

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir

2.1.1 Pengertian Banjir

Banjir merupakan peristiwa meluapnya air sungai yang melebihi sungai atau genangan air yang terjadi pada daerah lebih rendah dan tidak bisa dialiri atau mengalir dengan baik. Banjir juga merupakan bencana alam yang cukup dahsyat yang mempengaruhi sebagian besar kerugian ekonomi dan nyawa, terutama di kota-kota besar di seluruh dunia. Banjir dapat berupa genangan pada lahan yang biasa kering seperti pemukiman warga, pusat kota, dan area sekitar sungai. Di Indonesia, banjir salah satu bencana alam yang sangat sering terjadi terlebih pada musim hujan. Beberapa kota di Indonesia sangat sering terjadi banjir, seperti di kota-kota besar di Bandung, Aceh, Semarang, Jakarta, dan juga masih banyak lagi. Banjir menyebabkan banyak kerugian yang terjadi kepada masyarakat sekitar dan juga pada alam.

Perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan di DAS bagian hulu juga akan mengubah ciri-ciri sistem drainase sehingga berdampak pada luapan permukaan dan mempengaruhi kapasitas infiltrasi suatu permukaan tanah yang merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya banjir. Banjir dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti curah hujan, kemiringan lahan, meluapnya aliran sungai, geologi, dan saluran drainase. Banjir sering terjadi karena adanya gangguan pada saluran drainase atau juga karena meluapnya aliran sungai. Penyebab banjir yang sering ditemui yaitu, tersumbatnya saluran drainase karena banyaknya sampah yang ada di saluran drainase. Banjir dapat menyebabkan kerusakan dan kerugian, terdapat dua jenis utama banjir kerusakan yaitu kerusakan yang luas dan kerusakan tidak jelas. Kerusakan yang luas dapat dinilai dan diterjemahkan ke dalam istilah ekonomi,

sedangkan kerusakan yang tidak jelas seperti hilangnya nyawa dapat terjadi dan dinilai sebagai kerugian finansial.

Banjir yang terjadi pada suatu kawasan bisa terlihat dalam segi karakteristiknya, parameter karakteristik banjir sendiri terdiri dari beberapa aspek, antara lain (M.B. Al Amin, 2018):

1. Kedalaman

Kedalaman banjir mengacu pada tinggi air yang meluap dari sungai. Kedalaman banjir sendiri dapat bervariasi tergantung pada intensitas curah hujan dan kapasitas sungai.

2. Luas genangan

Luas genangan banjir mengacu pada wilayah yang terendam oleh air banjir. Luas genangan banjir dapat bervariasi tergantung pada topografi daerah, kapasitas sungai atau saluran air, dan intensitas curah hujan.

3. Kecepatan

Kecepatan aliran air banjir dapat bervariasi tergantung pada volume air yang mengalir, topografi daerah, dan karakteristik sungai atau saluran air. Kecepatan aliran air banjir yang tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan dan infrastruktur.

4. Frekuensi banjir

Frekuensi banjir dapat mengacu pada jumlah kejadian banjir yang ada pada suatu periode waktu tertentu. Frekuensi banjir dapat bervariasi tergantung pada karakteristik hidrologi daerah, seperti curah hujan, topografi, dan jenis tanah.

Dalam analisis hidrologi sendiri karakteristik banjir digunakan untuk merencanakan desain bangunan air, seperti bendungan, waduk, atau saluran air. Karakteristik banjir juga digunakan untuk mengembangkan strategi pencegahan dan penanggulangan banjir yang efektif.

2.1.2 Jenis Banjir

Banjir dapat digolongkan menjadi tiga jenis, yaitu:

1. Banjir Fluvial

Banjir fluvial atau yang biasa disebut banjir sungai karena banjir ini merupakan banjir yang terjadi karena luapan air sungai. Banjir ini sering terjadi di sekita pinggiran sungai yang memiliki elevasi tanggul pinggir sungai yang tidak terlalu tinggi.

2. Banjir Pluvial

Banjir pluvial merupakan banjir yang terjadi karena genangan dan disebabkan oleh kemiringan lahan atau tanah. Banjir ini sering ditemukan pada wilayah yang memiliki posisi yang cukup rendah. Banjir ini juga sering terjadi karena buruknya sistem drainase dari wilayah tersebut yang menyebabkan terjadinya banjir.

3. Banjir rob

Banjir rob adalah banjir yang sangat sering ditemui di wilayah sekitar laut atau pantai. Banjir ini biasa disebabkan oleh naiknya air laut sehingga melebihi batasnya daratan dan menjadi banjir di sekitar wilayah tersebut.

2.1.3 Penyebab Banjir

Dikutip dari laman kemenkes RI (2018), banjir merupakan akibat dari adanya hujan dengan intensitas yang cukup tinggi. Namun, sebenarnya terdapat banyak faktor yang menjadikan suatu daerah terjadi banjir. Penyebab terjadinya banjir diantaranya yaitu adanya penyumbatan di saluran drainase suatu daerah yang disebabkan oleh banyaknya sampah yang ada pada saluran tersebut. Selain itu, penyebab dari banjir juga bisa disebabkan oleh minimnya daerah resapan air yang ada pada daerah tersebut.

Berikut merupakan penyebab terjadinya banjir yang sering ditemui:

1. Meluapnya Aliran Sungai

Sungai merupakan sarana tempat mengalirnya air yang tertampung dari air hujan dan saluran drainase yang menuju ke laut sehingga menjadi peran yang sangat penting dalam terjadinya banjir di suatu daerah. Banjir yang biasa disebabkan oleh meluapnya aliran sungai bisa terjadi karena rendahnya elevasi tanggul di sekitar sungai dan juga banyaknya sampah yang ada pada sungai. Saat sungai mengalami kerusakan atau tercemar juga menjadi gangguan pada fungsi sungai yang menyebabkan banjir. Biasanya kerusakan yang terjadi pada sungai yaitu sedimentasi yang berubah menjadi tinggi dan juga banyaknya masyarakat yang membuang sampah ke sungai, sehingga sungai mengalami kedangkalan yang menjadikan fungsi dari sungai tersebut berubah dan sungai menjadi meluap.

2. Saluran Drainase yang Tidak Baik

Di kutip dari jurnal Yuniretnan (2010), kota-kota besar seperti Bandung, Semarang, Jakarta, dan lainnya sering sekali terjadi banjir yang disebabkan oleh saluran drainase yang kurang baik. Saluran drainase merupakan saluran yang mengalirkan air dari perkotaan menuju ke sungai. Biasanya pada saluran drainase yang kurang baik terdapat sampah rumah tangga atau sampah organik yang tidak dibersihkan dan menjadikan saluran drainase tidak terawat. Selain itu pada beberapa saluran drainase juga biasanya memiliki ukuran yang kecil dan tertutup oleh beton dari bangunan yang menyebabkan saluran drainase tidak dapat menjalankan fungsinya dengan maksimal.

3. Daerah Resapan yang Kurang

Selain dari kurang baiknya saluran drainase, kurangnya daerah resapan juga menjadi pengaruh suatu daerah bisa terjadi banjir. Biasanya daerah resapan air yang ada di sekitar itu adalah daerah yang masih banyak pepohonan dan memiliki danau yang berfungsi untuk menampung air hujan dan sebagai penyimpan cadangan air tanah. Pada daerah perkotaan sekarang sudah jarang sekali ditemui lahan hijau yang dapat berfungsi menjadi daerah resapan air, terlebih di kota-kota besar yang menggeser lahan hijau menjadi bangunan-bangunan. Sehingga menghambat air yang akan masuk ke dalam tanah dan menyebabkan genangan air yang bisa menjadi banjir.

4. Kurangnya Kesadaran Masyarakat

Kurangnya kesadaran masyarakat saat ini menjadi salah satu faktor yang sangat penting dalam terjadinya banjir. Sikap masyarakat sekarang yang tidak menjaga lingkungan serta seringnya membuang sampah tidak pada tempatnya yang membuat saluran drainase maupun sungai menjadi terhambat alirannya. Selain itu, banyaknya juga masyarakat yang menebang pohon secara liar dan menjadikan air hujan yang turun tidak diserap oleh tanah sehingga langsung mengalir ke daratan rendah atau pedesaan atau perkotaan sehingga bisa terjadi banjir.

2.1.4 Pengendalian Banjir

Menurut Robert J. Kodoatie dan Sugiyanto (2002), pengendalian banjir dibagi menjadi dua metode yaitu pengendalian banjir metode non struktur dan pengendalian banjir metode struktur. Pengendalian banjir metode non struktur merupakan metode yang digunakan dengan cara pendekatan dan tidak membuat bangunan pengendalian banjir dan memberikan

pengaruh langsung terhadap sungai. Pengendalian banjir metode non struktur bisa dilakukan dengan pengelolaan DAS, melakukan pengaturan tata guna lahan sekitar sungai, dan melakukan pengembangan daerah banjir. Pengembangan daerah banjir bisa dilakukan dengan melakukan pengaturan tata guna lahan, melakukan penghijauan lahan, dan melakukan normalisasi sungai.

Pengendalian banjir metode struktur merupakan metode yang melakukan pembangunan bangunan pengendali banjir yang dapat mengurangi banjir. Pengendalian banjir metode struktur bisa dilakukan dengan membuat kolam retensi untuk menampung debit banjir sehingga kejadian banjir bisa dikurangi. Selain itu, membuat alur pengendali banjir guna mengurangi debit banjir pada sungai utama dengan memindahkan aliran sungai melalui alur pengendali banjir. Selanjutnya, bisa dilakukan peninggian elevasi tanggul sekitar Kawasan banjir untuk mengurangi meluapnya aliran sungai, bisa juga membuat dinding kendali atau *training wall* yang digunakan untuk mengarahkan aliran sungai terutama pada sungai yang berkelok-kelok.

2.2 Karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS)

DAS atau Daerah Aliran Sungai merupakan suatu wilayah yang merupakan suatu kesatuan dengan sungai dan anak sungai. DAS memiliki fungsi untuk menampung, menyimpan, dan mengalirkan air dari curah hujan lalu dialirkan ke danau atau laut. Karakteristik dari DAS sendiri ialah yang terdiri dari beberapa kondisi yaitu, topografi, geologi, dan tutupan lahan. Menurut (Sudjarwadi,1985), Daerah aliran sungai (DAS) adalah suatu wilayah yang merupakan kesatuan ekosistem yang dibatasi oleh pemisah topografis dan berfungsi sebagai pengumpul, penyimpan dan penyalur air, sedimen, unsur hara melalui sistem sungai, mengeluarkannya melalui outlet tunggal. Gambaran yang lebih fokus mengenai DAS yaitu parameter yang berkaitan dengan keadaan dari

morfometri, topografi, tanah, geologi, vegetasi, penggunaan lahan, hidrologi, dan manusia.

2.2.1 Topografi (DEM)

Topografi merupakan bentuk dari permukaan bumi yang terbentuk secara alami atau buatan dengan menunjukkan perbedaan elevasi tinggi dan rendah dari permukaan bumi. Topografi meliputi permukaan laut (*relief*), bentuk wilayah, kemiringan, dan bentuk lereng. Topografi digunakan dalam penelitian ini sebagai Batasan dari Daerah Aliran Sungai. Batas dari DAS yang digunakan berupa pegunungan agar semua aliran akan bergabung menuju laut lepas.

Peta topografi didapatkan dari peta DEM-NAS yang memiliki ketelitian 8,33m yang merupakan sudah menjadi gabungan dari peta topografi dengan bangunan yang sudah ada. Peta topografi yang didapat dari DEM-NAS selanjutnya di jalankan di *software QGIS* untuk mendapatkan luas DAS yang sesuai dengan sungai yang akan diteliti.

2.2.2 Tutupan Lahan dan Koefisien Aliran Permukaan

1. Tutupan Lahan

Menurut Asdak (2007), tutupan lahan merupakan wujud fisik dari vegetasi benda alam dan sensor budaya pada permukaan bumi. Tutupan lahan terbagi menjadi dua bagian besar antara lain, tutupan lahan bervegetasi dan tutupan lahan tidak bervegetasi. Tutupan lahan dan oenggunaan lahan memiliki perbedaan yang hamper mirip. Prnggunaan lahan sendiri merupakan fungsi dari lahan tersebut, seperti digunakan untuk area perkantoran, perumahan, pertanian, dan lain lain, sedangkan tutupan lahan merupakan penampakan fisik

permukaan bumi seperti bebatuan, rerumputan, lahan yang terbangun, dan lain-lain.

Tutupan lahan dapat dipengaruhi oleh faktor alam dan faktor manusia. Faktor alam berupa iklim, topografi tanah, dan bencana alam, sedangkan faktor manusia berupa kebutuhan manusia dalam tata guna lahan. Dalam segi faktor manusia, peningkatan penduduk selalu diikuti dengan peningkatan kebutuhan lahan. Tutupan lahan yang sebelumnya berupa vegetasi atau lahan terbuka berubah menjadi pemukiman. Perubahan tutupan lahan ini yang menghilangkan daerah resapan air dan mempengaruhi karakteristik DAS seperti debit sungai yang menjadi meninggi saat terjadi hujan dan berpotensi menyebabkan banjir. Selain itu, tutupan lahan juga mempengaruhi aliran permukaan sungai.

2. Koefisien Aliran Permukaan

Menurut Irmayanti (2018), aliran permukaan merupakan bagian air hujan yang mengalir ke badan air atau saluran, sungai, danau, laut yang berupa aliran di atas permukaan tanah maupun di bawah permukaan tanah. Aliran permukaan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya luas dan bentuk DAS, intensitas dan durasi hujan, topografi, kondisi hidrologi sebelum hujan, dan tutupan lahan.

Tutupan lahan mempengaruhi aliran permukaan melalui daya infiltrasi dari lahan itu sendiri. Jika intensitas hujan melebihi laju infiltrasi, kelebihan air dapat berakumulasi dan akan berkumpul pada suatu aliran sungai yang rendah, jika sungai memiliki debit yang besar atau melampaui kapasitas sungai, maka kelebihan air dapat berakumulasi di daerah sekitar sungai yang memiliki topografi yang lebih rendah. Daya infiltrasi sendiri dapat dipengaruhi oleh jenis tanah, kemiringan, dan vegetasi tutupan lahan.

Perhitungan curah hujan yang terinfiltrasi dan curah hujan yang menjadi aliran permukaan dapat dihitung dengan menggunakan koefisien aliran permukaan. Nilai koefisien aliran permukaan (C) dapat dinyatakan dengan nilai 0-1, dengan C = 0 maka semua air hujan terinfiltrasi sempurna kedalam tanah dan apabila C = 1 menunjukkan bahwa air hujan mengalir sebagai aliran permukaan. Rumus yang digunakan dalam perhitungan koefisien aliran permukaan (C) adalah sebagai berikut:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i \cdot A_i}{A_i} \quad (2.1)$$

Keterangan:

C = Koefisien aliran permukaan

n = Jumlah jenis tutupan lahan

A_i = Luas daerah tutupan lahan i

C_i = Koefisien aliran limpasan tutupan lahan i

Koefisien limpasan tutupan lahan dapat dilihat pada Lampiran 6.1.

2.3 Analisis Hidrologi

Secara umum hidrologi adalah cabang ilmu geografi yang mempelajari sekitar pergerakan, distribus, dan kualitas air yang ada di sekitar serta siklus hidrologi dan sumber daya air. Menurut Singh (1992), hidrologi adalah ilmu yang membahas karakteristik menurut waktu dan ruang tentang kuantitas dan kualitas air di bumi termasuk proses hidrologi, pergerakan, penyebaran, sirkulasi tampungan, eksplorasi, pengembangan dan manajemen. Hidrologi adalah ilmu untuk mendapatkan informasi tentang sifat dan besarnya air pada suatu daerah yang sedang ditinjau dan berkaitan dengan air dan juga lingkungan.

2.3.1 Curah Hujan Kawasan

Curah hujan diperlukan dalam mengetahui curah hujan rata-rata maksimum di setiap periode tertentu dalam setiap tahun. Cara menentukan rata-rata curah hujan maksimum pada suatu daerah dilakukan berdasarkan pengamatan dan pencatatan pada beberapa stasiun hujan. Curah hujan yang diamati dan dicatat hanya didapat pada titik tertentu, sehingga diperlukan perhitungan untuk curah hujan area nya. Beberapa metode yang digunakan dalam menghitung curah hujan adalah metode Aritmatik, Thiessen, dan Isohiet yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Metode Aritmatik

Dihitung dan ditentukan dengan menjumlahkan tinggi hujan dari setiap daerah pengukuran dalam periode tertentu, dibagi dengan jumlah pos pengukuran di Gambar 2.1. Metode ini sebaiknya dipakai di daerah yang datar yang memiliki pos hujan yang banyak dan sifat hujannya merata, digunakan persamaan sebagai berikut (SNI 2415: 2016):

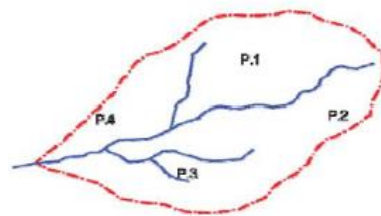
$$\bar{P} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \quad (2.2)$$

Keterangan:

\bar{P} = tinggi hujan rata-rata (mm)

P_1, \dots, P_n = tinggi hujan pada setiap pos hujan yang diamati (mm)

n = banyaknya pos hujan



Gambar 2.1 Hujan Rata-Rata Untuk Metode Aritmatik (Sumber: 2415: 2016)

2. Metode Thiessen

Metode ini ditentukan dengan membuat polygon antar pos hujan di suatu wilayah DAS, lalu tinggi hujan rerata daerah dihitung dari jumlah perkalian setiap luas polygon dan tinggi hujan dibagi dengan luas seluruh DAS seperti pada Gambar 2.2. Metode ini sebaiknya digunakan untuk menentukan tinggi hujan rata-rata dengan keadaan pos hujan yang tidak rata, dengan menggunakan persamaan (SNI 2415: 2016):

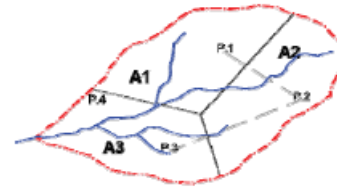
$$\bar{P} = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_{total}} \quad (2.3)$$

Keterangan:

\bar{P} = tinggi hujan rata-rata (mm)

P_1, \dots, P_n = tinggi hujan pada setiap pos (mm)

A_1, \dots, A_n = luas yang dibatasi garis polygon (km²)



Gambar 2.2 Hujan Rata-Rata Metode Thiessen (Sumber: SNI 2415: 2016)

3. Metode Isohiet

Metode ini digunakan dengan menggunakan peta garis kontur tinggi hujan dalam suatu daerah dengan tinggi hujan rata-rata pada DAS dihitung dari hasil perkalian tinggi hujan rata-rata pada antara garis isohiet dengan kedua garis isohiet tersebut lalu dibagi dengan luas pada seluruh DAS seperti pada Gambar 2.3. Metode ini lebih cocok digunakan di daerah pegunungan dari yang berbukit-bukit, dengan menggunakan persamaan berikut (SNI 2415: 2016):

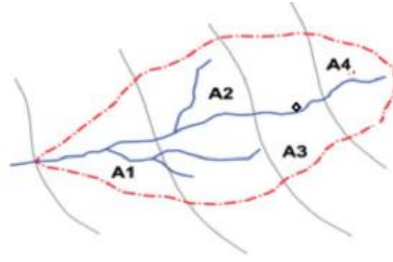
$$\bar{P} = \frac{\frac{A_1(P_1 + P_2)}{2} + \frac{A_2(P_2 + P_3)}{2} + \dots + \frac{A_n(P_n + P_{n+1})}{2}}{A_{total}} \quad (2.4)$$

Keterangan:

\bar{P} = tinggi hujan rata-rata (mm)

P_1, \dots, P_n = tinggi hujan yang sama pada setiap garis isohiet (mm)

A_1, \dots, A_n = luas yang dibatasi garis oleh 2 garis isohiet (km^2)
 A_1 = luas total DAS ($A_1 + A_2 + \dots + A_n$) (km^2)



Gambar 2.3 Hujan Rata-Rata Untuk Metode Isohiet (Sumber: SNI 2415: 2016)

2.3.2 Pengisian Data Curah Hujan Hilang

Terkadang pos hujan tidak dapat bekerja dengan baik sehingga data curah hujan kurang lengkap. Pengisian data curah hujan untuk memenuhi kebutuhan analisis banjir rencana hanya dilakukan jika terjadi korelasi yang baik antara hujan harian maksimum dari pos hujan yang digunakan dengan pos yang akan digunakan dalam pengisian data. Pengisian kekosongan data hujan dilakukan dengan metode pendekatan sebagai berikut (SNI 2415: 2016):

1. Menentukan hujan rata-rata pada pos terdekat
2. Faktor bobot didasarkan dengan suatu nilai rasio hujan tahunan dengan persamaan berikut:

$$P_x = \frac{1}{n} \left[P_a \frac{A_{nx}}{A_{na}} + P_b \frac{A_{nx}}{A_{nb}} + P_c \frac{A_{nx}}{A_{nc}} + \dots + P_n \frac{A_{nx}}{A_{nn}} \right] \quad (2.5)$$

Keterangan:

P_x = Tinggi hujan pada pos yang datanya tidak lengkap (mm)

$P_{a,b,c}$ = Tinggi hujan pos a,b, dan c (mm)

n = Jumlah data

A_x = Tinggi hujan tahunan pos hujan yang tidak lengkap (mm)

$A_{a,b,c}$ = Tinggi hujan tahunan pos a,b, dan c (mm)

3. Dilakukan analisis regresi pada pos hujan terdekat

4. Dilakukan transposing data pada karakteristik data yang sudah ada (Mulyantari, 2002)

2.3.3 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi adalah dugaan dalam memperoleh probabilitas terjadinya suatu peristiwa hidrologi dengan bentuk debit/curah hujan rencana yang berfungsi untuk dasar perhitungan perencanaan hidrologi sebagai antisipasi dalam kemungkinan yang akan terjadi. Tujuan dari analisis frekuensi dalam hidrologi adalah mencari hubungan kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan digunakannya distribusi probabilitas.

2.3.3.1 Penentuan Parameter Statistik Hujan

Keterangan:

X_i = Besarnya curah hujan (mm)

X_{rt} = Rata-rata curah hujan maksimum (mm)

Macam pengukuran dispersi antara lain sebagai berikut :

1. Standart Deviasi (S_d)

Apabila penyebaran data sangat besar terhadap nilai rata-rata, maka nilai standar deviasi (S_d) akan besar, akan tetapi apabila penyebaran data sangat kecil terhadap nilai rata-rata, maka S_d akan kecil. Standar deviasi dapat dihitung dengan rumus:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{X_i - \bar{X}\}^2}{n-1}} \quad (2.6)$$

Keterangan:

S_d = standar deviasi curah hujan

\bar{X} = nilai rata-rata curah hujan

X_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i

n = jumlah data curah hujan

2. Koefisien Variasi (C_v)

Koefisien variasi (*coefficient of variation*) adalah nilai perbandingan antara standar deviasi dengan nilai rata-rata dari suatu sebaran.

$$C_v = \frac{S_d}{\bar{X}} \quad (2.7)$$

Keterangan :

C_v = Koefisien variasi curah hujan

S_d = Standar deviasi curah hujan

\bar{X} = Nilai rata-rata curah hujan

3. Koefisien *Skewness* (C_s)

Koefisien kemiringan (*coefficient of skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidak simetrisan (*assymetry*) dari suatu bentuk distribusi. Besarnya koefisien kemiringan (*coefficient of skewness*) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut ini :

$$C_s = \frac{a}{S_d^3} \quad (2.8)$$

$$a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3 \quad (2.9)$$

Keterangan:

C_s = koefisien kemiringan curah hujan

S_d = standar deviasi dari sampel curah hujan

\bar{X} = nilai rata-rata dari data sampel curah hujan

X_i = curah hujan ke i

n = jumlah data curah hujan

a, α = parameter kemencengan

Kurva distribusi yang bentuknya simetris maka $C_s = 0,00$, kurva distribusi yang bentuknya menceng ke kanan maka C_s lebih besar nol, sedangkan yang bentuknya menceng ke kiri maka C_s kurang dari nol.

4. Koefisien Kurtosis (C_k)

Koefisien kurtosis adalah suatu nilai yang menunjukkan keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal. Koefisien kurtosis digunakan untuk menentukan keruncingan kurva distribusi, dan dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S_d^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4 \quad (2.10)$$

Keterangan:

C_k = koefisien kurtosis

S_d = standar deviasi

n = jumlah data curah hujan

X_i = curah hujan ke i

\bar{X} = nilai rata-rata dari data sampel

2.3.3.2 Pemilihan Jenis Distribusi

Dalam pemilihan jenis distribusi ini dilakukan dengan membuat histogram yang membentuk kurva dan dicoba dengan didekati oleh salah satu fungsi distribusi seperti, distribusi Normal, distribusi Log Normal, Log Pearson III, Gumbel dan lain-lain. Setelah itu, fungsi distribusi yang nilainya paling dekat dengan data observasi akan digunakan dalam menghitung besar hujan rencana (SNI 2415: 2016).

2.3.3.3 Uji Kecocokan Fungsi Distribusi

Uji kecocokan fungsi distribusi dilakukan untuk mengetahui distribusi frekuensi yang digunakan dari sampel data dengan fungsi jenis peluang yang sudah dihitung apakah mewakili hasil dari distribusi frekuensi atau tidak. Oleh

karena itu, dibutuhkan pengujian kecocokan fungsi distribusi yang sesuai dengan SNI 2415: 2016 sebagai berikut:

1. Uji *Chi-Square*

Metode uji *chi-square* merupakan metode yang digunakan dalam menentukan nilai persamaan distribusi peluang yang sudah dipilih apakah dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang dianalisis atau tidak. Rumus yang digunakan sebagai berikut (SNI 2415: 2016):

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.11)$$

Keterangan:

X_h^2 = Nilai Chi-Square Terhitung

G = Jumlah dari sub kelompok

O_i = Nilai frekuensi yang terbaca pada sub kelompok i

E_i = Nilai frekuensi yang diharapkan pada sub kelompok i

Urutan pemeriksaan kesesuaian distribusi chi-kuadrat berdasarkan SNI 2415: 2016 sebagai berikut:

- i. Urutkan data yang diamati dari yang terkecil sampai terbesar atau sebaliknya
- ii. Kelompokkan data yang diamati menjadi beberapa kelas interval "k" (k diambil = 25)
- iii. Mencatat frekuensi dari data yang diamati pada setiap kelas interval
- iv. Hitunglah nilai X_h^2
- v. Menetapkan nilai derajat kebebasan (DK)
- vi. Menetapkan besar tingkat kepercayaan (*confidence level*, misal 95%)
- vii. Mencari X_h^2 kritis dari table nilai kritis chi-kuadrat.

2. Kolmogorov – Smirnov

Uji Kolmogorov-Smirnov merupakan uji kecocokan non parametik karena dalam proses pengujiannya tidak

digunakannya fungsi distribusi tertentu. Berikut merupakan rumus dan Langkah-langkah dalam metode Kolmogorov-Smirnov (SNI 2415: 2016):

$$D_n = \max |P_{(x)} - P_{o(x)}| \quad (2.12)$$

D_n = jarak vertikal/maksimum antara pengamatan dengan teoritisnya;

$P_{(x)}$ = probabilitas data sampel;

$P_{o(x)}$ = probabilitas teoritisnya.

Distribusi bisa dibilang cocok apabila nilai $D_n < D$ kritisnya berada pada derajat kepercayaan yang dibutuhkan. Untuk urutan pengujian seperti berikut:

- i. Menyusun data curah hujan harian rata-rata dalam setiap tahun dari terkecil sampai terbesar atau sebaliknya;
- ii. Menghitung probabilitas pada masing-masing data hujan menggunakan persamaan wellbull sebagai berikut:

$$P = \frac{m}{n+1} 100\% \quad (2.13)$$

Keterangan:

P = Probabilitas (%)

m = Nomor urut data dari setiap seri yang telah disusun

n = Banyak data

- iii. Mencari nilai mutlak perbedaan maksimum dengan antara distribusi empiris (P empiris) dengan distribusi teoritis (P teoritis)

$$\Delta = \text{maksimum} |P_{\text{teoritis}} - P_{\text{empiris}}| \quad (2.14)$$

- iv. Distribusi teoritis bisa diterima apabila nilai $\Delta < \Delta$ sesuai dengan nilai kritis uji Kolmogorov-Smirnov yang ada pada Lampiran 6.4 dan distribusi teoritis ditolak apabila sebaliknya.

2.3.4 Distribusi Frekuensi

Distribusi frekuensi dilakukan dengan menggunakan metode Analisa curah hujan harian maksimum dengan metode yang sesuai dengan SNI 2415: 2016 sebagai berikut:

1. Metode Distribusi Normal

Distribusi normal dapat digunakan dengan melakukan perhitungan untuk hujan periode ulang yang sudah ditentukan. Rumus untuk perhitungan yang digunakan untuk distribusi normal adalah sebagai berikut:

$$K^T = \frac{X_T - \bar{X}}{S_d} \quad (2.15)$$

Keterangan:

X_T = Nilai tinggi curah hujan pada periode ulang T(mm/hari)

\bar{X} = Nilai rata-rata curah hujan (mm/hari)

K^T = Faktor frekuensi

S_d = Nilai standar deviasi

2. Metode Distribusi Gumbel

Rumus yang digunakan dalam perhitungan metode distribusi gumbel adalah sebagai berikut (SNI 2415: 2016):

$$K^T = \frac{X_T - \bar{X}}{S_d} \quad (2.16)$$

$$Y_T = \bar{Y} + K_T S_d \quad (2.17)$$

Keterangan:

Y_T = Nilai tinggi curah hujan pada periode ulang T(mm/hari)

\bar{Y} = Nilai rata-rata curah hujan (mm/hari)

K^T = Faktor frekuensi

S_d = Nilai standar deviasi

Y_n = Banyaknya n pada table (Lampiran 6.7)

S_n = Nilai standar deviasi sebagai fungsi dari banyaknya n pada (Lampiran 6.8)

Data Y_n dan S_n didapatkan dari tabel rata-rata tereduksi Y_n .

3. Metode Distribusi Log Pearson Tipe III

Rumus yang digunakan pada metode distribusi log pearson III adalah seperti berikut (SNI 2415: 2016):

- i. Data curah maksimum dalam tahunan yang sebanyak n tahun (X_1, X_2, \dots, X_n) dan diubah menjadi bentuk logaritma ($\log_1, \log_2, \dots, \log_n$).

- ii. Didapatkan nilai rata-rata dengan menggunakan rumus:

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (2.18)$$

- iii. Melakukan perhitungan nilai dari simpangan baku atau standar deviasi dengan rumus:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \log \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.19)$$

- iv. Mencari nilai koefisien kemencengan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$C_s = \frac{n \sum (\log x_i - \log \bar{x})^3}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (2.20)$$

- v. Melakukan perhitungan untuk nilai curah hujan rencana dengan menggunakan periode ulang tertentu dengan rumus:

$$X_t = \bar{X} + k.S \quad (2.21)$$

- vi. Melakukan perhitungan nilai koef. kurtosis dengan rumus:

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \log(\bar{X})\}^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \quad (2.22)$$

- vii. Melakukan perhitungan nilai koef. variasi dengan rumus:

$$C_v = \frac{S_d}{\log(x)} \quad (2.23)$$

- viii. Melakukan perhitungan nilai ekstrem dengan rumus:

$$\log X = i \overline{\log \bar{X}} + G.S \quad (2.24)$$

- ix. Melakukan pencarian nilai antilog pada $\log X$ sehingga bisa mendapatkan debit banjir rancangan.

Keterangan:

$\log \bar{X}$ = Nilai curah hujan logaritma (mm)

- X_i = Nilai curah hujan rata-rata setiap tahun (mm)
 n = Jumlah data curah hujan maksimum
 K = Nilai yang didapat berdasarkan hasil C_s , (lihat Lampiran 6.9)
 X_T = Nilai curah hujan rencana T setiap tahun (mm)
 S_d = Standar deviasi
 C_v = Koefisien variant dari curah hujan
 C_k = Koefisien kurtosis dari curah hujan
 C_s = Koefisien kemencengan curah hujan

4. Metode Distribusi Log Normal

Metode distribusi log normal mempunyai kesamaan dengan metode distribusi normal. Tetapi, tabel perhitungan yang digunakan berbeda dimana pada metode distribusi log normal menggunakan variable yang beda dan menggunakan Nilai logaritma seperti pada Lampiran 6.10. Rumus untuk mencari hujan periode ulang T dalam metode distribusi log normal sebagai berikut:

$$Y_T = \bar{Y} + K_T S_d \quad (2.25)$$

Keterangan:

Y_T = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi pada periode ulang T

\bar{Y} = Nilai rata-rata hitung variant

K_T = Faktor frekuensi (Lampiran 6.10)

S_d = Nilai standar deviasi

2.3.5 Intensitas Curah Hujan

Dalam menghitung debit banjir rencana pada suatu daerah perencanaan drainase dengan waktu konsentrasinya yang sangat singkat dan luas daerah aliran yang kecil dapat digunakan metode rasional dalam perhitungannya. Sebelum menghitung debit banjir

rencana dengan metode rasional, diperlukan analisis intensitas hujan.

Analisis intensitas hujan dapat dihitung dengan beberapa metode persamaan, berikut merupakan rumus intensitas hujan menurut mononobe (SNI 2415: 2016):

$$I = \frac{R_{24}}{24} \cdot \left[\frac{24}{t} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (2.26)$$

Keterangan:

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Waktu curah hujan (jam)

R_{24} = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

2.4 Debit Banjir Rencana

Analisis debit banjir rencana merupakan perhitungan perkiraan banjir rancangan yang terjadi dengan dasar masukan hujan rencana yang terjadi pada DAS. Hal yang mempengaruhi debit banjir rencana yaitu besaran curah hujan maksimum dalam 24 jam, Panjang sungai, koefisien aliran permukaan dan luas dari DAS. Perhitungan yang dilakukan dalam menentukan debit banjir rencana periode ulang dapat dihitung dengan berbagai macam cara seperti berikut:

1. Metode Rasional

Metode rasional biasa digunakan dalam menghitung debit banjir rencana dengan curah hujan yang sederhana dan digunakan untuk saluran kecil terutama pada daerah pengairan dibawah 50 km² (SNI 2415: 2016). Metode ini menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q_p = 0,278 C.I.A \quad (2.27)$$

Keterangan:

Q_p = Debit banjir puncak rencana (m³/det)

C = Koefisien limpasan daerah aliran

I = Intensitas Hujan (mm/jam)

A = Luas daerah aliran sungai (km²)

2. Metode Melchoir, Der Weduwen, dan Hasper

Menurut SNI 2415: 2016, Metode melchoir, der Weduwen, dan hasper biasa digunakan pada DAS yang memiliki luas sampai dengan 5000 hektar. Untuk wilayah Jakarta syarat dalam menggunakan metode ini pada DAS yang luasnya lebih dari 5000 hektar adalah memiliki intensitas hujan yang rata pada seluruh DAS dengan waktu hujan tertentu, memiliki waktu hujan yang sama dengan waktu konsentrasi dari DAS, memiliki periode ulang yang sama pada puncak hujan dan intensitas hujan. Menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_{max} = \gamma \cdot \beta \cdot f \cdot q \quad (2.28)$$

Keterangan:

Q_{max} = Debit maksimum (m^3/det)

γ = Koefisien aliran

β = Koefisien reduksi

f = Luas daerah aliran (km^2)

q = hujan maksimum ($m^3/km^2/det$)

i. Metode Melchoir

Metode melchoir memiliki ketentuan dalam penggunaannya sebagai berikut:

- Memiliki koefisien aliran antara 0,42-0,62 dengan disarankan menggunakan 0,52
- Koefisien reduksi yang digunakan adalah seperti persamaan berikut:

$$f = \frac{1970}{\beta - 0,12} 3960 + 1720\beta \quad (2.29)$$

- Memiliki waktu konsentrasi yang telah ditentukan untuk mempercepat curah hujan maksimum dengan menggunakan persamaan berikut:

$$t_k = \frac{1.000L}{3.600V} \quad (2.30)$$

Keterangan:

t_k = Waktu konsentrasi (jam)

L = Panjang sungai (km)

V = Kecepatan air rata-rata (m/det)

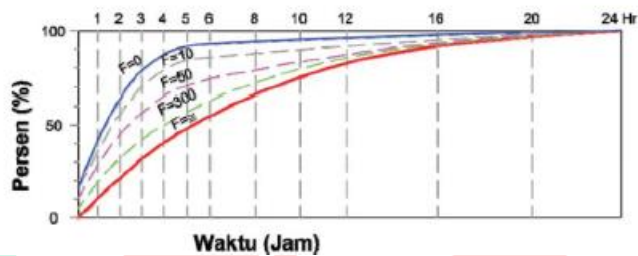
$$V = 1,31 \sqrt[5]{\beta \cdot q \cdot f \cdot i^2} \quad (2.31)$$

$$i = \frac{H}{0,9L} \quad (2.32)$$

H = Tinggi antara dasar sungai di mulut DAS dan di titik 0,9L kea rah hilir

$$T = 0,186L \cdot Q^{-0,2} i^{-0,4} \quad (2.33)$$

- d. Hujan maksimum dihitung dengan menggunakan grafik hubungan persentase curah hujan dengan t terhadap curah hujan harian. (lihat Gambar 2.4)



Gambar 2.4 Grafik Distribusi Hujan 24 Jam (Menurut Melchoir) (Sumber: SNI 2415: 2016)

ii. Metode Der Weduwen

- a. Memiliki koefisien aliran (α) yang dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta \cdot q + 7} \quad (2.34)$$

- b. Memiliki koefisien reduksi (β) yang dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\beta = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9}f}{120+f} \quad (2.35)$$

- c. Memiliki waktu konsentrasi (t_k) yang dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$t_k = 0,125L \cdot Q^{-0,125} i^{-0,25} \quad (2.36)$$

- d. Memiliki hujan maksimum (q) yang dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$q = \frac{67,65}{t+1,45} \quad (2.37)$$

Keterangan:

$$T = 1/6 - 12 \text{ jam}$$

$$f = < 50 \text{ km}^2$$

iii. Metode Haspers

- a. Memiliki koefisien aliran (α) yang dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\alpha = \frac{1+0,012f^{0,7}}{1+0,075f} \quad (2.38)$$

- b. Memiliki koefisien reduksi (β) yang dihitung menggunakan persamaan:

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t(3,7 \times 10^{-0,41})}{(t^2+15)} \times \frac{f^{3/4}}{12} \quad (2.39)$$

- c. Memiliki waktu konsentrasi (t_k) yang dihitung menggunakan persamaan:

$$t_k = 0,1L^{0,8}i^{-0,3} \quad (2.40)$$

- d. Memiliki hujan maksimum (q) yang dihitung menggunakan persamaan:

$$q = \frac{R_t}{3,6t} \quad (2.41)$$

Keterangan:

t = Waktu curah hujan (mm/jam)

q = Hujan maksimum ($\text{m}^3/\text{km}^2/\text{det}$)

\bar{R} = Curah hujan maksimum rata-rata (mm)

S_x = Simpangan Baku

Y = variable simpangan pada periode ulang T tahun

R_t = curah hujan dengan periode ulang T tahun (mm)

Berdasarkan metode ini ditentukan untuk $t < 2$ jam:

$$R_t = \frac{t \cdot R_{24}}{t+1-0,0008(260-R_{24})(2-t)^2} \quad (2.42)$$

Keterangan:

t = waktu curah hujan (jam)

R_{24} = Curah hujan dalam 24 jam (mm)

R_t = curah hujan dengan waktu t jam (mm)

Untuk $2 \text{ jam} < t < 19 \text{ jam}$:

$$R_t = \frac{t.R_{24}}{t+1} \quad (2.43)$$

Untuk $19 \text{ jam} < t < 30 \text{ hari}$:

$$R_t = 0,707R_{24}\sqrt{t+1} \quad (2.44)$$

Keterangan:

t = Waktu curah hujan (hari)

R_{24} = Curah hujan dalam 24 jam (mm)

R_t = curah hujan dengan waktu t jam (mm)

3. Hidrograf Satuan Sintesis (HSS)

i. Metode Nakayasu

$$Q_p = \frac{c.A.R_{24}}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \quad (2.45)$$

$$Q_{base\ flow} = 0,5 Q_p \quad (2.46)$$

Keterangan:

Q_p = Debit puncak banjir (m^3/det)

c = Koefisien aliran permukaan

A = Luas DAS (km^2)

L = Panjang sungai utama (km)

R_{24} = Curah hujan (mm)

$Q_{base\ flow}$ = Aliran dasar (m^3/det)

T_g = Waktu konsentrasi (jam)

$$= 0,4 + 0,058L \quad (L \geq 15 \text{ km})$$

$$= 0,21L^{0,7} \quad (L < 15 \text{ km})$$

T_r = Satuan waktu dari curah hujan (jam); ($0,5T_g$ sampai $1T_g$)

T_p = Waktu permulaan banjir sampai puncak hidrograf banjir (jam)

$$= T + 0,8 T_r$$

$T_{0,3}$ = Waktu puncak banjir sampai 0,3 kali debit puncak banjir (jam)

$$= \alpha T_g$$

α = Koefisien karakteristik DAS (Daerah pengaliran biasa $\alpha = 2$)

Dalam melakukan perhitungan pada debit tiap jam pada hidrograf, maka perlu di lihat waktu saat jam terjadinya banjir. Berikut merupakan penjelasan perhitungannya:

i. Saat kurva naik ($0 < t < T_p = 3,33$)

$$Q_1 = Q_p \times \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \quad (\text{m}^3/\text{det}) \quad (2.47)$$

ii. Saat kurva turun ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}} \quad (\text{m}^3/\text{det}) \quad (2.48)$$

iii. Saat kurva turun ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\frac{(t-T_p)+(0,5 \times T_{0,3})}{1,5 \times T_{0,3}}} \quad (\text{m}^3/\text{det}) \quad (2.49)$$

iv. Saat kurva turun ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{\frac{(t-T_p)+(0,5 \times T_{0,3})}{2 \times T_{0,3}}} \quad (\text{m}^3/\text{det}) \quad (2.50)$$

Dalam menghitung debit banjir total yang diakibatkan oleh sebaran hujan diperlukan perhitungan sebagai berikut:

$$Q_{total} = U_1 \cdot R_{ei} + U_2 \cdot R_{ei1} + U_3 \cdot R_{ei2} + U_n \cdot R_{ei(n-1)} + Q_b \quad (2.51)$$

Keterangan:

Q_{tot} = Debit banjir total perjam dalam periode ulang R tahun
(m^3/det)

U_a = Ordinat unit hss ($Q_1; Q_r; Q_t$) (m^3/det)

R_{ei} = Hujan efektif (mm)

Q_b = Aliran dasar atau *base flow* (m^3/det)

ii. Metode *Soil Conservation Service* (SCS)

Hidrograf satuan tak berdimensi SCS merupakan hidrograf sintesis yang dijadikan dalam bentuk perbandingan debit q dengan debit puncak (q_p) dan waktu (t) dengan waktu naik (T_p) seperti pada Gambar 2.5.

Dalam kajian yang dilakukan terhadap banyak hidrograf satuan, waktu turun dapat diperkirakan sebesar $1,67 T_p$ dengan basis hidrograf $t_p = 2,67 T_p$. Untuk limpasan 1 cm diperoleh debit puncak sebagai berikut:

$$q_p = \frac{CA}{T_p} \quad (2.52)$$

Keterangan:

q_p = Puncak hidrograf satuan (m^3/det)

C = Konstanta (2,08)

A = Luas DAS (km^2)

T_p = Waktu naik atau waktu yang diperlukan antara permulaan hujan sampai puncak hidrograf (mm)

Lama waktu keterlambatan (*time lag*):

$$t_p = 0,6T_c \quad (2.53)$$

Keterangan:

t_p = Waktu kelambatan atau waktu antara titik berat curah hujan hingga puncak hidrograf (jam)

T_c = Waktu konsentrasi yang dapat dihitung menggunakan persamaan KIRPICH (1940)

$$T_c = 0,01947L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \quad (2.54)$$

Keterangan:

T_c = Waktu Konsentrasi (menit)

L = Panjang maksimum lintasan air (m)

S = Kemiringan DAS = $\Delta H/L$

ΔH = Perbedaan ketinggian antara titik terjauh di DAS dengan outlet Waktu naik (*time of rise*)

$$T_p = \frac{t_r}{2} + t_p \quad (2.55)$$

Keterangan:

T_p = Waktu naik (jam)

t_r = Lama terjadinya hujan efektif (jam)

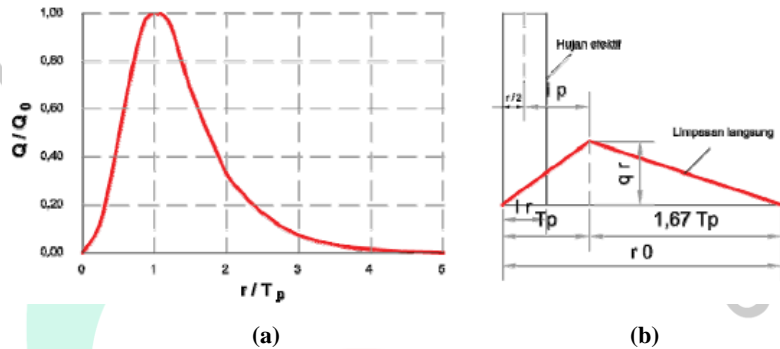
t_p = Waktu keterlambatan (jam)

Langkah perhitungan:

1. Ambil durasi hujan T_c dari data hujan yang ada
2. Hitung waktu T_c
3. Hitung waktu keterlambatan t_p
4. Hitung waktu naik T_p

5. Hitung puncak hidrograf satuan q_p
6. Hidrograf tidak berdimensi (Gambar 2.5 a)
7. Hidrograf satuan segitiga (Gambar 2.5 b)(b)

Gambar 2.5 didapatkan dengan mengalikan sumbu horizontal dengan T_p dan sumbu vertikal dengan q_p serta basis hidrograf $t_p = 2,67T_p$.



Gambar 2.5 Hidrograf Satuan Sintetik (SCS) (Sumber: SNI 2415: 2016)

iii. Metode SHS Snyder

Perhitungan hidrograf satuan dengan metode Snyder sebagai berikut:

$$t_p = C_1(L \cdot L_c)^n \quad (2.56)$$

Keterangan:

L = Panjang sungai (km)

L_c = Panjang sungai dari titik berat basic ke outlet (km)

t_p = Waktu titik berat curah hujan efektif ke puncak banjir

C_1, n = Koefisien yang tergantung pada karakteristik daerah pengalirannya

$$q_p = 275 \frac{c_p}{t_p} \quad (2.57)$$

Keterangan:

q_p = Debit maksimum hidrograf satuan (liter/det/km²)

c_p = Koefisien tergantung pada karakteristik daerah pengalirannya

$$t_c = \frac{t_p}{5,5} \quad (2.58)$$

Keterangan:

t_c = Lamanya curah hujan efektif

Jika $t_c > t_R$, maka:

$$t'_p = t_p + 0,2(t_R - t_c) \quad (2.59)$$

Sehingga waktu yang didapat untuk mencapai debit maksimum adalah sebagai berikut:

$$T_p = t'_p + 0,5(t_R - t_c) \quad (2.60)$$

Jika $t_c < t_R$, maka:

$$T_p = t_p + 0,5t_R \quad (2.61)$$

Keterangan:

T_p = Waktu kenaikan banjir

t_R = Durasi hujan efektif (jam)

$$Q_p = q_P \cdot \frac{25,4A}{1000} \quad (2.62)$$

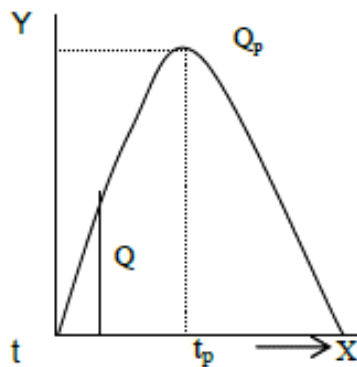
Keterangan:

Q_p = Debit maksimum total (m³/det)

q_P = Debit maksimum hidrograf satuan (1 liter/s/km²)

A = Luas daerah aliran (km²)

Bentuk hidrograf satuan dari persamaan Alecseyev disebutkan sebagai berikut:



Gambar 2.6 Hidrograf Satuan (Sumber: SNI 2415: 2016)

$$Q = f(t) \quad (2.63)$$

$$Y = \frac{Q}{Q_P}, X = \frac{t}{T_p} \quad (2.64)$$

$$Y = 10^{-a} \frac{(1-x)^2}{x}, \text{ persamaan Alexseyev} \quad (2.65)$$

$$\partial = \frac{Q_p T_p}{W} \quad (2.66)$$

$$a = 1,32 \lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045(85) \quad (2.67)$$

$$W = 1000h.A$$

h = Curah hujan efektif (mm)

4. Kala Ulang Untuk Bangunan Air

Menurut Sri Harto (1993), dalam memilih besarnya kala ulang banjir rancangan untuk setiap jenis bangunan tidak terdapat kriteria dan pedoman yang pasti. Kala ulang sendiri harus bisa menghasilkan rancangan yang memenuhi syarat, dalam arti bahwa bangunan hidraulik yang dibangun masih dapat berfungsi dengan baik selama waktu yang ditetapkan, baik struktural maupun fungsional. Penggunaan kala ulang juga disesuaikan kedalam kepentingan, umur, dan masa pemeliharaan bangunan air. Sebagai gambaran, pada Lampiran 6.13 merupakan beberapa nilai kala ulang banjir rancangan yang digunakan oleh Departemen Pekerjaan Umum untuk berbagai bangunan di sungai (Srimoemi Doelchomid, 1987).

2.5 Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika menurut SNI 1724: 2015 adalah suatu hal yang berkaitan dengan air dan material yang dibawanya dan gaya yang dihasilkan. Terdapat dua macam jenis aliran yang ada pada analisis hidrolika yaitu aliran saluran tertutup dan terbuka. Aliran pada sungai termasuk kedalam analisis hidrolika aliran saluran terbuka. Tujuan dari analisis hidrolika yaitu untuk mendapatkan kapasitas penampang sungai dengan rumus perhitungan pada analisis hidrolika terdapat pada Rumus 2.68 dan 2.69.

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS version 6.3.1 dengan metode *coupling* 1D-2D. Perangkat lunak HEC-RAS ini memiliki kemampuan dalam melakukan stabilitas 1D dan pemodelan aliran *unsteady*, pemodelan aliran *unsteady* 2D dengan

kombinasi *unsteady* 1D-2D. Dalam penelitian ini digunakan HEC-RAS 1D-2D untuk mempermudah proses simulasi perhitungan analisis hidrolika dan guna mendapatkan peta banjir yang terjadi pada Kawasan yang diteliti.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Dasallas, dkk (2019) mengenai HEC-RAS *Coupled Model* memiliki *lateral structure* untuk digunakan sebagai penggabungan 1D dan 2D pada aplikasi HEC-RAS sebagai penghubung antara aliran sungai pada 1D yang meluap ke dataran banjir pada 2D. Hal ini membuat metode 1D-2D *Coupled Model* dapat diberikan bangunan air. Dari limpasan banjir yang meluap *lateral structure* ditentukan dengan persamaan aliran pada 2D atau persamaan dari *weir* seperti pada Rumus 2.68.

$$dQ = C(y_{ws} - y_w)^{\frac{2}{3}}dx \quad (2.68)$$

Keterangan:

dQ = Limpasan Struktur (m)

C = Koefisien *weir* (Lampiran 6.14)

y_{ws} = Elevasi Muka Air (m)

y_w = Elevasi Struktur (m)

dx = Jarak Elemen (m)

Pada perangkat lunak HEC-RAS ini dikerjakan terlebih dahulu bagian penampang sungai agar luas dari penampang sungai dapat dihitung. Dalam mendukung fungsi saluran pengantar air maka dibagi dengan sejumlah bagian pada penampang saluran. Pada pembagian penampang sungai dibagi berdasarkan oleh nilai n (koefisien *manning*). Aliran yang berada di bagian penampang bisa dihitung menggunakan persamaan *manning*, sebagai berikut:

$$Q = KS^{1/2} \quad (2.69)$$

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \quad (2.70)$$

Keterangan:

Q = Debit banjir saluran alir (m^3/det)

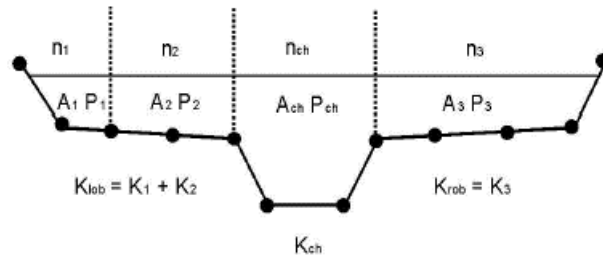
K = Nilai pengantar aliran unit

n = Koefisien kekasaran *manning*

A = Luas penampang

R = Jari-jari hidrolika

Agar bisa mendapatkan nilai K diperlukan perhitungan berdasarkan kekasaran *manning* yang dimiliki oleh penampang tersebut yang disebutkan pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7 Penampang Saluran Aliran (Sumber: Istiarto, 2014)

Setelah menemukan penampang saluran yang telah ditentukan maka bisa dilakukan analisis profil aliran menggunakan *software* HEC-RAS dengan menggunakan dua jenis asumsi yaitu *steady* dan *unsteady*. *Steady* meruokan aliran yang memiliki parameter aliran kecepatan (v) tidak berubah selama selang waktu tertentu. *Unsteady* merupakan aliran yang parameternya berubah-ubah selama selan waktu tertentu. Konsep perhitungan dasar yang digunakan oleh aliran *steady* dan *unsteady* adalah sebagai berikut:

1. Persamaan Energi

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} h_e \quad (2.71)$$

Keterangan:

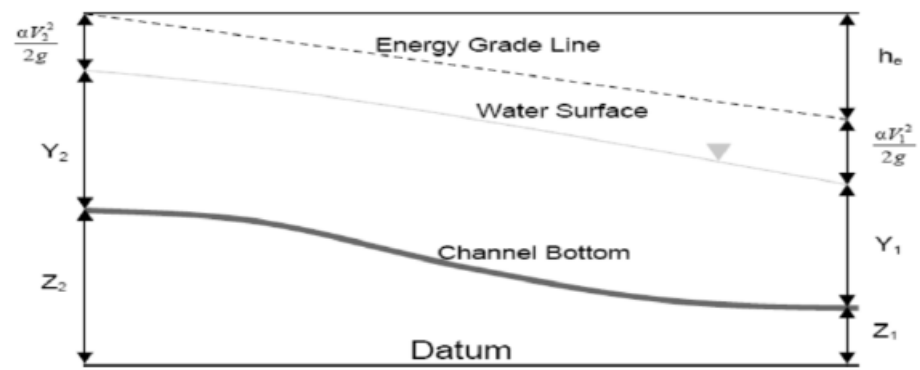
Y_1, Y_2 = Tinggi air pada saluran

Z_1, Z_2 = Elevasi dasar saluran

V_1, V_2 = Kecepatan aliran

$\alpha_1 \alpha_2$ = Koefisien kecepatan

h_e = Kehilangan energi



Gambar 2.8 Persamaan Energi Hidrolika (Triadmodjo, 2009)

Sehingga nilai h_e dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$h_e = L\bar{S}_f \left| \frac{\alpha_2 V_2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1}{2g} \right| \quad (2.72)$$

Keterangan:

L = Jarak antara kedua penampang

\bar{S}_f = Kemiringan aliran

C = Koefisien kehilangan energi

2. Persamaan Momentum

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \quad (2.73)$$

3. Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \sum Q_m - \sum Q_{out} \quad (2.74)$$

Pada aliran *steady* dan *unsteady* terjadi perbedaan hasil dimana pada aliran *steady* debit yang masuk sama dengan debit yang keluar. Tetapi, untuk aliran *unsteady* terjadi perbedaan karena debit yang masuk tidak sama dengan debit yang keluar.

Menurut jurnal yang dibuat oleh Farida Akiyanova (2022), Setelah didapatkan persamaan dasar dari profil aliran yang digunakan maka bisa dilakukan kalibrasi model yang merupakan salah satu langkah penting selama pembuatan model. Langkah ini dilakukan untuk menguji kinerja dari model yang dibuat terhadap data yang diamati. Selain itu, dapat digunakan juga untuk meningkatkan keakuratan model dengan menggunakan berbagai koefisien. Parameter kalibrasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah koefisien kekasaran dari masing-masing peta

tutupan lahan. Pemodelan ini dikalibrasi secara manual untuk mendapatkan kekasaran yang sesuai dan dapat diterima dalam pemodelan manual menggunakan HEC-RAS.

Untuk akurasi model dapat dilakukan evaluasi dengan menggunakan rumus persamaan berikut:

$$F = \frac{A}{A+B+C} \times 100 \quad (2.75)$$

A = Area yang diprediksi dengan benar akan banjir

B = Area yang kering saat pengamatan tetapi basah saat dilakukan simulasi

C = Area banjir yang basah saat pengamatan tetapi kering saat simulasi

F = Tingkat kesamaan yang diamati dengan yang disimulasi

2.6 Penelitian Terdahulu

1. Pengendalian Banjir Kali Pesanggrahan Berwawasan Terpadu dan Berkelanjutan

Penelitian ini dilakukan oleh Trihono Kadri (2008) terkait dengan pengendalian banjir pada Kali Pesanggrahan, banjir yang terjadi di Kali Pesanggrahan terjadi secara periodik dan disebabkan oleh perubahan penggunaan lahan sehingga menurunnya resapan air dan menyebabkan kenaikan aliran limpasan di kali tersebut. Pada penelitian ini, peneliti melakukan perencanaan penanggulangan banjir dengan mengurangi luapan air dan memperbaiki kerusakan tebing sungai yang terjadi akibat daya rusak air. Dalam melakukan analisis hidrologi, peneliti menggunakan hitungan hidrograf banjir dengan metode hidrograf satuan sintetik GAMA-I dengan curah hujan yang digunakan didasarkan dari hasil pengukuran di stasiun Dramaga, stasiun Sawangan, dan stasiun Jonggol. Data hujan yang ditetapkan oleh peneliti adalah pada tahun 1985-1998 dengan menghitung hujan harian rerata menggunakan metode polygon Thiessen. Setelah mendapatkan debit banjir rencana, peneliti melakukan analisis hidrolika menggunakan program HEC-RAS dan mendapatkan bahwa kapasitas

tampung sungai sepanjang Kali Pesanggrahan sangat bervariasi sekitar 50-60(m^3/det). Setelah dianalisis didapatkan bahwa dalam menangani kerusakan tebing sekitar Kali Pesanggrahan dapat diatasi dengan membangun konstruksi turap tanpa anker dari bahan beton bertulang, *cantilever wall* dari beton bertulang, dan *retaining wall* dari pasangan batu.

2. Kajian Hidrologi dan Analisa Kapasitas Tampang Sungai Kruen Langsa Berbasis HEC-HMS dan HEC-RAS

Penelitian ini dilakukan oleh Ichsan Syahputra (2015) mengenai kajian hidrologi dan analisa kapasitas sungai yang berlokasi di Sungai Krueng Langsa. Sungai Krueng Langsa merupakan sungai yang berlokasi di tengah-tengah pemukiman penduduk dan luapannya berpotensi menyebabkan banjir musiman. Peneliti melakukan simulasi hidrologi yang berdasarkan data curah hujan dengan dianalisis menggunakan *software* HEC-HMS sehingga didapatkan debit banjir sebesar 59,30 (m^3/det). Analisis *passing capacity* didapatkan debit banjir pada penampang eksisting sebesar 60,07 (m^3/det) yang hampir mendekati nilai debit banjir eksisting berdasarkan model HEC-HMS. Hasil Analisa HEC-RAS dengan simulasi input Q 2 tahun, terhadap 140 *cross section* memberikan gambaran bahwa hampir seluruh alur sungai mengalami kondisi luapan banjir dan hanya beberapa bagian saja yang tidak mengalami luapan banjir. Setelah dilakukan analisis dalam pengendalian banjir, maka peneliti merencanakan untuk melakukan normalisasi sungai dengan memperbesar dimensi penampang sungai eksisting dengan lebar dasar rata-rata 20 m menjadi 60 m dan merencanakan peninggian elevasi puncak tanggul +2.00 m dengan tinggi jagaan 0.50 m dari tinggi muka air banjir.

3. Analisis Banjir Menggunakan Software HEC-RAS 4.1.0 (Studia Kasus Sub-DAS Ciberang HM 0+00-HM 34+00)

Penelitian ini dilakukan oleh Restu Wigati, Soedarsono, dan Tia Mutia (2016) mengenai analisis banjir yang berlokasi di Sungai Ciberang, Kabupaten Lebak. Banjir yang dialami di Sungai Ciberang

disebabkan oleh kurangnya kapasitas penampang sungai sehingga dimensi sungai tidak mampu menampung debit banjir yang ada dan menyebabkan sungai meluap. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui besar debit banjir Sungai Ciberang dan mengidentifikasi daerah rawan banjir dengan memberikan solusi pada masalah banjir yang terjadi di Sungai Ciberang. Peneliti menggunakan data sekunder berupa curah hujan harian selama 10 tahun dengan data dimensi penampang sungai memanjang dan melintang Sub-DAS Ciberang. Hasil perhitungan hujan rencana dengan kala 50 tahun yaitu 105,875 mm dengan durasi hujan 6 jam dan durasi puncak pada jam ke 3 yaitu 57,713 mm, adapun perhitungan debit banjir rencana menggunakan HSS SCS dan didapatkan nilai debit puncak 523,174 (m³/det). Sedangkan perhitungan debit banjir menggunakan HSS Snyder didapat sebesar 1228,162(m³/det), selanjutnya dilakukan simulasi untuk mengetahui kapasitas tampung sungai menggunakan *software* HEC-RAS dengan metode Snyder. Hasil yang didapat setelah dilakukan analisis menggunakan HEC-RAS Sub-DAS Ciberang tidak dapat menampung debit aliran yang terjadi sehingga dibutuhkan perbaikan pada sungai dengan normalisasi sungai dan peninggian tanggul.

4. Analisis Rencana Tinggi Tanggul Banjir DAS Bangkatan Sebagai Alternatif Pengendalian Banjir Kota Binjai

Penelitian ini dilakukan oleh Asril Zevri dan Dwi Purwanto (2020) mengenai analisis tinggi tanggul banjir Daerah Aliran Sungai Bangkatan sebagai salah satu alternatif dalam pengendalian banjir Kota Binjai. Penelitian ini dilakukan di DAS Bangkatan yang memiliki luas hampir mencakup seluruh Wilayah Kota Binjai dengan melakukan perhitungan tinggi muka air banjir dengan pendekatan kualitatif berdasarkan simulasi HEC-RAS antara debit banjir kala ulang dengan ukuran memanjang dan melintang penampang sungai. Metodologi kegiatan dalam penelitian ini yaitu menganalisis curah hujan harian maksimum rata-rata pada Kawasan DAS Bangkatan dengan, curah hujan periode ulang 2 sampai 100 tahun, debit banjir periode ulang 2

sampai 100 tahun, tinggi muka air banjir dengan analisis *software* HEC-RAS, dan merencanakan tanggul banjir. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa tinggi muka air pada bagian hulu sungai sebesar 2,2 m dengan penampang tengah 2,34 m dan penampang hilir 1,40 m. Setelah peneliti melakukan analisis maka didapatkan perencanaan peninggian tanggul pada bagian hulu sebesar 2,56 m, pada bagian tengah sebesar 2,73 m, dan pada bagian hilir sebesar 1,70 m.

5. Operation of Gate-Controlled Irrigation System Using HEC-RAS 2D for Spring Flood Hazard Reduction

Penelitian ini dilakukan oleh Farifa Akiyanova dan kawan-kawan (2022) mengenai Pengendalian Sistem Irigasi Terkendali Pintu Air Menggunakan HEC-RAS 2D untuk Pengurangan Bahaya Banjir Musim Semi di Kazhazkstan, banjir yang terjadi karena mencairnya salju di sungai pada musim semi. Pada penelitian ini, peneliti bertujuan untuk menilai kapasitas pengurangan bahaya banjir pada sistem irigasi yang berlokasi di Sungai Yesil dan Nura. Penelitian dilakukan dengan mensimulasikan banjir menggunakan *software* HEC-RAS 2D dan mengendalikan pintu air dari sistem yang sudah ada. Metode yang digunakan adalah meneliti dan mempelajari lokasi yang ditinjau dari survei batimetri dan foto udara, lalu melakukan perbandingan luas gunakan dengan disimulasikan dengan data banjir pada April 2019. Peneliti mendapatkan penyebab dari banjir tersebut karena mencairnya salju lokal pada lokasi yang diteliti. Peneliti menggunakan HEC-RAS 2D pada penelitian ini karena kemiringan area yang ringan, tidak adanya aliran jelas di lembah dan ketidakmampuan model 1D dalam mempresentasikan aliran yang kondisinya cukup kompleks. Dalam menghitung laju aliran pada batas sel menggunakan property hidrolis dari grid dan kedalaman sel aliran menggunakan HEC-RAS 2D, simulasi 2D digunakan untuk algoritma volume implisit. Metode perhitungan yang digunakan adalah persamaan gelombang difusi yang tidak memperhitungkan momen inersia di medan aliran. Hasil yang didapat dari pemodelan ini yaitu peta wilayah yang tergenang air akibat

dari pencairan salju dengan mengetahui lokasi mana saja yang terkena banjir serta lokasi mana yang tingkat banjir nya terparah.

