

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sungai

Sungai terdiri atas alur serta aliran air sungai. Alur sungai ini sendiri merupakan proses alamiah dari daur hidrologi air dimana setelah proses kondensasi terjadi, maka akan turun air hujan ke permukaan tanah dimana air ini akan mengalir dari area yang memiliki kontur lebih tinggi (bagian hulu sungai) ke area dengan kontur yang lebih rendah (bagian hilir sungai). Pada proses pengaliran tersebut air sungai mengalami berbagai macam perlawanan akibat gaya berat yang selanjutnya akan mengalir menuju ke laut ataupun danau baik buatan maupun alami. (Sosrodarsono & Tominaga, Perbaikan Pengaturan Sungai, 2008).

Bagian-bagian dari daerah sungai yakni alur sungai yang terdiri atas tanggul baik alami ataupun buatan, bantaran sungai, serta area bangunan pelengkap sungai. Daerah sungai meliputi mulai dari bagian hulu atau bagian yang berada di daerah pegunungan dengan elevasi yang lebih tinggi dimana umumnya terdapat mata air di daerah tersebut, lalu bagian hilir dengan elevasi yang lebih rendah di daerah daratan. Dalam proses aliran sungai ini, alur sungai akan cenderung berpadu dengan sungai lain yang dikarenakan kontur bumi yang beraneka ragam yang mengakibatkan akan terjadinya pelebaran sungai seiring berjalannya waktu.

Sungai juga memiliki cabang atau anak sungai karena adanya perpaduan dengan berbagai sungai lain akibat dari perbedaan kontur yang kemudian akan bermuara atau memiliki ujung di pantai atau danau. Bagian sungai utama atau *main river* merupakan bagian sungai yang memiliki volume, daerah pengaliran, serta panjang yang cenderung paling besar, sedangkan sungai anak atau bagian tributary merupakan cabang dari sungai utama.

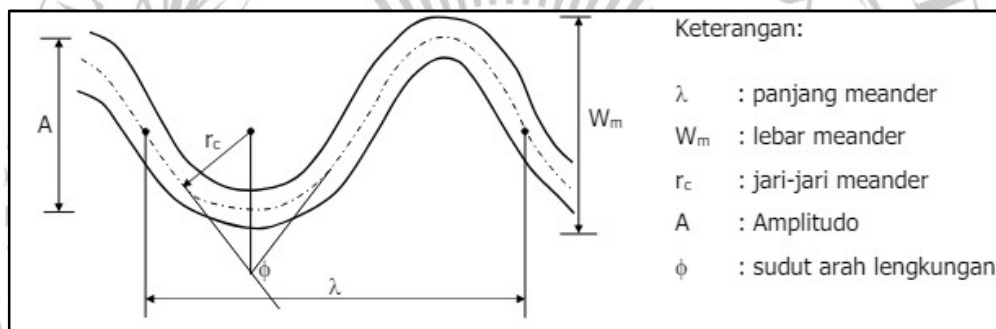
2.1.1 Morfologi Sungai

Menurut Leopold & Wolman, kemiringan, daerah pengaliran, luas pengaliran, kemiringan, kontur daerah sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat yang nantinya akan dimiliki oleh sungai. Daerah dengan bentuk pegunungan memiliki kemiringan tinggi cenderung memiliki daerah pengaliran yang tidak seluas area hilir atau area dengan kontur rendah. Sebaliknya daerah dengan kontur rendah, area

pengalirannya cenderung lebih rendah. Hal ini membuat sungai memiliki beberapa kategori bentuk seperti sungai berurai atau *braided river*, sungai berkelok atau *meandering river*, serta sungai lurus atau *straight river*. (Leopold & Wolman, 1957)

2.1.1.1 Sungai Berkelok (*Meandering*)

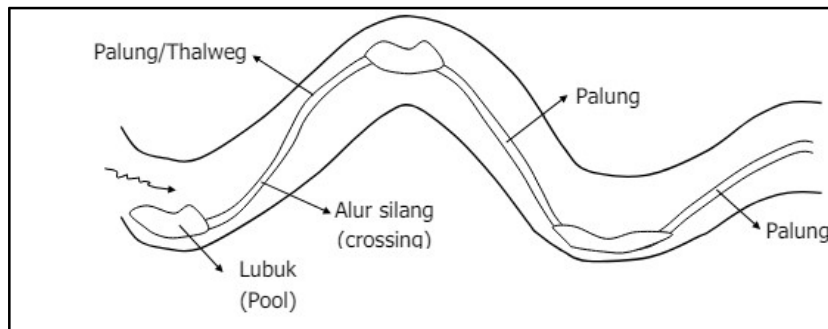
Sungai berkelok atau disebut juga dengan sungai bermeander merupakan sungai dengan alur yang berbelok-belok yang jika dilihat dari atas akan membentuk seperti huruf S yang saling menyambung antar satu belokan dengan belokan lainnya. Formasi dan perubahan bentuk lengkungan sungai yang menyebabkan terjadinya pergerakan menyamping sehingga dapat terjadi pembentukan meander sungai. Pada kenyataan lapangan, arus yang saling berbelok ini terjadi pada sungai dengan bentuk awal sungai lurus yang kemudian akan terjadi endapan setempat sehingga akan terjadi perkembangan bentuk meander sungai.



Gambar 2. 1 Bentuk Sungai Meander.

Sumber: Modul 6-Morfologi Sungai Pelatihan Perencanaan Teknik Sungai, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017.

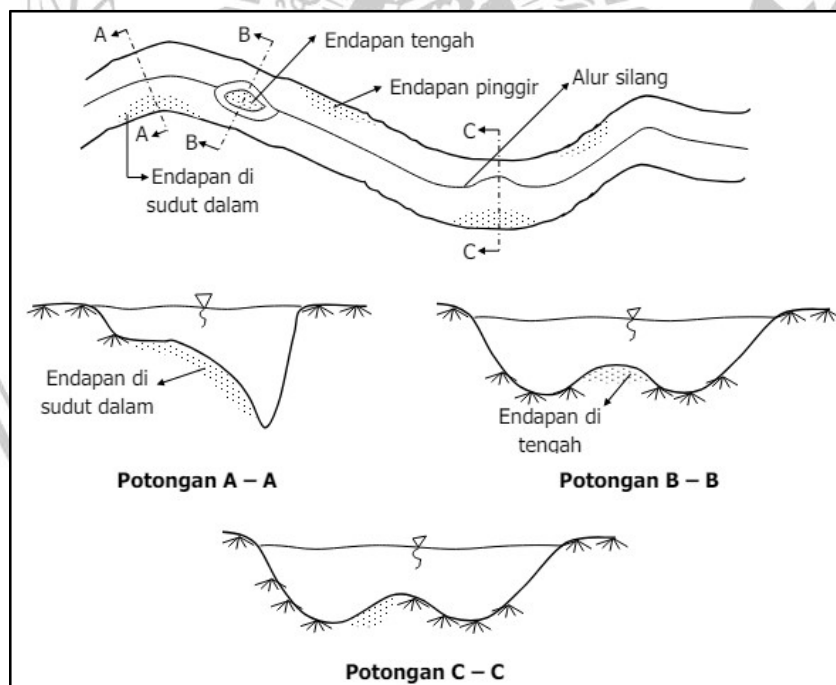
Meander sungai terdiri dari alur yang bersilang (*crossing*) dan lubuk (*pool*). Umumnya alur utama pada meander sungai berupa palung atau thalweg yang akan membentuk aliran sungai dari antar lubuk dengan tipe "S" yang sebelumnya telah dijelaskan. Tampang lintang atau potongan cross section pada area sungai yang bersilang ini akan berbentuk segi empat yang memiliki kedalaman cenderung lebih dangkal. Kecepatan air akan lebih cepat pada saat muka air berada di posisi rendah dibandingkan kecepatan air yang berada di daerah pool atau lubuk sungai.



Gambar 2. 2 Skema Bentuk Meander.

Sumber: Modul 6-Morfologi Sungai Pelatihan Perencanaan Teknik Sungai, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017.

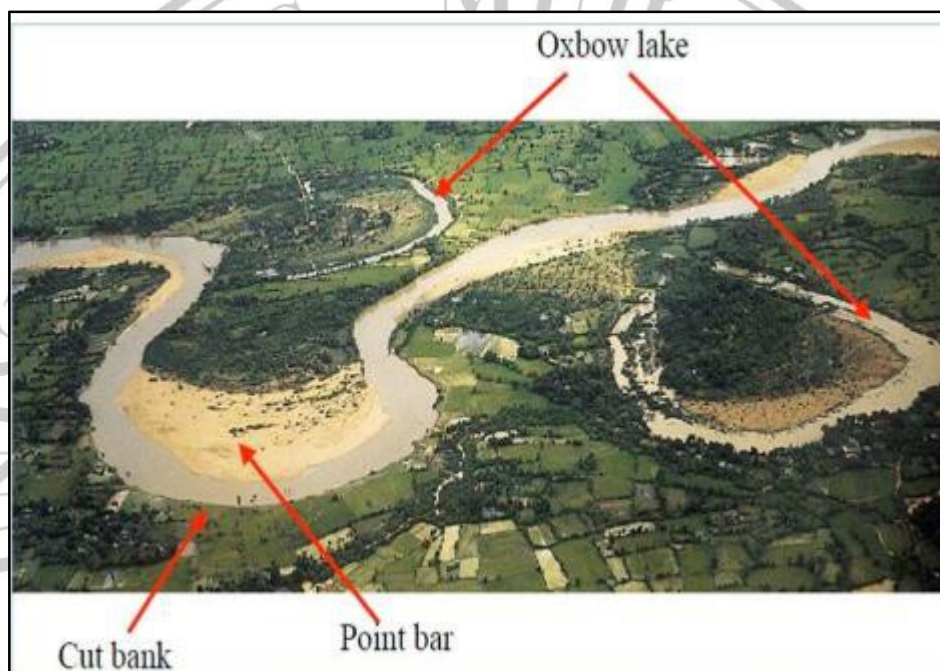
Pada sungai dengan bentuk yang lurus, akan terjadi perubahan pada bentuk morfologi palung sungai dan posisi dari sedimentasi atau endapan yang mengakibatkan tidak terjadinya pemerataan arus sungai pada seluruh aliran sungai, namun cenderung akan berbelok ke arah antar tebing. Proses yang selanjutnya akan terjadi ialah terjadinya proses erosi pada area tebing dengan longoran yang akan turun ke arah berlawanan pada dalam palung. Proses degradasi dan agradasi tebing sungai inilah yang akan membentuk lengungan sungai.



Gambar 2. 3 Proses Meandering.

Sumber: Modul 6-Morfologi Sungai Pelatihan Perencanaan Teknik Sungai, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017.

Proses aggradasi serta degradasi tebing sungai yang berlangsung secara terus-menerus akan membentuk alur sungai yang jika dilihat dari atas akan membentuk seperti huruf "S" yang saling menyambung satu sama lain. Proses aggradasi serta degradasi jika berlangsung dalam kurun waktu yang relatif lama, maka akan ada potensi lengkungan meander yang terbentuk bisa terputus dan membentuk lekukan meander baru. Area meander eksisting ini akan terisi oleh material sedimentasi sungai lalu membentuk lengkungan danau atau oxbow yang umumnya terjadi di area alur yang cenderung aktif.



Gambar 2. 4 Danau *Oxbow*.

Sumber: Modul 6-Morfologi Sungai Pelatihan Perencanaan Teknik Sungai, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017.

2.1.1.2 Sungai Berurai (*Braided Reaches*)

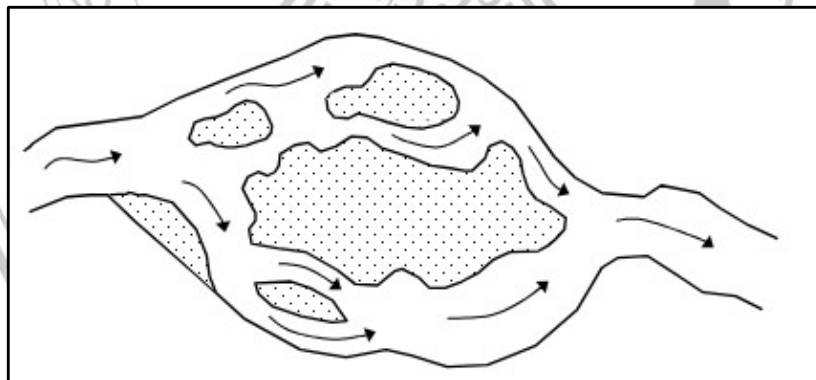
Alur sungai yang terdiri atas beberapa aliran sungai yang saling berkaitan antara satu sungai dengan sungai yang lainnya disebut dengan sungai berurai atau sungai bercabang atau dalam bahasa Inggris disebut dengan Braided Reaches. Sungai berurai ini diakibatkan dari arus sungai yang tidak dapat mengangkut secara maksimal sedimen-sedimen yang terbawa dari hulu karena tingginya beban sedimen yang ada, hal ini mengakibatkan terbentuknya percabangan pada aliran

yang ada. Pengaruh bentuk aliran lebih besar diakibatkan oleh volume sedimen yang ada daripada ukuran sedimen yang ada.

Awal mulaa terjadinya percabangan pada aliran sungai yakni volume sedimen yang diangkut terlalu besar sehingga akan terjadi kenaikan dasar sungai yang akan mengakibatkan bertambahnya angka kemiringan dasar pada sungai. Seiring bertambahnya kemiringan pada dasar sungai, maka kecepatan air akan juga mengalami kenaikan sehingga pada titik tertentu akan membentuk beberapa cabang pada aliran sungai yang kemudian akan terjadi pelebaran sungai secara total.

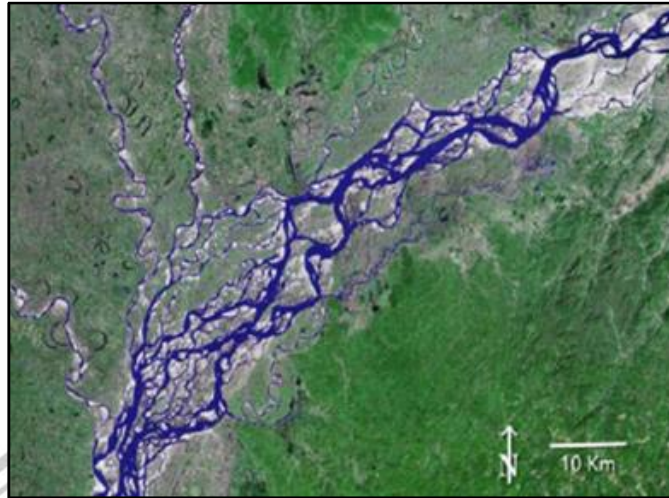
Peristiwa erosi yang terjadi akan lebih mudah muncul jika aliran tersebut terjadi pada area tebing sungai yang mana akan mengakibatkan terjadinya pertambahan pada lebar sungai saat muka air berada pada titik maksimum, serta akan mengakibatkan terjadinya pulau-pulau kecil saat muka air berada pada kondisi dengan elevasi yang cenderung rendah karena adanya endapan sedimen yang terjadi saat posisi muka air tinggi.

Secara umum, kemiringan dasar pada sungai berurai ini cenderung cukup besar dikarenakan beban sedimen yang berada pada dasar sungai mempunyai kapasitas tampungan yang lebih besar jika dibandingkan dengan kapasitas beban sedimen layang dimana umumnya sedimen ini terdiri atas lumpur serta lempung yang memiliki ukuran lebih kecil.



Gambar 2. 5 Skema Sungai Berurai.

Sumber: Modul 6-Morfologi Sungai Pelatihan Perencanaan Teknik Sungai, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017.



Gambar 2. 6 Contoh Sungai Berurai.

Sumber: Modul 6-Morfologi Sungai Pelatihan Perencanaan Teknik Sungai, Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017.

2.1.1.3 Sungai Lurus (*Straight*)

Sungai yang bentuk alirannya menyerupai garis lurus jika dilihat dari atas, disebut dengan sungai lurus atau straight river. Sungai ini biasanya memiliki angka kemiringan yang kecil dimana kondisi morfologinya hampir datar atau curam yang membuat aliran pada sungai tersebut memiliki kecepatan yang cukup tinggi.

2.1.1.4 Tinjauan Morfologi Sungai

Kondisi bentuk dari aliran sungai, geometri sungai ataupun geometri saluran, serta tingkat kemiringan yang ada pada tebing sungai berkaitan dengan kondisi morfologi suatu sungai. Sinosity Index (SI) merupakan index yang digunakan dalam penentuan suatu bentuk sungai apakah akan tergolong sebagai sungai lurus atau sungai berkelok ataukah sungai berurai. Sinosity Index yang digunakan sebagai acuan dari penentuan awal morfologi sungai adalah sebagai berikut.

- Menurut Brice

$$SI = \frac{\text{Talweg leght}}{\text{Valley Leght}} \quad (2. 1)$$

- Menurut Leopold dan Walman

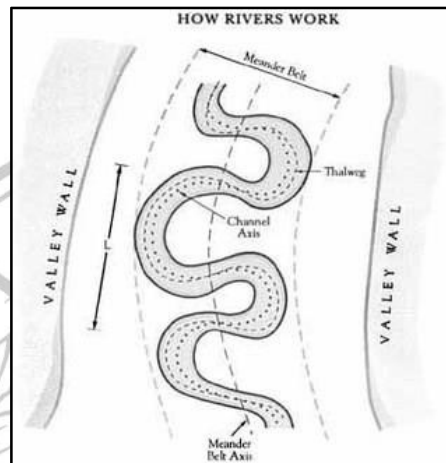
$$SI = \frac{\text{Leight of channel}}{\text{Leght of meander belt axis}} \quad (2. 2)$$

Dengan:

$SI < 1,05$ —————> Sungai yang lurus

$SI > 1,05$ —————> Sungai yang berkelok (*meandering*)

$1,05 > SI < 1,05$ —————> Sungai yang lurus



Gambar 2. 7 Penentuan Parameter Bentuk Alur Sungai.

Sumber: California Rivers and Streams: The Conflict Between Fluvial Process and Land Use, 1995.

2.2 Hidrologi

Hidrologi merupakan suatu bidang pengetahuan yang mempelajari terkait siklus air yang terjadi secara alamiah. Tingkat curah hujan atau presipitasi adalah hal yang paling mempengaruhi wilayah yang memiliki kontur tinggi atau area hulu pada sungai. (C. D. Soemarto, 1999).

Fenomena hidrologi yang berupa fakta yang tercatat secara teratur merupakan bagian data hidrologi yang dalam pelaksanaannya sangat penting dalam adanya pencatatan sumber air, pengelolaan dan pemanfaatan sumber air, serta proses rehabilitasi sumber air yang telah rusak seperti sumber daya air pada tanah dan hutan yang sudah rusak. Data-data yang termasuk dalam data fenomena hidrologi adalah seperti data-data besarnya tingkat penguapan, besarnya kecepatan angin, tingkat debit sungai, intensitas lamanya penyinaran matahari, tinggi muka air, besarnya kecepatan aliran, besarnya curah hujan, serta tingkat konsentrasi dedimentasi sungai yang akan terus berubah seiring berjalannya waktu. Data-data fenomena hidrologi harus tercatat secara rapi baik dalam bentuk tabel ataupun

daftar yang umumnya disertai grafik dari masing-masing tabel tersebut agar lebih informatif dan mempermudah dalam pembacaan data yang ada.

Secara umum sebelum masuk ke tahap perancangan bangunan hidraulik, dilakukan analisis hidrologi terlebih dahulu. Bangunan hidraulik yang dimaksud adalah bangunan air seperti bendungan, tanggul penahan banjir, saluran drainase, dan sebagainya. Hasil dari analisa hidrologi yang dilakukan akan mempengaruhi karakter dari suatu bangunan air serta dimensi dari bangunan air tersebut. Dalam perencanaan rancangan bangunan air, analisis hidrologi juga berpengaruh besar pada hasil akhir fungsional dari bangunan air tersebut agar dapat berfungsi secara efektif dalam jangka waktu tertentu.

Analisis hidrologi dilakukan untuk mengetahui sifat atau karakter hidrologis pada area daerah pengaliran Kali Gedhe atau Sungai Pengkol, terutama di titik lokasi yang akan direncanakan penambahan bangunan krib. Output atau luaran dari analisis hidrologi ini adalah dapat ditentukannya debit banjir rencana pada Kali Gedhe. Adapun data yang dipergunakan dalam analisis hidrologi pada perencanaan krib ini ialah menggunakan data berupa curah hujan yang memiliki kala ulang selama total 14 tahun, dimana data tersebut didapatkan dari pencatatan pada pos curah hujan yang ada di Gunung Pati.

Langkah yang dilakukan dalam analisis hidrologi pada perencanaan krib ini adalah:

1. Menentukan titik pch yang akan digunakan, dalam hal ini menggunakan pos curah hujan Gunung Pati.
2. Menentukan besarnya ch yang terjadi pada pch yang telah ditentukan.
3. Menentukan area Daerah Aliran Sungai (DAS) yang mencakup batas-batas DAS serta luas dari DAS itu sendiri.
4. Menganalisis besarnya ch rencana pada DAS dengan kala ulang 25 th.
5. Menganalisa intensitas CH pada area DAS lokasi.
6. Menganalisa debit banjir rencana yang sesuai dengan analisa curah hujan rancangan yang ada serta intensitas CH dengan kala ulang 25 th.

2.2.1 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai ialah total keseluruhan permukaan yang menangkap secara keseluruhan volume air yang jatuh pada permukaannya dimana keseluruhan air tersebut akan mengalir sesuai dengan kontur tanah menuju ke area hilir atau area yang memiliki ketinggian cenderung lebih rendah dari area lainnya, dalam hal ini mengalir mengarah ke suatu sungai tertentu. Aliran yang terjadi tersebut tak hanya dari air yang mengalir pada permukaan tanah, namun juga termasuk aliran dari area lereng perbukitan. DAS secara umum dibatasi oleh kondisi tertentu dari topografi atau kontur tanah masing-masing. Batas yang ada pada DAS ini tidak ditetapkan dari air yang ada di bawah tanah karena aliran tersebut selalu berubah seiring dengan terjadinya perubahan pada musim dan pemakaian air masyarakat. (Sri Harto, 1993).

Dasar dari segala ilmu dan perhitungan dalam hidrologi adalah DAS baik DAS dalam skala kecil, sedang, maupun skala besar. Jika dilihat dari kondisi topografi muka bumi, DAS ini dibatasi oleh alam seperti bukit, pegunungan, jalan, tanggul. Komponen-komponen yang termasuk dalam DAS meliputi curah hujan satuan, volume dan ukuran dari muatan sedimen, serta debit air pada sungai. (Suripin, 2004). Terkait faktor-faktor yang memperngaruhi besarnya suatu DAS terpapar dalam poin-poin berikut.

1. Luas dan bentuk DAS

Seiring dengan pertambahan area dari DAS, maka kecepatan dan volume aliran yang terjadi pada permukaan juga akan semakin bertambah besar. Namun aliran yang terjadi tak dinyatakan sebagai akumulasi dari luas DAS, tetapi sebagai kecepatan dan volume yang dibagi dengan satuan luas yang ada pada DAS tersebut dimana angkanya dapat bertambah ataupun berkurang sesuai dengan pertambahan atau pengurangan area DAS yang dimaksudkan. Hal ini saling berkaitan dengan lamanya durasi yang diperlukan aliran air dalam mengalir dari suatu titik tertentu (dalam hal ini adalah titik terjauh), ke arah titik kontrol serta intensitas atau penyebaran hujan. Pola aliran sungai juga memiliki pengaruh dalam bentuk DAS nantinya. Pengaruh yang terjadi

dapat dilihat dengan memperhatikan bentuk dari grafik hubungan antara debit dan durasi pada DAS dengan bentuk yang tidak sama dengan DAS lainnya namun memiliki luas dan tingkat intensitas hujan yang sama persis atau kurang lebihnya sama.

2. Topografi

Topografi yang dimaksud ialah keadaan kontur tanah, kemiringan lahan, kondisi saluran yang ada, serta bentuk cekung yang lain yang memiliki pengaruh terhadap kecepatan dan besarnya volume suatu aliran yang mungkin dapat terjadi di permukaan. Tingkat kecepatan serta besarnya volume aliran air yang tinggi diakibatkan dari area DAS yang memiliki kemiringan yang cukup curam serta disertai adanya banyak alur aliran air yang cukup berdekatan jaraknya. Sebaliknya, laju dan kapasitas tampungan aliran yang kecil diakibatkan oleh wilayah yang relatif datar dengan jaranginya dijumpai selokan atau saluran ataupun cekungan pada permukaannya. Besarnya dimensi dari suatu parit yang ada jika dibagi dengan satuan luas DAS yang digunakan akan memberi pengaruh dalam tingkat kerapatan parit. Dalam hal ini, pengaruh yang diberikan adalah tingkat durasi yang dibutuhkan dalam proses konsentrasi, yang kemudian akan berpengaruh pada besarnya kecepatan yang dapat terjadi pada suatu aliran permukaan yang ada.

3. Tata guna lahan

Koefisien pengaliran dengan notasi (C) merupakan koefisien yang dipergunakan untuk menunjukkan tingkat pengaruh tata guna lahan terhadap adanya suatu aliran yang terjadi di permukaan. Koefisien ini merupakan suatu bilangan yang menyatakan rasio antara angka koefisien permukaan terhadap suatu angka curah hujan. Koefisien pengaliran yang ada merupakan tolak ukur dalam menilai keadaan suatu DAS. Angka koefisien ini berada di antara angka 0 hingga 1. Jika nilai dari angka koefisien ini adalah 0, maka semua air hujan diasumsikan masuk menyerap ke dalam tanah secara keseluruhan. Begitu pula sebaliknya, jika angka koefisien ini berada di angka 1, maka hal tersebut

menunjukkan bahwa tidak adanya sama sekali aliran infiltrasi dengan kata lain semua air hujan yang jatuh menjadi limpasan bebas.

2.2.2 Curah Hujan Rencana

a. CH Daerah

Dalam penentuan CH daerah, data yang menjadi landasan perhitungan ialah data curah hujan harianm serta data limpasan. Untuk penentu kualitas suatu data yang akan didapatkan, pemilihan lokasi serta peralatan yang digunakan merupakan suatu indikator yang akan sangat berpengaruh dalam hasil akhir yang akan didapat nantinya. Adanya analisis pada suatu data curah hujan bertujuan untuk menentukan besarnya curh hujan serta apa-apa saja yang perlu dipertimbangkan dalam perhitungan suatu prediksi atau kemungkinan akan terjadi limpasan air atau banjir.

Dalam perhitungan curah hujan rencana ini digunakan data rekapitulasi dari pencatatan curah hujan yang terjadinya secara bersama-sama di wilayah suatu sungai tertentu untuk menghitung besarnya tingkatan limpasan yang akan terjadi. CH yang akan digunakan berupa volume rerata CH yang turun di keseluruhan wilayah DAS tertentu. CH yang akan digunakan ini merupakan curah hujan areal dengan satuan mm (milimeter) (Sosrodarsono & Takeshita, 2003).

Data hujan yang didapatkan merupakan rekapitulasi yang dilakukan terhadap data yang didapat dari alat untuk mengukur hujam pada suatu lokasi tertentu. Meski tingkat variasi yang ada pada curah hujan ini berbeda-beda di tiap-tiap wilayah, maka alat pengukur hujan ini tak dapat dikatakan mewakili suatu curah hujan di area yang besar atau luas. Dalam hal ini, curah hujan regional sangat diperlukan dengan memperoleh besarnya rerata hujan pada beberapa titik lokasi pencatat hujan di wilayah tersebut. Curah hujan di wilayah ini dipertimbangkan dengan menggunakan beberapa stasiun pencatat CH. Cara untuk menghitung rerata CH dari beberapa stasiun pencatan CH adalah sebagai berikut:

1. Metode Rerata Aljabar

Metode rerata aljabar ini merupakan suatu langkah awal yang dilakukan dengan cara pengambilan nilai dari rerata hitung aritmatika dalam pencatatan data di PCH tertentu di wilayah DAS bersangkutan. Dasar perhitungan dari metode rerata ini adalah dengan menganggap bahwa semua titik stasiun pengamatan yang ada memiliki karakteristik sama. Hasil dari metode rerata ini sifatnya dapat dipercaya jika diperkuat dengan lokasi kontur yang datar atau rata, banyaknya lokasi stasiun hujan yang posisinya menyebar di area lokasi perhitungan DAS dilakukan, serta hasil dari pendataan pada tiap lokasi titik pengamatan tidak berbeda jauh dari nilai rerata seluruh stasiun pengamatan yang terdapat pada seluruh wilayah DAS.

$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n} = \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{n} \quad (2.3)$$

Dimana:

R = CH rerata DAS (mm)

R₁, R₂, R_n = CH pada setiap PCH (mm)

n = banyaknya PCH

2. Metode Polygon Thiessen

Metode polygon thiessen merupakan cara yang menggunakan rerata tertimbang sebagai landasannya. Cara ini memberikan suatu perbandingan luas dari area yang dipengaruhi oleh letak dari pos stasiun hujan yang fungsinya adalah untuk mengakomodasi adanya jarak yang berbeda beda di setiap pos stasiun curah hujannya. Garis digambarkan dengan sumbu 90 derajat terhadap suatu garis diantara 2 (dua) pos pencatat hujan yang berdekatan.

Landasan dari perhitungan yang menggunakan metode poligon thiessen ialah variasi pada antar stasiun hujan diasumsikan selinear dengan stasiun hujan lainnya sehingga dapat dianggap mewakili area terdekat (Suripin, 2004).

Metode ini dapat diimplementasikan secara maksimal apabila merata lokasi penyebaran stasiun hujan yang ada serta jumlahnya cukup terbatas jika dibandingkan dengan luasan daerahnya. Hal ini dapat dilakukan dengan cara penginputan parameter daerah yang dapat diwakilkan oleh PCH yang disebut koefisien ala Thiessen. Untuk pemilihan lokasi PCH harus dapat mewakili seluruh DAS yang akan dibangun.

Penentuan titik pch haruslah dapat mencakup keseluruhan wilayah yang akan berpengaruh terhadap perhitungan rencana bangunan. Besarnya angka koefisien ala Thiessen dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut. (C. D. Soemarto, 1999):

$$C = \frac{A_i}{A_{total}} \quad (2.4)$$

Dimana:

C = Koefisien ala Thiessen

A_i = Luas daerah pengaruh dari stasiun pengamatan i (Km^2)

A_{total} = Luas total dari DAS (Km^2)

Tahapan yang dapat dilaksanakan untuk menerapkan metode ini antara lain:

- Menandai lokasi dari setiap PCH pada peta DAS, kemudian membuat suatu jalur garis yang lurus pada antar PCH yang ada.
- Membuat garis yang tegak dan lurus terhadap setiap garis hubung (pastikan posisinya berada pada posisi tengah garis penghubung). Sehingga akan membentuk suatu polygon. Bandingkan jarak antara titik terpendek suatu stasiun ke stasiun lain. Selain itu, curah hujan pada suatu pos stasiun hujan dianggap mewakili curah hujan yang ada pada area di dalam poligon.
- Luas setiap polygon diukur menggunakan planimeter, luas keseluruhan DAS (A) ditentukan dengan melakukan penjumlahan pada semua luas poligon.
- Menghitung curah hujan rerata menggunakan rumus ini.

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.5)$$

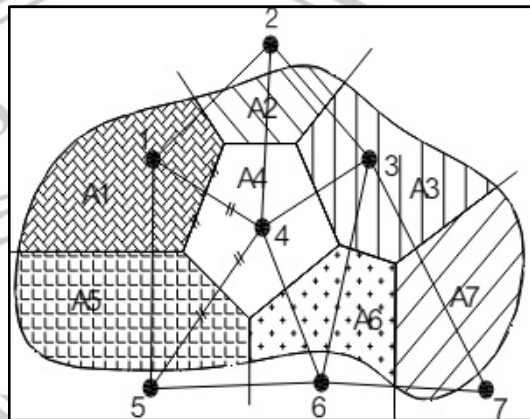
Dimana:

\bar{R} = CH rerata DAS (mili meter)

$A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n$ = Luas daerah pengaruh dari setiap PCH

$A_1 + A_2 + \dots + A_n$ = CH di setiap PCH (mili meter)

n = Jumlah PCH



Gambar 2. 8 Poligon Thiessen.

Sumber: (C. D. Soemarto, 1999)

3. Metode Rerata Isohyet

Metode rerata isohyet merupakan cara yang bisa digunakan untuk memperhitungkan dampak sebenarnya dari semua PCH yang ada. Cara ini mengasumsikan bahwa tiap stasiun pch mencatat besaran curah hujan dengan kedalaman yang sama di setiap daerahnya. Metode isohyet ini cocok digunakan pada daerah dengan kontur yang tinggi atau berbukit yang mempunyai perbedaan kontur tidak beraturan (Suripin, 2004). Tahapan untuk menghitung rerata hujan menggunakan metode isohyet adalah:

1. Data kedalaman air hujan dari masing-masing pch diplot ke peta
2. Gambarlah garis kontour terkait besarnya hujan dengan menghubungkan titik-titik yang tinggi airnya sama. Jarak isofaete yang umum digunakan adalah 10 mili meter.

3. Gunakan alat untuk menghitung luas antara 2 garis isometrik yang berdekatan. Kalikan setiap area dengan curah hujan rerata antara 2 isotherm yang berdekatan.
4. Menghitung CH rerata di DAS tersebut menggunakan persamaan:

$$\bar{R} = \frac{\frac{R_1 R_2}{2} A_1 + \frac{R_3 R_4}{2} A_2 + \dots + \frac{R_n R_{n-1}}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2.6)$$

Dimana:

\bar{R} = CH rerata (mm)

R_1, R_2, \dots, R_n = CH di line isohyet (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n = Luas bagian yang dibatasi oleh line isohyet (km²)

b. CH Maksimum Harian Rerata

Perhitungan yang dilakukan dalam menentukan besarnya CH maksimum harian rerata adalah:

1. Pastikan besarnya CH Max harian yang akan digunakan di suatu tahun tertentu di suatu pch yang ada.
2. Cari ch yang memiliki angka yang sama di tgl, bln dan th yang sama di di setiap PCH lainnya.
3. Dari metode perhitungan CH yang telah dipaparkan sebelumnya, pilih salah satu metode yang cocok, lalu hitung hujannya.
4. Ulangi lagi langkah no satu pada thn yang sama untuk pch lainnya.
5. Ulangi langkah dua dan tiga setiap thn.

2.2.3 Analisis Frekuensi

Dalam analisis frekuensi, suatu peristiwa diperkirakan terjadi rerata setiap x tahun, atau yang berulang setiap x tahun. Peristiwa dalam kurun waktu tertentu belum tentu terjadi setiap 10 tahun sekali, namun peristiwa dalam kurun waktu 10 tahun dapat terjadi 100 kali dalam 1000 tahun.

Data yang dibutuhkan untuk mendukung teori potensi tersebut setidaknya adalah 10 kejadian curah hujan atau limpasan terberat per tahun. Jelas bahwa kita memerlukan data setidaknya sepuluh tahun. Sebagaimana dilihat dari 'rata-rata konversi' untuk data sepuluh tahun pada Tabel 2.2. Faktor ini merupakan penyimpangan sebesar setengah dari harga rerata semua peristiwa. Analisa

frekuensi dilakukan terhadap rangkaian data yang didapat baik melalui pencatatan curah hujan. Analisis ini dianggap sebagai metode yang terbaik karena diukur secara langsung tanpa ditransformasikan terlebih dahulu. Apalagi cara ini bisa dilakukan oleh siapa saja, meski tanpa pemahaman lengkap tentang prinsip hidrologi. Yang terakhir ini memiliki kelemahan yaitu jika terdapat anomali dalam analisis masalah, tidak mungkin diketahui secara pasti jenis penyimpangannya.

Analisis frekuensi ini menentukan kemungkinan besaran aliran banjir di masa depan berdasarkan karakteristik statistik dari data yang tersedia. Atas dasar ini, sifat statistik data masa depan diasumsikan sesuai dengan data yang sudah tersedia. Secara fisik, hal ini berarti karakteristik klimatologi dan hidrologi wilayah sungai tersebut diperkirakan tidak akan berubah. (Sri Harto, 1993).

Probabilitas besarnya suatu curah hujan dalam periode tertentu disebut dengan curah hujan yang merupakan hasil dari rangkaian perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya yakni saat menganalisa frekuensi pada analisis hidrologi. Analisa frekuensi yang telah dilakukan ini merupakan suatu perkiraan atau probabilitas akan terjadinya fenomena hidrologi seperti curah hujan yang akan direncanakan yang selanjutnya akan menjadi landasan dalam melakukan perhitungan atau analisa hidrologi untuk menentukan segala kemungkinan-kemungkinan yang nantinya akan dapat saja terjadi. Teori distribusi probabilitas merupakan teori yang dapat menjadi landasan dalam melakukan analisis frekuensi ini. Sebaran statistik yang umum dipakai adalah sebaran normal, lognormal, Gumbel tipe I, dan log

Cara untuk menganalisa frekuensi untuk menghitung CH rancangan dilakukan secara sistematis dengan menentukan parameter statistik, memilih jenis distribusi, melakukan plotting data, menguji kecocokan distribusi, serta melakukan perhitungan hujan rancangan.

2.2.4 Parameter Statistik

Perhitungan dilakukan untuk mengukur parameter statistik ini yakni menggunakan nilai rerata atau mean, nilai standar deviasi, besarnya koefisien variasi, besarnya koefisien kemiringan, serta nilai yang ada pada koefisien kurtois.

Dalam perencanaan krib pada Kali Gedhe ini, perhitungan dilanasi oleh data rekapitulasi curah hujan harian maksimum selama 14 (empat belas) tahun terakhir (2008 hingga 2021). Proses analisis menggunakan metode matrik dengan bantuan tabel tabel. Untuk mendapatkan nilai variabel statistik, perhitungan menggunakan rumus dasar:

a. Nilai Rerata

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n} \quad (2.7)$$

Dimana:

\bar{X} = rerata CH

X_i = pencatatan dari CH ke-i

n = jml data CH

b. Standar deviasi

Jika hasil nilai pada data memiliki angka yang besarnya jauh lebih besar dari hasil nilai rerata yang ada, maka hasil nilai standar deviasi yang didapatkan nantinya juga besar. Begitu pula sebaliknya, nilai dari standar deviasi yang akan didapatkan itu kecil apabila sebaran data yang terjadi nilainya sangat kecil jika dibandingkan terhadap nilai rata-rata yang ada. Rumus untuk menghitung standar deviasi adalah:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad (2.8)$$

Dimana:

S_d = Angka Standar deviasi CH

\bar{X} = rerata CH

x_i = pengukuran CH ke-i

n = Jml data CH

c. Koefisien variansi

Koefisien variansi atau yang disingkat dengan Cv adalah perbandingan antara simpangan baku distribusi dan mean.

$$Cv = \frac{S_d}{\bar{X}} \quad (2.9)$$

Dimana:

C_v = Angka Koefisien variansi CH

S_d = Nilai Standar deviasi CH

\bar{X} = rerata CH

d. Koefisien Kemiringan

Koefisien kemiringan atau dengan istilah ilmiah "koefisien skewness" merupakan nilai yang menunjukkan derajat asimetri bentuk sebaran.

Besarnya koefisien dihitung sebagai berikut:

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

Dimana:

C_s = Koef. kemiringan

S_d = Angka Standar deviasi

\bar{X} = Nilai rerata CH

x_i = pengukuran CH ke-i

n = Jml data CH

e. Koefisien Kurtois

Koefisien kurtosis merupakan angka yang menampakkan ketajaman lengkung suatu kurva sebaran dan lazim dikomparasi dengan sebaran normal. Koef kurtosis dipakai untuk menetapkan ketajaman lengkung sebaran dan dapat dirumuskan sebagai:

$$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S_d^4} \quad (2.11)$$

Dimana

C_k = Koefisien kurtois

S_d = Angka Standar deviasi

\bar{X} = rerata CH

x_i = pengukuran CH ke-i

n = Jml data CH

2.2.5 Pemilihan Jenis Distribusi

Pemilihan jenis distribusi dilakukan dalam menentukan jenis distribusi apa yang akan digunakan berdasarkan beberapa indikator tertentu. Hal ini dilakukan karena setiap data distribusi memiliki sifat yang unik. Semua data tersebut harus dilakukan pengujian untuk mengevaluasi apakah data yang ada cocok dengan sifat statistik masing-masing distribusi. Terdapat konsekuensi yang besar apabila terjadi kesalahan dalam pemilihan distribusi. Maka dari itu, tidak dianjurkan menggunakan distribusi dengan asal tanpa menguji data distribusi hidrologi yang dimiliki.

Beberapa persyaratan khusus yang harus ada pada data dalam proses analisis frekuensi data hidrologi ialah seperti data harus seragam (homogen), independen, dan representatif. Data seragam atau homogen maksudnya adalah data yang ada harus memiliki asal populasi yang sama dimana stasiun pendataan seperti stasiun curah hujan dan stasiun pengukuran air tidak boleh berpindah. Untuk bagian independen, independen yang dimaksud ialah ukuran data yang bisa dikategorikan sebagai "ekstrim" tidak boleh lebih dari satu data. Selanjutnya, syarat terakhir "representatif" ialah data yang ada harus dapat mewakili estimasi kejadian di masa mendatang. (Sri Harto, 1993).

Tabel 2. 1 Syarat Pengujian Statistik

Jenis Sebaran	Syarat
Normal	$C_s = 0$ $C_k = 3$
Gumbel Tipe I	$C_s \leq 1,1396$ $C_k \leq 5,4002$
Log Pearson Tipe III	$C_s \neq 0$
Log Normal	$C_s \approx 3 C_v + C_v^2 =$

Sumber: Sri Harto, 1993

Pemilihan jenis distribusi untuk menganalisa distribusi frekuensi dapat dipertimbangkan dengan:

a. Distribusi Gumbel Tipe I

Distribusi jenis ini digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk membuat analisis frekuensi banjir. Fungsi dari kerapatan

probabilitas agihan (*Probability Density Function*) dari agihan Gumbel

Tipe I adalah:

$$P(X \leq x) = e^{(-e)^{-y}} \quad (2.12)$$

Dengan $-\infty < X < +\infty$

Dimana:

$P(X \leq x)$ = *Probability Density Function* dari sebaran Gumbel

X = Variable random kontinu

E = +2.71828

Y = Gumbel reduce fac

Untuk melakukan perhitungan CH rancangan dengan metode Gumbel Tipe I digunakan persamaan sebaran frekuensi secara empiris sebagai berikut (C. D. Soemarto, 1999)

$$X_T = \bar{X} + \frac{s}{s_n} (Y_T - Y_n) \quad (2.13)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (2.14)$$

Hubungan antara kala ulang T dengan Y_T bisa ditentukan dengan rumus : untuk $T \geq 20$, maka:

$$\begin{aligned} Y_T &= \ln T \\ &= -\ln \left[-\ln \frac{T-1}{T} \right] \end{aligned} \quad (2.15)$$

Dimana

X_T = hujan rancangan dengan data ukur T tahun

X = rerata CH

Sd = standar deviasi (simpangan baku)

Y_T = angka reduksi variat (*reduced variate*) dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang T tahun.

Y_n = rerata dari reduksi variat (*reduce mean*) nilainya tergantung dari jml data (n).

s_n = deviasi standar dari reduksi variat (*reduced standart deviation*) nilainya tergantung dari jml data (n).

b. Sebaran Log Pearson Tipe III

Sebaran Log-Pearson Tipe III umumnya dipakai untuk melakukan analisa hidrologi, untuk data banjir maksimum dan data banjir minimum yang mengandung angka ekstrim. Format sebaran Log Pearson Tipe III merupakan hasil transformasi distribusi Pearson Tipe III dengan mengganti variabel dengan nilai loggaritmik. Fungsi kepadatan probabilitas untuk distribusi Log-Pearson Tipe III adalah:

$$P(X) = \frac{1}{(a)\Gamma(b)} \left[\frac{x-c}{a} \right]^{b-1} \cdot e^{-\left[\frac{x-c}{a} \right]} \quad (2.16)$$

Dimana:

$P(X)$ = *Probability Density Function* dari sebaran Log-Pearson tipe III dari variat X

X = variat X

a = nila parameter skala

b = nilai parameter bentuk

c = nilai parameter letak

Γ = nilai fungsi gamma

Metode Log Pearson Tipe III dinyatakan sebagai persamaan linier pada kertas lograndom, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematika berikut (C. D. Soemarto, 1999):

$$Y = \bar{Y} + K.S \quad (2.17)$$

Dimana:

Y = angka logaritmik dari X atau log (X)

X = data CH

\bar{Y} = rerata (lebih baik rerata geometrik) nilai Y

S = angka deviasi standar nilai Y

K = nilai karakteristik distribusi Log-Pearson tipe III

Tahapan perhitungannya adalah sebagai berikut:

1. Merubah data curah hujan sebanyak n buah $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi $\log(X_1), \log(X_2), \log(X_3), \dots, \log(X_n)$
2. Menghitung harga reratanya dengan rumus:

$$\overline{\log(X)} = \frac{\sum \log(X_i)}{n} \quad (2.18)$$

Dimana:

$\overline{\log(X)}$ = harga rerata logaritmik

n = jml data

X_i = CH tiap tahun (R_{24} maks)

3. Melakukan perhitungan nilai standar deviasinya dengan rumus berikut:

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \overline{\log(X)}\}^2}{n-1}} \quad (2.19)$$

Dimana:

Sd = angka standar deviasi

4. Melakukan perhitungan nilai koefisien skewness (C_s) dengan rumus:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n \{\log(X_i) - \overline{\log(X)}\}^3}{(n-1)(n-2)Sd^3} \quad (2.20)$$

Dimana:

C_s = Angka Koefisien skewness

5. Melakukan perhitungan logaritma hujan rencana dengan periode ulang T tahun dengan rumus:

$$\text{Log}(X_T) = \overline{\log(X)} + K \cdot Sd \quad (2.21)$$

Dimana:

X_T = CH rancangan kala ulang T th

K = nilai yang diperoleh berdasarkan nilai C_s yang didapat

6. Melakukan perhitungan nilai koefisien kurtosis (Ck) dengan rumus:

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

Dimana:

Ck = angka Koefisien kurtois

7. Melakukan perhitungan angka koefisien variasi (Cv) dengan rumus:

$$Cv = \frac{Sd}{\log(X)} \quad (2.23)$$

Dimana:

Cv = angka koefisien variasi

Sd = angka standar deviasi

c. Sebaran Log Normal

Distribusi lognormal merupakan hasil transformasi distribusi normal dengan mengubah nilai variabelnya. Secara matematis, fungsi kepadatan probabilitas dari distribusi lognormal ditulis sebagai:

$$P(X) = \frac{1}{(\log X) (S) (\sqrt{2\pi})} \cdot \exp \left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{\log X - \bar{X}}{S} \right)^2 \right\} \quad (2.24)$$

Dimana:

P(X) = *Probability Density Function* dari sebaran log normal

X = harga variat pengamatan

\bar{X} = harga rerata dari logaritmik variat X, dihitung dari nilai rerata geometriknya

X = $\{(X_1)(X_2)(X_3) \dots (X_n)\}^{1/n}$

S = angka deviasi standar dari logaritmik nilai variat X

Metode log normal jika digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis linier, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan persamaan sebagai berikut

$$X_T = X + Kt.S \quad (2.25)$$

Dimana:

X_T = CH dengan kala ulang T tahun.

\bar{X} = CH rerata

S = Standar deviasi CH harian

Kt = Standard Variable untuk kala ulang t tahun

2.2.6 Pengeplotan Data

Setelah ditentukan jenis distribusi apa yang akan dipakai, maka dilakukan plotting data yang tujuannya adalah untuk menyingkronkan antara rangkaian data yang ada dengan jenis distribusi yang dipilih dan output dari pengeplotan data ini umumnya dilihat dengan terbentuknya garis lurus dari persamaan garis yang ada. Output dari pengeplotan ini juga bisa dipakai untuk mengetahui angka hasil perhitungan dari data yang baru saja didapatkan (Soewarno, 1995).

Berkaitan dengan tujuan untuk memastikan kakuratan sebaran peluang dalam suatu data hidrologi yang ada yakni menggunakan cara plotting data ke dalam suatu kertas probabilitas yang isinya adalah meluruskan fungsi sebaran. Letak plotting data ini merupakan angka dari peluang yang dipunyai oleh tiap-tiap data yang nantinya akan diplotting ke dalam kertas probabilitas.

Berbagai cara telah ditemukan untuk menentukan lokasi plot, yang mayoritas dilakukan dengan pendekatan secara empiris. Untuk menentukan lokasi tersebut, data hidrologi yang ditabulasi (curah hujan atau banjir) dirangking dari data yang terbesar hingga data yang terkecil (berdasarkan peringkat M). Data bernilai tertinggi dimulai dari $M = 1$, dan data bernilai tertinggi dimulai dari $M = N$, dimana N adalah banyaknya titik data. Data nilai minimum. Periode ulang T_r dapat dihitung menggunakan beberapa persamaan terkenal: Weibull, California, Hazen, Gringorten, Cunnane, Blom, Turkey. Periode ulang dihitung dengan menggunakan data yang telah diurutkan dan salah satu persamaan di atas diplot pada kertas probabilitas sehingga menghasilkan hubungan T_r vs. P (curah hujan) atau Q (aliran banjir) dalam bentuk garis lurus (Suripin, 2004).

Dengan menggunakan teori probabilitas, teori probabilitas memudahkan untuk memperkirakan periode ulang dan perkiraan jumlah curah hujan. Kertas probabilitas normal digunakan untuk CH tahunan yang mempunyai sebaran mendekati normal. Kertas probabilitas lognormal digunakan untuk CH harian maksimum dalam satu tahun dengan sebaran lognormal.

Berkaitan dengan hal tersebut, perlu untuk memilih kertas probabilitas yang cocok dengan sebaran data teoritis dan empiris, dan bentuk sebaran dipastikan oleh deskripsinya. (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985). Posisi plot yang digunakan sesuai dengan metode yang disesuaikan oleh Weibull dan Gumbel:

$$P(X_m) = \frac{m}{n+1} \quad (2.26)$$

Dimana:

$P(X_m)$ = data yang telah diurutkan dari yang besar ke yang kecil

M = nmr urut

N = jml data

2.2.7 Uji Keselarasan Distribusi

Selanjutnya adalah melakukan uji keselarasan distribusi dari pilihan distribusi yang sebelumnya telah ditentukan. Uji keselarasan distribusi ini adalah dengan data yang telah dimiliki, jenis distribusi mana yang sekiranya paling cocok untuk digunakan. Selain itu, uji keselarasan ini bertujuan untuk memastikan apakah persamaan yang nantinya akan digunakan dapat menjadi representasi sebaran probabilitas dari contoh data yang akan dianalisa. (C.D. Soemarto, 1999). Dalam melakukan uji ini, terdapat dua langkah yang harus dilakukan yakni uji keselarasan yang menggunakan Kai-kuadrat, serta uji kesesuaian yang menggunakan smirnov-kolmogorov.

a. Uji Keselarasan Chi square

$$X^2 = \sum_i^N \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (2.27)$$

Keterangan

X^2 : harga chi square

O_i : jml nilai pengamatan pada sub kelompok ke-i

E_i : juml nilai teoritis pada sub kelompok ke-i

N : jml data

Apabila besarnya harga pada nilai X^2 hit dengan besarnya hasil pada X^2 kritis, maka suatu sebaran yang dihitung tersebut bisa dikatakan selaras.

Pada keadaan tertentu, biasanya diambil nilai 5 persen derajat kebebasannya.

$$DK = K - (\alpha + 1) \quad (2.28)$$

$$K = 1 + 3.322 \log n \quad (2.29)$$

$$E_i = n/K \quad (2.30)$$

Keterangan

DK : angka derajat kebebasan

K : jml kelas

E_i : nilai yang diharapkan

n : jml data

α : banyaknya keterikatan, untuk chi square adalah 2

b. Uji Smirnov Kolmogorof

Uji Smirnov-Kolmogorov didapat dari plotting data, probabilitasnya, serta hasil perhitungan empiris dalam format grafik. Simpangan maksimum (Δ maksimum) dapat dilihat dari kedua plot. Penyimpangan tersebut kemudian dibandingkan dengan simpangan toleransi (Δ cr).

2.2.8 Intensitas Hujan Rencana

Tingkat derasnya hujan yang turun di masa tertentu di suatu wilayah dinamakan intensitas hujan rencana yang mana umumnya menggunakan satuan mili meter/jam atau centi meter/jam. Besarnya intensitas hujan akan tinggi apabila volume total air yang turun tersebut konstan dengan waktu turunnya hujan yang makin singkat, begitupula dengan sebaliknya. Metode Monobe merupakan metode yang dapat dipakai dalam perhitungan yang menggunakan data CH harian. Perhitungan Rumus Monobe dapat dihitung menggunakan rumus:

$$I = \left(\frac{X_{24}}{24} x \frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (2.31)$$

2.2.9 Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan bisa dihitung menggunakan cara rasional, dimana diasumsikan:

1. Terjadinya hujan dengan intensitas yang konstan pada semua daerah pengalihan yang sedikitnya sama terhadap waktu konsentrasi pada daerah pengalirannya (t_c).
2. Kala ulang yang digunakan pada debit sama seperti kala ulang yang digunakan pada kala ulang hujan.
3. Meskipun kala ulang yang digunakan berbeda beda, namun koefisien pengaliran yang digunakan adalah sama.

Rumusnya yaitu

$$Q = C \times i \times a \quad (2.32)$$

2.3 Analisis Hidrolika

2.3.1 Aliran

Dalam mengalirkan air ke daerah paling hilir baik itu danau ataupun laut, digunakan saluran drainase sebagai alat parasarannya. Ditinjau dari pembuatannya, saluran ini bisa saluran alami maupun saluran buatan. Namun jika ditinjau dari sisi penyalurannya, saluran ini dibedakan menjadi dua yakni ada saluran tertutup serta saluran terbuka. Saluran tertutup ialah saluran yang memiliki pembatas dinding pada seluruh muka airnya (umumnya disebut dengan saluran pengaliran bertekanan). Sedangkan pada saluran terbuka, ialah saluran yang tidak memiliki dinding pembatas pada seluruh bagian muka airnya.

a. Aliran Permanen

Dalam aliran permanen terdapat 2 jenis aliran yakni aliran dengan kanal terbuka (open channel flow) dan aliran permukaan bebas (free surface flow). Aliran saluran terbuka contohnya seperti aliran permanen (steady flow), aliran non-permanen (unsteady flow), aliran seragam (uniform) serta aliran tak seragam (non-uniform). Sedangkan pada aliran bebas, ialah aliran air yang tekanan atmosferiknya sama seperti tekanan pada alirannya.

b. Aliran Seragam dan Tidak Seragam

Aliran seragam dan tak seragam dipengaruhi oleh aliran yang indikatornya ialah adanya perubahan laju aliran di suatu titik tertentu yang tidak mengalami adanya perubahan terhadap waktu.

c. Aliran Subkritis, Kritis, dan Superkritis

Jika ditemui adanya aliran yang memiliki persamaan antara besarnya laju aliran dengan velocity pada gelombang gravitasi yang memiliki amplitudo kecil, maka aliran tersebut dapat disimpulkan sebagai aliran kritis. Jika ditemukan adanya aliran yang memiliki kecepatan kritis yang lebih besar daripada besarnya kecepatan aliran, maka aliran tersebut dapat dikategorikan sebagai aliran asubkritis. Namun jika ditemukan suatu aliran yang memiliki kecepatan kritis yang besarnya lebih kecil dibandingkan besaran pada kecepatan alirannya, maka aliran tersebut dikategorikan sebagai aliran superkritis. Indikator yang umumnya digunakan untuk menentukan suatu aliran termasuk kedalam aliran apa, yakni menggunakan angka foude yang didapat dari rumus:

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot h}} \quad (2.33)$$

Dengan:

Fr = angka Froude

V = kec. aliran (m/det)

h = kedalaman aliran (m)

g = perc. gravitasi (m/det²)

Berdasarkan besarnya angka Froude, aliran pada kanal terbuka dibedakan :

Fr < 1, alirannya subkritis (menggenang),

Fr = 1, alirannya kritis (mengalir),

Fr > 1, alirannya superkritis (meluncur).

2.3.2 Kecepatan

Kecepatan air dalam suatu kanal umumnya berubah-ubah secara signifikan dari satu tempat lokasi ke tempat lokasi lainnya. Ini dimungkinkan karena adanya permukaan bebas serta gaya geser pada dasar dan dinding pada saluran. Karena tidak mudah untuk memastikan gaya tegang geser dan sebaran kecepatan air yang turbulen, maka dilakukan pendekatan secara

empiris untuk menghitung kecepatan air rerata. Rumus pendekatan secara empiris yang digunakan adalah dengan pendekatan versi Manning:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (2.34)$$

V = kecepatan rerata (meter/detik)

R = Jari2 hidrolik,

$R = A/P$,

A = luas penampang basah (m²),

S = kemiringan dasar saluran,

n = koefisien kekasaran ala Manning

2.4 Perencanaan Bangunan Krib

Bangunan krib merupakan bangunan yang fungsinya adalah mengatur arah dari aliran yang ada pada suatu tikungan atau kelokan sungai, serta memproteksi pinggiran atau tanggul sungai dari kemungkinan terjadinya hempasan air. Krib ini dibuat dari pinggiran lereng atau tebing suatu sungai yang arahnya menuju ke bagian tengah sungai dimana fungsinya adalah untuk mengatur arus sungai seperti mempercepat laju sedimentasi yang terjadi, mengubah arah dari aliran sungai yang sebelumnya telah ada, serta sebagai suatu proteksi tambahan pada tebing lereng sungai atau tanggul sungai untuk meminimalisir terhadinya gerusan pada area tersebut.

Pemasangan bangunan krib yang umumnya berupa batu bronjong ini dapat berfungsi untuk membelokkan arah aliran sungai dari yang awalnya langsung menghantam area tebing sungai menjadi berbelok ke tengah bagian sungai sehingga meminimalisir terjadinya gerusan pada area tebing sungai dimana jika hal ini dapat terjadi, maka aliran sungai yang stabil dapat tercapai dengan baik. Perhitungan dalam perencanaan krib ini cukup kompleks karena harus benar-benar memperhitungkan tingkat kedalaman air yang akan terjadi, kemungkinan pola gerusan yang terjadi, serta tingkat besaran degradasi sungai yang akan dapat terjadi dari pola gerusan yang ada. Semua hal yang telah disebutkan dapat mempengaruhi tingkat kestabilan dari krib yang akan direncanakan. (Sosrodarsono & Tominaga, Perbaikan Pengaturan Sungai, 2008).

Mengacu pada SNI 2400.1:2016 – Bagian 1: Perencanaan Umum”, terdapat beberapa pertimbangan dalam perencanaan penggunaan krib, yakni:

- a. Kondisi morfologi serta karakteristik ataupun sifat dari sungai seperti data debit dan laju aliran sungai, kondisi melintang serta memanjang sungai dapat menunjukkan terdapatnya potensi meander serta potensi bahaya dari gerusan lokal yang mungkin saja akan terjadi dimana bagian pinggir dari sungai tersebut butuh suatu proteksi secara tak langsung agar tidak mudah tergerus saat aliran air menabrak area tersebut.
- b. Adanya suatu anomali pola aliran pada sungai sehingga pada titik tersebut perlu direncanakan adanya perubahan pola arah pengaliran air.
- c. Dibutuhkan pengalihan arah arus sungai sesuai tujuan yang diinginkan
- d. Dibutuhkan adanya suatu usaha untuk menambahkan atau mengurangi kedalaman suatu alur dasar sungai dengan cara memperlebar atau memperkecil kapasitas tampungan sungai.
- e. Ketersediaan material bangunan sesuai dengan krib yang akan digunakan.

2.4.1 Penentuan Karakteristik Aliran

Penentuan atau pemilihan karakteristik pada suatu aliran sungai yang akan dipasang krib dapat dipertimbangkan dengan memikirkan lebih lanjut antara lain:

- a. Besarnya debit rancangan yang dipakai untuk merencanakan bangunan krib.
- b. Penentuan posisi titik krib serta jenis yang akan digunakan dipengaruhi oleh bentuk aliran serta besarnya laju aliran yang terjadi pada sisi tikungan atau belokan sungai.
- c. Tingkat penurunan area dasar aliran sungai ataupun area palung sungai yang ditinjau dari berbagai parameter seperti, kedalaman, panjang, serta lebar sungai.

- d. Besarnya sedimentasi atau pengendapan atau agradasi yang parameternya sama dengan pengendapan dengan parameter: panjang, lebar, dan tinggi serta tebal
- e. Erosi setempat akibat terganggunya pola aliran
- f. Pengerusan tebing akibat gerusan dan lokal scouring
- g. Terjadinya keadaan menuju meandering aliran sungai
- h. Besarnya kecepatan air yang diijinkan yaitu kecepatan air maksimum yang tidak mengakibatkan gerusan.

2.4.2 Penentuan Debit Rencana

Besarnya debit rancangan hasil dari analisa banjir rancangan yang harus diperiksa dan dievaluasi terhadap keadaan morfologi sungai, informasi dari historis yang pernah terjadi di lokasi perencanaan krib, keamanan dan kestabilan konstruksi, resiko dan konsekuensi serta dampak ekonomi ekonomi.

2.4.3 Pemilihan Jenis Krib

Pemilihan jenis bangunan krib untuk perkuatan tebing sungai yang cocok untuk lokasi seharusnya mempertimbangkan kondisi morfologi sungai di lokasi tersebut dengan mengingat tujuan pembangunan, mempertimbangkan tingkat kesulitan pelaksanaan, dan jangka waktu pelaksanaan konstruksinya. Adapun variabel yang harus diperhatikan sebagai pertimbangan penentuan jenis krib adalah sebagai berikut:

- a. Tujuan pembuatan bangunan krib
 1. Melindungi tebing sungai pada tikungan luar yang secara tidak langsung danjika untuk mempertahankan alur bagi jalur navigasi, maka digunakan serial krib permeabel dari konstruksi tiang pancang
 2. Melindungi tebing sungai secara tidak langsung dan atau pengaturan arah alur sungai yang memerlukan faktor estetika seperti pengatuan sungai dalam kota digunakan serial krib dari meterial pasangan batu
 3. Melindungi tebing sungai yang bersifat sementara maka digunakan krib dari bahan kayu

4. Mengarahkan aliran sungai ke arah tengah digunakan krib jenis impermeable
- b. Jenis tanah pada dasar sungai dan tanah pada tebing sungai
1. Tebing sungai yang mudah longsor digunakan konstruksi krib tiang pancang; bisa juga dengan crucuk kayu dolken atau bambu
 2. Dasar sungai yang kondisi tanahnya lunak digunakan konstruksi krib tiang pancang dengan kedalaman pemancangan disesuaikan dengan kondisi tersebut
 3. Dasar sungai yang tanahnya cukup padat menggunakan konstruksi krib dengan meterial bronjong, pasangan batu kali atau juga blok beton
 4. Tebing sungai yang cukup tinggi dipakai konstruksi krib dengan tiang pancang dengan pertimbangan kemudahan dan kecepatan pelaksanaan
 5. Tebing sungai yang rendah atau alur sungai tidak dalam dapat digunakan konstruksi krib dengan meterial pasangan batu dan krib bronjong batu
- c. Jenis sungai
1. Sungai yang lebar dengan arus yang deras pada kemiringan dasar sungai 0,0001 dipakai konstruksi krib dengan tiang pancang atau krib jenis permeabel yang bercelah besar.
 2. Sungai lebar dengan dengan arus deras pada kemiringan dasar sungai antara 0,002-0,02 dipakai konstruksi krib tipe rangka dengan digabung blok beton
 3. Sungai-sungai yang kecil atau alur sungai yang sempit tidak perlu dipasang bangunan krib karena tidak dapat berfungsi dengan baik

Adapun rekapitulasi dari masing-masing pertimbangan pemilihan jenis krib disajikan pada Tabel 2.2 berikut.

Tabel 2. 2 Hubungan Jenis Krib dengan Jenis/Bagian Sungai

Jenis Krib	Bahan Pokok	Jenis/Bagian Sungai	Keterangan
Pasangan batu	Batu kali setempat	Sungai sedang & kecil	Sesuai untuk lokasi agar tidak mudah didapat batu pecah
Blok beton	Blok beton cetak di tempat Blok beton pra cetak	Bagian berarus deras Bagian berarus deras	Jika lokasi pekerjaan memungkinkan
Tiang pancang	Kayu/bambu dan beton	Bagian berarus tidak deras	Terbatas pada lokasi-lokasi yang memungkinkan pemancangan

Sumber: (Sosrodarsono & Tominaga, Perbaikan Pengaturan Sungai, 2008)

2.4.4 Penentuan tata letak

Penentuan tata letak bangunan krib untuk melindungi tebing sungai dengan berpedoman pada standar Tata Cara Analisis Hidrologi dan Hidraulik untuk Desain Bangunan di Sungai (SNI-1724), dengan meninjau hal-hal sebagai berikut:

- a. Pemasangan konstruksi krib baik untuk perlindungan tebing maupun perbaikan arah aliran pada suatu daerah krib harus mempertimbangkan perencanaan sungai secara keseluruhan, dalam rangka mewujudkan konsep pengelolaan sungai secara terpadu
- b. Daerah krib harus ditentukan berdasarkan ketentuan dan dipilih sesuai dengan fungsinya
 1. Di tikungan luar sungai untuk melindungi tebing dari perkembangan sungai arah mendatar
 2. Di tempat longSORan atau gerusan tebing untuk mengembalikan stabilitas tebing dan kondisi aliran
 3. Di alur sungai pada debit kecil untuk mengarahkan aliran agar aliran dapat mengalir menuju dan masuk ke bangunan pengambil
- c. Letak krib di daerah krib
 1. Krib dipasang dengan jarak optimal

2. Letak krib dengan arah tegak lurus paling efektif untuk menciptakan medan krib, sehingga krib tegak lurus paling sesuai untuk pelindung tebing dan pengatur alinyemen horizontal alur sungai
3. Pangkal krib diletakkan pada tebing yang mantab untuk menghindari terobosan arus di belakang krib agar tahan terhadap longsoran tebing, sedangkan untuk tebing dengan tanah yang tidak mantap harus dipertimbangkan berdasar kekuatan sesuai karakteristik butiran tanah
4. Ujung krib diletakkan pada garis sejajar aliran sepanjang daerah krib atau ditentukan dengan uji model hidraulik
5. Krib untuk pendalaman alur bagi navigasi diletakkan pada kedua tebing sungai sepanjang alur yang dikehendaki dengan arah tegak lurus (dapat ditambah krib memanjang pada ujung krib atau arah tajam
6. Peletakan krib sepanjang daerah krib, diambil berdasarkan panjang tebing yang perlu dilindungi dengan memperhitungkan kemungkinan perubahan arus pada keadaan krib terpasang