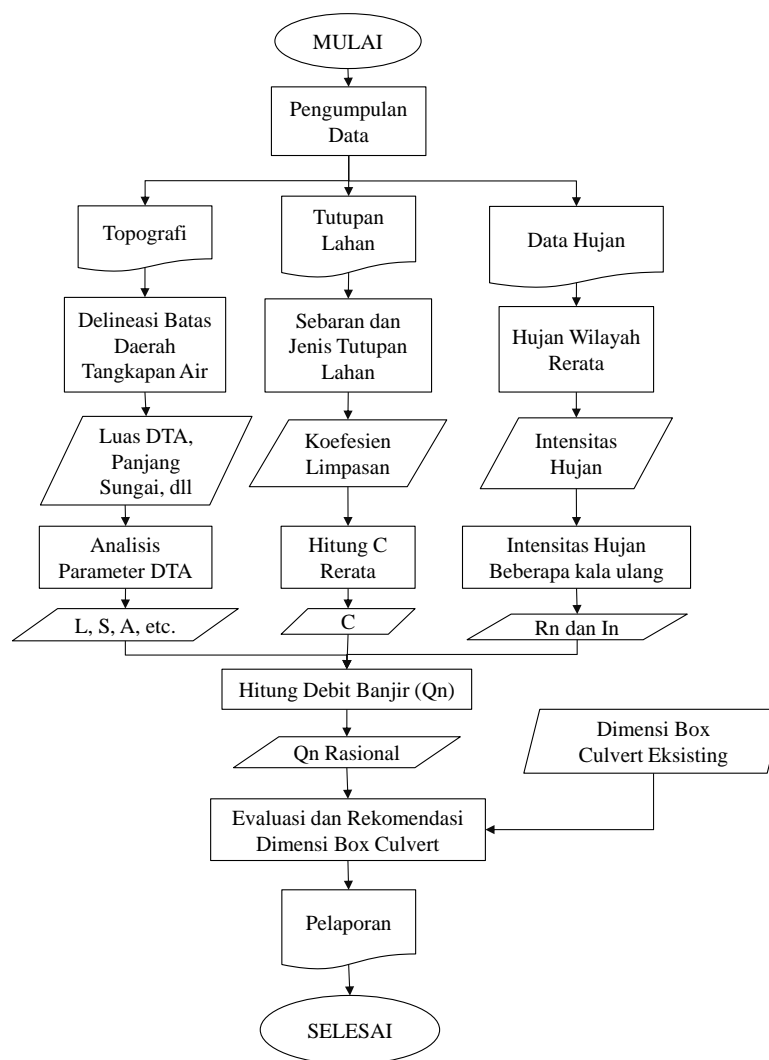
Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian dengan Evaluasi Dimensi *Box Culvert* pada Saluran Drainase Jalan Arteri Soekarno Hatta (Studi Kasus Ruas Untung Surapati-Hajimena), adalah:

- 1) Delineasi batas daerah tangkapan (*catchment area*) yang dilayani *box culvert*;
- 2) Memetakan sebaran dan jenis tutupan lahan daerah tangkapan (*catchment area*) yang dilayani *box culvert*;
- 3) Menghitung hujan wilayah maksimum untuk daerah tangkapan (*catchment area*) yang dilayani *box culvert*;
- 4) Menghitung debit banjir rencana untuk kala ulang 10, 20, dan 25 tahun;
- 5) Menghitung dimensi *box culvert* kebutuhan dan evaluasi dimensi *box culvert* eksisting.

METODE PENELITIAN

Penelitian tersebut akan dilakukan melalui beberapa jenis kegiatan yang saling terkait meliputi pengumpulan data, survei lapangan (*ground check*), identifikasi penggunaan lahan, perhitungan intensitas hujan, perhitungan koefisien limpasan rerata, perhitungan luas daerah tangkapan, perhitungan debit banjir beberapa kala ulang, evaluasi dimensi *box culvert* dan pelaporan. Prosedur penelitian digambarkan dalam bagan alir berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Alat dan Bahan

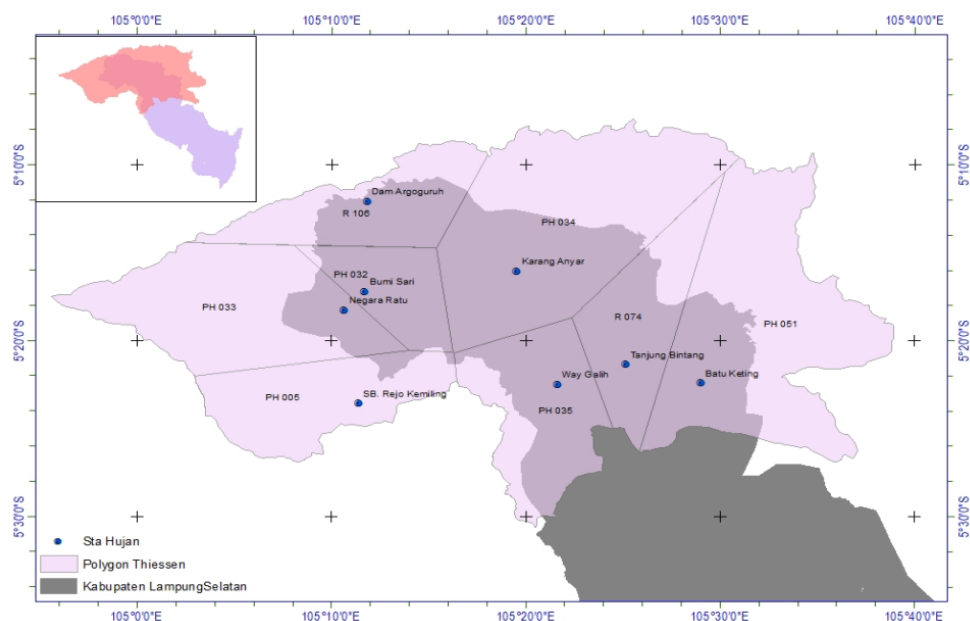
Penelitian tersebut membutuhkan alat dan bahan sebagai dasar analisis dan piranti penunjang untuk melakukan analisis penggunaan lahan, intensitas hujan dan delineaasi daerah tangkapan. Adapun kebutuhan alat dan bahan dalam penelitian tersebut adalah peta topografi *catchment area* sungai Way Kandis, data hujan, data skunder lain, gps navigasi, kamera, citra satelit dan komputer.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hujan Wilayah

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan adalah hujan yang terjadi hanya pada satu tempat/titik tertentu (*point rainfall*). Mengingat hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan yang luas, satu alat ukur belum dapat menggambarkan hujan yang terjadi pada wilayah tersebut. Gambaran hujan yang terjadi pada suatu wilayah adalah hujan

kawasan (*areal rainfaal*) yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang terdapat di dalam dan atau sekitar kawasan tersebut. Dalam penelitian tersebut digunakan metode poligon Thiessen untuk perhitungan hujan wilayah.



Gambar 2. Poligon Thiessen

Tabel 1. Hujan Harian Wilayah Maksimum

No.	Tahun	PH.032	R.074	R.106	PH.034	PH.033	PH.005	PH.151	PH.035	Curah Hujan Rata-Rata (mm)
		0,1040	0,1745	0,0800	0,3032	0,0395	0,0895	0,0868	0,1224	
1	2008	57,5	102,5	69	121	300	105	95	91	106,71
2	2009	41	97,5	71,0	63,0	30,0	246,0	63,0	91,0	85,88
3	2010	45	87	84,0	75,0	58,0	166,0	147,0	86,0	89,77
4	2011	32	133,5	86	60	240	112	80	76	87,45
5	2012	41	120,2	69,0	95,0	51,0	60,0	38,0	84,0	80,53
6	2013	38	73,5	113,0	96,0	79,0	120,0	80,0	240,0	105,12
7	2014	70	36,5	85	81	62	97	53	48,3	66,66
8	2015	60	62,5	76,0	73,0	75,0	75,0	44,0	100,0	71,10
9	2016	22	95,5	122,0	115,0	49,0	103,0	42,0	120,0	93,07
10	2017	59	87,5	107	133	36	140	111	110	107,35

Sumber: Analisis, 2019

Perhitungan parameter statistik curah hujan wilayah di atas, didapat beberapa parameter statistik penting terdiri dari *mean* (rata-rata) = 89,37 mm/hari; median = 88,61mm/hari; standar deviasi (sd) = 14,26; cv = 0,16; skewness = -0,17; dan kurtosis = -0,96.

Hujan Rancangan Beberapa Kala Ulang

Berdasarkan nilai parameter statistik, jenis distribusi frekuensi yang mungkin sesuai dengan seri data hujan maksimum lokasi studi adalah distribusi Log-Pearson III dan Gumbel.

Tabel 2. Perhitungan Hujan Rancangan Log - Pearson II

CH (Xi)	log CH	P (m/(n+1))	Tr	K	Log X	XTr
107,355	2,031	0,091	11,0	1,252	2,035	108,467
106,713	2,028	0,182	5,5	0,892	2,010	102,251
105,120	2,022	0,273	3,7	0,495	1,981	95,794
93,074	1,969	0,364	2,8	0,248	1,964	91,979
89,769	1,953	0,455	2,2	0,099	1,953	89,763
87,448	1,942	0,545	1,8	-0,146	1,936	86,223
85,882	1,934	0,636	1,6	-0,446	1,914	82,075
80,531	1,906	0,727	1,4	-0,671	1,898	79,096
71,101	1,852	0,818	1,2	-1,025	1,873	74,630
66,659	1,824	0,909	1,1	-1,951	1,807	64,096
893,653	19,460				19,371	874,373

Nilai Koefisien kemencengan/skweness (CS) adalah -0,425. Sehingga dilakukan perhitungan nilai faktor probabilitas (K) dan peluang kejadian untuk beberapa periode ulang pada koefisien skweness -0,425.

Tabel 3. Nilai K pada Koefisien Skweness -0,425

Kala Ulang	1,01	1,25	2	5	10	25	50	100
Probabilitas Kejadian	99	80	50	20	10	4	2	0,769
CS = -0,4	-2,615	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
K CS = -0,4249	-2,632	-0,814	0,0455	0,8553	1,2271	1,5962	1,8198	2,0104
CS = -0,6	-2,755	-0,8	-0,099	0,857	1,2	1,528	1,72	1,88

Untuk curah hujan dengan periode ulang 5, 10, dan 25 tahun dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$\log x_{Tr} = \overline{\log x} + Ks$$

Tr	= 5 tahun	Tr	= 25 tahun
Log x	= 1,946 + (0,855 x 0,071)	Log x	= 1,946 + (1,596 x 0,071)
X ₅	= 101,628 mm	X ₂₅	= 114,783 mm
Tr	= 10 tahun		
Log x	= 1,946 + (1,227 x 0,071)		
X ₁₀	= 108,029 mm		

Tabel 4. Perhitungan Hujan Rancangan Gumbel

CH (Xi)	Ranking (m)	P (m/(n+1))	Periode Ulang (T)	Ytr	a	b	Xtr
107,355	1	0,091	11,0	2,351	0,067	82,470	117,765
106,713	2	0,182	5,5	1,606	0,067	82,470	106,586
105,120	3	0,273	3,7	1,144	0,067	82,470	99,652
93,074	4	0,364	2,8	0,794	0,067	82,470	94,394
89,769	5	0,455	2,2	0,501	0,067	82,470	89,988
87,448	6	0,545	1,8	0,238	0,067	82,470	86,039
85,882	7	0,636	1,6	-0,012	0,067	82,470	82,297
80,531	8	0,727	1,4	-0,262	0,067	82,470	78,539
71,101	9	0,818	1,2	-0,533	0,067	82,470	74,461
66,659	10	0,909	1,1	-0,875	0,067	82,470	69,338

Perhitungan curah hujan rancangan distribusi Gumbel untuk kala ulang tertentu menggunakan nilai *reduce variate* (Ytr) berikut.

Tabel 5. Nilai *Reduce Variate* (Ytr)

Periode Ulang, Tr (Tahun)	Reduced Variate, Y _{Tr}
10	2,2510
20	2,9709
25	3,1993

$$X_{TR} = b + \frac{1}{a} Y_{TR}$$

$$\begin{aligned} X_{10} &= 82,470 + (1/0,067) \times 2,2510 \\ &= 116,259 \text{ mm} \\ X_{20} &= 82,470 + (1/0,067) \times 2,9709 \\ &= 127,068 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_{25} &= 82,470 + (1/0,067) \times 3,1993 \\ &= 130,221 \text{ mm} \end{aligned}$$

Uji chi kuadrat untuk mencari (X^2) pada kedua metode (log Pearson III dan Gumbel), didapatkan nilai X^2 metode gumbel dan log Pearson III lebih kecil dari nilai Kritis (X^2Cr), namun nilai yang paling kecil yaitu dengan metode gumbel yakni sebesar 0,5186, sedangkan metode log pearson III sebesar 0,7216. Semakin kecil nilai maka semakin tinggi nilai derajat kepercayaannya. Maka distribusi yang di gunakan yaitu metode Gumbel.

Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman hujan per satuan waktu. Apabila data hujan tersedia adalah data hujan harian, maka intensitas hujan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Mononobe. Perkiraan lamanya hujan didekati dengan persamaan waktu konsentersasi. Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran DAS (*outlet*) setelah tanah menjadi jenuh.

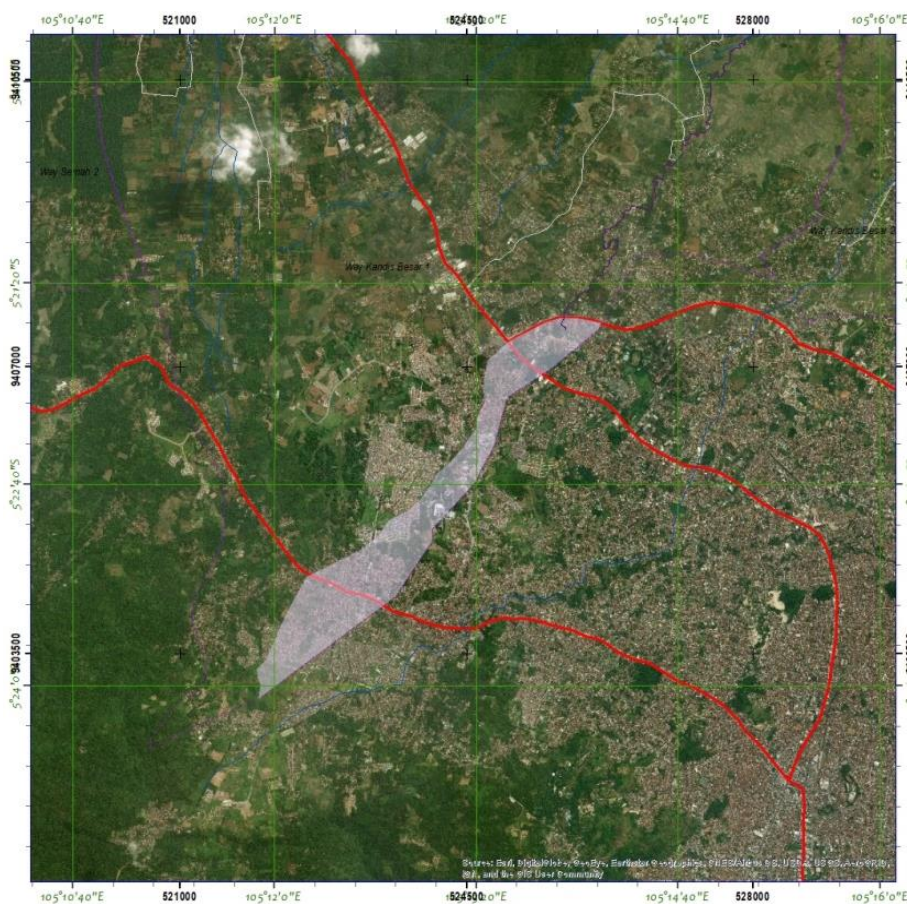
Dalam hal ini diasumsikan bahwa jika durasi hujan sama dengan waktu konsentrasi, maka setiap bagian DAS secara serentak menyumbangkan aliran ke *outlet*. Salah satu metode untuk memperkirakan waktu konsentrasi adalah persamaan yang dikembangkan oleh Kirpich. Panjang saluran (sungai) utama dan kemiringan dasar sungai dihitung menggunakan data topografi lokasi studi.

Tabel 6. Intensitas Hujan Beberapa Kala Ulang

Kala Ulang (tahun)	R24 (mm)	tc (jam)	Intensitas Hujan (mm/jam)
10	116,26	2,9	19,82
20	127,07	2,9	21,66
25	130,50	2,9	22,25

Koefisien Limpasan dan Luas Daerah Tangkapan

Koefisien limpasan (C) ditentukan oleh jenis penggunaan lahan dimana air hujan jatuh. Pada lokasi studi, penggunaan lahan dapat dikelompokkan dalam 4 (empat) jenis penggunaan lahan, meliputi : lahan terbuka, lahan bervegetasi, pemukiman dan kawasan komersial.



Gambar 3. Daerah Tangkapan Air di Hulu *Box Culvert*

Tabel 7. Koefisien Limpasan (C)

No	Penggunaan Lahan	Persen Luas (%A)	C	C.(%A)
1	Lahan Terbuka	12,50%	0,50	0,075
2	Lahan Bervegetasi	17,50%	0,35	0,07
3	Pemukiman	55,00%	0,65	0,325
4	Kawasan Komersial	15,00%	0,80	0,12
		100,00%	C_{rerata}	0,60

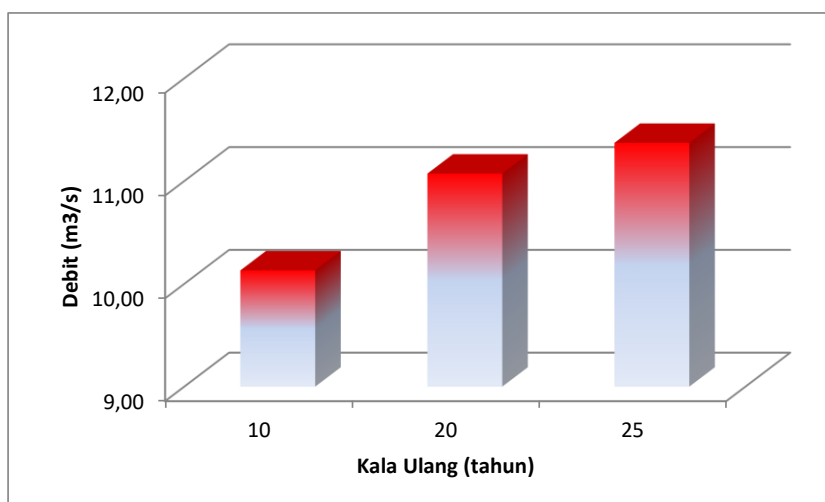
Hasil deliniasi daerah tangkapan berdasarkan peta topografi lokasi studi mendapatkan informasi batas daerah tangkapan air yang akan melewati *box culvert*. Hasil deliniasi dan perhitungan geometrik didapatkan luas daerah tangkapan air sebesar 306,06 hektar.

Debit Banjir

Dengan menggunakan besaran parameter /variabel debit banjir metode rasional (intensitas hujan, koefisien limpasan dan luas daerah tangkapan), debit banjir rencana yang akan melewati *box culvert* dapat diperkirakan seperti ditabulasikan berikut.

Tabel 8. Debit Banjir Beberapa Kala Ulang

No	T	I	C_{rerata}	A (ha)	Q (m ³ /s)
1	10	19,81959	0,60	306,06	10,13
2	20	21,66244	0,60	306,06	11,07
3	25	22,24717	0,60	306,06	11,37



Gambar 4. Debit Banjir Beberapa Kala Ulang

Evaluasi Dimensi Box Culvert

Evaluasi dimensi *box culvert* dilakukan dengan menghitung kapasitas *box culvert* terpasang, kapasitas *box culvert* terpasang (Q_{ex}) selanjutnya dibandingkan dengan debit banjir rencana (Q_{10} , Q_{20} , dan Q_{25}) untuk mengetahui apakah dimensi eksisting mampu mengalirkan debit rencana. Kriteria yang digunakan adalah jika Q_{ex} lebih dari debit banjir rencana, maka dimensi *box culvert* mampu mengalirkan debit banjir rencana.

Data perhitungan yang digunakan adalah: (1) *box culvert* terbuat dari beton *precast* ($n = 0,03$), (2) kemiringan dasar *box culvert* ($S = 1,5\%$), penampang melintang *box culvert* persegi, lebar dasar ($b = 1,5$ m), dan tinggi *box culvert* ($h = 1,5$ m). Dengan menggunakan persamaan *manning*, didapat kapasitas *box culvert* terpasang adalah $5,79$ m³/detik.

Tabel 9. Perbandingan Debit Banjir Rencana dengan Kapasitas Box Culvert Terpasang

No	T	Q (m ³ /s)	Q _{ex} (m ³ /s)	Keterangan
1	10	10,13	5,79	Tidak Memenuhi
2	20	11,07	5,79	Tidak Memenuhi
3	25	11,37	5,79	Tidak Memenuhi

Perhitungan di atas menunjukkan bahwa dimensi *box culvert* eksisting tidak mampu melayani debit banjir rencana, sehingga dibutuhkan dimensi *box culvert* yang lebih besar. Untuk itu perlu dilakukan perhitungan dimensi *box culvert* yang sesuai untuk mengalirkan debit banjir rencana. Perhitungan dilakukan dengan parameter di atas dengan $n = 0,03$, $S = 1,5\%$, penampang persegi ($b = h$), dan kecepatan aliran (v) antara 2,5-5,0 m/s.

Tabel 10. Perhitungan Dimensi Box Culvert Berdasarkan Q_{10}

b (m)	h (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	Check
1,5	1,5	2,25	4,5	0,50	2,57	5,79	FALSE
1,6	1,6	2,56	4,8	0,53	2,68	6,87	FALSE
1,7	1,7	2,89	5,1	0,57	2,80	8,08	FALSE
1,8	1,8	3,24	5,4	0,60	2,90	9,41	FALSE
1,9	1,9	3,61	5,7	0,63	3,01	10,87	OK

Tabel 11. Perhitungan Dimensi Box Culvert Berdasarkan Q_{20}

b (m)	h (m)	A (m ²)	P (m)	R (m)	V (m/s)	Q (m ³ /s)	Check
1,5	1,5	2,3	4,5	0,5	2,57	5,79	FALSE
1,6	1,6	2,6	4,8	0,5	2,68	6,87	FALSE
1,7	1,7	2,9	5,1	0,6	2,80	8,08	FALSE
1,8	1,8	3,2	5,4	0,6	2,90	9,41	FALSE
1,9	1,9	3,6	5,7	0,6	3,01	10,87	FALSE
2,0	2,0	4,0	6,0	0,7	3,12	12,46	OK

Tabel 12. Perhitungan Dimensi *Box Culvert* Berdasarkan Q_{25}

b (m)	h (m)	A (m²)	P (m)	R (m)	V (m/s)	Q (m³/s)	Check
1,5	1,5	2,3	4,5	0,5	2,57	5,79	FALSE
1,6	1,6	2,6	4,8	0,5	2,68	6,87	FALSE
1,7	1,7	2,9	5,1	0,6	2,80	8,08	FALSE
1,8	1,8	3,2	5,4	0,6	2,90	9,41	FALSE
1,9	1,9	3,6	5,7	0,6	3,01	10,87	FALSE
2,0	2,0	4,0	6,0	0,7	3,12	12,46	OK

Perhitungan dimensi *box culvert* di atas menunjukkan bahwa untuk mengalirkan debit banjir rencana dengan kala ulang 10, 20, dan 25 tahun dibutuhkan dimensi miniman 1,9 m x 1,9 m untuk Q_{10} dan 2 m x 2 m untuk Q_{20} dan Q_{25} . Merujuk hasil tersebut, maka direkomendasikan dimensi *box culvert* untuk jalan arteri Soekarno Hatta ruas Untung Surapati pada alur sungai Way Kandis adalah *box culvert* berbentuk persegi dengan dimensi 2 m x 2 m, terbuat dari beton *precast*, dan dipasang dengan kemiringan 1,5% ke arah hilir.

KESIMPULAN

Evaluasi dimensi *box culvert* jalan arteri Soekarno Hatta ruas Untung Surapati pada alur sungai Way Kandis menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Daerah tangkapan air *box culvert* memanjang dari arah Selatan ke Utara (Kota Bandar Lampung) dengan luas 306,06 hektar
- 2) Interpretasi citra satelit resolusi tinggi diketahui bahwa jenis tutupan/penggunaan lahan di daerah tangkapan air *box culvert* terdiri dari 12,5% lahan terbuka, 17,5% lahan bervegetasi, 55% pemukiman, dan 15% kawasan komersial
- 3) Curah hujan wilayah maksimum untuk kala ulang 10, 20, dan 25 tahun berturut-turut sebesar 116,26 mm, 127,07 mm, dan 130,50 mm
- 4) Debit banjir untuk kala ulang 10, 20, dan 25 tahun berturut-turut sebesar 10,13 m³/detik, 11,07 m³/detik, dan 11,13 m³/detik
- 5) Dimensi *box culvert* eksisting hanya mampu mengalirkan air sebesar 5,79 m³/s. Untuk melayani debit banjir rancangan dibutuhkan *box culvert* dengan dimensi $b = 2$ m, $h = 2$ m, $S = 0,015$, dan $n = 0,03$.
- 6) Jika kemiringan dasar *box culvert* sulit tercapai untuk dimensi direkomendasikan, dapat digunakan *box culvert* lebih dari satu dengan dimensi menyesuaikan.

DAFTAR PUSTAKA

Alfieri, L., 2018. *A Global Network for Operational Flood Risk Reduction. Environmental Science and Policy* 84 (2018) 149-158. Elsevier.

- Arrighi C., Pregolato M., Dawson R. J., Castelli F. 2019. Preparedness Against Mobility Disruption by Floods. *Science of The Environment* 654 (2019) 1010-1022. Elsevier
- Asdak C., Sapian S., Subiyanto. 2018. *Watershed Management Strategies for Flood Mitigation: A Case Study of Jakarta's Flooding*. *Weather Climates Extremes* 21 (2018) 117-122. Elsevier
- Budiyanto M. A. 2017. Penelusuran Banjir Sungai Luk Ulo Akibat Perubahan Tutupan Lahan. *Jurnal Geografi* Volume 14 No.1. Januari 2017. Semarang.
- Darsono S., Budienny H., Wahyuningtyas A., Pahlevari E. 2017. Pengendalian Banjir Sungai Bringin Semarang. *JURNAL KARYA TEKNIK SIPIL* Volume 6 No. 3. Semarang.
- Figuroa F., Borrero A. C., Fernandez D. R. 2016. "I like to conserve the forest, but I also like the cash." *Socioeconomic factors influencing the motivation to be engaged in the Mexican Payment for Environmental Services Programme*. Elsevier-*Journal of Forest Economics*. Canada.
- Lestari U. S. 2016. Kajian Metode Empiris untuk Menghitung Debit Banjir Sungai Negara di Ruas Kecamatan Sungai Pandan (Alabio). *Jurnal POROS TEKNIK* Volume 8 No. 2. Desember 2016.
- Maulana A. 2016. Memberdayakan Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) Kawasan Strategis Hutan Lindung Sungai Wain dan Sungai Manggar Tahun 2015-2035 dalam Mereduksi Ancaman Kelestarian Lingkungan. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan* Volume 4 Nomor 2, Agustus 2016, 123-132. Semarang
- Pramono I. B., Putra P. B.. 2017. Tipologi Daerah Aliran Sungai untuk Mitigasi Bencana Banjir di Daerah Aliran Sungai Musi. *Jurnal JPPDAS*. Nopember 2017. Surakarta.
- Pemerintah Republik Indonesia. 2012. Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS). Kementerian Sekretariat Negara. Jakarta.
- Ruitjer J. 2014. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS). *World Agroforestry Center*. Pidra – *Participatory Integrated Development in Rainfed Areas*. Jakarta
- Zhang G., Pu J., Mao S. 2018. *Research of the Flooded and Vent Area of All Flooded High Expansion Foam System*. *Procedia Engineering* 211 (2018) 996-1003. Elsevier