

Kajian Keandalan Saluran Drainase dengan Pendekatan Metode *First-Order Second Moment* dan *Safety Factor*

Asep Ferdiansyah^{a,b*}, Eka Oktariyanto Nugroho^b, Agung Wiyono Hadi Soeharno^b

^aDirektorat Bina Teknik Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

^bFakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung

DOI: <https://doi.org/10.18196/bce.v2i2.15514>

Abstrak

Jalan Ir.H Juanda merupakan salah satu akses menuju tempat pariwisata di Kota Bandung dan merupakan ikon Kota Bandung. Jalan Ir.H Juanda memiliki permasalahan yaitu tingkat kemacetan yang tinggi dan banjir pada musim penghujan. Hal ini berdampak pada kerusakan jalan, drainase, dan kemacetan. Untuk mengetahui risiko terjadinya luapan saluran pada wilayah kajian sebagai akibat berbagai besaran debit banjir, dilakukan tiga tahapan analisis yaitu analisis hidrologi untuk mengetahui besaran debit periode ulang, analisis hidraulika untuk mengidentifikasi titik luapan dan skenario pembenahan serta analisis keandalan menggunakan metode safety factor dan first order-second moment. Hasil analisis menunjukkan terdapat 2 titik yang memiliki peluang untuk terjadinya luapan yaitu di lokasi Masjid Al-Ihsan dan Bengkel Honda. Solusi yang diberikan untuk mengatasi hal tersebut adalah melakukan normalisasi drainase dengan ukuran 1.5 m x 1.5 m dari hulu hingga hilir. Hasil menunjukkan bahwa keandalan saluran meningkat menjadi 92.96 % (Debit Periode Ulang 2 Tahunan), 88.54 % (Debit Periode Ulang 5 Tahunan) dan 85.81 % (Debit Periode Ulang 10 Tahunan) untuk saluran Masjid Al-Ihsan serta 100 % (Debit Periode Ulang 2 Tahunan), 99.98 % (Debit Periode Ulang 5 Tahunan) dan 99.92 % (Debit Periode Ulang 10 Tahunan) untuk saluran Bengkel Honda. Metoda pada analisis risiko di atas dapat menghubungkan probabilitas kegagalan atau pelampauan dengan harapan keberhasilan fungsi suatu struktur penampang drainase dalam menampung aliran banjir.

Kata-kata kunci: *Safety Factor*, FOSM, Risiko, Dago, Banjir

Abstract

Ir.H Juanda street is one of the access to tourism places in Bandung City and is an icon of Bandung City. Ir.H Juanda street has problems, namely high levels of congestion and flooding in the rainy season. This has an impact on road damage, drainage, and congestion. To determine the risk of overflow of the channel in the study area as a result of various amounts of flood discharge, carried out three analyzes stages, namely hydrological analysis to determine the amount of return period discharge, hydraulic analysis to identify overflow points and improvement scenarios and reliability analysis using the safety factor and first-order-second moment methods. The results of the analysis show that there are 2 points that have the opportunity for overflow, namely at the location of the Al-Ihsan Mosque and the Honda Workshop. The solution given to overcome this is to normalize the drainage with a size of 1.5 m x 1.5 m from upstream to downstream. The results showed that the reliability of the channel increased to 92.96% (Two Years Return Period Discharge), 88.54% (Five Years Return Period Discharge) and 85.81% (Ten Years Return Period Discharge) for the Al-Ihsan Mosque channel and 100% (Two Years Return Period Discharge), 99.98% (Five Years Return Period Discharge) and 99.92% (Ten Years Return Period Discharge) for the Honda Workshop channel. The method in the risk analysis above can relate the probability of failure or exceedance to the expected success of the function of a drainage cross-sectional structure in accommodating flood flows.

Keywords: *Safety Factor*, FOSM, Risk, Dago, Flood

© 2022 Bulletin of Civil Engineering UMY

Article History

Received

15 July 2022

Revised

10 August 2022

Accepted

31 August 2022

*Corresponding author

Aseperdiansyah.gfm45@gmail.com

1 PENDAHULUAN

Pertumbuhan dan kepadatan penduduk yang cepat menyebabkan tekanan terhadap ruang dan lingkungan untuk kawasan industri, perumahan dan fasilitas lainnya. Tingginya aktivitas masyarakat urban tersebut

mengakibatkan minimnya sarana serapan hujan, termasuk drainase air. Menurut Peraturan Walikota Nomor 981 (2006) tentang Rencana Detail Tata Ruang Kota Wilayah Pengembangan Cibeunying, menjelaskan bahwa akibat dari perluasan Kota Bandung, lahirlah beberapa sub pusat

pengembangan yang tidak terencana. Hal ini diartikan bahwa lokasi – lokasi yang mengalami perubahan tersebut tidak diikuti dengan penyediaan sarana dan prasarana untuk mendukung keberadaan pusat – pusat pelayanan tersebut. Salah satu sub pusat yang bermasalah tersebut yaitu Jalan Ir. H Juanda. Sepuluh tahun terakhir kawasan Jalan Ir. H Juanda selalu banjir jika terjadi hujan deras, yaitu 24 Oktober 2020 (Nur Khansa Ranawati, 2020), 01 Desember 2018 (Fatonah Siti, 2018), 08 Juni 2013 (Nasution Albadr, 2013) dan 04 Desember 2010 (detikNews, 2010). Hal ini menyebabkan genangan air masuk ke ruas Jalan Ir. H Juanda yakni dari Pasar Simpang ke arah atas menuju Terminal Dago sehingga berdampak pada kerusakan jalan, drainase, dan kemacetan. Salah satu cara dalam mengkuantifikasi ketidakmampuan hidraulik saluran (banjir) maupun keberhasilan dalam pemberian air (suplai air) adalah dengan menghitung nilai keandalan penampang hidraulik saluran (Plate dan Duckstein, 1988; Karamouz dan Falahi, 2013; Sylvestre dkk, 2021; Abdulai dan Sharifzadeh, 2021; Adarsh dan Reddy, 2013; Schwiersch dkk, 2022). Lanzafame dkk (2017), Wang dkk (2018), dan van Woerkom dkk (2021,2022), melakukan kajian keandalan pada stabilitas tebing dan tanggul berdasarkan aliran air tanah yang melewati tebing sungai tersebut. Selain itu, Alexander Leda 2005 dan Giyanto 2019a, 2019b melakukan kajian keandalan kapasitas alur alami sungai dengan Konsep Angka Keamanan (Level-1) dan *Second Moment Analysis* (Level-2). Hal yang sama dilakukan oleh Pian Amsori pada tahun 2015, untuk mengetahui risiko overtopping pada revetment akibat *Run-Up* gelombang laut.

Sampai saat ini, perhitungan banjir hanya berakhir pada debit yang melebihi kapasitas penampang dan hanya terbatas pada penjelasan banjir atau tidak, sedangkan penilaian yang lebih kuantitatif seperti angka keamanan maupun keandalannya jarang dihitung sebagai acuan dalam perencanaan. Oleh karena itu, untuk mengisi kelangkaan analisis yang lebih lengkap secara kuantitatif maka penelitian ini bertujuan untuk menghitung angka keamanan (*Safety Factor/SF*) maupun risiko dan keandalannya pada luapan di saluran sebagai akibat berbagai besaran debit banjir untuk setiap periode ulang dengan metode *safety factor* dan *first order-second moment* serta memberikan solusi pencegahan pada saluran yang terindikasi memiliki keandalan yang rendah.

2 METODE PENELITIAN

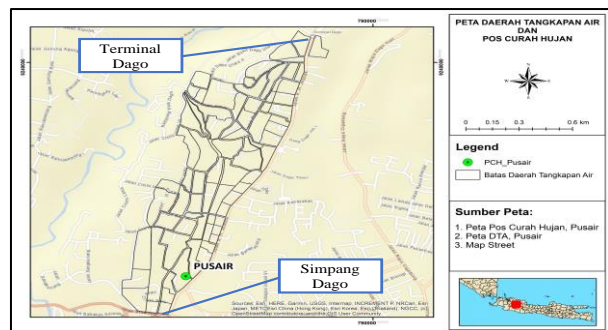
Analisis yang digunakan pada kajian ini adalah analisis hidrologi dan hidrolika. Secara hidrologi, akan dilakukan analisis hujan limpasan menggunakan pos curah hujan di dalam Daerah Tangkapan Air (DTA) kajian. Secara hidrolika, akan dilakukan analisis kapasitas saluran sebagai respon dari debit banjir yang dialirkan. Berikut tahapan untuk Kajian Keandalan Saluran Drainase dengan Pendekatan Metode *First-Order Second Moment* dan *Safety Factor*.

Tahap awal sebelum analisis dilakukan adalah menentukan wilayah tangkapan air pada drainase di Jalan Ir. H. Djuanda ruas Simpang Dago-Terminal Dago. Gambar 1 merupakan wilayah tangkapan air untuk wilayah kajian berdasarkan hasil survei yang telah

dilakukan oleh Balai Hidrologi dan Lingkungan Keairan, Bina Teknik Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Setelah daerah tangkapan air diketahui, maka selanjutnya mencari pos curah hujan terdekat sebagai data masukan untuk menghitung debit periode ulang di wilayah tersebut. Selain data curah hujan, diperlukan informasi karakteristik saluran daerah tangkapan air, data kapasitas saluran eksisting, kapasitas saluran rencana dan analisis keandalan saluran. Seluruh data dan informasi tersebut, kemudian digunakan sebagai data masukan perangkat lunak SWMM (*Storm Water Management Model*).

Berdasarkan Gambar 1, teridentifikasi satu pos curah hujan yang akan digunakan dalam analisis yaitu pos curah hujan Pusair, dengan panjang pencatatan dari Tahun 1986 sampai 2020. Batas DTA tersebut juga akan digunakan sebagai skema aliran dengan bantuan perangkat lunak SWMM (*Storm Water Management Model*).



Gambar 1 Daerah Tangkapan Air Wilayah Kajian

2.1 Perhitungan Hujan Rencana dan Distribusi Hujan

Perhitungan hujan rencana digunakan untuk menentukan besarnya debit puncak banjir periode ulang dalam kaitannya menentukan desain rencana pembangunan prasarana keairan. Hujan rencana adalah curah hujan terbesar tahunan dengan periode ulang tertentu, dimana sebagai dasar perhitungan digunakan curah hujan maksimum harian tahunan yang terjadi secara serempak di daerah pengaliran yang ditinjau. Untuk menghindari kemungkinan terjadinya ketidaksesuaian antara distribusi frekuensi teoritis yang digunakan dengan distribusi data yang sesungguhnya, maka digunakan distribusi frekuensi dengan *Generalized Extreme Value* (GEV) dimana berdasarkan penelitian yang dilakukan Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air, metode tersebut paling baik untuk diterapkan di Indonesia (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2017).

Data curah hujan yang digunakan adalah pengamatan pos curah hujan Pusair. Pos ini dikelola oleh Balai Hidrologi dan Lingkungan Keairan. Data yang tercatat sepanjang 34 tahun dari tahun 1986 hingga 2020. Meskipun masih terdapat tahun-tahun data yang kosong. Berikut adalah rangkuman besaran hujan harian maksimum tahunan (HHMT) pada pos tersebut.

Tahun	HHMT (mm)	Tahun	HHMT (mm)
1986	79.0	2005	78.0

Tahun	HHMT (mm)	Tahun	HHMT (mm)
1987	81.0	2006	61.0
1991	71.0	2008	72.0
1992	88.0	2009	70.0
1993	65.0	2010	108.0
1994	63.0	2011	53.0
1995	56.0	2012	87.0
1997	56.0	2014	86.0
1998	75.0	2015	56.0
1999	88.0	2016	17.5
2000	66.0	2017	17.0
2002	69.0	2018	80.0
2003	114.0	2019	50.3
2004	121.0	2020	80.7

Sumber: Bina Teknik Sumber Daya Air, 2018

Sebelum dilakukan perhitungan hujan rencana, perlu dilakukan pengujian data HHMT untuk menghindari data yang diduga *outlier* maupun data yang tidak homogen.

Hujan rencana yang telah diperoleh dari analisis frekuensi merupakan kumulatif hujan dalam satu hari. Pada penelitian ini, hujan harian tersebut didistribusikan menjadi jam-jaman menggunakan bentuk distribusi ABM (*Alternating Block Method*). Nilai intensitas hujan dari data harian menjadi jam-jaman digunakan rumus berikut.

$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

I_t : intensitas curah hujan untuk lama hujan t (mm/jam)

t : lamanya curah hujan (jam)

R_{24} : curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)

Pada prinsipnya kedalaman hujan pada setiap jam akan diketahui dengan perkalian antara intensitas hujan dan durasi waktu tersebut. Perbedaan antara nilai kedalaman hujan yang berurutan merupakan pertambahan hujan dalam interval waktu Δt . Kemudian rangkaian hujan setiap interval tersebut disusun menjadi bentuk bell shape dengan cara meletakkan nilai terbesar di tengah, lalu menurun diletakkan secara bersilang (kiri dan kanan).

2.2 Analisis Hidraulika

Analisis hidraulika pada penelitian ini dikerjakan dengan menggunakan program bantu *Storm Water Management Model (SWMM)* Versi 5.1. SWMM adalah model simulasi hujan limpasan (*rainfall runoff*) menggunakan data curah hujan periodik baik kejadian tunggal maupun kejadian secara menerus. Prinsip kerja dari SWMM adalah dengan menjumlahkan luas daerah tangkapan yang menampung besarnya hujan, kemudian dibangkitkan dalam bentuk limpasan. Kemudian limpasan tersebut dapat ditelusuri dengan berbagai cara, seperti sistem perpipaan, saluran terbuka, kolam dan

pompa. Informasi yang dapat diketahui dalam penelusuran tersebut, seperti debit aliran, kedalaman dan kualitas air (Rossman, 2010). Dengan program SWMM dapat dihitung berbagai proses hidrologi seperti:

- Time step curah hujan
- Besar air hujan yang hilang sebagai akibat Infiltrasi
- Besarnya nilai perkolasi dari proses infiltrasi kedalam permukaan air tanah
- Aliran antara air tanah dengan sistem drainase
- Penelusuran *Nonlinear Reservoir* dari Aliran Permukaan

Proses SWMM ini diawali dengan adanya besaran hujan yang jatuh ke permukaan pada setiap daerah tangkapan air (DTA) yang terbagi menjadi beberapa bagian. Setiap DTA memiliki komponen *previous* dan *impervious*. Besaran aliran yang dibangkitkan dari proses hujan menjadi limpasan tersebut dapat ditelusuri antar daerah tangkapan (*subcatchment*), atau antar titik pertemuan dari suatu skema drainase.

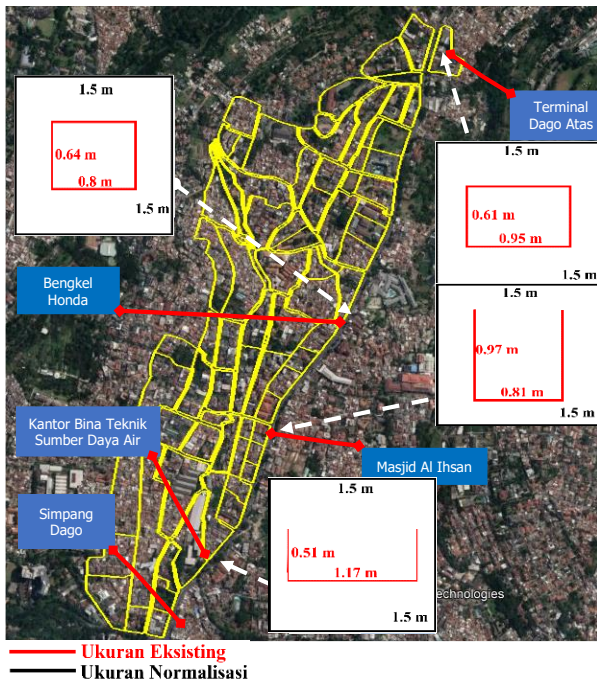
Selain proses hidrologi, program SWMM juga memiliki kemampuan dalam permodelan hidrolika untuk penelusuran debit limpasan, dan debit aliran eksternal melalui saluran terbuka, sistem drainase pipa, kolam dan bangunan pengelak. Berikut kemampuan program SWMM dalam analisis hidrolika (Rossman, 2010):

- Mengatur jaringan
- Mengatur dimensi saluran
- Memodelkan bangunan air seperti: kolam retensi, pompa, bendung, flap gate dan saluran pembuang.
- Menggunakan aliran eksternal dan kualitas air dari limpasan permukaan, aliran antara air tanah, curah hujan yang dipengaruhi infiltrasi/aliran.
- Menggunakan dua pilihan metode penelusuran aliran yaitu kinematik dan dinamik.
- Memodelkan bermacam-macam aliran, seperti backwater, penambahan aliran dan kolam.
- Melakukan pembatasan aturan pengendalian dinamis untuk mensimulasi pengoperasian pompa, pembukaan saluran pembuang dan ketinggian puncak bendung.

Debit banjir rencana dapat dihitung secara kumulatif dengan program ini, sehingga dihasilkan debit puncak maksimum pada titik yang ditinjau.

Proses yang berlangsung dalam program ini adalah:

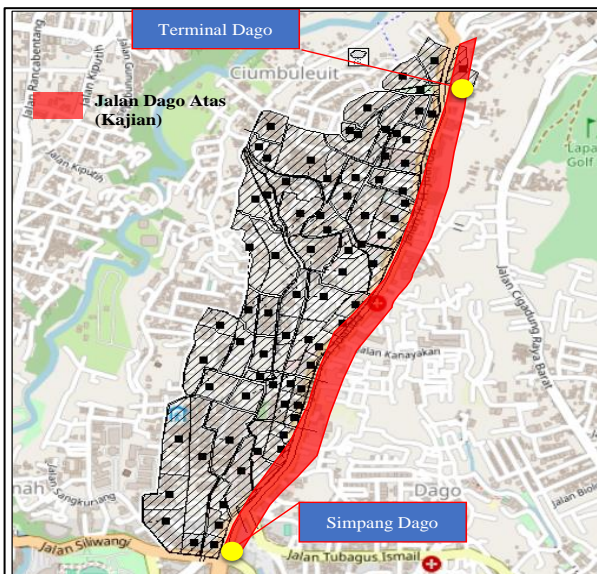
- Aliran permukaan
- Infiltrasi
- Air tanah
- Genangan di permukaan



Sumber: Bina Teknik Sumber Daya Air, 2018

Gambar 2 Contoh Bentuk Penampang Saluran Hulu, Tengah dan Hilir Wilayah Kajian

Data masukan yang dibutuhkan adalah geometri dan skematisasi saluran di sepanjang jalan Ir. H. Djuanda. Data tersebut dihasilkan dari hasil pengukuran yang telah dilakukan oleh Balai Hidrologi dan Lingkungan Keairan. Gambar 2 merupakan contoh beberapa *cross section* saluran di jalan Dago, dengan skematisasi pemodelan yang dibangun terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Skematisasi Studi Drainase Jl Ir H Djuanda menggunakan EPA SWMM 5.1

Berdasarkan Gambar 2, bentuk penampang di sepanjang jalan Ir. H. Djuanda tidak terlalu bervariasi hanya bentuknya ada yang tertutup dan ada pula yang terbuka.

Simulasi dalam proses SWMM dilakukan dengan periode ulang 2 tahun, 5 tahun dan 10 tahun. Simulasi dilakukan untuk mengetahui respon saluran terhadap debit yang dialirkan sebagai akibat dari hujan yang jatuh.

Untuk mengetahui bahwa model sudah baik maka dapat dilihat dari *continuity error* untuk limpasan permukaan dan penelusuran aliran seluruhnya berada dibawah angka 10% (Rossman, 2010).

2.3 Analisis Keandalan/Risiko dengan Metode *Safety Factor* dan *First Order-Second Moment*

Konsep dasar probabilitas untuk desain struktur hidraulik disusun untuk melengkapi desain konvensional berdasarkan konsep beban desain dan *safety margin*. Konsep probabilitas tersebut terbagi menjadi 4 yaitu Level I, Level II, Level III dan Level IV (Plate dan Duckstein, 1988). Konsep konvensional yaitu disebut dengan Level I, tidak menggunakan penetapan probabilitas untuk peristiwa kegagalan. Padahal, konsep yang didasarkan pada probabilitas seharusnya didasarkan pada deskripsi dari hambatan dan beban. Pada desain Level II, mempunyai asumsi bahwa variabel acaknya mengikuti distribusi Gaussian. Pada desain Level III, distribusi probabilitasnya didasarkan pada distribusi beban dan hambatan yang berubah. Konsep Level II dan III ini sangat sesuai untuk evaluasi keandalan suatu desain. Sedangkan Level Desain IV, suatu probabilitas didasarkan pada gabungan fungsi densitas probabilitas untuk beban dan hambatan serta memerlukan penetapan fungsi konsekuensi untuk setiap kombinasi hambatan dan beban.

Analisis keandalan (*reliability analysis*) dengan probabilitas saat ini berkembang terutama dalam melakukan perencanaan infrastruktur sumber daya air, karena informasi yang diperlukan untuk melakukan desain dari suatu bangunan keairan memiliki unsur ketidakpastian (*uncertainty*). Pada penelitian ini, konsep yang digunakan pada Level I dan Level II.

Beberapa penerapan analisis keandalan dalam bidang teknik sumber daya air terus berkembang. Sebagai contoh untuk aplikasi di bidang air tanah dan *solute transports* dengan menggunakan metode *first order-second moment*, FOSM (Kunstmann, dkk., 2002), dan dalam bidang geoteknik (Fenton and Griffiths, 2008). Leda, A (2005), melakukan kajian debit banjir dan tinjauan terhadap keandalan kapasitas alur alami sungai aesa kabupaten ngada – Provinsi Nusa Tenggara Timur. Dalam penelitiannya, dilakukan kajian tentang debit banjir berdasarkan data hujan dengan metode Hidrograf Nakayasu dan Hidrograf Snyder. Analisis kapasitas alur alami sungai dilakukan dengan perangkat lunak HEC-RAS dan keandalan kapasitasnya terhadap beban debit banjir rencana, dianalisis dengan menggunakan metode Konsep Angka Keamanan (Level-1) dan *Second Moment Analysis* (Level-2). Selain itu, Amsori,P., dkk, 2015) juga melakukan konsep *Safety Factor* (SF) dan FOSM untuk mengetahui risiko *overtopping* pada *revetment* akibat *Run-Up* gelombang laut.

Analisis keandalan dalam kajian ini ditentukan dengan metode *safety factor* dan *first order-second moment*. Nilai rata-rata (μ) dan standar deviasi (σ) dari hidrograf debit banjir (didefinisikan sebagai beban) dan kapasitas debit saluran (didefinisikan sebagai tahanan) digunakan untuk menghitung distribusi peluang dari beban (L) dan tahanan (R).

Nilai tahanan dihasilkan dari debit yang dapat ditampung oleh penampang saluran yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_f^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

dimana nilai A adalah Luas Dimensi Saluran, R adalah hydraulic radius, S_f adalah kemiringan, n adalah koefisien kekasaran.

Seperti diketahui bahwa rata-rata gabungan:

$$\mu_Z = \mu_R - \mu_L \dots\dots\dots (3)$$

dan standar deviasi gabungan:

$$\sigma_Z = \sqrt{\sigma_R^2 - \sigma_L^2} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana

μ_R adalah rata-rata tahanan

μ_L adalah rata-rata tahanan beban

σ_R adalah Standar Deviasi Tahanan

σ_L adalah Standar Deviasi Beban

a) Metode *First Order – Second Moment*

Metode *First Order-Second Moment* sering juga disebut sebagai Mean Value FOSM. Metode ini berdasarkan pada *first order-variance estimation* (FOVE) untuk menentukan variabel acak dan hanya menggunakan nilai rata-rata dan variansinya. Ide dasar dari pendekatan tersebut adalah dengan basis variabel stokastik dengan menggunakan Taylor series. Dengan data nilai rata-rata dan variannya tersebut, maka dapat ditentukan besarnya nilai indeks keandalan (*reliability index*) dengan menggunakan persamaan berikut ini:

$$\beta = \frac{\mu_Z}{\sigma_Z} \dots\dots\dots (5)$$

$$P_f = 1 - \Phi \left[\frac{(\mu_R - \mu_L)}{\sqrt{\sigma_R^2 - \sigma_L^2}} \right], \dots\dots\dots (6)$$

dimana nilai Φ dicari dengan tabel distribusi normal

b) Metode *Safety Factor*

Safety Factor (SF) merupakan perbandingan antara R dengan L, (R/L), dan keandalan dinyatakan dengan P (SF > 1). Dengan menggunakan logaritma di kedua sisi, maka dihasilkan berikut ini (Mays, 2005).

$$\frac{R_n}{L_n} > SF \dots\dots\dots (7)$$

$$R_n = \bar{R} + \sigma_R \Phi^{-1}(\alpha_R) \dots\dots\dots (8)$$

$$L_n = \bar{L} + \sigma_L \Phi^{-1}(\alpha_L) \dots\dots\dots (9)$$

Dimana

R_n adalah Nominal Tahanan

\bar{R} adalah Rata-rata Tahanan

L_n adalah Nominal Beban

\bar{L} adalah Rata-rata Beban

α_R berkisar 5% - 10%

α_L berkisar 50% - 2%

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Data Hujan

Berdasarkan pengujian *outlier*, independen dan homogenitas (Tabel 2), terlihat bahwa sebaran data sudah baik dan dapat dilakukan perhitungan hujan rencana dengan distribusi GEV.

Tabel 2 Uji Data HHMT

Wald-Wolfowitz's (Independence Test)	Mann-Whitney (Homogenitas Test)		Grubbs & Beck's Test (Outlier)				
	Significant U	Grup 1	Grup 2	Mann-Whitney	Significant Kn	Batas max	Batas min
5%	0.6	13	13	73	-0.59	2.5	131.1 41.8

Periode ulang yang digunakan pada kajian ini disesuaikan dengan Tipologi wilayah kajian dengan kriteria ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Kala Ulang Berdasarkan Tipologi Kota

Tipologi	Daerah Tangkapan Air (Ha)			
	< 10	10 - 100	101 - 500	> 500
Kota Metropolitan	2 Th	2 - 5 Th	5 - 10 Th	10 - 25 Th
Kota Besar	2 Th	2 - 5 Th	2 - 5 Th	5 - 20 Th
Kota Sedang	2 Th	2 - 5 Th	2 - 5 Th	5 - 10 Th
Kota Kecil	2 Th	2 Th	2 Th	2 - 5 Th

Sumber: Permen PU No. 12/PRT/M/2014, tentang "Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan"

Berdasarkan Tabel 3, dengan luas kajian 82.6 ha, maka dibutuhkan analisis hujan hingga periode ulang 5 tahunan, dalam analisis ini akan ditambahkan hingga 10 tahunan. Hasil perhitungan hujan rencana tersebut dihitung dengan metode GEV. Berikut hasil perhitungan analisis hujan rencana dengan metode GEV.

Tabel 4 Hujan Rencana Pos Curah Hujan Pusair

Periode	2	5	10
Hujan (mm)	72.9	89.4	100.3

Jika hasil perhitungan hujan rencana tersebut didistribusikan menjadi bentuk jam-jaman dengan metode ABM untuk seluruh periode ulang, maka dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5 Distribusi Hujan Rencana Jam-Jaman Pos Curah Hujan Pusair

Td	Hujan Periode Ulang (mm)		
	2 th	5 th	10 th
(jam)	72.9	89.4	100.3
1	4.9	6.0	6.8
2	7.3	9.0	10.1
3	40.1	49.2	55.2
4	10.4	12.8	14.3
5	5.8	7.1	8.0
6	4.3	5.3	5.9

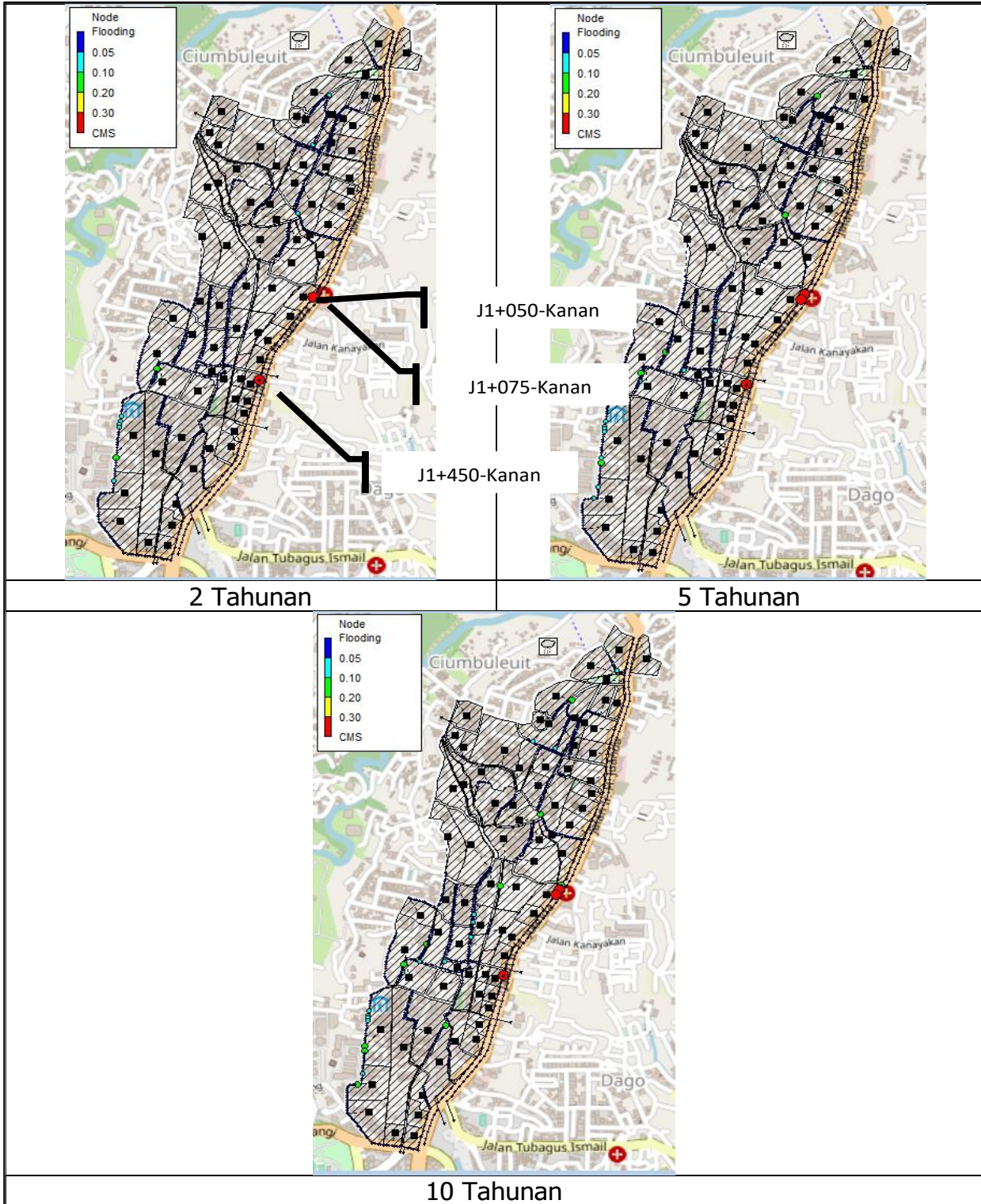
3.2 Analisis Kapasitas Saluran

Parameter yang digunakan untuk hujan limpasan menggunakan parameter *Curve Number* (CN). Parameter ini digunakan untuk mempresentasikan hubungan curah hujan terhadap aliran permukaan. Wilayah kajian

didominasi perumahan sehingga nilai CN pada wilayah kajian berkisar 74 hingga 100. Nilai tersebut diperuntukkan wilayah pemukiman, sedikit area terbuka hingga permukaan yang beraspal (USDA, 1986). Hasil simulasi yang telah dilakukan menghasilkan nilai *error* yang sudah baik, hal ini ditunjukkan dengan nilai *continuity error* dibawah 10%, seperti yang terlihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Continuity Error Pada Pemodelan

Periode Ulang (tahun)	Continuity Error (%)	
	Surface Runoff	Flow Routing
2	-0,37	0,03
5	-0,38	-0,04
10	-0,38	-0,06



Gambar 4 Hasil Simulasi EPA SWMM Setiap Periode Ulang Hujan dengan kondisi eksisting

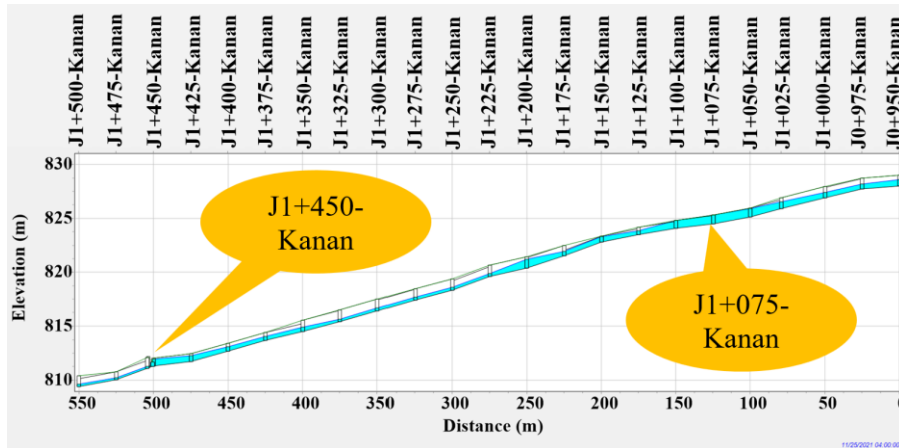
Hasil simulasi pada Gambar 4 menunjukkan bahwa terjadi luapan pada dua titik yang ditandai oleh node berwarna merah. Lokasi luapan tersebut berada pada titik

J1+050-Kanan dan J1+075-Kanan dan J1+450-Kanan. Hasil identifikasi di lapangan, lokasi pada titik J1+050-Kanan dan J1+075-Kanan merupakan saluran drainase di

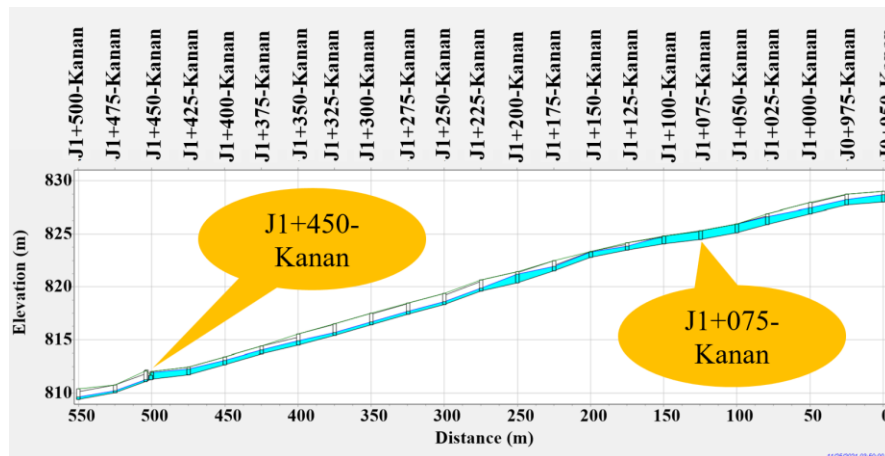
depan Bengkel Honda. Sedangkan pada titik J1+450-Kanan merupakan saluran drainase di depan halaman Masjid Al Ihsan.

Jika dilihat profil memanjang pada Gambar 5 hingga Gambar 7, terlihat saluran drainase antara Junction J0+950-Kanan hingga J1+500-Kanan, tidak mengalami luapan, sehingga dapat diindikasikan bahwa saluran drainase pada lokasi luapan terjadi penyempitan, karena pada prinsipnya pembangunan saluran drainase menggunakan dimensi yang sama dari hulu hingga hilir.

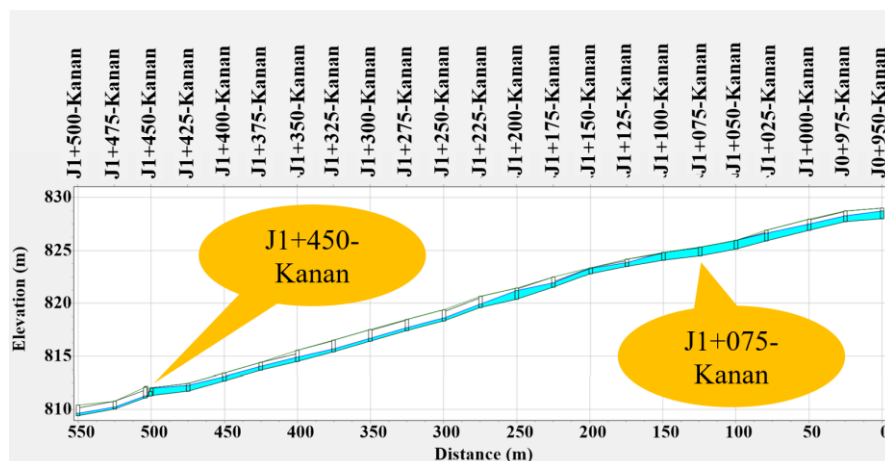
Untuk meyakinkan hal tersebut, telah dilakukan verifikasi pada kedua lokasi luapan, seperti terlihat pada Gambar 8 saat kondisi banjir dan Gambar 9 saat kondisi saluran drainase kering. Hasil verifikasi di lapangan menunjukkan bahwa pada kondisi kering, kedua saluran drainase terlihat mengalami pengurangan dimensi saluran sebagai akibat dari menumpuknya sampah yang tersangkut di saluran dan juga diperparah oleh keberadaan pipa-pipa buangan dari masyarakat sekitar.



Gambar 5 Profil Penampang Memanjang Node Junction J0+950-Kanan hingga J1+500-Kanan (2 Tahunan)



Gambar 6 Profil Penampang Memanjang Node Junction J0+950-Kanan hingga J1+500-Kanan (5 Tahunan)



Gambar 7 Profil Penampang Memanjang Node Junction J0+950-Kanan hingga J1+500-Kanan (10 Tahunan)



Gambar 8 Kondisi Saluran J1+450-Kanan (Masjid Al Ihsan) (a) dan J1+075-Kanan (Bengkel Honda) (b)



Gambar 9 Kondisi Saluran (a) Masjid Al-Ihsan, (b) Bengkel Honda

Hasil verifikasi di lapangan menunjukkan bahwa pada kondisi kering, kedua saluran drainase terlihat mengalami pengurangan dimensi saluran sebagai akibat dari menumpuknya sampah yang tersangkut di saluran dan juga diperparah oleh keberadaan pipa-pipa buangan dari masyarakat sekitar.

3.3 Analisis Keandalan/Risiko dengan Metode Safety Factor dan First Order Second Moment

Analisis keandalan/risiko dilakukan dengan mengidentifikasi Tahanan (R) dan Beban (L) yang akan digunakan. Pada kajian ini digunakan Tahanan berupa debit maksimum yang dapat di aliri oleh penampang, sedangkan Beban berupa debit banjir yang dihasilkan oleh hujan.

Analisis risiko berfokus pada drainase yang terindikasi banjir yaitu Bengkel honda (J1+075-Kanan) dan Masjid Al-Ihsan (J1+450-Kanan). Berikut akan dianalisis risiko dan keandalan saluran yang meluap dengan skenario eksisting.

1) Metode Safety Factor

Analisis ini membandingkan besaran Tahanan (Kapasitas Drainase) terhadap besaran Beban (Debit Banjir). Jika nilai $SF < 1$ maka Drainase tersebut tidak andal (Goodarzi, Ehsan., dkk. 2013). Berikut adalah nilai Safety Factor untuk kedua lokasi.

Tabel 7 Nilai Safety Factor lokasi luapan kondisi eksisting

Ruas Saluran	Lokasi	Periode Ulang		
		2	5	10
J1+075-Kanan	Bengkel Honda	1.18	0.98	0.94
J1+450-Kanan	Masjid Al-Ihsan	0.06	0.06	0.06

Hasil pada Tabel 7 menunjukkan bahwa kedua lokasi tersebut memiliki keandalan drainase yang rendah, hal ini ditunjukkan oleh nilai SF yang kurang dari 1, sehingga luapan dapat terjadi pada titik tersebut.

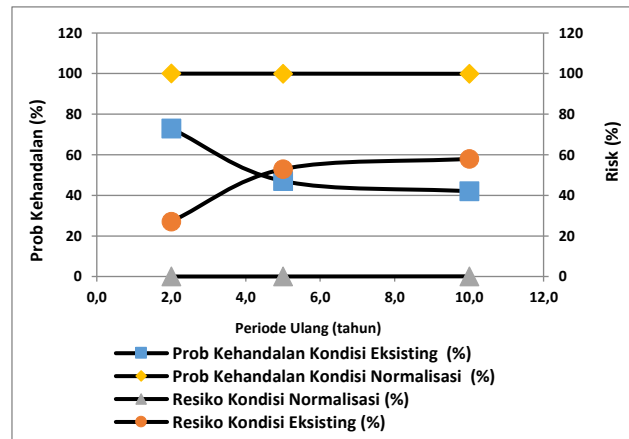
2) Metode First Order-Second Moment

Pada Level II ini, analisis dihitung menggunakan standar deviasi dari hidrograf debit banjir pada setiap penampang dan kemudian dibandingkan dengan kapasitas salurannya. Resume analisis FOSM untuk kedua lokasi luapan banjir dapat dilihat pada Tabel 8.

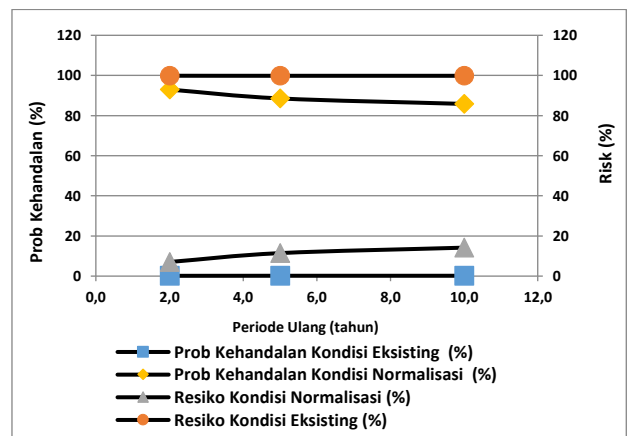
Tabel 8 Nilai Keandalan Penampang lokasi luapan kondisi eksisting

Ruas Saluran	Lokasi	Periode Ulang					
		2		5		10	
		Risiko (%)	Keandalan (%)	Risiko (%)	Keandalan (%)	Risiko (%)	Keandalan (%)
J1+075-Kanan	Bengkel Honda	27.1	72.9	52.9	47.1	58.0	42.0
J1+450-Kanan	Masjid Al-Ihsan	99.9	0.1	99.8	0.2	99.8	0.2

Hasil menunjukkan bahwa probabilitas keandalan penampang lebih rendah dari pada nilai probabilitas risikonya sehingga dapat dinyatakan bahwa pada titik tersebut sangat berpeluang besar untuk terjadi luapan. Jika digambarkan grafik risiko dan keandalan untuk J1+075-Kanan dan J1+450-Kanan, dapat dilihat pada Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 10 Peluang Risiko dan Keandalan Pada Lokasi J1+075-Kanan (Bengkel Honda)



Gambar 11 Peluang Risiko dan Keandalan Pada Lokasi J1+450-Kanan (Masjid Al-Ihsan)

Berdasarkan hasil analisis SF dan FOSM pada Gambar 10 dan Gambar 11 terlihat bahwa kondisi penampang pada kedua saluran memiliki risiko yang besar dalam mengakibatkan adanya luapan. Sehingga, diperlukan langkah penanganan salah satunya yaitu melakukan Normalisasi Dimensi Saluran. Langkah ini diambil melihat kondisi saluran di lapangan yang dipenuhi sampah, sedimentasi dan pipa. Ukuran saluran yang diusulkan akan seragam di seluruh saluran dengan dimensi 1.5 x 1.5 meter.

Hasil simulasi model dengan skenario normalisasi penampang menunjukkan hasil yang baik, yaitu masih terdapat volume ruang pada saluran jika di alirkan debit periode ulang 10 tahunan (Gambar 12).

Tabel 9 Nilai *Safety Factor* lokasi luapan kondisi normalisasi

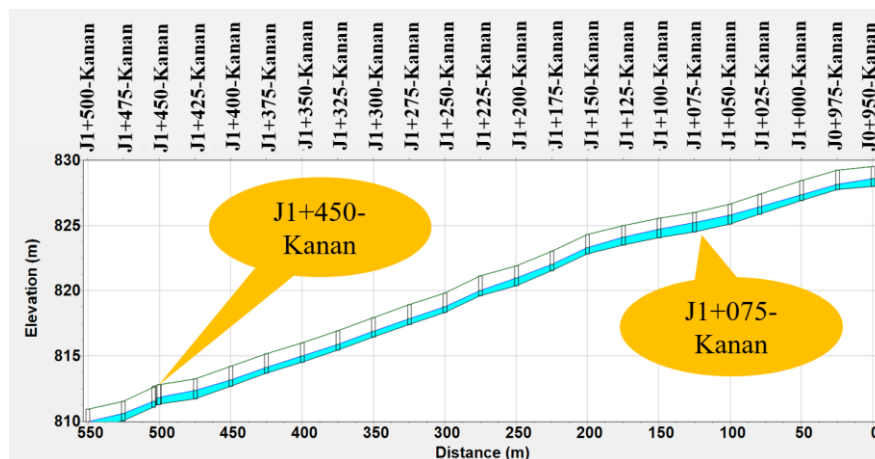
Ruas Saluran	Lokasi	Periode Ulang		
		2	5	10
J1+075-Kanan	Bengkel Honda	2.46	2.04	1.96
J1+450-Kanan	Masjid Al-Ihsan	1.46	1.39	1.35

Tabel 10 Nilai Keandalan Penampang lokasi luapan kondisi normalisasi

Ruas Saluran	Lokasi	Periode Ulang					
		2		5		10	
		Risiko (%)	Keandalan (%)	Risiko (%)	Keandalan (%)	Risiko (%)	Keandalan (%)
J1+075-Kanan	Bengkel Honda	0.00	100.00	0.02	99.98	0.08	99.92
J1+450-Kanan	Masjid Al-Ihsan	7.04	92.96	11.46	88.54	14.19	85.81

Hasil perhitungan setelah dilakukan skenario normalisasi, menghasilkan nilai *safety factor* lebih besar dari 1 (Tabel 9) dan juga pada analisis FOSM pada

Tabel 10, menunjukkan adanya peningkatan keandalan saluran drainase hingga 92.96 % (Debit Periode Ulang 2 Tahunan/Q2), 88.54 % (Debit Periode Ulang 5 Tahunan/Q5) dan 85.81 % (Debit Periode Ulang 10 Tahunan/Q10) untuk saluran Masjid Al-Ihsan serta 100 % (Debit Periode Ulang 2 Tahunan/Q2), 99.98 % (Debit Periode Ulang 5 Tahunan/Q5) dan 99.92 % (Debit Periode Ulang 10 Tahunan/Q10) untuk saluran Bengkel Honda.



Gambar 12 Profil Penampang Memanjang Skenario Normalisasi pada Node Junction J0+950-Kanan hingga J1+500-Kanan (10 Tahunan)

4 KESIMPULAN

Untuk mengetahui keandalan suatu saluran drainase dapat menggunakan analisis risiko dengan metode *safety factor* dan *first order-second moment*. Terdapat 2 titik yang memiliki peluang untuk terjadinya luapan yaitu di lokasi Masjid Al-Ihsan dan Bengkel Honda. Solusi yang diberikan untuk mengatasi hal tersebut adalah melakukan normalisasi drainase dengan ukuran 1.5 m x 1.5 m dari hulu hingga hilir. Hasil menunjukkan bahwa keandalan saluran meningkat menjadi 92.96 % (Q2), 88.54 % (Q5) dan 85.81 % (Q10) untuk saluran Masjid Al-Ihsan serta 100 % (Q2), 99.98 % (Q5) dan 99.92 % (Q10) untuk saluran Bengkel Honda.

5 UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Balai Hidrologi dan Lingkungan Keairan, Balai Besar Wilayah Sungai Citarum yang telah memberikan informasi berupa data hidrologi dan hasil pengukuran topografi pada wilayah kajian. Terimakasih kepada Bapak Eka dan Bapak Agung yang telah memberikan motivasi dan pencerahan sehingga tersusunnya paper ini.

6 DAFTAR PUSTAKA

- Bina Teknik Sumber Daya Air, 2018, Laporan Akhir: Penerapan Sistem Penanganan Banjir Bandung, Laporan.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Nomor 01/KU.02.07/SKBB/III/2017, tentang "Petunjuk Teknis Perhitungan Debit Banjir Pada Bendungan"
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 12/PRT/M/2014, tentang "Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan"
- Peraturan Walikota Nomor 981 Tahun 2006, tentang "Rencana Detail Tata Ruang Kota Wilayah Pengembangan Cibeunying"
- Abdulai M, Sharifzadeh M. Probability Methods for Stability Design of Open Pit Rock Slopes: An Overview. *Geosciences*. 2021; 11(8):319. <https://doi.org/10.3390/geosciences11080319>
- Adarsh, S., Reddy, M.J. Reliability analysis of composite channels using first order approximation and Monte Carlo simulations. *Stoch Environ Res Risk Assess*

- 27, 477-487 (2013). <https://doi.org/10.1007/s00477-012-0663-0>
- Amsori, Pian. S, Hadihardaja, Iwan K, Riandini, F., 2015, *Kajian Risiko Overtopping Pada Revetment Akibat Run-Up Gelombang Laut (Studi Kasus Pantai Tembok, Kabupaten Buleleng, Provinsi Bali)*. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, Vol 1, No. 1
- Duckstein, L., Plate, Erich J. (Eds.), 1987, *Engineering Reliability and Risk in Water Resources*, Proceedings of the NATO Advanced Study Institute, Tucson, Arizona, USA
- Sylvestre, É., Prévost, M., Smeets, P., Medema, G., Burnet, J.-B., Cantin, P., Villion, M., Robert, C. and Dorner, S., 2021, Importance of Distributional Forms for the Assessment of Protozoan Pathogens Concentrations in Drinking-Water, *Sources Risk Analysis*, 41: 1396-1412. <https://doi.org/10.1111/risa.13613>
- Fenton, A.G. and D.V. Griffiths, 2008, *Risk Assessment in Geotechnical Engineering*, John Wiley & Son, Inc.
- Giyanto, 2019a, *Kajian Pengendalian Banjir Dan Tinjauan Terhadap Keandalan Kapasitas Sungai Tanggul Di Kabupaten Jember Provinsi Jawa Timur*, Tesis, Teknik Sipil dan Lingkungan, Program Magister Pengelolaan Sumber Daya Air, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Giyanto, Harlan, D., & Natasaputra, S, 2019b, Study of Flood Control and Reliability Index of Tanggul River, *Jurnal Teknik Sipil ITB*, Vol 26, No 3, 195-204.
- Goodarzi, Ehsan., dkk, 2013, *Introduction to Risk and Uncertainty in Hydrosystem Engineering*, School of Civil and Environmental Engineering, Atlanta, USA
- Karamouz, M., Nazif, S., & Falahi, M, 2013, *Hydrology and Hydroclimatology: Principles and Applications* (1st ed.), CRC Press. <https://doi.org/10.1201/b13771>
- Kunstmann, H., W. Kinzelbach, and T. Siegfried, 2002, Conditional firstorder second -moment method and its application to the quantification of uncertainty in groundwater modeling, *Water Resources Research*, Vol. 38, No. 4, 1035.
- Lanzafame, R., Teng, H., & Sitar, N. (2017). Stochastic Analysis of Levee Stability Subject to Variable Seepage Conditions. *Geotechnical Special Publication*, 0(GSP 283), 554-563. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784480700.053>
Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/9pz7b9rp>
- Leda, A, 2005, *Kajian Debit Banjir Dan Tinjauan Terhadap Keandalan Kapasitas Alur Alami Sungai Aesesa Kabupaten Ngada - Provinsi Nusa Tenggara Timur*, Tesis, Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Plate, E.J. and Duckstein, L., 1988, Reliability-based design concepts in hydraulic engineering, *Water Resources Bulletin*, Vol. 24, No. 2, 235-245. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1988.tb02979.x>
- Rossmann, Lewis A, 2010, *Storm Water Management Model, User's Manual Version 5.0*, Water Supply and Water Resources Division National Risk Management Research Laboratory, Ohio.
- Schwiersch, N.; Heyer, T.; Stamm, J. Enriching flood risk analyses with distributions of soil mechanical parameters through the statistical analysis of classification experiments. *J. Flood Risk Manag.* 2022, in press.
- United States Department of Agriculture, 1986, *Urban Hydrology for Small Watershed*, Natural Resources Conservation Service, Washington.
- van Woerkom T, van Beek R, Middelkoop H, Bierkens MFP. Global Sensitivity Analysis of Groundwater Related Dike Stability under Extreme Loading Conditions. *Water*. 2021; 13(21):3041. <https://doi.org/10.3390/w13213041>
- van Woerkom, T.; van Beek, R.; Middelkoop, H.; Bierkens, M.F.P. Assessing lithological uncertainty in dikes: Simulating construction history and its implications for flood safety assessment. *Journal of Flood Risk Management* 2022.
- Wang, L., Powers, M., Studiner, M., Fallatah, M., & Gong, W. (2018). Geotechnical Stability Analysis of Earthen Levees in the Face of Uncertainty. *IFCEE* 2018. doi:10.1061/9780784481608.024
- Ranawati Nur Khansa, 2020, *Dago Diterjang Cileuncang*, <https://www.ayobandung.com/bandung/pr-79702306/dago-diterjang-cileuncang>, diakses tanggal 19 April 2022.
- Fatonah Siti, 2018, 3 Tahun Terakhir, Setiap Hujan Deras Jalan Dago Bandung Banjir, <https://www.jawapos.com/jpg-today/01/12/2018/3-tahun-terakhir-setiap-hujan-deras-jalan-dago-bandung-banjir/>, diakses tanggal 19 April 2022.
- Nasution Albadr, 2013, Perkenalkan, Sungai Dago atau dikenal juga dengan Sungai Juanda. Sungai Arus Deras Terbaru di Bandung, <https://albadr.blog/2013/06/10/perkenalkan-sungai-dago-atau-dikenal-juga-dg-sungai-juanda-sungai-arus-deras-terbaru-di-bandung/>, diakses tanggal 19 April 2022.
- detikNews, 2010, Hati-hati Bandung Diguyur Hujan Deras dan Banjir, <https://news.detik.com/berita-jawa-barat/d-1509028/hati-hati-bandung-diguyur-hujan-deras-dan-banjir>, diakses tanggal 19 April 2022