

Kajian Kesesuaian Rumus Intensitas Hujan dan Kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) di Wilayah Kampus Universitas Brawijaya, Malang

Donny Harisuseno

Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang
donnyhari@ub.ac.id

Received: 26 Juni 2020 Revised: 30 November 2020 Accepted: 5 Desember 2020

Abstract

Rainfall intensity known as an essential variable in rainfall-runoff transformation. Flood event occurred in 2017 at Brawijaya University campus caused by high intensity and landuse change in campus's internal and external environment. The study aims to examine performance of several empirical formulas in estimating rainfall intensity, investigating characteristic of each empirical formula's constant due to varying return period (T_r), and determining appropriate Intensity Duration Frequency (IDF) curve. The formula of Sherman, Talbot, and Ishiguro was employed to obtain empirical intensity, while intensity on varying return period was calculated using Log Pearson Type III. The proposed rainfall intensity formula was selected through comparison between empirical intensity with those from observation according to criteria of relative error (KR), Nash Sutcliffe Efficiency (NSE), and Peak Weight Root Mean Square Error (PWRMSE). The Sherman formula showed best performance in estimating rainfall intensity as indicated by low value of KR and PWRMSE, followed by NSE value close to one. The constant of empirical formula "a" was directly proportional with increasing of T_r , conversely, constant "b" and "n" were inverse with T_r . The Validation result of Sherman formula demonstrated that the formula showed good reliability, thus recommended to estimate intensity and IDF curve in the study area.

Keywords: Rainfall intensity, constant of empirical formula, IDF curve, Ishiguro, Sherman, and Talbot

Abstrak

Intensitas hujan merupakan variabel penting dalam proses transformasi hujan menjadi limpasan. Kejadian banjir tahun 2017 di lingkungan kampus Universitas Brawijaya diakibatkan intensitas hujan yang tinggi dan perubahan penggunaan lahan di lingkungan internal dan eksternal kampus. Studi ini bertujuan mengkaji kinerja beberapa rumus empiris dalam mengestimasi intensitas hujan, mengetahui pengaruh variasi kala ulang terhadap nilai konstanta pada rumus empiris, serta menentukan kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) yang sesuai. Rumus empiris yang digunakan meliputi Sherman, Talbot, dan Ishiguro, sedangkan intensitas hujan berbagai kala ulang (T_r) diestimasi dari analisis frekuensi Log Pearson Tipe III. Pemilihan rumus empiris yang sesuai dilakukan dengan membandingkan intensitas hujan empiris dengan pengamatan sesuai kriteria nilai kesalahan relatif (KR), Nash Sutcliffe Efficiency (NSE), dan Peak Weight Root Mean Square Error (PWRMSE). Rumus Sherman menunjukkan kesesuaian yang baik dalam mengestimasi intensitas hujan dengan KR dan PWRMSE yang rendah serta nilai NSE mendekati satu. Nilai konstanta rumus empiris "a" berbanding lurus dengan T_r , sebaliknya konstanta "b" dan "n" menurun seiring meningkatnya T_r . Hasil validasi intensitas hujan terpilih (Sherman) dengan intensitas hujan pengamatan dari pendekatan hubungan peluang dan kala ulang menunjukkan bahwa rumus Sherman memiliki keandalan yang baik sehingga dapat digunakan untuk estimasi intensitas hujan dan kurva IDF di lokasi studi.

Kata kunci: Intensitas hujan, konstanta rumus empiris, kurva IDF, Ishiguro, Sherman, Talbot

Pendahuluan

Fenomena pemanasan global memberikan dampak yang signifikan pada perilaku iklim yang ditandai dengan tidak menentukannya pola siklus hidrologi yang terjadi dimana hujan merupakan salah satu komponen penting yang sering menjadi alat untuk deteksi terjadinya perubahan iklim (Armal *et al.*, 2018). Perubahan pola perilaku hujan yang saat ini terjadi terutama dalam aspek kuantitas baik secara keruangan (*spatial*) dan waktu kejadian (*temporal*) berimbas pada semakin sulitnya manajer sumber daya air dalam merencanakan kegiatan yang berkaitan dengan pengelolaan sumber daya air (Dettinger *et al.*, 2015).

Ketidakteraturan pola hujan juga terlihat pada tidak menentukannya musim hujan dan musim kemarau yang pada akhirnya akan memberikan masalah baru dalam pekerjaan-pekerjaan di bidang sumber daya air antara lain pengelolaan irigasi, penyediaan air, dan pola operasi waduk untuk pembangkit listrik, air baku, dan lain sebagainya (Subyani & Al-Amri, 2015). Selain itu bencana banjir dan kekeringan berpotensi untuk terjadi mengingat tidak menentukannya volume air hujan dan durasi hujan (Bao *et al.*, 2018; Mukherjee *et al.*, 2018).

Dengan demikian, dapat dipahami bahwa penelitian mengenai karakteristik hujan menjadi hal yang penting dalam rangka menyusun rencana antisipasi dan mitigasi dalam pekerjaan sumber daya air, baik itu yang berkaitan dengan pengelolaan sumber daya air maupun kebencanaan (banjir, erosi, dan tanah longsor) (Alvioli *et al.*, 2018; Chen *et al.*, 2015). Intensitas hujan merupakan masukan yang sangat fundamental dalam analisis-analisis yang berhubungan dengan estimasi limpasan permukaan, erosi, banjir, dan kekeringan (Noor *et al.*, 2018; Shen *et al.*, 2016). Peran variabel intensitas hujan menjadi vital saat perhitungan perencanaan bangunan air untuk pengendalian banjir dengan masukan debit banjir rancangan berbagai kala ulang (Dourte *et al.*, 2013; Jahnvi *et al.*, 2014). Pada umumnya, penggunaan intensitas hujan sebagai parameter dalam perencanaan bangunan air ditampilkan dalam bentuk kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) (Courty *et al.*, 2019).

Penelitian mengenai intensitas hujan sudah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu. Soekarno & Rohmat (2005) melakukan penelitian intensitas hujan yang sesuai di wilayah hulu DAS Cimanuk dimana hasil penelitian menunjukkan bahwa rumus Sherman memiliki performance estimasi yang sesuai. Dar *et al.* (2016) meneliti pengaruh variasi durasi hujan terhadap karakteristik intensitas hujan yang terjadi dimana diketahui bahwa hujan dengan intensitas tinggi terjadi pada

durasi yang singkat. Penelitian mengenai kesesuaian penerapan distribusi frekuensi untuk mengestimasi intensitas hujan berbagai kala ulang telah menjadi bagian permasalahan yang penting untuk diteliti. Deger & Yuce (2019) menggunakan distribusi Gumbel dan Normal untuk mengestimasi intensitas hujan dengan rumus Sherman, Koutsoyiannis and Alhassoun. Kurva IDF sebagai fungsi intensitas hujan telah menarik perhatian para peneliti dengan mempertimbangkan peran pentingnya dalam perhitungan debit limpasan untuk desain bangunan keairan. Hussein *et al.* (2020) meneliti penerapan Multilayer Artificial Neural Network untuk mengestimasi kurva IDF di Najaf, Iraq, sedangkan pengaruh clustering stasiun hujan dan stasiun meteorologi terhadap karakteristik kurva IDF dilakukan pada 26 stasiun di Rwanda, Uganda (Wagesho & Claire, 2016).

Nhat *et al.* (2006) mencoba untuk membandingkan akurasi rumus intensitas hujan Talbot, Bernard, Kimijima, dan Sherman dalam mengestimasi kurva IDF di Vietnam dimana hasil penelitian menunjukkan bahwa Sherman dan Kimijima lebih sesuai untuk digunakan. Penelitian di wilayah hulu Malang dilakukan oleh (Harisuseno *et al.*, 2020) dimana rumus Talbot, Mononobe, Hasper, dan Van Breen diuji kesesuaian dalam mengestimasi intensitas di lokasi studi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rumus Talbot memiliki kesesuaian dengan pola hujan di wilayah studi.

Kota Malang merupakan kota yang memiliki tingkat pertumbuhan yang sangat cepat terutama berkaitan dengan perubahan penggunaan lahan maupun pertumbuhan jumlah penduduk. Lokasi geografis yang terletak di wilayah pegunungan dengan cuaca yang sejuk serta didukung dengan kondisi lingkungan sosial dan ekonomi yang relatif nyaman membuat Kota Malang menjadi salah satu tujuan bepergian masyarakat dari luar Kota Malang, terutama kota-kota lain di Jawa Timur. Hal ini didukung pula dengan kedudukan Kota Malang yang merupakan kota pendidikan membuat setiap tahun banyak pendatang dari luar yang melanjutkan studi di Kota Malang.

Permasalahan perubahan penggunaan lahan yang signifikan merupakan salah satu problem yang dihadapi oleh Kota Malang pada saat ini (Sari *et al.*, 2018). Konsekuensi yang dihadapi akibat adanya perubahan penggunaan lahan ini adalah terganggunya keseimbangan air di lahan yang berpotensi menimbulkan limpasan permukaan atau genangan. Permasalahan genangan di lahan ini juga terjadi di Lingkungan Universitas Brawijaya yang terletak di Area Pusat Kota Malang. Kejadian genangan pada tahun 2017 di Lingkungan Universitas Brawijaya mengindikasikan perlunya

studi terkait bagaimana meminimalisir terjadinya limpasan permukaan yang berlebihan di lahan.

Dari beberapa studi terdahulu yang telah dijelaskan sebelumnya, dapat diketahui bahwa penelitian yang memiliki fokus pada pemilihan rumus empiris intensitas hujan yang sesuai di Wilayah Kota Malang, terutama di Lingkungan Universitas Brawijaya masih sedikit dilakukan. Lebih jauh, studi ini juga meneliti bagaimana pengaruh variasi kala ulang terhadap nilai konstanta pada masing-masing rumus empiris yang ditinjau dan karakteristik nilai intensitas hujan yang dihasilkan. Dengan pertimbangan tersebut, maka penelitian mengenai intensitas hujan dan kurva IDF sangat diperlukan untuk mendukung perencanaan kegiatan pengendalian limpasan permukaan di Lingkungan Universitas Brawijaya.

Metode

Studi ini mengambil lokasi di Lingkungan Universitas Brawijaya, yang memiliki koordinat geografi antara $7^{\circ}56'55,9''$ LS dan $12^{\circ}36'43,7''$ BT. Secara administrasi, lokasi studi terletak pada Wilayah Administrasi Kecamatan Lowokwaru, Kota Malang. Universitas Brawijaya termasuk dalam Wilayah DAS Brantas Hulu dengan luas wilayah kampus sebesar 51 ha. Gambar 1 menyajikan lokasi studi beserta stasiun hujan yang digunakan.

Data

Data yang digunakan dalam studi ini meliputi data koordinat lokasi stasiun hujan dan data hujan jam-jaman. Pengumpulan data hujan diperoleh dari stasiun hujan manual dan otomatis yang dikelola oleh Laboratorium Hidrologi, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Data hujan yang digunakan dalam studi meliputi kurun waktu 17 tahun 2003-2019.

Prosedur analisis

Prosedur analisis dalam studi ini diawali dengan pengumpulan data hujan dan pengelompokan data hujan jam-jaman sesuai dengan durasi hujan yang diinginkan. Pendekatan statistik yang terdiri dari uji stasioner, uji persistensi, uji ketidakadaan *trend*, uji *outlier* dan uji konsistensi RAPS dilakukan untuk menguji data hujan yang diperoleh. Selanjutnya, perhitungan intensitas hujan rancangan dengan berbagai durasi hujan dan kala ulang dihitung dengan menggunakan analisis frekuensi berdasarkan masukan data hujan yang sudah dilakukan pengujian kualitas sebelumnya. Untuk memastikan distribusi analisis frekuensi yang digunakan memiliki sebaran peluang yang sesuai dengan seri data hujan, maka dilakukan pengujian kesesuaian distribusi frekuensi dengan menggunakan uji *Smirnov-Kolmogorof* dan uji *Chi Square*.



Gambar 1. Lokasi studi Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang

Langkah berikutnya meliputi perhitungan parameter-parameter pada rumus empiris intensitas hujan yang digunakan dalam studi, yang selanjutnya parameter-parameter yang diperoleh tersebut akan digunakan untuk menghitung intensitas hujan pada berbagai durasi hujan dan kala ulang untuk masing-masing rumus empiris intensitas hujan. Hasil intensitas hujan berbagai durasi hujan dan kala ulang yang diperoleh dari masing-masing rumus empiris selanjutnya dibandingkan dengan intensitas hujan pengamatan untuk mengidentifikasi sejauhmana kesesuaian intensitas hujan masing-masing rumus empiris tersebut.

Analisis kesesuaian juga dilakukan antara hasil kurva IDF berdasarkan masing-masing rumus empiris dan intensitas hujan pengamatan berdasarkan analisis frekuensi. Dengan demikian, berdasarkan hasil analisis kesesuaian tersebut, maka dapat diketahui rumus empiris mana yang memiliki kesesuaian yang paling baik untuk memperkirakan nilai intensitas hujan di lokasi studi. Tahap berikutnya adalah pengujian validasi dari rumus empiris terpilih yang dilakukan dengan membandingkan antara hasil kurva IDF dari rumus empiris terpilih untuk kejadian hujan berbagai durasi dan kala ulang dengan kurva IDF dari intensitas hujan pengamatan yang ditentukan berdasarkan pendekatan konsep peluang.

Intensitas hujan

Dalam studi ini, rumus intensitas hujan yang digunakan meliputi:

Intensitas dari hujan pengamatan

Data tinggi hujan jam-jaman dan durasi hujan merupakan masukan utama untuk menentukan intensitas hujan pengamatan. Persamaan yang digunakan untuk menghitung intensitas hujan pengamatan adalah (Chow *et al.*, 1988; Subyani & Al-Amri, 2015):

$$I = \frac{R}{t} \quad (1)$$

dengan I adalah intensitas curah hujan (mm/jam), t adalah lamanya curah hujan (jam), R adalah tinggi hujan (mm).

Rumus Ishiguro

Rumus ini dikemukakan oleh Dr. Ishiguro pada tahun 1953. Berikut merupakan rumus empiris metode Ishiguro (Soekarno & Rohmat, 2005):

$$I = \frac{a}{\sqrt{t+b}} \quad (2)$$

dengan I adalah intensitas curah hujan (mm/jam), t adalah lamanya hujan (jam), a , b adalah konstanta yang tergantung pada lamanya curah hujan.

Rumus Talbot

Persamaan Talbot dikembangkan oleh Prof. Talbot pada tahun 1881 dan merupakan rumus yang sering digunakan dalam perhitungan intensitas hujan (Asbintari *et al.*, 2016). Intensitas hujan Talbot dapat diperoleh dengan rumus:

$$I = \frac{a}{t+b} \quad (3)$$

dengan I merupakan intensitas curah hujan (mm/jam), t merupakan lamanya hujan (jam), a , b merupakan konstanta yang tergantung pada lamanya curah hujan.

Rumus Sherman

Persamaan Sherman dihasilkan oleh Prof. Sherman pada tahun 1905 (Gutierrez-Lopez *et al.*, 2019). Intensitas hujan berdasarkan rumus Sherman dapat diperoleh melalui rumus berikut (David *et al.*, 2019):

$$I = \frac{a}{t^n} \quad (4)$$

dengan I merupakan intensitas curah hujan (mm/jam), t merupakan lamanya hujan (jam), a merupakan konstanta dan n merupakan konstanta.

Kurva IDF

Chow *et al.* (1988) menyatakan bahwa IDF merupakan penyajian besaran intensitas hujan (I) pada berbagai variasi durasi hujan (t) dimana intensitas hujan ditempatkan sebagai ordinat dan durasi hujan sebagai absis dimana keduanya ditinjau pada berbagai kala ulang (Tr). Kurva IDF ini merupakan masukan utama dalam mengestimasi debit banjir rancangan untuk kebutuhan desain bangunan pengendali banjir (Harisuseno & Bisri, 2017).

Hasil dan Pembahasan

Data hujan jam-jaman selama kurun waktu 17 tahun (2003-2019) berasal dari stasiun hujan manual dan otomatis yang dikelola oleh Laboratorium Hidrologi, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Perhitungan intensitas hujan dilakukan dengan mempertimbangkan variasi durasi hujan yakni durasi satu sampai lima jam (Silva *et al.*, 2019; Kotei *et al.*, 2013). Pengambilan durasi maksimum lima jam ditetapkan dengan pertimbangan bahwa rata-rata kejadian banjir di Indonesia diakibatkan

oleh hujan lebat dengan durasi empat hingga lima jam (Adi, 2013). Untuk mendapatkan intensitas hujan dengan menggunakan beberapa rumus empiris (Sherman, Talbot, dan Ishiguro) maka data tinggi hujan jam-jaman harus ditransformasikan menjadi intensitas hujan dengan satuan mm/jam. Tabel 1 menampilkan data tinggi hujan yang sudah ditransformasikan kedalam bentuk intensitas hujan (I) dengan berbagai durasi kejadian hujan.

Analisis intensitas hujan

Dalam studi ini, intensitas hujan rancangan dihitung dengan menggunakan pendekatan distribusi frekuensi *Log Pearson III* (Akpen *et al.*, 2019; Bhat *et al.*, 2019). Pemilihan kala ulang yang digunakan dalam studi ini meliputi kala ulang 2, 5, 10 dan 25 tahun (Zope *et al.*, 2016).

Hasil intensitas hujan rancangan pada berbagai kala ulang ini ($I_{rancangan}$) digunakan sebagai nilai pembandingan dan mendapatkan nilai konstanta pada setiap rumus empiris. Hasil perhitungan intensitas hujan pengamatan pada berbagai kala ulang berdasarkan analisis frekuensi *Log Pearson Tipe III* ($I_{ranc.obs}$) ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Data intensitas hujan berbagai durasi 2003 - 2019

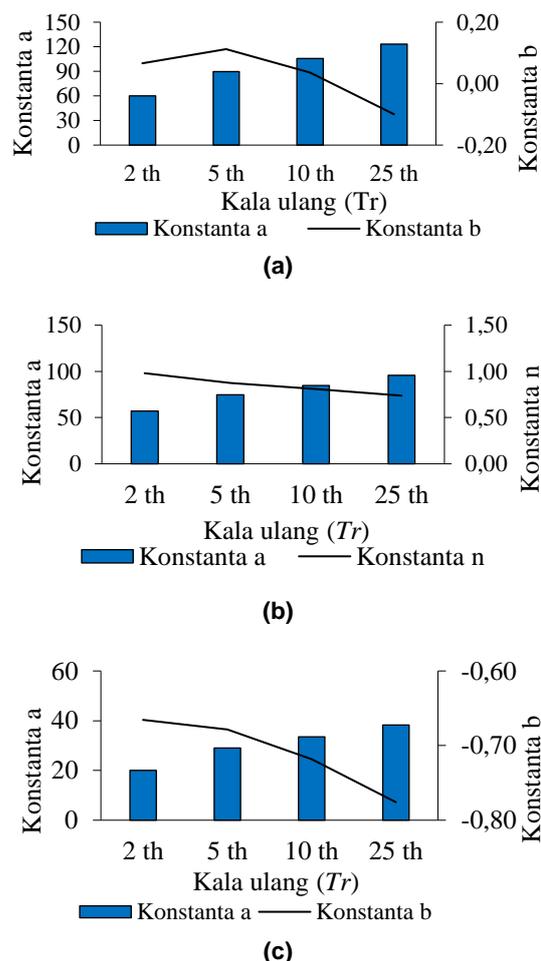
Tahun	Durasi, t (Jam), I (mm/jam)				
	1	2	3	4	5
2003	54,90	23,00	26,67	7,75	7,30
2004	39,20	41,25	21,50	12,88	19,10
2005	36,70	46,00	17,60	7,23	5,80
2006	71,45	31,25	17,17	11,75	10,26
2007	79,00	43,00	18,83	12,70	20,12
2008	62,50	35,75	30,90	14,35	7,50
2009	67,00	25,25	28,23	19,78	5,60
2010	47,00	12,50	17,50	18,36	13,50
2011	38,00	12,75	9,33	10,25	4,44
2012	54,00	24,50	21,07	21,63	13,70
2013	46,10	64,10	22,10	32,48	11,44
2014	51,90	71,50	27,50	40,38	21,60
2015	37,80	44,00	39,60	39,05	8,00
2016	23,70	30,45	34,50	18,98	12,74
2017	43,60	33,35	10,83	10,78	11,80
2018	48,20	20,60	22,47	2,50	7,86
2019	50,20	22,85	9,40	15,25	16,92

Tabel 2. Intensitas hujan berdasarkan analisis frekuensi ($I_{ranc.obs}$)

Durasi (t), jam	Kala ulang (Tr) th, I (mm/jam)			
	2	5	10	25
1	52,24	64,77	72,62	82,17
2	31,27	53,52	68,05	85,43
3	22,00	27,06	29,21	31,04
4	14,72	23,46	30,62	41,37
5	10,36	16,21	20,41	26,04

Konstanta rumus empiris

Hasil perhitungan intensitas hujan rancangan ($I_{rancangan}$) pada berbagai durasi hujan yang ditunjukkan pada Tabel 2, selanjutnya digunakan untuk mengestimasi nilai konstanta-konstanta pada masing-masing rumus empiris. Tabel 3 menampilkan rekapitulasi nilai konstanta untuk masing-masing rumus empiris, sedangkan Gambar 2 (a) – (c) menyajikan grafik nilai konstanta berbagai kala ulang untuk masing-masing rumus empiris. Berdasarkan Tabel 3 dan Gambar 2 (a) – (c), maka dapat diketahui bahwa nilai konstanta a berbanding lurus dengan besar kala ulang dimana semakin besar kala ulang yang ditinjau, nilai konstanta a memiliki nilai yang semakin meningkat.



Gambar 2. Nilai konstanta rumus empiris berbagai kala ulang: (a) Talbot; (b) Sherman; (c) Ishiguro

Kondisi sebaliknya ditemui pada konstanta b (untuk rumus Ishiguro dan Talbot) dan n (untuk rumus Sherman), dimana besaran konstanta b dan n cenderung berbanding terbalik dengan besar kala ulang. Nilai b dan n semakin menurun secara paralel dengan meningkatnya nilai kala ulang.

Tabel 3. Nilai konstanta rumus empiris intensitas hujan

	Konstanta empiris	Kala ulang (Tr), tahun			
		2	5	10	25
T	a	60,02	89,73	105,78	123,06
	b	0,07	0,11	0,04	-0,10
S	a	56,95	74,77	84,73	95,66
	n	0,98	0,87	0,81	0,74
I	a	20,05	28,99	33,53	38,26
	b	-0,67	-0,68	-0,72	-0,78

T: Talbot; S: Sherman; I: Ishiguro

Hasil studi ini menegaskan hasil penelitian Soekarno & Rohmat (2005) yang menghasilkan pola yang sama untuk nilai konstanta rumus intensitas hujan pada berbagai kala ulang. Kondisi agak berbeda untuk rumus Talbot, dimana nilai konstanta *b* meningkat pada kala ulang 5 tahun dibandingkan dengan nilai konstanta *b* pada kala ulang dua tahun.

Namun demikian, pola selanjutnya menunjukkan kecenderungan untuk menurun dengan semakin besar kala ulang yang diperhitungkan. Beberapa peneliti mengaitkan nilai konstanta *a*, *b*, dan *n* ini dengan pengaruh variasi meteorologi serta karakteristik geografis lokasi yang ditinjau (Kothyari & Garde, 1993; Nhat *et al.*, 2006).

Dengan demikian, pengaruh variasi meteorologi dan karakteristik geografis terhadap variabilitas nilai *a*, *b*, dan *n* perlu dipertimbangkan untuk dilakukan penelitian lebih lanjut.

Intensitas hujan rumus Ishiguro

Nilai intensitas hujan rumus Ishiguro dihitung berdasarkan konstanta *a* dan *b* pada Tabel 3 dengan menggunakan persamaan (2). Intensitas hujan hasil perhitungan rumus Ishiguro disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Intensitas hujan rumus Ishiguro

t (jam)	Kala ulang (Tr)			
	2	5	10	25
1	56,31	80,67	102,07	136,67
2	29,05	42,48	51,95	64,76
3	19,58	28,83	34,84	42,43
4	14,76	21,82	26,21	31,55
5	11,85	17,55	21,00	25,11

Intensitas hujan rumus Talbot

Seperti pada perhitungan rumus Sherman, nilai konstanta *a* dan *b* menjadi masukan yang harus diketahui untuk mendapatkan intensitas hujan pada persamaan (3) selanjutnya akan menghasilkan intensitas hujan rumus Talbot seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Intensitas hujan rumus Talbot

t (jam)	Kala ulang (Tr)			
	2	5	10	25
1	56,95	74,77	84,73	95,66
2	28,86	40,81	48,31	57,38
3	19,40	28,64	34,78	42,55
4	14,63	22,27	27,55	34,42
5	11,75	18,33	22,99	29,20

Intensitas hujan rumus Talbot

Seperti pada perhitungan rumus Sherman, nilai konstanta *a* dan *b* menjadi masukan yang harus diketahui untuk mendapatkan intensitas hujan pada rumus Talbot. Substitusi kedua konstanta pada persamaan (3) selanjutnya akan menghasilkan intensitas hujan rumus Talbot seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.

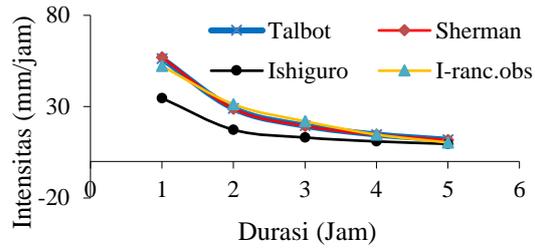
Intensitas hujan Sherman

Intensitas hujan Sherman diperoleh dengan memasukkan nilai konstanta *a* dan *n* kedalam persamaan (4), sehingga diperoleh hasil seperti yang ditampilkan pada Tabel 6. Dengan mencermati nilai intensitas hujan dari ketiga rumus empiris seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4, 5, dan 6, maka dapat diketahui bahwa nilai intensitas hujan berbanding lurus dengan nilai kala ulang, sebaliknya berbanding terbalik dengan durasi hujan. Hasil ini memiliki kesamaan dengan hasil studi yang dilakukan oleh (Aysar, 2016; Isikwue *et al.*, 2012). Dengan demikian dapat dipahami bahwa kejadian hujan dengan intensitas tinggi (hujan lebat) terjadi pada durasi yang singkat.

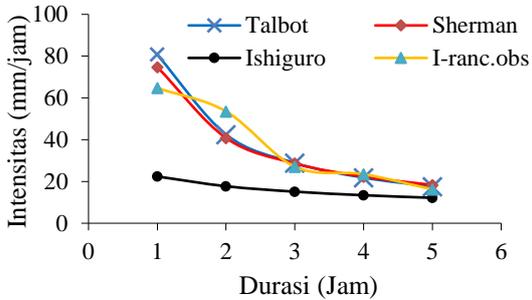
Tabel 6. Intensitas hujan rumus Sherman

t (jam)	Kala ulang (Tr)			
	2	5	10	25
1	34,67	22,38	25,58	28,71
2	17,36	17,71	20,34	22,97
3	13,12	15,12	17,39	19,69
4	10,98	13,40	15,44	17,51
5	9,63	12,17	14,02	15,92

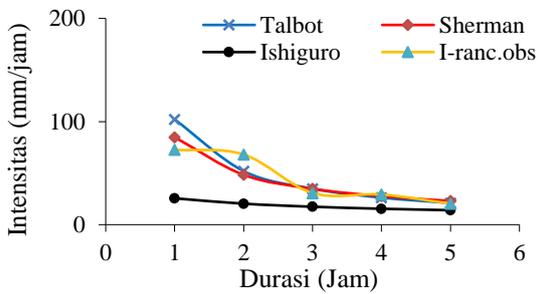
Lebih jauh, dari hasil yang diperoleh dari ketiga rumus tersebut diketahui bahwa nilai intensitas hujan meningkat secara paralel dengan besar kala ulang dimana intensitas hujan yang tinggi (hujan lebat) pada umumnya terjadi pada kala ulang yang besar. Hasil ini selaras dengan hasil penelitian yang dihasilkan oleh Elsebaie (2012). Penjelasan mengenai hal ini, dapat dikaitkan dengan hubungan antara peluang (*P*) dan kala ulang (*Tr*) dimana peluang (*P*) = $1/Tr$ (Grounds *et al.*, 2018). Seperti diketahui bahwa hujan dengan nilai intensitas hujan yang tinggi memiliki kemungkinan terjadi kecil atau dengan kata lain peluang terjadinya kecil.



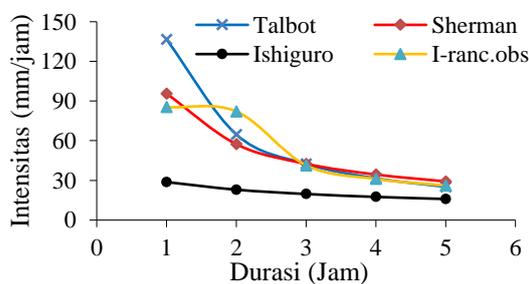
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3. Grafik intensitas hujan pada berbagai durasi hujan dan besaran kala ulang (T_r): (a) 2 th; (b) 5 th; (c) 10 th; (d) 25 th

Sebaliknya, hujan dengan intensitas yang kecil, memiliki peluang terjadi yang besar atau tingkat keseringan terjadi yang tinggi (Volpi, 2019). Gambar 3 (a) – (d) menyajikan grafik yang menjelaskan variasi besaran intensitas hujan (I) pada berbagai variasi durasi hujan (t) dan kala ulang (T_r) untuk masing-masing rumus empiris.

Berdasarkan Gambar tersebut, dapat diketahui bahwa pola kurva intensitas hujan memiliki kemiringan negatif yang mengindikasikan bahwa besar intensitas hujan akan menurun dengan bertambahnya durasi hujan untuk sebuah besaran kala ulang yang ditinjau. Hasil ini sesuai dengan studi yang dihasilkan oleh (Dakheel, 2017; Jahnavi *et al.*, 2014) yang menyatakan bahwa besar intensitas hujan akan semakin meningkat sejalan dengan meningkatnya besar kala ulang. Grafik rumus Sherman terlihat memiliki pola yang paling mendekati pola intensitas intensitas hujan pengamatan dari analisis frekuensi ($I_{ranc.obs}$) untuk semua kala ulang. Penyimpangan grafik akan semakin besar seiring dengan meningkatnya kala ulang.

Hal ini disebabkan karena hujan dengan intensitas yang tinggi memiliki pola kejadian yang tidak menentu jika dibandingkan hujan dengan intensitas kecil (sering terjadi) sehingga nilainya cenderung berfluktuasi. Perencanaan mitigasi banjir, erosi dan tanah longsor pada umumnya akan memperhatikan nilai intensitas hujan yang ditetapkan berdasarkan pertimbangan durasi kritis hujan yang terjadi dan besar kala ulang yang erat kaitannya dengan aspek resiko dan aspek ekonomi proyek yang dimaksud (Woldemeskel *et al.*, 2016).

Kesesuaian rumus intensitas hujan

Penilaian kesesuaian intensitas hujan yang dihasilkan oleh rumus empiris dilakukan dengan menganalisis perbandingan antara intensitas hujan pengamatan dari analisis frekuensi ($I_{ranc.obs}$) dengan intensitas hujan dari rumus empiris. Selanjutnya, kriteria statistika yang meliputi *Peak Weight Root Mean Square Error (PWRMSE)*, Koefisien NSE (*NSE*), dan kesalahan relatif (*KR*) (Bharti *et al.*, 2017; Hirose & Masuda, 2018; Komi *et al.*, 2017; Wałęga, 2016).

Rekapitulasi hasil kesesuaian setiap rumus empiris ditunjukkan pada Tabel 7. Merujuk pada hasil Tabel 7, dapat dilihat bahwa secara umum Rumus Sherman menunjukkan kinerja akurasi yang lebih baik dibandingkan dengan dua rumus empiris lainnya yang diindikasikan dengan nilai Kr (8,53% – 23,05%) dan $PWRMSE$ (2,29 – 3,29) yang paling kecil serta nilai NSE (0,98 – 0,95) yang paling besar diantara rumus empiris intensitas hujan yang ada. Hal ini berlaku untuk semua kala ulang yang ditinjau, kecuali pada kala ulang dua tahun dimana ternyata rumus Talbot lebih menunjukkan kinerja yang baik dibandingkan Sherman dan Ishiguro. Hal ini berarti, untuk analisis kebutuhan debit banjir rancangan kala ulang dua tahun, penentuan intensitas hujan rancangan lebih sesuai menggunakan rumus Talbot.

Tabel 7. Rekapitulasi hasil analisis kesesuaian masing-masing rumus empiris

<i>Tr</i> (tahun)	<i>I</i> _{Sherman}			<i>I</i> _{Ishiguro}			<i>I</i> _{Talbot}		
	<i>Kr</i> (%)	<i>NSE</i>	<i>PWRMSE</i>	<i>Kr</i> (%)	<i>NSE</i>	<i>PWRMSE</i>	<i>Kr</i> (%)	<i>NSE</i>	<i>PWRMSE</i>
2	8,53	0,98	2,29	30,18	0,96	4,61	8,10	0,99	2,18
5	12,63	0,97	2,38	48,86	0,95	7,03	13,40	0,95	3,66
10	17,49	0,96	2,81	51,25	0,93	7,75	20,16	0,83	4,64
20	21,14	0,95	3,18	54,00	0,92	8,42	28,12	0,31	5,62
25	23,05	0,95	3,29	54,25	0,91	8,64	30,89	0,15	5,92

Namun demikian, dalam studi ini rumus Sherman ditetapkan sebagai rumus empiris yang memiliki akurasi yang baik dalam mengestimasi intensitas hujan di lokasi studi mengingat bahwa secara rata-rata keseluruhan parameter nilai *Kr*, *NSE*, dan *PWRMSE*, rumus Sherman menunjukkan hasil yang paling baik dibandingkan Talbot dan Ishiguro. Hasil ini memiliki kesesuaian dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Asbintari *et al.*, 2016; Soekarno & Rohmat, 2005) yang menyatakan bahwa rumus Sherman memiliki kesesuaian yang lebih baik untuk estimasi intensitas hujan.

Hasil validasi rumus terpilih (Sherman)

Untuk menguji tingkat keandalan dari rumus Sherman sebagai rumus terpilih untuk estimasi intensitas hujan, maka dilakukan proses validasi. Analisis ini dilakukan dengan melakukan perbandingan antara intensitas empiris hasil rumus Sherman dengan intensitas hujan pengamatan yang diperoleh dari hubungan peluang dan kala ulang. Mengingat data pengamatan yang tersedia hanya 17 tahun (kurang dari 20 tahun), maka maksimal kala ulang yang digunakan dalam proses validasi adalah 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun (Soewarno, 1995).

*I*_{pengamatan} pada kala ulang yang diperhitungkan tersebut diestimasi dengan menggunakan persamaan Weibull dengan jalan mengurutkan data intensitas hujan dari kecil ke besar, untuk selanjutnya dihitung peluang terjadinya (*P*) (Eris *et al.*, 2019). Peluang (*P*) setiap nilai intensitas hujan untuk kala ulang tertentu (*Tr*) dihitung dengan pendekatan $P = 1/Tr$, kemudian dari nilai *P* tersebut akan ditentukan nilai intensitas hujan pengamatan pada kala ulang berdasarkan nilai ranking data yang sudah diurutkan (Harisuseno *et al.*, 2020).

Nilai peluang yang terjadi (*I*_{pengamatan}) pada kala ulang tertentu (*Tr*) diperoleh dengan rumus $P = 1/Tr$, yang selanjutnya berdasarkan nilai *P*, besar intensitas hujan pengamatan dengan kala ulang tertentu dapat ditentukan dari nilai ranking data yang sudah diurutkan sesuai peluang (*P*) masing-masing kala ulang. Tabel 8 menyajikan nilai *I*_{pengamatan} pada berbagai kala ulang. Penilaian hasil validasi rumus Sherman ditentukan dengan kriteria statistika yang meliputi kesalahan relatif (*Kr*), koefisien *Nash-Sutcliffe* dan *PWRMSE*.

Tabel 8. Intensitas hujan pengamatan berbagai kala ulang dan durasi hujan

Durasi hujan (<i>t</i>)	Kala ulang (Tahun)		
	2	5	10
1	48,20	67,00	71,45
2	33,35	36,46	38,65
3	22,10	24,77	26,82
4	15,25	20,55	21,76
5	11,80	15,78	17,81

Tabel 9. Hasil validasi rumus terpilih (Sherman)

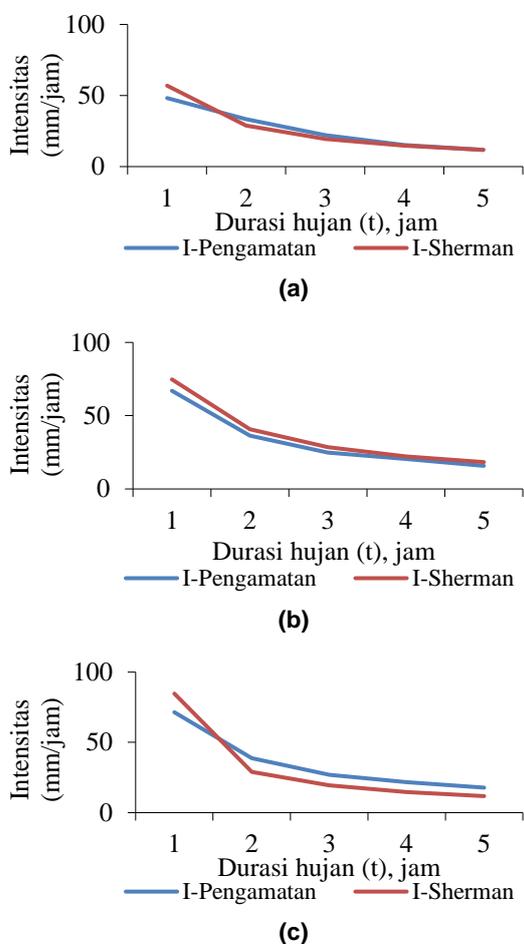
<i>Tr</i> (tahun)	<i>I</i> _{Sherman}		
	<i>Kr</i> (%)	<i>NSE</i>	<i>PWRMSE</i>
2	9,66	0,94	2,86
5	12,73	0,88	3,04
10	27,67	0,79	4,37

Hasil validasi ditunjukkan pada Tabel 9 dimana rumus Sherman menunjukkan keandalan yang relatif baik untuk mengestimasi intensitas hujan dengan nilai *Kr* (9,66% – 27,67%), *NSE* (0,79 – 0,94), dan *PWRMSE* (2,86 – 4,37). Namun demikian, jika dicermati ternyata tingkat validasi rumus Sherman menunjukkan kecenderungan menurun sesuai dengan meningkatnya nilai kala ulang. Dengan kata lain, pada kala ulang yang besar, estimasi intensitas hujan rumus Sherman menunjukkan kecenderungan tidak akurat jika dibandingkan dengan intensitas hujan pengamatan. Faktor jumlah data pengamatan yang kurang banyak kemungkinan besar menjadi penyebab hal ini dimana dengan jumlah data yang sedikit maka nilai intensitas hujan pengamatan tidak dapat ditentukan dengan akurat dari konsep peluang dan kala ulang (Alam *et al.*, 2018). Selain itu, tingkat variabilitas nilai hujan dan durasi hujan yang terjadi di lokasi studi, juga berkontribusi dalam permasalahan ini. Oleh karena itu, sangat perlu dilakukan penelitian yang bisa mengakomodir data dengan jumlah yang banyak sehingga keterwakilan dari nilai intensitas hujan pada berbagai peluang dan kala ulang bisa diperoleh dengan baik.

Perbandingan kurva IDF Sherman dengan pengamatan

Penggambaran kurva IDF dilakukan berdasarkan nilai intensitas hujan (*I*) yang terjadi pada berbagai

durasi hujan (D) dan kala ulang (Tr). Hasil kurva IDF untuk intensitas hujan rumus Sherman pada berbagai kala ulang (2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun) dan durasi hujan (1, 2, 3, 4, dan 5 jam) digambarkan pada Gambar 4 (a) – (c) menampilkan perbandingan kurva IDF untuk rumus Sherman dan pengamatan pada berbagai kala ulang dan durasi hujan.



Gambar 4. Validasi kurva IDF rumus Sherman dan pengamatan: (a) $Tr = 2$ th; (b) $Tr = 5$ th; (c) $Tr = 10$ th

Mengacu pada Gambar 4 (a) – (c), dapat diketahui bahwa semakin besar durasi hujan maka intensitasnya akan semakin kecil, sebaliknya intensitas hujan semakin besar paralel dengan meningkatnya kala ulang. Jika diperhatikan lebih seksama, penyimpangan antara kurva IDF Sherman dengan pengamatan menunjukkan kecenderungan yang semakin besar dengan bertambahnya kala ulang. Hal ini berkaitan dengan penjelasan sebelumnya terkait pengaruh faktor jumlah data pengamatan yang kurang panjang dan tingkat variabilitas nilai hujan dan durasi hujan yang terjadi di lokasi studi. Namun demikian, secara keseluruhan dapat dikatakan bahwa kurva IDF rumus Sherman memiliki kesesuaian yang cukup baik dengan pengamatan. Berdasarkan hasil yang sudah diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa

rumus Sherman memiliki tingkat keandalan yang baik untuk mengestimasi nilai intensitas hujan di lokasi studi.

Kesimpulan

Karakteristik nilai intensitas hujan yang dihasilkan pada semua rumus empiris menunjukkan tipikal yang sama dimana intensitas hujan memiliki nilai yang tinggi untuk hujan dengan durasi singkat pada kala ulang yang besar. Nilai konstanta setiap rumus empiris memiliki nilai yang berbeda satu sama lain pada durasi hujan dan kala ulang yang sama, yang berimbang pada nilai intensitas hujan yang bervariasi antar rumus empiris. Lebih jauh, hasil studi menunjukkan nilai konstanta a berbanding lurus dengan besar kala ulang, sebaliknya konstanta b (untuk rumus Ishiguro dan Talbot) dan n (untuk rumus Sherman) berbanding terbalik dengan besar kala ulang. Nilai konstanta b dan n semakin menurun secara paralel dengan meningkatnya nilai kala ulang. Hasil analisis kesesuaian terhadap ketiga rumus empiris menunjukkan bahwa rumus Sherman memiliki tingkat keandalan yang lebih baik dibanding Talbot dan Ishiguro yang diindikasikan dengan nilai KR (8,53% – 23,05%) dan $PWRMSE$ (2,29 – 3,29) yang paling kecil serta nilai NSE (0,98 – 0,95). Proses validasi rumus intensitas hujan terpilih (Sherman) menunjukkan bahwa tingkat validasi rumus Sherman memiliki kinerja akurasi dan keandalan yang baik untuk mengestimasi intensitas hujan. Dengan demikian, hasil studi secara keseluruhan menunjukkan bahwa rumus Sherman memiliki tingkat keandalan dan akurasi yang baik dalam mengestimasi intensitas hujan sehingga dapat direkomendasikan untuk digunakan pada lokasi studi.

Daftar Pustaka

- Adi, S. (2013). Characterization of flash flood disaster in Indonesia (Karakterisasi bencana banjir bandang di Indonesia). *Jurnal Sains dan Teknologi Indonesia*, 15(1), 42–51.
- Akpen, G. D., Aho, M. I., & Musa, A. A. (2019). Rainfall intensity-duration-frequency models for Lokoja Metropolis, Nigeria. *Global Journal of Pure and Applied Sciences*, 25(1), 81.
- Alam, M. A., Emura, K., Farnham, C., & Yuan, J. (2018). Best-fit probability distributions and return periods for maximum monthly rainfall in Bangladesh. *Climate*, 6(1), 9.
- Alvioli, M., Melillo, M., Guzzetti, F., Rossi, M., Palazzi, E., von Hardenberg, J., Brunetti, M. T., & Peruccacci, S. (2018). Implications of climate change on landslide hazard in Central Italy. *Science*

of the Total Environment, 630, 1528–1543.

Armal, S., Devineni, N., & Khanbilvardi, R. (2018). Trends in extreme rainfall frequency in the contiguous United States: Attribution to climate change and climate variability modes. *Journal of Climate*, 31(1), 369–385.

Asbintari, S., Rismalinda, R., & Alfi, R. (2016). Komparasi metode formulasi intensitas hujan di Kawasan Hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) Batang Lubuh Kota Pasir Pangaraian. *Jurnal Mahasiswa Teknik UPP*, 2(1), 1–8.

Aysar. (2016). Assessment of Intensity Duration Frequency (IDF) models for Baghdad City, Iraq. *Journal of Applied Sciences Research*, 12(2), 7–11.

Bao, S., Wang, X., Li, H., Lv, H., & Li, Y. (2018). An empirical approach for computing surface runoff concentration time. *Journal of Water and Climate Change*, 9(2), 410–420.

Bharti, B., Pandey, A., Tripathi, S. K., & Kumar, D. (2017). Modelling of runoff and sediment yield using ANN, LS-SVR, REPTree and M5 models. *Hydrology Research*, 48(6), 1489–1507.

Bhat, M. S., Alam, A., Ahmad, B., Kotlia, B. S., Farooq, H., Taloor, A. K., & Ahmad, S. (2019). Flood frequency analysis of river Jhelum in Kashmir basin. *Quaternary International*, 507(June 2018), 288–294.

Chen, C. W., Saito, H., & Oguchi, T. (2015). Rainfall intensity–duration conditions for mass movements in Taiwan. *Progress in Earth and Planetary Science*, 2(1).

Chow, V. Te, Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology* (R. Eliassen, P. H. King, & R. K. Linsley (eds.); illustrate). McGraw-Hill.

Courty, L. G., Wilby, R. L., Hillier, J. K., & Slater, L. J. (2019). Intensity-duration-frequency curves at the global scale. *Environmental Research Letters*, 14(8).

da Silva, L. V., Casaroli, D., Evangelista, A. W. P., Júnior, J. A., & Battisti, R. (2019). Rainfall intensity-duration-frequency relationships for risk analysis in the region of matopiba, brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 34(2), 247–254.

Dakheel, A. A. (2017). Drawing curves of the rainfall intensity duration frequency (IDF) and assessment equation intensity rainfall for Nasiriyah City, Iraq. *Journal of Thi-Qar University*, 12(2), 63–78.

Dar, A. Q., Maqbool, H., & Raazia, S. (2016). An empirical formula to estimate rainfall intensity in Kupwara region of Kashmir valley, J and K, India. *MATEC Web of Conferences*, 57.

David, A. O., Nwaogazie, I. L., & Agunwamba, J. C. (2019). Development of models for rainfall Intensity- duration-frequency for Akure, South-west, Nigeria. *International Journal of Environment and Climate Change*, 9(8), 457–466.

Deger, I. H., & Yuce, M. I. (2019). *Rainfall Intensity-Duration-Frequency Equations for the City of Cizre*. Paper presented at 6th International Multidisciplinary Studies Congress, July, 317–326. Gaziantep, Turkey.

Dettinger, M., Udall, B., & Georgakakos, A. (2015). Western water and climate change. *Ecological Applications*, 25(8), 2069–2093.

Dourte, D., Shukla, S., Singh, P., & Haman, D. (2013). Rainfall intensity-duration-frequency relationships for Andhra Pradesh, India: Changing rainfall patterns and implications for runoff and groundwater recharge. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(3), 324–330.

Elsebaie, I. H. (2012). Developing rainfall intensity–duration–frequency relationship for two regions in Saudi Arabia. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 24(2), 131–140.

Eris, E., Aksoy, H., Onoz, B., Cetin, M., Yuce, M. I., Selek, B., Aksu, H., Burgan, H. I., Esit, M., Yildirim, I., & Karakus, E. U. (2019). Frequency analysis of low flows in intermittent and non-intermittent rivers from hydrological basins in Turkey. *Water Science and Technology: Water Supply*, 19(1), 30–39.

Grounds, M. A., Leclerc, J. E., & Joslyn, S. (2018). Expressing flood likelihood: Return period versus probability. *Weather, Climate, and Society*, 10(1), 5–17.

Gutierrez-Lopez, A., Hernandez, S. B. J., & Sandoval, C. E. (2019). Physical parameterization of IDF curves based on short-duration storms. *Water (Switzerland)*, 11(9), 1–14.

Harisuseno, D., & Bisri, M. (2017). *Limpasan permukaan secara keruangan (spatial runoff)* (First). Malang: UB Press.

Harisuseno, D., Wahyuni, S., & Dwirani, Y. (2020). Penentuan formulasi empiris yang sesuai untuk mengestimasi kurva intensitas durasi frekuensi. *Jurnal Teknik Pengairan*, 11(1), 38–48.

- Hirose, K., & Masuda, H. (2018). Robust relative error estimation. *Entropy*, 20(9), 1–24.
- Hussein, A. K., Kareem, H. H., & Mohammed, H. S. (2020). Draw curves of the rainfall intensity-duration-frequency by using multilayer artificial neural network for Al-Najaf Al-Ashraf. *Pakistan Journal of Engineering and Applied Sciences*, 26, 75–84.
- Isikwue, M. O., Onoja, S. B., Laudan, K. J., & Bauchi, F. P. (2012). Establishment of an empirical model that correlates rainfall-intensity-duration-frequency for Makurdi Area, Nigeria. *International Journal of Advances in Engineering & Technology*, 5(1), 40–46.
- Jahnvi, M., Bhatt, P., Gandhi, H. M., & Gohil, K. B. (2014). Generation of intensity duration frequency curve using daily. *Journal of International Academic Research for Multidisciplinary*, 2(2), 717–722.
- Komi, K., Neal, J., Trigg, M. A., & Diekkrüger, B. (2017). Modelling of flood hazard extent in data sparse areas: a case study of the Oti River basin, West Africa. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 10, 122–132.
- Kotei, R., Ofori, E., & Agyare, W. A. (2013). Establishment of rainfall intensity-duration-frequency (IDF) curves for mampong-ashanti municipal area of the Ashanti region in Ghana. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8(9), 693–698.
- Kothyari, U. C., & Garde, R. J. (1993). Rainfall intensity-duration-frequency formula for india. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(8), 966–967.
- Mukherjee, S., Mishra, A., & Trenberth, K. E. (2018). Climate change and drought: a perspective on drought indices. *Current Climate Change Reports*, 4(2), 145–163.
- Nhat, L. minh, Tachikawa, Y., & Takara, K. (2006). Establishment of intensity-duration-frequency curves for precipitation in the monsoon area of Vietnam. *Annual Od Disaster Prevention Research Institute*, 49B, 93–103.
- Noor, M., Ismail, T., Chung, E. S., Shahid, S., & Sung, J. H. (2018). Uncertainty in rainfall intensity duration frequency curves of Peninsular Malaysia under changing climate scenarios. *Water (Switzerland)*, 10(12), 1750.
- Polade, S. D., Pierce, D. W., Cayan, D. R., Gershunov, A., & Dettinger, M. D. (2014). The key role of dry days in changing regional climate and precipitation regimes. *Scientific Reports*, 4, 1–8.
- Sari, K. E., Harisuseno, D., & Shafira, C. A. (2018). Pengendalian air limpasan permukaan dengan penerapan konsep ekodrainase (Studi kasus Kelurahan Oro-Oro Dowo Kota Malang). *Plano Madani: Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 7(1), 24–36.
- Shen, H., Zheng, F., Wen, L., Han, Y., & Hu, W. (2016). Impacts of rainfall intensity and slope gradient on rill erosion processes at loessial hillslope. *Soil and Tillage Research*, 155, 429–436.
- Soekarno, I., & Rohmat, D. (2005). Perbandingan metoda formulasi intensitas hujan untuk kawasan hulu daerah aliran sungai. *Journal Geografi GEA*, 5(2), 1–9.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi aplikasi metode statistik untuk analisa data jilid I*. Bandung: Nova.
- Subyani, A. M., & Al-Amri, N. S. (2015). IDF curves and daily rainfall generation for Al-Madinah City, Western Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(12), 11107–11119.
- Tfwala, C. M., van Rensburg, L. D., Schall, R., Mosia, S. M., & Dlamini, P. (2017). Precipitation intensity-duration-frequency curves and their uncertainties for Ghaap plateau. *Climate Risk Management*, 16(April), 1–9.
- Volpi, E. (2019). On return period and probability of failure in hydrology. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 6(3), e1340.
- Wagesho, N., & Claire, M. (2016). Analysis of rainfall intensity-duration-frequency relationship for Rwanda. *Journal of Water Resource and Protection*, 08(07), 706–723.
- Wałęga, A. (2016). The importance of calibration parameters on the accuracy of the floods description in the Snyder's model. *Journal of Water and Land Development*, 28(1), 19–25.
- Woldemeskel, F. M., Sharma, A., Mehrotra, R., & Westra, S. (2016). Constraining continuous rainfall simulations for derived design flood estimation. *Journal of Hydrology*, 542, 581–588.
- Zope, P. E., Eldho, T. I., & Jothiprakash, V. (2016). Development of rainfall intensity duration frequency curves for Mumbai City, India. *Journal of Water Resource and Protection*, 08(07), 756–765.