Analisis Curah Hujan, Perubahan Tutupan Lahan, dan Penyusunan Kurva IDF untuk Analisis Peluang Banjir: Studi Kasus Das Cerucuk, Pulau Belitung***Rainfall Analysis, Land Cover Change and IDF Curves Development for Flood Analysis: Cerucuk Watershed, Belitung Island Case Study***

Ida Narulita dan Dyah Marganingrum

Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI

Kampus LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung, 40135 – Indonesia

Naskah diterima 04 Desember 2016, selesai direvisi 08 Agustus 2017, dan disetujui 9 Agustus 2017

e-mail: narulita_ida@yahoo.co.id ; dmarganingrum@yahoo.com

ABSTRAK

Saat ini DAS Cerucuk mengalami peningkatan curah hujan harian maksimum dan perubahan tutupan lahan yang signifikan. Hal ini berpengaruh pada sumber daya air, sehingga pengelolaan sumber daya air perlu diatur kembali. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis curah hujan dan perubahan tutupan lahan, serta melakukan pengembangan kurva frekuensi durasi intensitas hujan (IDF) untuk menganalisis potensi banjir di DAS Cerucuk, Pulau Belitung. Data dasar yang digunakan adalah data hujan harian Stasiun Hujan Buluh Tumbang dan Stasiun Pilang, serta data citra satelit *landsat* tahun 1994, 2002, dan 2013. Analisis data curah hujan dilakukan dengan metode statistik, sedangkan analisis tutupan lahan menggunakan pengolahan citra satelit digital, serta penyusunan kurva IDF menggunakan metode Mononobe. Hasil analisis periode 1994 - 2013 menunjukkan telah terjadi peningkatan curah hujan harian maksimum di kedua stasiun serta perubahan tutupan lahan hutan, dan pertanian lahan kering menjadi perkebunan kelapa sawit dan pemukiman. Perubahan ini meningkatkan jumlah air larian yang berpotensi meningkatkan banjir. Perubahan lahan yang terjadi selama periode tersebut menyebabkan penambahan volume air limpasan sebesar 6.5 % yang mengancam keberadaan infrastruktur sumber daya air. Oleh karena itu, evaluasi kurva IDF adalah salah satu hal yang perlu dilakukan agar dampak negatif peningkatan volume limpasan dapat dikurangi. Hal ini cukup krusial mengingat Kota Tanjung Pandan sebagai Ibu Kota Kabupaten Belitung berada di DAS Cerucuk, dan merupakan daerah tujuan wisata yang mengalami perkembangan sangat pesat.

Kata kunci: curah hujan, analisis frekuensi durasi intensitas hujan, banjir**ABSTRACT**

Currently, the maximum daily rainfall increased, and the landcover changed significantly on Cerucuk Watershed. This influences the water resources management, thus the water resource management should be updated. This research aims to analyze the rainfall and landcover change, and to develop the intensity- duration-frequency curve (IDF) for flood analysis of Cerucuk Watershed in Belitung Island. The data used in this research are daily rainfall data of Buluh Tumbang and Pilang stations, as well as landsat satellite imagery data in 1994, 2002, and 2013. Rainfall data analysis was done using statistical methods, while landcover analysis was done using digital image processing, and IDF curve developing was done using the Mononobe method. The analysis result indicates an increase in the maximum daily rainfall at both stations and landcover change from forest cover as well as dryland agriculture into palm oil plantations and settlements in the period of 2002 - 2013. This conversion increases the run-off and flooding

potential. The landuse change in this period induces the runoff volume increase of 6.5%, and treats the water resource infrastructure. Therefore, IDF curve evaluation is an important tool to avoid the negative impact of runoff volume increase. This is a crucial issue because Tanjung Pandan as the capital of Belitung District is as a tourist destination, lying on Cerucuk watershed, which is progressively developing.

Keywords: rainfall, Intensity-Duration-Frequency analysis, flood

PENDAHULUAN

Secara geografis, Pulau Belitung terletak di sebelah timur Pulau Bangka dan Pulau Sumatra yang tidak langsung terbuka terhadap Samudra Hindia dan Samudra Pasifik. Akan tetapi, pengaruh fenomena iklim global di Samudra Pasifik [*El Nino Southern Oscillation (ENSO)* dan *Indian Ocean Dipole (IOD)*] cukup kuat. Kedua fenomena iklim global tersebut berdampak terhadap variasi curah hujan di Indonesia (Haylock dan McBride, 2001; Boer dan Faqih, 2004). *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* tahun 2007 menyatakan bahwa perubahan iklim global menyebabkan peristiwa curah hujan ekstrim lebih sering terjadi. Pada saat ini diperkirakan siklus normal fenomena El Nino dan La Nina berulang setiap 3 sampai 7 tahun. Sementara IOD diperkirakan berulang setiap 2 sampai 5 tahun (Gustari, 2009). Pemanasan global diperkirakan akan memperpendek jarak siklus ini, sehingga kemunculan fenomena tersebut akan lebih sering. Dari sisi pola hujan diperkirakan bahwa pemanasan global di daerah tropis basah menyebabkan peningkatan intensitas hujan dengan periode musim kemarau yang lebih panjang (UNDP, 2007).

Semakin seringnya terjadi fenomena iklim dengan intensitas yang lebih tinggi tersebut, berpotensi meningkatkan intensitas curah hujan. Fenomena yang tertangkap sebagai bentuk cuaca ekstrim di suatu wilayah atau kawasan akan mengganggu dan mengancam infrastruktur sumber daya air, seperti drainase dan bendungan, sehingga perlu dilakukan evaluasi terhadap infrastruktur sumber daya air, minimal lima tahun sekali (PP No. 37 Tahun 2010).

Terkait dengan desain infrastruktur pengelolaan sumber daya air, faktor internal dan eksternal harus dipertimbangkan secara seimbang. Dalam kasus Daerah Aliran Sungai (DAS) Cerucuk yang terletak di Kabupaten Belitung, faktor eksternalnya adalah hujan dengan intensitas dan frekuensi tertentu. Sementara faktor internalnya adalah karakteristik alami yang melekat pada DAS Cerucuk itu sendiri yang disebut sebagai parameter

Indeks Konservasi Aktual (IKA). Parameter IKA antara lain struktur geologi, jenis tanah, topografi, kemiringan lereng, dan tutupan lahan (Kepres No. 114 Tahun 1999; Pandiangan, 2002; Arwin 2009; Marganingrum, 2013). Selain tutupan lahan, parameter IKA bersifat konstan (*given*) dan tidak bisa dikendalikan sebagaimana faktor eksternal. Oleh karena itu, selain mengendalikan konversi lahan, diperlukan juga intervensi masyarakat dan atau Pemerintah dalam bentuk teknologi.

Kabupaten Belitung termasuk wilayah dengan tipe hujan ekuatorial, dengan dua kali puncak hujan dalam satu tahun dengan curah hujan yang cukup tinggi. Curah hujan tahunan rata-rata di DAS Cerucuk sebesar 3.000 mm/tahun (Narulita dr., 2014). Ketika musim hujan tiba, banjir sering terjadi di DAS Cerucuk akibat berubahnya fungsi lahan yang berdampak pada erosi serta sedimentasi (Hariyanto dan Iskandar, 2015). Di sisi lain, geologi di DAS Cerucuk didominasi oleh batuan granit yang relatif kedap air, sehingga tingkat infiltrasi di kawasan ini sangat rendah. Oleh karena itu, ketika terjadi hujan dengan intensitas tinggi, sebagian besar air hujan akan melimpas, dan hal ini meningkatkan potensi banjir. Sebaliknya ketika kemarau tiba, terjadi kekeringan karena hujan hanya meresap sampai pada zona perakaran, tidak mengisi cadangan air tanah (Baharuddin dan Sidarto 1995).

Guna meminimalisasi dampak perubahan curah hujan dan konversi lahan, diperlukan upaya pengendalian. Oleh karena itu, diperlukan sebuah alat bantu (*tool*) untuk melakukan pengelolaan sumber daya air. Salah satu alat yang dapat diaplikasikan adalah kurva frekuensi durasi intensitas hujan (*Intensity Duration Frequency/ IDF Curve*). Kurva IDF adalah alat bantu yang dapat dimanfaatkan untuk menghitung debit banjir rencana yang diperlukan dalam perencanaan bangunan pengendali banjir. Pembuatan kurva IDF melibatkan proses statistik: peristiwa ekstrim berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya. Analisis frekuensi dilakukan berdasarkan sifat

statistik data hujan masa lalu untuk mendapatkan probabilitas besaran hujan di masa depan dengan anggapan bahwa sifat statistik hujan masa depan sama dengan sifat statistik hujan masa lalu (Asdak, 2002; Suripin, 2004; Triatmodjo, 2009; Susilowati dan Kusumastuti, 2010). Dari kurva *IDF* yang telah disusun dapat diduga jumlah volume air larian yang dihasilkan oleh intensitas hujan terduga dan indeks perubahan tutupan lahan terduga dalam beberapa periode ulang hujan dan durasi hujan. Hasil pendugaan volume air larian ini dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan pembangunan infrastruktur pengelolaan sumber daya air di DAS Cerucuk. Mengingat saat ini perubahan fenomena iklim semakin sering terjadi, analisis kurva *IDF* ini perlu dilakukan untuk skenario iklim ke depan (Paola *drr.*, 2014).

Daerah Penelitian

Kabupaten Belitung adalah Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) yang dikembangkan sebagai daerah tujuan wisata. Hal ini berimplikasi pada terjadinya alih fungsi lahan karena peningkatan pembangunan properti, seperti hotel dan permukiman, yang memicu bencana banjir dan kekeringan. Secara geografis, kawasan ini mempunyai iklim tropis yang basah dengan variasi curah hujan bulanan pada tahun 2014 antara 25 mm sampai 523 mm, dengan jumlah hari hujan antara 3 hari sampai 22 hari setiap bulannya (BPS Kabupaten Belitung, 2015).

DAS Cerucuk merupakan DAS utama di Kabupaten Belitung karena Kota Tanjung Pandan sebagai ibu kota Kabupaten Belitung terletak di dalam DAS Cerucuk ini. Ada lima stasiun hujan yang tersebar di dalam DAS Cerucuk, yaitu Stasiun Air Seruk, Kacang Butor, Buluh Tumbang, Pilang, dan Petikan. Di antara kelima stasiun hujan tersebut, dua stasiun memiliki data *time series* yang cukup panjang (1996 - 2013), yaitu: Stasiun Buluh Tumbang dan Stasiun Pilang yang dikelola oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan berdasarkan analisis data yang diperoleh dari kedua stasiun tersebut. Daerah penelitian dan sebaran stasiun pencatat hujan dapat dilihat pada Gambar 1.

Peta geologi DAS Cerucuk (Baharuddin dan Sidarto, 1995) ditampilkan pada Gambar 2. DAS Cerucuk disusun oleh tiga jenis batuan, yaitu batuan aluvium yang menempati bagian Barat DAS Cerucuk (pantai), batuan sedimen yaitu Formasi Tajam dan Formasi Kelapakampit yang menempati seluruh bagian selatan DAS Cerucuk, dan batuan terobosan (intrusi) yaitu batuan Granit Tanjung Pandan yang menempati bagian utara dan tengah DAS Cerucuk atau bagian barat laut pulau Belitung (Gambar 2). Batuan granit yang menempati sebagian besar luas DAS Cerucuk berumur Trias hingga Kapur, atau terbentuk kira-kira antara 200 juta tahun hingga 65 juta tahun yang lalu (Baharuddin dan Sidarto, 1995). Batuan

Gambar 2. Peta Geologi DAS Cerucuk (Baharuddin dan Sidarto, 1995).

ini merupakan hasil pembekuan magma yang bersifat asam, yaitu dengan kandungan silika yang tinggi lebih dari 65% (Baharuddin dan Sidarto, 1995). Sebagian besar (57 %) batuan di DAS Cerucuk adalah Granit Tanjung Pandan, 11,75 % berupa batuan sedimen batu pasir Formasi Tajam, 30,22 % yang tersusun atas batuan meta-sedimen Kelapakampit, dan batuan aluvium hanya 1 % saja (Narulita drr., 2014). Konduktivitas hidraulik batuan granit yang menempati 57 % dari luas DAS Cerucuk nilainya adalah 0,00000001 - 0,000000000001 m/det (Freeze and Cherry, 1979). Nilai konduktivitas hidraulik yang sangat kecil menunjukkan bahwa air hujan sangat sulit meresap ke dalam batuan granit.

METODE PENELITIAN

Data dasar yang digunakan dalam penelitian ini adalah data curah hujan harian dari dua stasiun yang memiliki data *time series* yang panjang (1996 - 2014), yaitu: Stasiun Buluh Tumbang dan Stasiun Pilang milik Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Analisis parameter hujan (curah hujan bulanan, intensitas maksimum curah hujan, dan jumlah hari hujan pada setiap bulan) dilakukan dengan metode statistik menggunakan data dasar tersebut. Lokasi kedua stasiun tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

Metode perhitungan perubahan tutupan lahan

Pola perubahan tutupan lahan di DAS Cerucuk, Pulau Belitung, diperoleh dengan mengolah data citra satelit *landsat* menggunakan metode

klasifikasi *unsupervised* tahun 1994, 2002, dan 2013. Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan untuk melihat respons tutupan lahan terhadap air hujan dan limpasan. Analisis perubahan tutupan lahan dilakukan dengan menghitung indeks tutupan lahan yang merupakan bentuk respons tutupan lahan terhadap air hujan yang jatuh dalam bentuk air limpasan. Pengaruh tutupan lahan terhadap fluktuasi luah aliran permukaan ditentukan melalui nilai *Curve Number (CN)* yang dipakai pada metode SCS (Cuen, 1982). Nilai *CN* untuk setiap jenis tutupan lahan dikonversikan berdasarkan diagram hubungan curah hujan dan produksi larian (*rainfall run-off*) menjadi faktor (koefisien air larian). Nilai koefisien air larian setiap satuan lahan dapat dilihat pada Tabel 1. Indeks tutupan lahan dihitung dengan mengalikan luas tiap kelas tutupan lahan dengan nilai koefisien air larian. Tabel 1 menunjukkan bahwa semakin terbuka lahan, nilai koefisien air lariannya semakin besar. Artinya, persentase air hujan yang melimpas di atas permukaan pada satuan tutupan lahan tersebut semakin besar. Angka indeks tutupan lahan inilah yang dikorelasikan dengan kuantitas air larian. Semakin besar nilai indeks tutupan lahan menunjukkan tutupan lahannya semakin terbuka, dan air hujan yang melimpas di atas tutupan lahan ini volumenya semakin besar.

Metode perhitungan kurva IDF

Kurva frekuensi durasi intensitas hujan (IDF) disusun dalam beberapa periode ulang menggunakan intensitas hujan harian. Kurva IDF

Tabel 1. Nilai Koefisien Air Larian Setiap Jenis Satuan Lahan (Cuen, 1982)

Tutupan Lahan	CN	RO/RF	Koefisien Air Larian
Hutan	60.5	0.14	0.28
Perkebunan	69	0.19	0.38
Lahan Kering	78.5	0.27	0.34
Lahan Basah	70	0.22	0.44
Pemukiman+Air	93	0.425	0.85
Pertambangan	87	0.4	0.81

merupakan salah satu *tool* yang diperlukan dalam rangka perencanaan, desain, dan operasional infrastruktur sumber daya air (Elsebaie, 2012). Kurva IDF tersebut juga sangat penting dalam rangka memperbarui desain infrastruktur sumber daya air yang sudah tersedia, khususnya sistem drainase ataupun tampungan air (embung) di lokasi penelitian sebagai bentuk adaptasi terhadap peningkatan cuaca ekstrem dan mengurangi dampak sosial ekonomi (Hussain dan Ismail, 2013).

Penyusunan kurva frekuensi durasi intensitas hujan (IDF) menggunakan data curah hujan harian dari stasiun curah hujan Buluh Tumbang dan Pilang untuk periode 1996 - 2013 dilakukan dengan pendekatan metode Mononobe. Hujan harian maksimum ditransformasikan menjadi intensitas hujan dalam satuan mm per jam (Suripin, 2004). Rumus Mononobe yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3} \dots\dots\dots (i)$$

I = intensitas hujan (mm/jam)

t = lamanya hujan (jam)

R₂₄ = curah hujan maksimum dalam satu hari (24 jam) (mm)

Selanjutnya, data yang sudah ditransformasikan menjadi data intensitas hujan jangka pendek (data *time series*) kemudian diolah dengan metode statistik untuk mendapatkan nilai rata-rata dan standar deviasi dengan jumlah data sebanyak 18 data (N=18), untuk Stasiun Buluh Tumbang maupun Stasiun Pilang. Setelah proses perhitungan secara statistik dilakukan, dilakukan perhitungan

probabilitas sesuai dengan periode ulang hujan yang dikehendaki menggunakan metode Gumbel (Oosterbaan, 1994). Beberapa persamaan Gumbel yang digunakan dalam tahap ini adalah sebagai berikut:

$$X = \bar{X} + K \cdot S$$

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n}$$

$$Y_{Tr} = -\ln \left[-\ln \frac{Tr - 1}{Tr} \right] \dots\dots\dots(ii)$$

X = Intensitas hujan berdasarkan durasi dan periode ulang tertentu (mm/jam)

$\bar{X}$ = rata-rata hujan harian maksimum dalam satu seri data yang digunakan (mm)

K = faktor frekuensi, merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan untuk analisis peluang.

Y_{Tr} = faktor reduksi variat

Y_n = nilai rata-rata variat Gumbel

S_n = standar deviasi variat Gumbel

Tr = periode ulang hujan

Umumnya, peneliti menggunakan nilai pendekatan Y_{tr} dan Y_n maupun S_n sebagaimana yang telah diperhitungkan oleh Gumbel (Suripin, 2004; Triatmodjo, 2009). Pada tahap ini dihasilkan seri data hujan X (mm/jam) berdasarkan durasi (menit) dan periode ulang tertentu (tahunan).

Setelah tersusun data intensitas hujan sesuai dengan durasi dan periode ulangnya, tahap selanjutnya adalah menentukan harga tiap suku dalam persamaan intensitas hujan. Dalam penelitian ini persamaan intensitas hujan yang digunakan adalah Talbot, Sherman, dan Ishiguro (Suripin 2004; Ibrahim, 2008; Fathy drr., 2014). Persamaan yang digunakan untuk membuat kurva intensitas hujan didasarkan pada persamaan dengan *error* terkecil. Artinya, perbedaan antara hasil perhitungan dari persamaan intensitas (I), baik Talbot, Sherman, maupun Ishiguro (persamaan i) memiliki perbedaan atau selisih nilai terkecil dengan nilai intensitas hujan berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan ii (X). Rumus ketiga persamaan intensitas yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

Talbot:

$$I = \frac{a}{t + b} \quad a = \frac{[I.t][I^2] - [I^2.t][I]}{N[I^2] - [I][I]} ; b = \frac{[I][I.t] - N[I^2.t]}{N[I^2] - [I][I]} \quad \dots\dots\dots (i-a)$$

Sherman:

$$I = \frac{a}{t^n} \\ \log a \quad \quad \quad n \\ = \frac{[\log I][(\log t)^2] - [\log t.\log I][\log t]}{N[(\log t)^2] - [\log t][\log t]} = \frac{[\log I][\log t] - N[\log t.\log I]}{N[(\log t)^2] - [\log t][\log t]} \quad \dots\dots\dots (i-b)$$

Ishiguro:

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b} \\ a = \frac{[I.\sqrt{t}][t^2] - [I^2.\sqrt{t}][I]}{N[I^2] - [I][I]} ; b = \frac{[I][I\sqrt{t}] - N[I^2.\sqrt{t}]}{N[I^2] - [I][I]} \quad \dots\dots\dots (i-c)$$

- I = intensitas hujan (mm/jam)
t = durasi waktu (menit)
N = jumlah data
a, b, n = konstanta

Kurva IDF dibuat berdasarkan hasil persamaan intensitas yang terpilih sebagai bahan acuan dalam membuat desain infrastruktur sumber daya air yang dikehendaki sesuai dengan periode ulang hujannya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis intensitas hujan maksimum

Hasil pengolahan data intensitas hujan maksimum harian di setiap bulan selama periode 1996 - 2013 di stasiun Buluh Tumbang dan Pilang menunjukkan bahwa hujan harian maksimum cenderung meningkat dari tahun ke tahun (Gambar 3). Di stasiun Buluh Tumbang, gradien peningkatan hujan harian maksimum tidak terlalu besar dibandingkan dengan yang tercatat di Stasiun Pilang yang terletak di Kota Tanjung Pandan (hilir DAS Cerucuk). Peningkatan hujan maksimum harian dan jumlah hari hujan sekecil apapun di DAS Cerucuk berpotensi menyebabkan bencana banjir karena geologi di DAS Cerucuk didominasi oleh batuan granit yang kedap air (Baharuddin dan

Sidarto 1995) (Gambar 2). Nilai konduktivitas hidraulik batu granitnya hanya 1×10^{-9} - 1×10^{-13} (Freeze and Cherry, 1979) yang hampir mendekati 0. Dengan demikian, air hujan yang jatuh di lokasi ini tidak bisa masuk sebagai cadangan air tanah. Hal ini menyebabkan akuifer air tanah dalam tidak berkembang di daerah ini. Akuifer air tanah di Pulau Belitung hanya pada kedalaman 3 – 5 m dari permukaan tanah, tidak ada air tanah dalam (Pryambodo dan Hasanudin, 2013).

Gambar 3. Pola peningkatan hujan harian maksimum di Stasiun Buluh Tumbang (a) dan Stasiun Pilang (b), DAS Cerucuk, Kabupaten Belitung, kurun waktu 1996 - 2013.

Untuk DAS Cerucuk kedalaman air tanah pada umumnya hanya 2 - 5 m, pada daerah aluvium bisa sampai 15 - 20 m, tapi dengan luasan yang sangat sempit di dekat pantai (Narulita dr., 2014). Dengan demikian, dalam waktu singkat air hujan cenderung mengalir di atas permukaan tanah yang kemudian akan mengalir cepat ke laut atau tertampung ke dalam sistem drainase yang tersedia. Oleh karena itu, perhitungan dalam perencanaan infrastruktur

sumber daya air perlu dilakukan secara cermat.

Analisis Perubahan Tutupan Lahan

Perubahan tutupan lahan antara tahun 1994, 2002, dan 2013 di DAS Cerucuk, Kabupaten Belitung, dapat dilihat pada Gambar 4. Perubahan tutupan lahan yang terjadi di DAS Cerucuk didominasi

Gambar 4. Perubahan tutupan lahan di DAS Cerucuk tahun 2002 dan 2013 (Narulita dr., 2014).

Tabel 2. Perubahan Pola Tutupan Lahan DAS Cerucuk Tahun 1994 - 2013

No	Tutupan Lahan	1994 (km ²)	2002 (km ²)	2013 (km ²)
1	Hutan	154.5806	130.130	116.56
2	Perkebunan	-	2.762	45.11
3	Pertanian Lahan kering	325.8978	348.947	291.26
4	Pertanian Lahan basah	15.43595	12.448	12.45
5	Pemukiman air	18.97566	19.813	38.92
6	Pertambangan	27.48946	28.28	39.66

oleh perubahan tutupan lahan hutan dan lahan kering (ladang/tegalan) menjadi area perkebunan kelapa sawit, pemukiman, dan pertambangan.

Perubahan alih fungsi lahan yang terjadi sangat mengkhawatirkan dari sisi kelestarian sumber daya air. Perkebunan kelapa sawit merupakan alih fungsi lahan dari hutan dan lahan kering dengan total alih fungsi lahan sebesar 42,34 km² (selama kurun 2002 hingga 2013). Secara terperinci, perubahan tutupan lahan dapat dilihat pada Tabel 2. Kondisi ini tentu berdampak pada peningkatan nilai koefisien air limpasan (C) yang berpotensi meningkatkan luah banjir apabila sistem infrastruktur drainase yang tersedia tidak mampu menampungnya. Dengan mengalikan perubahan tutupan lahan pada Tabel 2 dengan nilai faktor (koefisien air larian) pada Tabel 1, diperoleh indeks tutupan lahan yang ditampilkan pada Gambar 5.

Gambar 5. Indeks tutupan lahan DAS Cerucuk, Kabupaten Belitung tahun 1994 - 2013.

Pada Gambar 5 terlihat bahwa nilai indeks tutupan lahan semakin meningkat seiring waktu (1994 - 2013). Ini menunjukkan bahwa lahan terbangun dan lahan terbuka meningkat, yang berpotensi meningkatkan jumlah limpasan. Peningkatan jumlah limpasan tersebut berimplikasi pada kerusakan infrastruktur sumber daya air yang didesain dengan debit rencana berdasarkan seri data tertentu. Oleh karena itu, perhitungan dan evaluasi perlu dilakukan secara berkala untuk dapat melakukan perencanaan infrastruktur sumber daya air secara cermat. Di sinilah pentingnya melakukan evaluasi IDF sebagai salah satu *tool* dalam perencanaan infrastruktur sumber daya air.

Secara umum, intensitas curah hujan di DAS Cerucuk termasuk tinggi dan menurun dengan bertambahnya durasi pada semua periode ulang hujan. Sementara semakin tinggi periode ulang hujan (T_r), semakin tinggi pula intensitas hujannya. Untuk periode ulang hujan dua tahunan, intensitas hujan di Stasiun Pilang lebih rendah dibandingkan stasiun Buluh Tumbang. Akan tetapi, untuk periode ulang lebih besar dari lima tahunan, intensitas hujan stasiun Pilang lebih tinggi daripada stasiun Buluh Tumbang.

Berdasarkan kurva **Intensity Duration Frequency (IDF)** terlihat bahwa intensitas hujan tertinggi berlangsung dengan durasi pendek. Hal ini menunjukkan bahwa hujan deras (intensitas tinggi) pada umumnya berlangsung dalam waktu singkat, namun hujan tidak deras (intensitas rendah) berlangsung dalam waktu lama. Penggunaan intensitas hujan dari kurva IDF berpengaruh pada dimensi infrastruktur yang akan dibangun atau

Tabel 3. Nilai Intensitas Hujan (X) dengan Durasi dan Periode Ulang Tertentu Berdasarkan Analisis Data di Stasiun Buluh Tumbang (Tahun 1996 - 2013)

Tr	Ytr	K	Durasi (menit)									
			5	10	15	30	45	60	120	180	360	720
2	0.3668	-0.15	209.35	131.88	100.65	63.40	48.39	39.94	25.16	19.20	12.10	7.62
5	1.5004	0.93	262.36	165.27	126.13	79.45	60.64	50.05	31.53	24.06	15.16	9.55
10	2.2510	1.65	297.45	187.38	143.00	90.08	68.75	56.75	35.75	27.28	17.19	10.83
20	2.9709	2.34	331.11	208.59	159.18	100.28	76.53	63.17	39.79	30.37	19.13	12.05
25	3.1993	2.55	341.79	215.31	164.32	103.51	78.99	65.21	41.08	31.35	19.75	12.44
30	3.3400	2.69	348.37	219.46	167.48	105.50	80.51	66.46	41.87	31.95	20.13	12.68
50	3.9028	3.22	374.68	236.04	180.13	113.47	86.60	71.48	45.03	34.37	21.65	13.64
100	4.6012	3.89	407.34	256.61	195.83	123.36	94.14	77.71	48.96	37.36	23.54	14.83

Tabel 4. Nilai Intensitas Hujan (X) dengan Durasi dan Periode Ulang Tertentu Berdasarkan Analisis Data di Stasiun Pilang (1996 - 2013)

Tr	Ytr	K	Durasi (menit)									
			5	10	15	30	45	60	120	180	360	720
2	0.3668	-0.15	197.30	124.29	94.85	59.75	45.60	37.64	23.71	18.10	11.40	7.18
5	1.5004	0.93	265.66	167.35	127.71	80.45	61.40	50.68	31.93	24.37	15.35	9.67
10	2.2510	1.65	310.92	195.87	149.47	94.16	71.86	59.32	37.37	28.52	17.96	11.32
20	2.9709	2.34	354.33	223.21	170.34	107.31	81.89	67.60	42.59	32.50	20.47	12.90
25	3.1993	2.55	206.55	231.89	176.97	111.48	85.08	70.23	44.24	33.76	21.27	13.40
30	3.3400	2.69	376.59	237.24	181.04	114.05	87.04	71.85	45.26	34.54	21.76	13.71
50	3.9028	3.22	410.53	258.62	197.36	124.33	94.88	78.32	49.34	37.65	23.72	14.94
100	4.6012	3.89	452.64	285.15	217.61	137.08	104.61	86.36	54.40	41.52	26.15	16.48

Tabel 5. Nilai Intensitas Hujan Berdasarkan Durasi dan Periode Ulang Tertentu

t (me- nit)	Intensitas Hujan berdasarkan Persamaan Sherman													
	Tr = 2 th		Tr = 5 th		Tr = 10 th		Tr = 20 th		Tr = 30 th		Tr = 50 th		Tr = 100 th	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
5	209.35	197.30	262.36	265.66	297.45	310.92	331.11	354.33	348.37	376.59	374.68	410.53	407.34	452.64
10	131.88	124.29	165.27	167.35	187.38	195.87	208.59	223.21	219.46	237.24	236.04	258.62	256.61	285.15
15	100.65	94.85	126.13	127.71	143.00	149.47	159.18	170.34	167.48	181.04	180.13	197.36	195.83	217.61
30	63.40	59.75	79.45	80.45	90.08	94.16	100.28	107.31	105.50	114.05	113.47	124.33	123.36	137.08
45	48.39	45.60	60.64	61.40	68.75	71.86	76.53	81.89	80.51	87.04	86.60	94.88	94.14	104.61
60	39.94	37.64	50.05	50.68	56.75	59.32	63.17	67.60	66.46	71.85	71.48	78.32	77.71	86.36
120	25.16	23.71	31.53	31.93	35.75	37.37	39.79	42.59	41.87	45.26	45.03	49.34	48.96	54.40
180	19.20	18.10	24.06	24.37	27.28	28.52	30.37	32.50	31.95	34.54	34.37	37.65	37.36	41.52
360	12.10	11.40	15.16	15.35	17.19	17.96	19.13	20.47	20.13	21.76	21.65	23.72	23.54	26.15
720	7.62	7.18	9.55	9.67	10.83	11.32	12.05	12.90	12.68	13.71	13.64	14.94	14.83	16.48

Keterangan: A = Stasiun Buluh Tumbang dan B = Stasiun Pilang

Gambar 6. Kurva frekuensi durasi intensitas hujan berdasarkan persamaan Sherman

diperbaiki. Untuk sistem drainase mikro, periode ulang yang digunakan adalah dua sampai lima belas tahun. Sementara untuk sistem drainase makro menggunakan periode ulang dua puluh hingga lima puluh tahun. Sementara untuk embung atau DAM umumnya menggunakan periode ulang tiga puluh hingga seratus tahun (Arwin, 2009). Dalam satu periode ulang tertentu, kegagalan dilalui sebanyak satu kali (Suripin, 2004; Triatmodjo, 2009, Arwin, 2009). Dengan demikian, kerusakan yang ditimbulkan dalam satu kali kegagalan tersebut tentu sudah diperhitungkan pada saat perencanaan desain infrastruktur dengan segala bentuk penanganan dan kompensasinya. periode tahun 1996 - 2013 (a) Stasiun Buluh Tumbang dan (b) Stasiun Pilang.

Dari Tabel 5 dan Gambar 6 terlihat bahwa intensitas hujan di Stasiun Pilang relatif lebih tinggi daripada intensitas yang ditunjukkan oleh IDF dari Stasiun Buluh Tumbang. Hal ini karena lokasi stasiun Pilang berada di daerah pemukiman dan hilir DAS (Gambar 1). Pada daerah pemukiman proses konveksi lebih tinggi daripada di daerah yang bervegetasi (Effendy drr., 2006). Hal ini yang mengakibatkan intensitas hujan di stasiun Pilang lebih tinggi daripada di stasiun Buluh Tumbang. Oleh karena itu, desain infrastruktur sumber daya

air (sistem drainase ataupun penampungan air) di sekitar Kota Tanjung Pandan perlu memperhatikan IDF dari Stasiun Pilang. Dengan demikian, sistem infrastruktur di kawasan tersebut masih mampu menampung inputan dari hulu DAS Cerucuk dan berfungsi secara berkelanjutan.

Kondisi DAS Cerucuk tidak memungkinkan air hujan masuk ke dalam tanah sebagai cadangan air tanah, melainkan hanya meresap sebagai air tanah bebas pada lapisan pelapukan tubuh batuan granit yang bisa dilihat pada Gambar 2 (Baharuddin dan Sidarto, 1995). Nilai konduktifitas hidraulik batu granit yang menempati 57 % luas DAS Cerucuk nilainya sangat kecil (Gambar 2, Freeze and Cherry, 1979) Dengan demikian, sebagian besar air hujan akan melimpas sebagai air limpasan. Di sisi lain, perubahan tutupan lahan di DAS Cerucuk telah meningkatkan nilai koefisien air limpasan dalam bentuk meningkatnya respons air limpasan (Gambar 5, Gambar 6, dan Tabel 2) akibat meluasnya lahan terbuka/terbangun. Berkurangnya lahan hutan dan pertanian lahan kering menjadi area pemukiman, perkebunan, dan pertambangan meningkatkan volume air limpasan (Gambar 6). Kondisi ini semakin meningkatkan volume air limpasan yang kemudian dengan cepat langsung mengalir ke laut atau tertampung ke dalam sistem drainase yang tersedia. Kondisi ini meningkatkan potensi banjir pada saat musim hujan, sementara pada saat musim kemarau terjadi defisit air. Kondisi demikian menjadi lebih parah apabila terjadi interferensi dua fenomena iklim yang menyebabkan kemarau berkepanjangan yang memperpanjang masa defisit air atau yang menyebabkan musim hujan sangat panjang dengan intensitas curah hujan tinggi yang berpotensi menyebabkan banjir. Untuk itu diperlukan teknik penampungan curah hujan dan air permukaan pada saat air hujan berlebih yang digunakan untuk mengatasi defisit air dalam bentuk embung, kolong, dam, dsb. Berapa volume desain yang diperlukan dalam pembangunan infrastruktur sumber daya air di DAS Cerucuk Kabupaten Belitung tersebut ditentukan berdasarkan hasil perhitungan kurva frekuensi durasi intensitas hujan (IDF) yang telah dibuat sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 6.

Estimasi potensi peningkatan jumlah potensi air larian

Sebagai contoh estimasi volume air larian untuk

Tabel 6. Analisis Prediksi Potensi Banjir untuk PUH Tertentu Menggunakan Indeks Tutupan Lahan Tahun 2002 dan 2013

t (menit)	Indeks tutupan lahan tahun 2002				Indeks tutupan lahan tahun 2013			
	Berdasarkan data Hujan Stn Buluh Tumbang		Berdasarkan data Hujan Stn Karang Pilang		Berdasarkan data Hujan Stn Buluh Tumbang		Berdasarkan data Hujan Stn Karang Pilang	
	5 th	10 th	5 th	10 th	5 th	10 th	5 th	10 th
5	76,014,422	86,182,999	76,970,711	90,085,343	80,963,633	91,794,274	81,982,184	95,950,695
10	47,885,975	54,291,762	48,488,397	56,750,079	51,003,775	57,826,636	51,645,420	60,445,011
15	36,543,789	41,432,313	37,003,523	43,308,357	38,923,112	44,129,923	39,412,779	46,128,114
30	23,021,091	26,100,661	23,310,705	27,282,492	24,519,968	27,800,045	24,828,438	29,058,824
45	17,568,357	19,918,506	17,789,373	20,820,410	18,712,212	21,215,376	18,947,618	22,176,003
60	14,502,345	16,442,348	14,684,790	17,186,854	15,446,576	17,512,891	15,640,899	18,305,870
120	9,135,884	10,358,006	9,250,817	10,827,014	9,730,711	11,032,404	9,853,126	11,531,949
180	6,971,975	7,904,628	7,059,685	8,262,547	7,425,912	8,419,289	7,519,333	8,800,512
360	4,392,059	4,979,592	4,447,312	5,205,066	4,678,021	5,303,807	4,736,872	5,543,962
720	2,766,817	3,136,939	2,801,625	3,278,979	2,946,962	3,341,182	2,984,035	3,492,469

periode ulang hujan lima dan sepuluhtahunan dapat dilihat pada Tabel 6. Dari tabel tersebut terlihat bahwa semakin luas alih fungsi lahan menjadi lahan terbangun, semakin besar volume air larian yang dihasilkan. Hal ini sebagai akibat dari intensitas hujan yang cenderung naik dan tutupan lahan yang semakin terbuka yang menyebabkan volume air limpasan semakin besar. Penentuan penggunaan periode ulang akan berdampak pada dimensi infrastruktur sumber daya air yang akan dibangun. Hal ini tentu berimplikasi pada biaya investasi. Oleh karena itu, perhitungan dan pemanfaatan kurva IDF perlu dilakukan secara cermat, sehingga desain infrastruktur yang direncanakan berfungsi secara optimal.

Untuk desain saluran drainase di Belitung dipilih durasi hujan satu jam dengan periode ulang hujan sepuluh tahun (Gambar 7) yang menunjukkan bahwa volume air limpasan semakin banyak seiring waktu di kedua stasiun tersebut dengan rata-rata penambahan volume air limpasan sebesar 6,5 % selama periode 2001 – 2013 (Tabel 6). Artinya, di kedua stasiun tersebut, peluang terjadinya banjir bertambah dari tahun ke tahun. Potensi banjir di sekitar stasiun Pilang lebih besar daripada di stasiun Buluh Tumbang karena jumlah volume air limpasan yang dihasilkan lebih besar yang ditunjukkan oleh gradien pertambahan volume air limpasan di kedua stasiun tersebut. Melihat perbedaan hasil perhitungan potensi banjir berdasarkan data DAS Cerucuk tersebut (di kedua

stasiun), untuk keamanan desain drainase bagi Kota Tanjungpandan perlu diperhatikan IDF dari hasil perhitungan Stasiun Pilang.

Gambar 7. Grafik peningkatan volume air larian periode 1994 – 2013.

KESIMPULAN

Hasil analisis data curah hujan menunjukkan adanya peningkatan curah hujan harian maksimum bulanan di DAS Cerucuk, Kabupaten Belitung, yang terukur di Stasiun Buluh Tumbang maupun Stasiun Pilang. Peningkatan tersebut ditengarai karena cuaca ekstrim akibat perubahan iklim. Nilai indeks tutupan lahan semakin hari cenderung semakin meningkat akibat perubahan tutupan lahan bervegetasi menjadi lahan terbuka. Pembaruan (*updating*) kurva *IDF* yang dilakukan secara kontinu diperlukan dalam melakukan upaya adaptasi terhadap dampak perubahan iklim yang terbaca sebagai cuaca ekstrim. Hasil estimasi jumlah volume air limpasan didasarkan *IDF* terbaru menunjukkan adanya peningkatan volume air limpasan dari tahun ke tahun. Peningkatan hujan harian maksimum, peningkatan indeks tutupan lahan, dan peningkatan volume air hujan menjadi air limpasan tersebut meningkatkan peluang banjir DAS Cerucuk. Daerah di sekitar Stasiun Pilang mempunyai peluang lebih besar terjadi banjir dibandingkan daerah di sekitar stasiun Buluh Tumbang. Kondisi ini tentu memengaruhi fungsi infrastruktur sumber daya air. Perbaikan dan pembangunan sistem drainase mikro maupun makro perlu dilakukan berdasarkan pada kurva *IDF* terbaru apabila perubahan intensitas hujan sesuai dengan periode ulang yang digunakan mengalami perubahan secara signifikan. Volume desain dalam pembangunan infrastruktur sumber daya air di DAS Cerucuk Kabupaten Belitung tersebut dapat ditentukan berdasarkan hasil perhitungan kurva *IDF* yang telah dibuat dalam makalah ini. Untuk keamanan Kota Tanjung Pandan sendiri, perencanaan infrastruktur drainase perlu mengacu pada *IDF* hasil perhitungan data dari stasiun Pilang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LIPI yang telah mendanai penelitian ini melalui Program Unggulan LIPI Korsub. Ketahanan Air, Daya Saing Wilayah dan masyarakat pesisir. Bapak Ronny (Sekretaris Badan Lingkungan Hidup Daerah, Kab. Belitung Barat) beserta staf, dan Bapak Hermanto (Kepala BAPPEDA Kab. Belitung) yang telah mendukung kelancaran pelaksanaan penelitian. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Ir. M. R. Djuwansah yang telah memberikan masukan pada penulisan makalah ini. Ucapan terimakasih juga kami sampaikan kepada

rekan kami Rahmawati Rahayu M.T. sebagai anggota tim dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arwin, 2009. Perubahan Iklim, Konversi Lahan, dan Ancaman Banjir dan Kekeringan di Kawasan Terbangun. *Pidato Ilmiah Guru Besar ITB-Majelis Guru Besar ITB*. CV Senatama Wikarya-Bandung.
- Asdak, C, 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press.
- Baharuddin dan Sidarto, 1995. *Peta Geologi Lembar Belitung, Sumatra, skala 1: 250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Boer, R. dan Faqih, M., 2004. Global Climate Forcing factors and rainfall variability in West Java. *Journal of Agriculture Meteorology* 18: 1 - 12 (2004).
- BPS Kabupaten Belitung, 2015. Belitung Dalam Angka. ISSN :0215-4005. Katalog BPS / *BPS Catalogue*: 1102001.1902. BPS Kabupaten Belitung. 296 h.
- Cuen, M. R. , 1982. *A guide to Hydrologic Analysis using SCS Method*.
- Effendy, S., Bey, A., Zain, A. F. M., dan Santoso, I. , 2006. Peranan Ruang Terbuka Hijau dalam Mengendalikan Suhu Udara dan Urban Heat Island Wilayah Jabotabek (The Role Of Urban Green Space in Harnessing Air Temperature and Urban Heat Island. Exemplified by Jabotabek). *Jurnal Agromet Indonesia*, 20(1).
- Elsebaie, Ibrahim H., 2012. Developing rainfall intensity-duration-frequency relationship for two regions in Saudi Arabia. *Journal of King Saudi University – Engineering Sciences* (2012) 24, 131-140.
- Fathy, I., Negm, A.M., El Fiky, M., Nassar, M., dan Al Sayed, A., 2014. Intensity Duration Frequency Curves for Sinai Peninsula, Eryp. *International Journal of Research in Engineering & Technology*. ISSN: 2321-8843; ISSN(P): 2347-4599, Vol. 2, 6, Juni 2014, 105 - 112.

- Freeze, R.A. dan Cherry, J.A., 1979. *Groundwater*. New Jersey: Prentice - Hall.
- Gustari, Indra, 2009. Analisis Curah Hujan Pantai barat Sumatra Bagian Utara periode 1994 - 2007). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika* Vol. 10, No. 1: 29 - 38.
- Hariyanto, A. dan Iskandar, K. H., 2015. Kajian Identifikasi Potensi dan Permasalahan Sumber Daya Air (Studi Kasus: Kabupaten Belitung). *Planologi: Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota* 2 (11):31-42.
- Haylock, M. dan McBride, J., 2001. Spatial coherence and predictability of Indonesian wet season rainfall. *Journal of Climate*, 14, 3882 - 3887.
- Hussain, Tuan, P.R.S., dan Ismail, H., 2013. Flood Frequency Analysis of Kelantan River Basin, Malaysia. *World Applied Sciences Journal* 28 (12): 1989-1995. ISSN 1818-4952.
- Ibrahim, Agung Bagiawan, 2008. Asian Pacific FRIEND: Rainfall Intensity Duration Frequency (IDF) Analysis for the Asia Pasific Region-Chapter 4: Indonesia. H. 23 - 31 *International Hydrology Prgramme (IHP)VII/Technical Document in Hydrology* No. 2, Reional Steering Committee for Southest Asia and the Pasific, UNESCO Office, Jakarta 2008. Edited by: Treveor M. Daniell and Guilermo Q. Tabios III.
- IPCC, Climate Change, 2007. Synthesis Report: *Fourth assesment Report*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Marganingrum, Dyah, 2013. Manajemen Sumber Daya Air Terpadu “Waduk Saguling” dalam Rangka Pengembangan Air Baku SPAM Regional KSN Cekungan Bandung. *Disertasi-Program Studi Teknik Lingkungan-FTSL, ITB*.
- Narulita, I., Djuwansah, M.R., Rahmat, A., Suprpto, T.A., Rahayu, R., dan Rahyu, H.W., 2014. *Evaluasi Daya Dukung Sumber Daya Air Kawasan Pesisir dan Pulau Kecil: Studi Kasus DAS Cerucuk, Pulau Belitung*. Laporan Akhir Kumulatif Program Kompetitif LIPI, Tahun Anggaran 2012-2014.
- Oosterbaan, R.J., 1994. *Chapter 6 Frequency and Regression Analysis*”. In Ritzema, H.P. *Drainage Principles and Applications, Publication 16. Wageningen, The Netherlands: International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI)*. h. 175–224. ISBN 90-70754-33-9.
- Pandiangan, H.F., 2002. Penerapan Indeks Konservasi Air dalam Rangka Pengendalian Pemanfaatan Ruang Hidrologi Daerah Metropolitan Bandung. *Thesis Magister, Jurusan Teknik Lingkungan-ITB*.
- Paola, F. D., Giugni, M., Topa, M. E., dan Bucchignani, E., 2014. Intensity- Duration-Frequency (IDF) rainfall curves, for data series and climate projection in Afrika cities. *Springer Plus* 20143:133.
- Peraturan Pemerintah RI No. 37 Tahun 2010 tentang Bendungan.
- Pryambodo, D. G., dan Hasanudin, M., 2013. POLA SEBARAN AKUIFER DI DAERAH PESISIR TANJUNG PANDAN P. BELITUNG. *Jurnal Fisika*, Vol. 3 No.1.
- Suripin, 2004. *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. ANDI-Yogyakarta.
- Susilowati dan Kusumastuti, Dyah Indriana, 2010. Analisa Karakteristik Curah Hujan dan Kurva Intensitas Durasi Frekuensi (IDF) di Propinsi Lampung. *Jurnal Rekayasa*, Vol. 14, No. 1, April 2010. h. 47 – 56.
- Triatmodjo, B., 2009. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset Jakarta.
- UNDP, 2007. Sisi lain Perubahan iklim: Mengapa Indonesia harus beradaptasi untuk melindungi rakyat miskinnya. UNDP country office Indonesia, 20 h.