

Evaluasi Sistem Drainase Berkelanjutan di DAS Cikapundung Kolot Menggunakan Perangkat Lunak SWMM 5.2

MUHAMAD IQBAL SASTRADIPRADJA¹, ETIH HARTATI¹

1. Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut
Teknologi Nasional Bandung
Email: Iqbalsastradipradja@gmail.com

ABSTRAK

Daerah Aliran Sungai (DAS) Cikapundung Kolot terletak di bagian selatan Kota Bandung, dengan luas wilayah 18,84 km². Pertumbuhan penduduk dan perkembangan kota telah menyebabkan perubahan lahan di DAS Cikapundung Kolot yang mengakibatkan terjadinya banjir akibat peningkatan limpasan air. Evaluasi sistem drainase berkelanjutan dengan model low impact development (LID) dilakukan untuk mengurangi potensi banjir dengan cara menampung dan memanfaatkan air hujan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kemampuan saluran drainase eksisting dalam menampung curah hujan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan perangkat lunak Storm Water Management Model 5.2, dan tiga skenario pengurangan limpasan air, yaitu (1) tanpa model LID, (2) dengan sistem PAH, (3) menggunakan sistem PAH dan kolam retensi. Berdasarkan hasil kajian, DAS Cikapundung Kolot menghasilkan rata-rata limpasan sebesar 93.929.71 m³. Ketiga skenario ini dapat mengurangi 22% limpasan air yang masuk ke saluran drainase menjadi 73.296,24 m³.

Kata kunci: Drainase, SWMM

1. PENDAHULUAN

Tata guna lahan sangat dipengaruhi oleh urbanisasi dan perpindahan penduduk dari kota kecil ke kota besar (Meng 2022). Sebagai contoh, populasi Kota Bandung tahun 2022 adalah 2.484,15 jiwa dan mengalami peningkatan pada tahun 2023 menjadi 2.506.60 jiwa (Bandung 2024). Selain itu, kondisi berdampak pada kebutuhan lahan untuk perumahan di Kota Bandung. Sementara peningkatan populasi kota Bandung disebabkan oleh faktor alami, yaitu kelahiran, sehingga menimbulkan tekanan, yaitu kebutuhan akan lahan pemukiman. Hal ini menyebabkan alih fungsi lahan, yang akan menyebabkan limpasan air lebih banyak ke saluran drainase (Jabar 2022). Nilai koefisien limpasan yang berubah sebagai akibat dari alih fungsi lahan menyebabkan peningkatan limpasan. Hal ini menyebabkan banjir dan penurunan kemampuan daya serap air (Abighail, Kridasantausa et al. 2022), serta penurunan kualitas air sungai. Selain faktor-faktor yang telah disebutkan, masalah banjir juga disebabkan oleh kapasitas saluran yang rendah dan jaringan saluran drainase yang tidak terhubung dan bahkan penuh dengan sampah. Akibatnya, limpasan air menjadi sulit untuk dialirkan menuju sistem drainase, yang pada gilirannya memperparah banjir (Bai, Zhao et al. 2018).

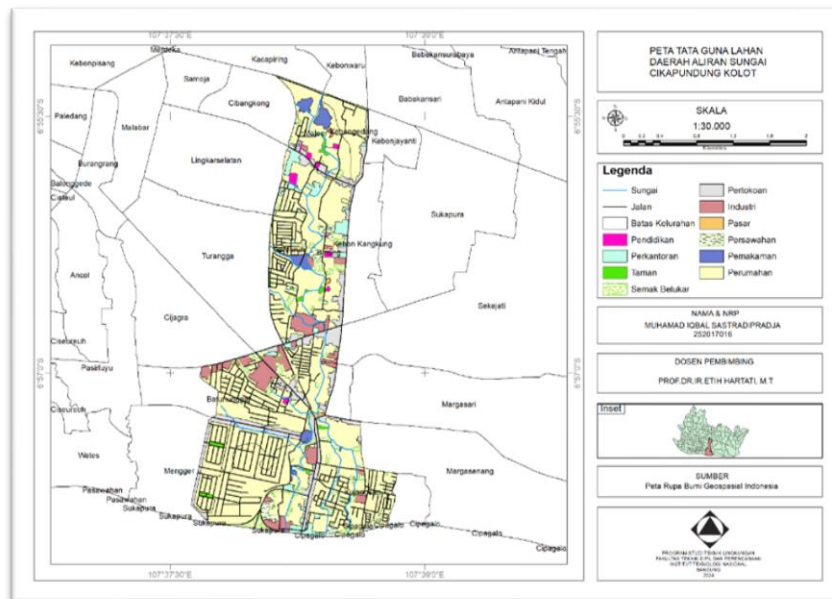
Kota Bandung tentunya memiliki banyak sungai yang melintasinya, karena letaknya yang berada di cekungan dan dikelilingi oleh pegunungan. Membentuk daerah aliran sungai (DAS), sungai-sungai ini menerima dan mengalirkan limpasan air dari wilayah di sekitarnya. Banyaknya cekungan air yang tersebar di setiap wilayah, sehingga Kota Bandung memiliki banyak sungai yang dapat dimanfaatkan. Namun, penggunaan lahan di sekitar sungai berubah seiring berkembangnya kota. Keadaan ini menyebabkan debit air hujan meningkat sehingga menyebabkan sungai meluap dan banjir. Perkembangan perkotaan menyebabkan banjir di bagian hilir DAS Cikapundung Kolot, khususnya di Kecamatan Bandung Kidul, dan Buahbatu. Perubahan penggunaan lahan menjadi area kedap air menyebabkan banjir.

Banjir terjadi di Kecamatan Bandung Kidul, dan Buahbatu terjadi pada tanggal 13 dan 14 Januari 2024 karena hujan terjadi selama 24 jam terakhir. Selain curah hujan yang tinggi, genangan juga disebabkan oleh kapasitas saluran drainase yang tidak mampu menampung limpasan air hujan, dan banyaknya sampah di sekitar saluran. Untuk mengatasi hal ini, kedalaman dan lebar saluran harus diperluas. Untuk mengetahui ukuran dimensi yang efektif, evaluasi saluran eksisting diperlukan. Kemudian dengan mempertimbangkan berbagai skenario terbaru (curah hujan, kondisi lahan, saluran eksisting).

2. METODOLOGI

2.1 Wilayah Studi

DAS Cikapundung Kolot merupakan sebuah sub DAS Cikapundung yang berada di DAS Citarum bagian hulu dengan luas area sebesar 18,84 km². Pada proses perencanaan, area DAS Cinambo dibagi menjadi tiga sub area seperti pada Gambar 1. Bagian hulu mencakup wilayah Kecamatan Batununggal, sedangkan bagian tengah dan hilir mencakup wilayah Kecamatan Buahbatu dan Bandung Kidul. DAS Cikapundung Kolot sendiri memiliki beragam tataguna lahan yang tersebar dari bagian hulu hingga hilir. Penggunaan lahan tersebut teridentifikasi berdasarkan hasil digitasi menggunakan software arcgis 10.1, dengan data dasar yang bersumber dari GIS User Communit dan Ina Geospasial. Penggunaan lahan didominasi oleh pemukiman (1314,73 Ha) kemudian terdapat pertokoan (174,66 Ha), semak belukar (99,19 Ha), industri (118,1 Ha), perkantoran (61,52 Ha), Taman (16,13 Ha), Persawahan (38,38 Ha), Pendidikan (15,28 Ha), Pemakaman (38,15 Ha), dan Pasar (5,99 Ha) dan persawahan (38,90 Ha).



Sumber: Hasil Pengukuran, 2021

2.2 Analisis Kondisi Wilayah Studi

Sebagai dasar untuk evaluasi kapasitas saluran, langkah ini bertujuan untuk mempelajari bagaimana keadaan di DAS Cikapundung Kolot berdampak pada jumlah limpasan air. Proses analisis dilakukan untuk mengetahui bagaimana tata guna lahan memengaruhi perubahan nilai koefisien limpasan (C) dan bagaimana elevasi, lokasi genangan, dan kapasitas saluran drainase memengaruhi kuantitas limpasan air saat hujan.

2.3 Analisa Penentuan Intensitas Hujan Rencana

Tujuan dari tahapan ini adalah untuk menganalisis dan menghitung intensitas hujan berdasarkan data curah hujan yang tersedia, analisis data curah hujan, analisis frekuensi curah hujan, dan kemudian perhitungan intensitas hujan. Nilai intensitas hujan ini digunakan untuk mengevaluasi saluran drainase eksisting.

Analisis Data Curah Hujan

Analisis data curah hujan adalah tahap pengolahan data curah hujan berdasarkan jumlah data curah hujan yang tersedia. Proses analisis mencakup identifikasi pos curah hujan (PCH) utama dan pembanding. Persamaan aljabar yang didasarkan pada jumlah pos yang terbatas dan luas DAS kurang dari 500 km² digunakan untuk mengisi data dalam situasi di mana ketersediaan data sering terbatas karena data yang tidak tercatat atau hilang. Persamaan yang digunakan, yaitu (Suripin 2004):

$$\hat{p} = \frac{P1+P2+\dots+Pn}{n} \dots\dots\dots(1)$$

Di mana $P_1, P_2, \dots, P_n$ adalah data curah hujan yang tercatat pada pos penakar dan n adalah banyaknya pos penakar hujan (Suripin 2004).

Analisis Frekuensi Data Curah Hujan

Frekuensi curah hujan adalah informasi yang menunjukkan kemungkinan bahwa nilai curah hujan akan sama atau melampaui nilai tertentu selama periode ulang hujan. Analisis ini menggunakan distribusi probabilitas (Harahap, Jeumpa et al. 2020). Distribusi probabilitas yang digunakan dapat bervariasi, seperti metode Gumbel, Log Person, Log Normal, dan metode lainnya (Soewarno 1995).

- Distribusi Gumbel

Konsep dasar gumbel adalah bahwa nilai ekstrem seperti terjadinya banjir, memiliki fungsi distribusi yang eksponensial. Dengan menggunakan metode distribusi ini, analisis dapat dilakukan bahkan dengan jumlah data yang terbatas, dengan persamaan sebagai berikut (Soemarto 1987):

$$X = \hat{X} + S \times K \dots \dots \dots (2)$$

$$K = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \dots \dots \dots (3)$$

Di mana $\bar{X}$ adalah nilai rata-rata sampel, S adalah nilai simpangan baku sampel, K adalah nilai faktor probabilitas, Y_T adalah nilai *reduced variate* sebagai fungsi waktu balik, Y_n adalah nilai *reduced mean* berdasarkan jumlah sampel, dan S_n adalah nilai *reduced standard* deviasi yang juga berdasarkan jumlah sampel (Soemarto 1987).

- Distribusi Log Pearson III

Merupakan salah satu metode distribusi yang dikembangkan oleh Pearson. Terdapat tiga parameter penting dalam distribusi Log Pearson III, yaitu: nilai rata-rata, simpangan baku dan koefisien kemencengan (Soemarto 1987).

$$\log X_T = \log \hat{X} + K \times S \dots \dots \dots (4)$$

$$X_T = 10^{\log X_T} \dots \dots \dots (5)$$

Di mana X_T adalah nilai peluang hujan dengan periode ulang T , $\bar{X}$ adalah nilai rata-rata data, S adalah nilai simpangan baku data, dan K adalah koefisien kemencengan (Soemarto 1987).

- Distribusi Log Normal

Distribusi log normal merupakan hasil dari perubahan dari metode normal. Perubahan yang terjadi adalah nilai pada data diubah menjadi bentuk logaritma (Soewarno 1995).

$$\log X = \widehat{\log X} + k \times \log S \dots \dots \dots (6)$$

Di mana $\bar{X}$ adalah rata-rata nilai varian, S adalah nilai standar deviasi, dan K adalah nilai faktor frekuensi Log Normal (Soewarno 1995).

Pengujian frekuensi data dilakukan setelah analisis frekuensi data menggunakan distribusi gembel, distribusi log normal, dan log pearson III. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah persamaan distribusi peluang yang dipilih dapat menggambarkan distribusi statistik sampel data yang dianalisis (Soewarno 1995). Proses pengujian melibatkan dua jenis analisis, yaitu Chi kuadrat dan kolmagorv-smirnoff.

- Uji Chi Kuadrat

Uji Chi kuadrat mewakili distribusi statistik sampel yang dianalisis dan menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih sesuai/ Xh^2 harus sama atau lebih besar dari nilai chi kuadrat sebenarnya (X^2) (Suripin 2004):

$$Xh^2 = \sum_{i=1}^K \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots(7)$$

Di mana parameter Xh^2 adalah nilai chi kuadrat terhitung, O_i adalah jumlah nilai pengamatan pada tiap sub grup, E_i adalah jumlah nilai teoritis pada tiap sub grup, dan K adalah jumlah sub kelompok (Suripin 2004).

- Uji Kolmagorov-Smirnoff

Uji Kolmagorov-Smirnoff adalah analisis kecocokan distribusi peluang yang tidak membutuhkan paramete. Nilai selisih terbesar (ΔP) yang lebih besar atau lebih kecil dari nilai kritis kolmagorov-smirnoff pada persamaan berikut (Soewarno 1995) :

$$\Delta P = P - P' \dots\dots\dots(8)$$

Di mana (ΔP) adalah selisih nilai peluang pengamatan dan nilai peluang teoritis, P adalah nilai peluang pengamatan dan P' adalah nilai peluang teoritis (Soewarno 1995).

2.4 Perhitungan Intensitas Curah Hujan

Analisis intensitas hujan harian bertujuan untuk mengetahui ketinggian curah hujan yang terjadi dalam kurun waktu tertentu. Penentuan intensitas curah hujan menggunakan metode Van breen, di mana metode ini mampu memperhitungkan durasi curah hujan yang terjadi selama 24 jam dengan persamaan berikut (Fajriyah and Wardhani 2020).

$$I = \frac{54R_T + 0,07R_T^2}{tc + 0,3R_T} \dots\dots\dots(9)$$

Di mana I adalah nilai intensitas curah hujan (mm/menit), tc adalah waktu konsentrasi (menit), dan R_T adalah curah hujan maksimum pada suatu periode ulang hujan (mm) (Fajriyah and Wardhani 2020). Nilai intensitas curah hujan yang telah dihitung akan dilihat hubungannya dengan durasi dan frekuensi hujan dalam bentuk kurva. Studi hubungan intensitas-durasi-frekuensi sangat bermanfaat dalam pengukuran efektivitas kinerja suatu sistem drainase (Takeleb, Fajriani et al. 2022).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Kondisi Wilayah Studi

DAS Cikapundung Kolot memiliki beragam tataguna lahan yang beragam. Keberagaman tataguna lahan tersebut berdampak pada kuantitas limpasan air yang dihasilkan saat terjadi hujan. Kondisi tersebut dipicu oleh perubahan nilai koefisien pengaliran (C) dari masing-masing penggunaan lahan. Nilai koefisien C dipengaruhi oleh sifat dan kondisi tanah, seperti: porositas, kelembapan, permeabilitas, kekerasan, kemiringan, dan keberadaan vegetasi (Moskong and Jothityangkoon 2016). Menurut suripin (2004), semakin mudah limpasan air untuk meresap, maka semakin kecil nilai koefisien C. Begitu pula sebaliknya, semakin sulit limpasan air untuk meresap, maka semakin besar nilai koefisien C. Pada DAS Cikapundung Kolot yang didominasi oleh area kedap, sehingga akan menghasilkan limpasan air yang lebih tinggi. Hal tersebut dapat terjadi, karena limpasan air yang sulit untuk meresap ke tanah. Kenaikan kuantitas limpasan yang dipengaruhi oleh elevasi, berdampak pada kecepatan limpasan air mengalir menuju kawasan terendah. Hal tersebut memicu pada luapan air akibat saluran drainase tidak mampu menampung limpasan air. Luapan air dari saluran drainase berpotensi menghasilkan genangan atau banjir.

3.2 Penentuan Intensitas Curah Hujan

Analisis Data Curah Hujan

PCH utama yang digunakan adalah PCH Cidurian yang akan dibandingkan dengan PCH Dago Pakar dan PCH Bojongsoang. Untuk data curah hujan yang akan digunakan dari tahun 2013 hingga 2022. Berikut data curah hujan yang akan digunakan dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data Curah Hujan PCH Cidurian Balai, Dago-Pakar dan PCH Bojongsoang

No	Tahun	Curah Hujan (mm/tahun)		
		PCH Cidurian-Balai ARR	PCH Dago-Pakar	PCH Bojongsoang
1	2013	189,40	182,4	106,36
2	2014	306,30	145,3	169,50
3	2015	100	121	151,70
4	2016	294,20	180,6	256,40
5	2017	171,55	191,9	161,60
6	2018	215,00	163,7	154,00
7	2019	187,80	103,3	158,70
8	2020	214,70	148,5	192,60
9	2021	181,70	113	192,70
10	2022	214,40	136	188,30

Sumber: (Keairan 2014-2023)

Analisis Frekuensi Curah Hujan

Analisis frekuensi curah hujan menggunakan tiga metode, yaitu: metode gumbel, log Pearson III, dan metode log normal. Kemudian akan diuji secara chi kuadrat dan kolmagorov-smirnof untuk melihat kecocokan dengan distribusi probabilitas pada **Tabel 2**.

Tabel 2 Hasil Analisis Frekuensi

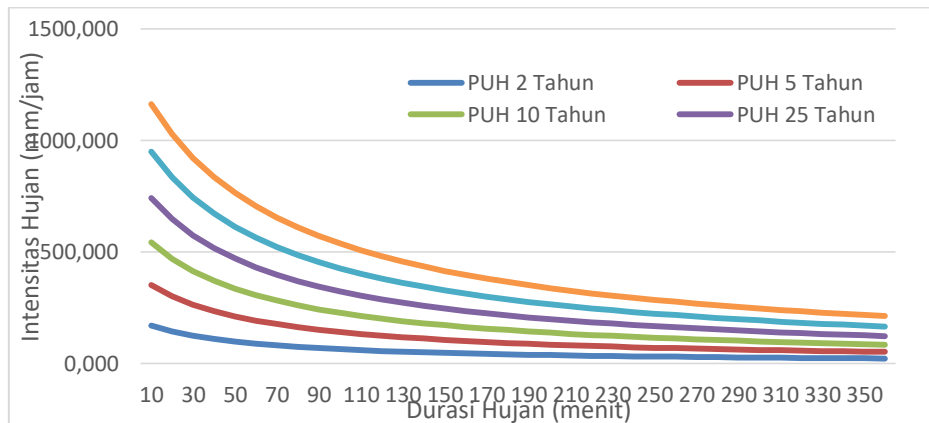
No.	Tipe Distribusi	Ketentuan	< / >	Hasil	Keterangan
1	Gumbel	$X^2 = 5,99$	<	$X^2 = 9$	Tidak Ok
		Δ Kritis = 0,41	>	Δ Max = 0,179	Ok
2	Log Pearson III	$X^2 = 5,99$	>	$X^2 = 3$	Ok
		Δ Kritis = 0,41	<	Δ Max = 0,897	Tidak Ok
3	Log Normal	$X^2 = 5,99$	>	$X^2 = 3$	Ok
		Δ Kritis = 0,41	>	Δ Max = 0,160	Ok

Sumber: Hasil analisa, 2024

Berdasarkan hasil analisis pada **Tabel 2**, analisis frekuensi curah hujan dengan metode gumbel dinilai "Tidak OK" pada uji chi kuadrat, karena nilai X^2 hitung lebih besar dari nilai X^2 tabel chi kuadrat. Sedangkan pada uji kolmagorov-smirnof dinilai "OK", karena nilai Δ Max lebih kecil dari nilai Δ kritis tabel kolmagorov-smirnof. Sehingga sesuai dengan distribusi probabilitas pada uji kolmagorov-smirnof. Pada analisis frekuensi curah hujan dengan metode log Pearson dinilai "OK" pada uji chi kuadrat, karena nilai X^2 hitung lebih kecil dari nilai X^2 tabel chi kuadrat. Sedangkan pada uji kolmagorov-smirnof dinilai "OK", karena nilai Δ Max lebih besar dari nilai Δ kritis tabel kolmagorov-smirnof. Sehingga sesuai dengan distribusi probabilitas pada uji chi kuadrat. Pada analisis frekuensi curah hujan dengan metode log normal dinilai "OK", karena nilai X^2 hitung dan nilai Δ Max lebih kecil dari nilai X^2 tabel chi kuadrat dan nilai Δ kritis tabel kolmagorov-smirnof. Sehingga sesuai dengan distribusi probabilitas berdasarkan uji chi kuadrat dan kolmagorov-smirnof. Maka, hasil analisis frekuensi metode log normal akan digunakan dalam analisis intensitas curah hujan.

Perhitungan Intensitas Curah Hujan

Intensitas hujan adalah ukuran yang menunjukkan seberapa banyak hujan yang terjadi dalam satuan waktu. Besarnya nilai ini dipengaruhi oleh waktu konsentrasi selama periode waktu tertentu (Harahap, Jeumpa et al., 2020). Dengan durasi hujan 6 jam, persamaan Van Breen digunakan untuk menghitung intensitas hujan, yang disajikan dalam bentuk kurva IDF pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Kurva IDF

Sumber: Hasil analisa, 2024

Menurut kurva IDF yang ditunjukkan pada **Gambar 2**, periode ulang hujan memengaruhi jumlah hujan yang terjadi, yang menunjukkan bahwa semakin lama periode ulang hujan, semakin banyak hujan yang terjadi. Selain itu, nilai intensitas curah hujan berkorelasi dengan durasi hujan, seperti yang ditunjukkan oleh fakta bahwa pada awal periode hujan, intensitas curah hujan relatif tinggi dan cenderung menurun selama periode hujan yang lebih lama.

Berdasarkan hasil simulasi, DAS Cikapundung Kolot menghasilkan volume limpasan rata-rata sebesar 93.929,71 m³ selama 6 jam hujan dan akan mengalir pada sistem drainase secara gravitasi menuju sungai, sehingga drainase tidak mampu menampung debit limpasan. Rata-rata debit limpasan air pada saluran drainase 0,337 m³/detik dengan kecepatan 1,574 m/detik. Nilai kecepatan sesuai dengan kriteria desain saluran terbuka, yaitu: 0,6-3,0 m/detik (Te Chow, 1959). Dengan tidak adanya pengurangan limpasan, maka jumlah limpasan yang mengalir menuju sungai adalah tetap.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan simulasi SWMM 5.2, dengan skenario pemodelan hujan rencana 10 tahun dengan intensitas 6 jam, secara umum saluran drainase tidak mampu menampung debit limpasan. Permasalahan sistem drainase di DAS Cikapundung kolot yaitu: tidak seragamnya dimensi dan material penyusun, terdapat endapan, dan sampah. Sehingga diperlukannya penanganan sampah.

DAFTAR RUJUKAN

- Abighail, S. H., et al. (2022). "Pemodelan banjir akibat perubahan tata guna lahan di daerah aliran sungai Ciliwung." J. Tek. Sipil 29(1): 61-68.
- Bai, Y., et al. (2018). "Storm water management of low impact development in urban areas based on SWMM." Water 11(1): 33.
- Bandung, B. P. S. K. (2024). Kota Bandung Dalam Angka.

- Fajriyah, S. A. and E. Wardhani (2020). "Analisis Hidrologi untuk Penentuan Metode Intensitas Hujan di Wilayah Kecamatan Bogor Barat, Kota Bogor." *Jurnal Serambi Engineering* 5(2).
- Harahap, R., et al. (2020). *Drainase Pemukiman: Prinsip Dasar & Aplikasinya*, Yayasan Kita Menulis.
- Jabar, D. (2022). *Dokumen Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Daerah (DIKPLHD) Jawa Barat*. Bandung.
- Keairan, B. H. d. L. (2014-2023). *Data Curah Hujan*.
- Meng, X. (2022). "Understanding the effects of site-scale water-sensitive urban design (WSUD) in the urban water cycle: a review." *Blue-Green Systems* 4(1): 45-57.
- Moskong, H. and C. Jothityangkoon (2016). "Analysis of drainage capacity and flood risk areas for integrated urban planning of Sam Khok District, Pathumthani Province." *Journal of Architectural/Planning Research and Studies (JARS)* 13(2): 41-56.
- Soemarto, C. (1987). *Hidrologi teknik*, Surabaya: Usaha Nasional.
- Soewarno (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data* jilid 1. Bandung, Nova.
- Suripin (2004). *Sistem drainase perkotaan yang berkelanjutan*. Yogyakarta, Andi.
- Takeleb, A. M., et al. (2022). "Determination of Rainfall Intensity Formula and Intensity Duration Frequency (IDF) Curve at the Quelicai Administrative Post, Timor Leste." *Timor-Leste Journal of Engineering and Science* 3: 1-10.