

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 DAS (Daerah Aliran Sungai)

Daerah Aliran Sungai atau sering disingkat dengan DAS adalah suatu wilayah yang dibatasi oleh batas alam, seperti punggung bukit – bukit atau gunung, maupun batas batuan, seperti jalan atau tanggul, dimana air hujan turun di wilayah tersebut memberi kontribusi aliran ke titik kontrol (outlet) (Suripin, 2002). Daerah aliran sungai adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan (Harisnor & Maya Amalia, 2016).

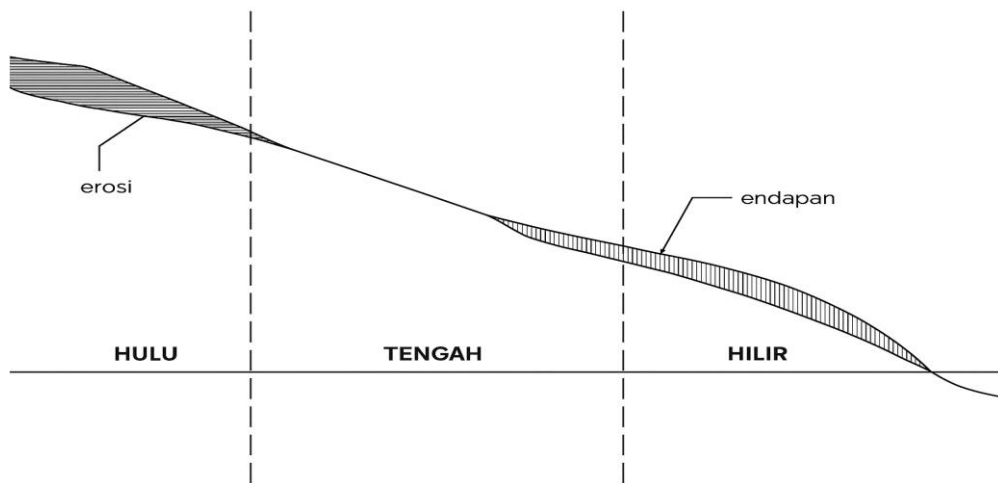
Peraturan Pemerintah nomor 37 tahun 2012 tentang pengelolaan Daerah aliran sungai (DAS), menyatakan bahwa Daerah Aliran Sungai adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. DAS bukan hanya merupakan badan sungai, tetapi satu kesatuan seluruh ekosistem yang ada didalam pemisah topografis. Pemisah topografis di darat berupa daerah yang paling tinggi biasanya punggung bukit yang merupakan batas antara satu DAS dengan DAS lainnya.

2.1.1 Fungsi DAS

Fungsi utama DAS adalah sebagai hidrologis, dimana fungsi tersebut sangat dipengaruhi oleh jumlah curah hujan yang diterima, geologi dan bentuk lahan. Fungsi hidrologis yang dimaksud termasuk kapasitas DAS untuk mengalirkan air, menyangga kejadian puncak hujan, melepaskan air secara bertahap, memelihara kualitas air, serta mengurangi pembuangan massa (seperti terhadap

longsor). DAS yang dipertahankan daya dukungnya adalah DAS yang memiliki kondisi lahan serta kualitas, kuantitas dan kontinuitas air, sosial ekonomi, investasi bangunan 6 air dan pemanfaatan ruang wilayah tidak berfungsi sebagaimana mestinya (Peraturan Pemerintah No. 37, 2012). Alur sungai pada DAS dibagi menjadi tiga bagian (Fauzi, 2022), yaitu :

1. Bagian Hulu merupakan daerah sumber erosi dikarenakan pada umumnya alur sungai di bagian hulu melalui daerah pegunungan, bukit, atau lereng gunung yang terkadang memiliki ketinggian relatif besar dari muka air laut serta memiliki kerapatan drainase lebih tinggi, dan kemiringan lereng besar (lebih besar dari 15%). Alur sungai yang terdapat di bagian hulu umumnya memiliki kecepatan yang lebih besar daripada bagian hilirnya.
2. Bagian Tengah merupakan daerah transisi (peralihan) dari bagian hulu dan hilir dengan kemiringan dasar sungai yang lebih landai, sehingga kecepatan alirannya relatif lebih kecil dari bagian hulu. Bagian tengah ini merupakan daerah keseimbangan antara proses erosi dan sedimentasi yang bervariasi dari setiap musim.
3. Bagian Hilir merupakan daerah pemanfaatan yang umumnya melalui daratan dengan kemiringan dasar sungai landai sehingga kecepatan alirannya lambat, serta memiliki kerapatan drainase lebih kecil, dan kemiringan lereng kecil sampai dengan sangat kecil (kurang dari 8%). Keadaan seperti ini sangat memudahkan terbentuknya pengendapan (sedimen) dengan endapan yang terbentuk umumnya berupa endapan pasir halus, lumpur, endapan organik, dan jenis endapan lain yang sangat labil.



Gambar 2.1 Sketsa Profil Memanjang Alur Sungai
(Sumber : Sosrodarsono & Takeda, 2003)

2.1.2 Bentuk Daerah Aliran Sungai

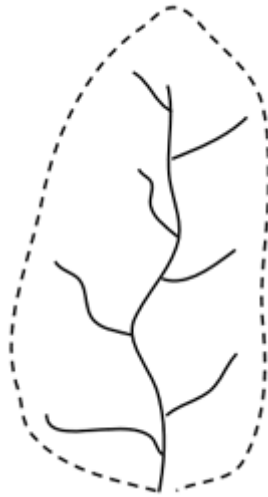
Daerah Aliran Sungai (DAS) dianggap sebagai bagian dari permukaan bumi yang merupakan tempat mengalirkan air hujan menjadi aliran permukaan dan menampungnya di sungai menjadi aliran sungai yang menuju ke suatu titik di bagian hilir sebagai titik pengeluaran. Setiap DAS besar yang bermuara di laut merupakan gabungan dari beberapa DAS, sedangkan sub-DAS merupakan gabungan dari beberapa sub-DAS kecil. Berdasarkan perbedaan-perbedaan yang ada, seperti debit banjir, corak banjir, debit pengairan dasar, dan sebagainya (Verrina dkk., 2013).

Pola sungai akan menentukan bentuk dari suatu DAS yang berpengaruh terhadap kecepatan terpusatnya aliran. Meskipun semua jaringan alur sungai bercabang-cabang dengan cara yang sama akan tetapi masing-masing menunjukkan pola yang berbeda satu dengan yang lain, tergantung pada medan dan kondisi geologinya. Pada umumnya bentuk DAS dapat dibedakan menjadi 4 (Soewarno, 1991), yaitu:

A. DAS Berbentuk Memanjang

Biasanya induk sungainya akan memanjang dengan anak-anak sungai langsung mengalir ke induk sungai. Kadang-kadang berbentuk seperti bulu

burung. Bentuk ini biasanya akan menyebabkan besar aliran banjir relatif lebih kecil karena perjalanan banjir dari anak sungai itu berbeda-beda. Tapi biasanya banjir berlangsung agak lama.

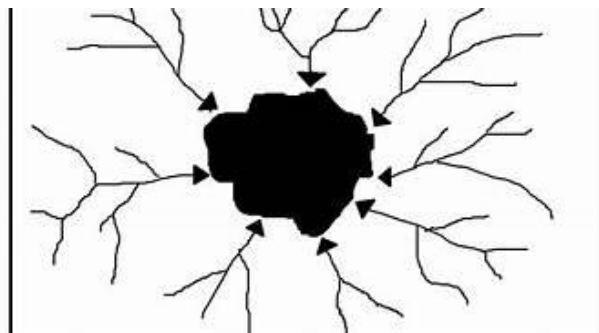


Gambar 2.2 DAS Berbentuk Memanjang

(Sumber : Soewarno, 1991)

B. DAS Berbentuk Radial

Bentuk ini karena arah sungai seolah-olah memusat pada suatu titik sehingga menggambarkan adanya bentuk radial, kadang-kadang gambaran tersebut memberi bentuk kipas atau lingkaran. Sebagai akibat dari bentuk tersebut maka waktu yang diperlukan aliran yang datang dari segala penjuru anak sungai memerlukan waktu yang hampir bersamaan. Apabila terjadi hujan yang sifatnya merata di seluruh DAS akan menyebabkan terjadinya banjir besar.

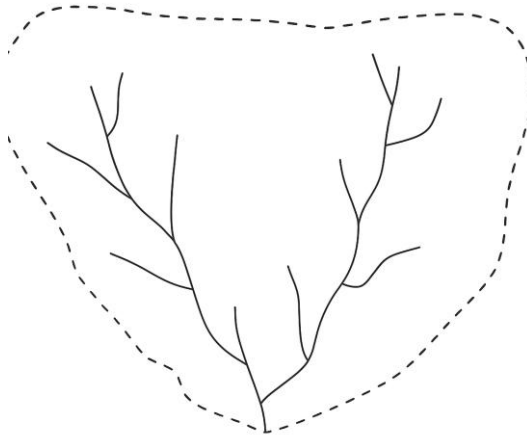


Gambar 2.3 DAS Berbentuk Radial

(Sumber: Soewarno, 1991)

C. DAS Berbetuk Paralel

DAS ini dibentuk oleh dua jalur DAS yang bersatu di bagian hilir. Apabila terjadi banjir di daerah hilir biasanya terjadi setelah di bawah titik pertemuan.



Gambar 2.4 DAS Berbentuk Paralel

(Sumber : Soewarno, 1991)

D. DAS Berbentuk Komplek

Merupakan bentuk kejadian gabungan dari beberapa DAS memanjang, radial, dan paralel.

2.1.3 Karakteristik DAS

Karakteristik DAS merupakan gambaran spesifik mengenai DAS yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan keadaan morfometri, topografi, penggunaan lahan, hidrologi dan manusia. Karakteristik DAS pada dasarnya dibagi menjadi 2 yaitu karakteristik biogeofisik dan karakteristik sosial ekonomi budaya dan kelembagaan. Pembagian secara rinci dari kedua karakteristik tersebut adalah sebagai berikut (Mawardi, 2010) :

1. Karakteristik biogeofisik yaitu : karakteristik meteorology DAS, karakteristik morfologi DAS, karakteristik morfometri DAS, karakteristik hidrologi DAS, dan karakteristik kemampuan DAS.
2. Karakteristik sosial ekonomi budaya dan kelembagaan yaitu : karakteristik sosial kependudukan DAS, karakteristik sosial budaya DAS, karakteristik sosial ekonomi DAS dan karakteristik kelembagaan DAS.

Dalam sistem DAS ditunjukkan bahwa mekanisme perubahan hujan biasanya menjadi aliran permukaan yang sangat tergantung pada karakteristik di daerah pengalirannya. Besar dan kecilnya suatu aliran permukaan yaitu dapat dipengaruhi oleh 2 faktor, yaitu faktor yang berhubungan dengan curah hujan dan karakteristik fisik DAS. Dan faktor karakteristik fisik DAS yang ikut berpartisipasi terhadap aliran permukaan yaitu biasanya dibedakan atas 2 kelompok , yaitu (Asdak, 2010) :

1. Karakteristik DAS yang stabil, meliputi : jenis batuan dan tanah, kemiringan lereng, kerapatan aliran di dalam DAS
2. Karakteristik DAS yang berubah yaitu : penggunaan lahan.

Struktur dan testur tanah berpengaruh terhadap proses terjadinya infiltrasi, kemiringan lereng akan mudah mempengaruhi perjalanan aliran untuk mencapai outlet, dan alur-alur drainase akan mempengaruhi terbentuknya timbunan air permukaan (rawa, telaga, dan danau), kerapatan vegetasi/penutup lahan sangat berpengaruh sebagai jatuhnya curah hujan ke permukaan tanah.

2.1.3.1 Karakteristik Meteorologi DAS

Karakteristik meteorologi DAS mencakup intensitas hujan dan curah hujan. Curah hujan yaitu tingginya air hujan yang mengumpul di dataran membuat tidak menguap, mengalir dan meresap. Hujan juga termasuk air yang mengalir ke dalam DAS.

Tabel 2.1 Klasifikasi Curah Hujan

No.	Curah Hujan (mm/tahun)	Kategori
1	<1500	Sangat rendah
2	1500 – 2000	Rendah
3	2000 – 2500	Sedang
4	2500 – 3000	Tinggi
5	> 3000	Sangat tinggi

(Sumber : Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial Nomor : P.3/V-SET/2013)

Intensitas hujan yaitu banyaknya curah hujan yang diukur berdasarkan volume hujan atau ketinggian hujan per waktu.

Tabel 2.2 Intesitas Hujan

No.	Intensitas Hujan (mm/jam)	Kategori
1	<13,6	Sangat rendah
2	13,61 – 20,70	Rendah
3	20,71 – 27,70	Sedang
4	27,71 – 34,80	Tinggi
5	>34,81	Sangat tinggi

(Sumber : Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial Nomor : P.3/V-SET/2013)

2.1.3.2 Karakteristik Morfologi DAS

Karakteristik morfologi DAS melibatkan ilmu tentang Geomorfologi, Topografi, tanah, Geologi dan Perwilayahan DAS. Variabel geologi merupakan salah satu faktor pada bentuk karakteristik DAS di dalamnya berkaitan dengan air di permukaan ataupun air di dalam tanah. Jenis batuan yang berbeda menghasilkan bentuk limpasan yang berbeda. Variabel Geomorfologi yang terkait bentuk lahan akan berpengaruh pada luasnya kemampuan limpasan permukaan, banjir, tanah longsor, sedimen, dan erosi yang terjadi di area DAS.

Variabel topografi dibagi ke dalam empat variable DAS yaitu kemiringan lereng, bentuk lereng, orientasi dan ketinggian. Elevasi dan ragam ketinggian

DAS adalah faktor yang cukup berdampak kepada pola hujan dan suhu. Tinggi elevasi dan luas DAS berhubungan dapat dilihat dari bentuk kurva hipsometrik. Orientasi DAS dinyatakan dalam arah kompas atau derajat azimuth. Tanda arah kompas menunjuk ke arah DAS bisa digunakan sebagai muka DAS. Kemiringan lereng DAS juga berpengaruh terhadap besar dan kecilnya aliran sungai ke permukaan. Kecepatan dan volume bersifat erosif membuat tingkat kelerengan DAS mempengaruhi limpasan air permukaan. Untuk melihat gambaran dari variable lereng tersebut, maka peta lereng diklasifikasikan dalam 5 kelas.

Tabel 2.3 Klasifikasi Kemiringan Lereng DAS

Kelas	Kemiringan Lereng (%)	Kategori
1	0–8	Datar
2	8–15	Agak Miring
3	15–25	Miring
4	25–45	Curam
5	>45	Sangat Curam

(Sumber : Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial Nomor : P.3/V-SET/2013)

Bentuk pada lereng DAS juga diklasifikasikan menjadi dua kelas yaitu sebagai berikut:

Tabel 2.4 Klasifikasi Bentuk Lereng DAS

Kelas	Kemiringan Lereng (%)	Keterangan
<i>Cb</i>	Cembung	Lebih 50% kenampakan kurva hypsometric cembung
<i>Ck</i>	Cekung	Lebih 50% kenampakan kurva cekung

(Sumber : Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial Nomor : P.3/V-SET/2013)

Jenis dan sebaran tanah di dalam suatu DAS memiliki pengaruh yang besar terhadap pengendalian aliran bawah permukaan melewati infiltrasi. DAS yang

didominasi oleh ragam tanah berwujud halus lebih mudah erosi dibandingkan dengan DAS yang didominasi oleh jenis tanah berwujud kasar. Perwilayahan DAS dibagi tiga daerah yaitu hulu sungai, tengah sungai dan hilir sungai. Wilayah hulu sungai dicirikan sebagai tempat konservasi tanah dan pengendalian erosi memiliki kepadatan drainase yang tinggi, kemiringan lereng curam $>15\%$, tidak rawan banjir, umumnya jenis vegetasi merupakan tegakan hutan. Pola gerusan sungai berbentuk huruf V. DAS daerah tengah sungai merupakan aliran air yang seadanya pada daerah tengah sungai. Dengan $\pm 50\%$ di permukaan dataran DAS memiliki kemiringan $<8\%$. DAS pada tengah sungai membuat daerah utama peraliran curah hujan untuk air tanah. Wilayah hilir sungai menjadi wilayah pemanfaatan air, memiliki kepadatan drainase yang kecil, punya kemiringan lereng landai $<8\%$, menjadi daerah rawan banjir, didominasi tumbuhan tanaman pertanian kecuali di wilayah sekitar pantai yaitu tumbuhan hutan bakau.

2.1.3.3 Karakteristik Morfometri DAS

Semakin besar DAS maka aliran sungai menjadi semakin besar dikarenakan hujan yang ditampung semakin banyak.

Tabel 2.5 Klasifikasi Luas DAS

No.	Luas DAS (ha)	Kategori
1	<10.000	Sangat kecil
2	$10.000 - 100.000$	Kecil
3	$100.000 - 500.000$	Sedang
4	$500.000 - 1.500.000$	Besar
5	$>1.500.000$	Sangat besar

(Sumber : Peraturan Direktur Jendral Bina Pengelolaan DAS dan Perhutanan Sosial Nomor : P.3/V-SET/2013)

Bentuk DAS memiliki dampak di sistem aliran sungai dan ketajaman tinggi debit banjir. Wujud DAS yang sempit dan panjang cenderung membuat laju limpasan sungai lebih kecil dari pada DAS yang memiliki bentuk membulat

2.2 Banjir

Banjir adalah aliran atau genangan air yang menimbulkan kerugian ekonomi atau bahkan menyebabkan kehilangan jiwa, sedangkan dalam istilah teknik diartikan sebagai aliran air sungai yang mengalir melampaui kapasitas tampung sungai tersebut (Khotimah dkk, 2013). Banjir Juga dapat diartikan tergenangnya suatu tempat akibat meluapnya air yang melebihi kapasitas pembuangan air di suatu wilayah dan menimbulkan kerugian fisik, sosial dan ekonomi (Rahayu, 2009).

Banjir merupakan bagian proses pembentukan daratan oleh aliran sungai. Banjir sering dianggap sebagai naiknya tinggi muka air sungai/waduk yang melebihi keadaan normalnya. Dalam artian lain, banjir dianggap pula meluapnya air melewati batas kapasitas saluran/tampungan yang normal. Banjir dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti curah hujan yang tinggi, kondisi daerah tangkapan air, durasi dan intensitas hujan, land cover, kondisi permukaan bumi di kawasan tersebut dan kapasitas serta kondisi jaringan drainase.

2.2.1 Kawasan Rawan Banjir

Kawasan rawan banjir merupakan kawasan yang berpotensi tinggi mengalami bencana banjir sesuai dengan karakteristik penyebab banjir. Kawasan tersebut dapat dikategorikan menjadi empat yaitu :

1. Daerah pantai atau tepi pantai yang termasuk daerah rawan banjir merupakan dataran rendah yang elevasi permukaan tanahnya lebih rendah atau sama dengan elevasi air laut pasang rata-rata (mean sea level) dan tempat mengalirnya air sungai yang biasanya menjadi permasalahan penyumbatan tempat menampungnya air sungai.
2. Daerah dataran banjir (floodplain area) merupakan daerah di kanan kiri sungai yang akan tergenang jika air sungai meluap. Dataran banjir mempunyai permukaan tanah dengan kelas yang sangat landai dan relatif datar dan dapat mengakibatkan daerah dengan klasifikasi tersebut rawan terhadap banjir baik oleh luapan sungai maupun karena hujan

lokal. Dataran banjir merupakan wilayah yang sangat berbahaya karena mempunyai potensi terkena banjir yang sangat besar.

3. Daerah sepadan sungai juga termasuk kawasan rawan banjir yang sering dimanfaatkan sebagai sektor ekonomi untuk tempat hunian dan kegiatan usaha sehingga jika banjir terjadi dapat membahayakan jiwa dan harta benda serta psikologis masyarakat di kawasan tersebut.
4. Daerah cekungan termasuk daerah dengan tingkat kerawanan banjir yang tinggi yaitu daerah yang mempunyai dataran rendah dan dataran tinggi yang luas. Daerah cekungan ini biasanya memiliki ketinggian muka tanah yang berada di bawah atau sama dengan ketinggian permukaan laut. Jika penataan Kawasan tidak teratur dan mempunyai system drainase yang kurang memadai dapat menjadi daerah rawan banjir.

2.2.2 Jenis-Jenis Banjir

berdasarkan sumber asal limbah air yang menyebabkan banjir, terdapat dua jenis banjir, yaitu (Ristya, 2012):

1. Banjir Lokal

Banjir lokal disebabkan oleh tingginya intensitas hujan dan belum tersedianya sarana drainase memadai. Banjir lokal ini lebih bersifat setempat, sesuai dengan luas sebaran hujan lokal. Banjir ini semakin parah apabila saluran drainase tidak berfungsi secara optimal, dimana saluran tersebut tersumbat sampah, sehingga mengurangi kapasitas penyalurannya.

2. Banjir Kiriman

Banjir kiriman ini disebabkan oleh peningkatan debit air sungai yang mengalir. Banjir ini diperparah oleh kiriman dari daerah atas. Sebagian besar sebagai akibat bertambah luasnya daerah terbangun dan mengubah koefisien aliran di daerah tangkapan, sehingga semakin banyak air yang menjadi aliran permukaan, sebaliknya semakin sedikit air meresap menjadi air tanah.

Sedangkan untuk jenis-jenis banjir berdasarkan jenis air yang menyebabkan terjadinya banjir, adalah sebagai berikut (Kemenkes RI, 2016):

a. Banjir Air

Banjir yang satu ini adalah banjir yang sudah umum. Penyebab banjir ini adalah meluapnya air sungai, danau, atau selokan sehingga air akan meluber lalu menggenangi daratan. Umumnya banjir seperti ini disebabkan oleh hujan yang turun terus-menerus sehingga sungai atau danau tidak mampu lagi menampung air.

b. Banjir Cileunang

Jenis banjir yang satu ini hampir sama dengan banjir air. Namun banjir cileunang ini disebabkan oleh hujan yang sangat deras dengan debit air yang sangat banyak. Banjir akhirnya terjadi karena air-air hujan yang melimpah ini tidak bisa segera mengalir melalui saluran atau selokan di sekitar rumah warga. Jika banjir air dapat terjadi dalam waktu yang cukup lama, maka banjir cileunang adalah banjir dadakan (langsung terjadi saat hujan tiba).

c. Banjir Bandang

Tidak hanya banjir dengan materi air, tetapi banjir yang satu ini juga mengangkut material air berupa lumpur. Banjir seperti ini jelas lebih berbahaya daripada banjir air karena seseorang tidak akan mampu berenang ditengah-tengah banjir seperti ini untuk menyelamatkan diri. Banjir bandang mampu menghanyutkan apapun, karena itu daya rusaknya sangat tinggi. Banjir ini biasa terjadi di area dekat pegunungan, dimana tanah pegunungan seolah longsor karena air hujan lalu ikut terbawa air ke daratan yang lebih rendah. Biasanya banjir bandang ini akan menghanyutkan sejumlah pohon-pohon hutan atau batu-batu berukuran besar. Material-material ini tentu dapat merusak pemukiman warga yang berada di wilayah sekitar pegunungan.

d. Banjir Rob (laut pasang)

Banjir rob adalah banjir yang disebabkan oleh pasangannya air laut. Banjir seperti ini kerap melanda kota Muara Baru di Jakarta. Air laut yang pasang ini umumnya akan menahan air sungai yang sudah menumpuk, akhirnya mampu menjebol tanggul dan menggenangi daratan.

e. Banjir Lahar

Lahar dingin Salah satu dari macam-macam banjir adalah banjir lahar dingin. Banjir jenis ini biasanya hanya terjadi ketika erupsi gunung berapi. Erupsi ini kemudian mengeluarkan lahar dingin dari puncak gunung dan mengalir ke daratan yang ada di bawahnya. Lahar dingin ini mengakibatkan pendangkalan sungai, sehingga air sungai akan mudah meluap dan dapat meluber ke pemukiman warga.

2.2.3 Faktor Penyebab Banjir

Salah satu penyebab terjadinya banjir adalah rendahnya kemampuan infiltrasi tanah, yaitu kemampuan tanah untuk menyerap air hujan ke dalam lapisan bawah tanah. Infiltrasi yang buruk menyebabkan air hujan tidak dapat meresap dengan optimal sehingga kelebihan air akan mengalir di permukaan sebagai limpasan (runoff). Hal ini biasanya terjadi pada daerah dengan tekstur tanah yang padat, memiliki kadar lempung tinggi, atau telah mengalami pemadatan akibat aktivitas manusia seperti pembangunan dan perubahan tata guna lahan. Akibatnya, volume limpasan meningkat secara signifikan saat hujan deras, sehingga memperbesar potensi terjadinya genangan dan banjir, terutama jika sistem drainase tidak mampu menampung kelebihan air tersebut (Todd, 1980).

terdapat beberapa faktor lain yang menjadi penyebab terjadinya banjir, antara lain yaitu sebagai berikut:

1. Curah Hujan

Intensitas hujan yang semakin tinggi akibat perubahan iklim global merupakan salah satu faktor utama penyebab meningkatnya kejadian banjir, terutama di wilayah perkotaan. Perubahan pola cuaca telah menyebabkan hujan ekstrem terjadi lebih sering dan dalam durasi yang lebih singkat, menghasilkan volume air yang besar dalam waktu singkat. Kondisi ini diperparah oleh hilangnya lahan terbuka hijau yang berfungsi sebagai area resapan alami. Ketika ruang terbuka hijau digantikan oleh permukaan kedap air seperti beton dan aspal, kemampuan tanah untuk menyerap air hujan menurun drastis, sehingga limpasan permukaan meningkat tajam. Kombinasi antara curah hujan

ekstrem dan berkurangnya daya resap lingkungan ini menyebabkan sistem drainase menjadi kewalahan, yang pada akhirnya memicu banjir di berbagai wilayah (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2021).

2. Erosi dan Sedimentasi

Erosi di DAS berpengaruh terhadap kapasitas penampungan sungai, karena tanah yang tererosi pada DAS tersebut apabila terbawa air hujan ke sungai akan mengendap dan menyebabkan terjadinya sedimentasi. Sedimentasi akan mengurangi kapasitas sungai dan saat terjadi aliran yang melebihi kapasitas sungai dapat menyebabkan banjir.

3. Kapasitas Sungai

Banjir yang disebabkan oleh meluapnya sungai terjadi ketika debit aliran sungai melebihi kapasitas penampang sungai untuk menampung air, terutama saat terjadi hujan lebat atau limpasan dari daerah hulu. Kapasitas sungai sangat dipengaruhi oleh bentuk penampang saluran, kemiringan dasar sungai, kondisi tebing, dan tingkat sedimentasi yang terjadi. Jika sungai mengalami penyempitan, pendangkalan akibat sedimen, atau gangguan aliran seperti sampah dan bangunan liar, maka kecepatan dan volume aliran akan terganggu, sehingga air meluap ke wilayah sekitarnya. Fenomena ini sering terjadi di daerah yang tidak memiliki pengendalian banjir yang baik, dan merupakan salah satu penyebab utama banjir di wilayah dataran rendah atau padat penduduk (Chow, 1959).

4. Pengaruh Air Pasang

Pasang air laut atau pasang surut dapat menjadi salah satu penyebab bencana banjir, terutama di wilayah pesisir dan daerah muara sungai. Ketika terjadi pasang tinggi (terutama pasang purnama atau pasang perigee), muka air laut naik dan dapat menghambat aliran air sungai yang seharusnya mengalir ke laut. Akibatnya, air meluap ke daratan dan menyebabkan banjir rob, terutama jika terjadi bersamaan dengan curah hujan tinggi. Fenomena pasang laut yang bertepatan dengan limpasan permukaan dari hulu sungai dapat memperbesar volume genangan dan memperluas area terdampak banjir. Selain itu, kondisi topografi datar dan buruknya sistem drainase di wilayah pesisir juga

memperparah dampak pasang terhadap banjir. Oleh karena itu, pengaruh pasang harus menjadi pertimbangan penting dalam perencanaan sistem pengendalian banjir di kawasan pesisir (Sutarto, 2002).

5. Pendangkalan Sungai

Pendangkalan sungai merupakan salah satu penyebab utama terjadinya banjir, terutama di daerah yang aliran sungainya tidak terjaga dengan baik. Pendangkalan terjadi akibat akumulasi sedimen, lumpur, sampah, atau material lainnya yang terbawa aliran air dan mengendap di dasar sungai, sehingga mengurangi kapasitas tampung aliran sungai secara signifikan. Pendangkalan sungai mempersempit penampang aliran dan menurunkan kecepatan aliran air, sehingga saat terjadi hujan deras atau debit air meningkat, sungai tidak mampu menampung seluruh volume air dan mengakibatkan luapan ke wilayah sekitarnya. Kondisi ini biasanya diperburuk oleh erosi di daerah hulu, alih fungsi lahan, serta kurangnya program normalisasi atau pengerukan sungai secara berkala. Oleh karena itu, pengendalian sedimentasi dan perawatan sungai secara rutin sangat penting untuk mencegah bencana banjir akibat pendangkalan (Arsyad, 2010).

6. Tidak Berfungsinya Saluran Pembuangan Air

Penyebab utama terjadinya banjir di kawasan perkotaan adalah sistem drainase yang tidak memadai. Sistem drainase berfungsi untuk mengalirkan air hujan dari permukaan ke saluran-saluran pembuangan agar tidak terjadi penumpukan air. Namun, ketika kapasitas saluran terlalu kecil, tersumbat oleh sampah atau sedimen, atau tidak terhubung secara efisien dengan sistem aliran utama, maka air hujan tidak dapat dialirkan dengan cepat dan efektif. Akibatnya, terjadi genangan yang dapat berkembang menjadi banjir, terutama saat curah hujan tinggi. Drainase yang buruk ini diperparah oleh urbanisasi yang tidak terencana, yang memperbesar luas permukaan kedap air dan meningkatkan volume limpasan permukaan (Soemarto, 1988).

7. Hilangnya Lahan Terbuka

Ketika di atas tanah dibangun bangunan, dan keberadaan bangunan tidak memperhatikan masalah bagaimana penyerapan air. Sehingga ketika hujan

turun air tidak dapat diserap karena hilangnya area untuk penyerapan dan mengalir begitu saja terutama ke area pemukiman warga.

8. Sampah

Salah satu faktor penyebab utama banjir di kawasan perkotaan adalah buruknya pengelolaan sampah, terutama sampah domestik yang dibuang sembarangan ke saluran drainase dan badan sungai. Sampah yang menumpuk di saluran air dapat menyumbat aliran, mengurangi kapasitas saluran, dan bahkan menyebabkan aliran air meluap ke permukaan saat terjadi hujan deras. Kondisi ini diperparah oleh kurangnya kesadaran masyarakat dalam menjaga kebersihan lingkungan serta lemahnya sistem pengelolaan limbah oleh pemerintah daerah. Akibatnya, sampah menjadi faktor non-alamiah yang mempercepat terjadinya banjir, meskipun curah hujan tidak terlalu ekstrem. Oleh karena itu, pengelolaan sampah yang baik dan perilaku masyarakat yang bertanggung jawab menjadi bagian penting dalam strategi mitigasi banjir perkotaan (*United Nations Department of Economic and Social Affairs*, 2016).

9. Bendungan dan Bangunan Air

Bendungan dan bangunan air lain seperti pilar jembatan dapat meningkatkan elevasi muka air banjir karena meningkatkan elevasi muka air karena efek aliran balik.

10. Kerusakan Bangunan Pengendali Banjir

Kerusakan pada bangunan pengendali banjir, seperti tanggul, bendung, atau saluran drainase, merupakan salah satu faktor signifikan yang dapat menyebabkan atau memperparah bencana banjir. Ketika struktur-struktur ini mengalami kegagalan akibat usia, kurangnya pemeliharaan, desain yang tidak memadai, atau tekanan air yang melebihi kapasitas, maka air tidak lagi dapat dikendalikan dan berpotensi meluap ke permukiman dan lahan di sekitarnya. Menurut Dinas Sumber Daya Air (2014), kerusakan atau kegagalan fungsi infrastruktur pengendali banjir sering kali menjadi pemicu utama banjir di wilayah perkotaan, karena sistem tersebut merupakan komponen vital dalam manajemen aliran air. Oleh karena itu, inspeksi rutin, rehabilitasi tepat waktu,

dan peningkatan kapasitas bangunan pengendali menjadi sangat penting dalam mencegah terjadinya bencana banjir akibat kegagalan infrastruktur.

11. Perencanaan Sistem Pengendalian Banjir Tidak Tepat

Sistem pengendalian banjir yang tidak dirancang atau dioperasikan dengan tepat justru dapat memperburuk dampak bencana banjir, alih-alih mengurangnya. Kesalahan dalam perencanaan, seperti kapasitas saluran yang tidak sesuai dengan intensitas hujan, lokasi tanggul yang tidak strategis, atau pemeliharaan infrastruktur yang buruk, dapat menyebabkan kegagalan fungsi saat terjadi hujan ekstrem. Menurut Smith dan Ward (1998), “upaya pengendalian banjir yang tidak tepat sasaran dapat menciptakan rasa aman palsu dan mendorong pembangunan di wilayah rawan, sehingga ketika sistem gagal, kerugian yang ditimbulkan jauh lebih besar.” Oleh karena itu, sistem pengendalian banjir harus dirancang secara komprehensif dengan mempertimbangkan data hidrologi, perubahan tata guna lahan, dan dinamika iklim agar benar-benar efektif dalam mengurangi risiko banjir.

2.2.4 Tingkat Bahaya Banjir

Banjir merupakan salah satu bentuk bahaya alam yang dampaknya tidak hanya ditentukan oleh besarnya curah hujan atau aliran air, tetapi juga oleh tingkat kerentanan masyarakat yang terkena dampaknya. Dalam kerangka *Pressure and Release Model (PAR)* yang mereka kembangkan, banjir dipandang sebagai hasil interaksi antara bahaya fisik (seperti hujan ekstrem atau luapan sungai) dan kondisi sosial-ekonomi yang rentan, seperti permukiman di daerah rawan, infrastruktur yang buruk, serta kurangnya kapasitas adaptasi masyarakat. Oleh karena itu, banjir bukan hanya bencana alam semata, tetapi juga bencana sosial yang muncul karena tekanan struktural dan ketidakmampuan sistem untuk mengurangi risiko. Dengan demikian, penanggulangan banjir harus mencakup aspek teknis dan juga perbaikan kondisi sosial yang memperkuat ketahanan Masyarakat (Wisner et al, 2004).

Data karakteristik banjir yang digunakan dalam penilaian dan pemetaan tingkat bahaya banjir terdiri dari luas genangan, lama genangan, dan kedalaman genangan (Fristyananda dan Idajati, 2017).

Tabel 2.6 Analisis Penilaian Tingkat Bahaya Banjir

Tinggi Genangan				
Kedalaman (cm)	Nilai	Bobot (%)	Skor	Kelas
<20	1	40	0,40	Rendah
20-50	2		0,80	Sedang
>50	3		1,20	Tinggi
Lama Genangan				
Lama (jam)	Nilai	Bobot (%)	Skor	Kelas
<12	1	20	0,20	Rendah
12-24	2		0,40	Sedang
>24	3		0,60	Tinggi
Frekuensi Genangan				
Jumlah Kejadian (kali/tahun)	Nilai	Bobot (%)	Skor	Kelas
0-5	1	20	0,20	Rendah
6-20	2		0,40	Sedang
>20	3		0,60	Tinggi
Luas Genangan				
Kedalaman (m ²)	Nilai	Bobot (%)	Skor	Kelas
<100	1	20	0,20	Rendah
100-300	2		0,40	Sedang
>300	3		0,60	Tinggi

(Sumber : Virgosa, 2017)

2.2.5 Daerah Genangan Banjir

pertambahan penduduk, kebutuhan akan pondasi, khususnya pemukiman, bertambah, dengan cara ini mengubah sifat dan kualitas penggunaan lahan. Seperti standar pengendalian banjir, perubahan tata guna lahan yang tidak terkendali menyebabkan peningkatan limpasan sehingga menimbulkan genangan air. Hal-hal yang menyebabkan terjadinya genangan di suatu daerah antara lain (Kodoati, 2005) :

1. Perubahan tata guna lahan yang menyebabkan terjadinya peningkatan debit banjir di suatu daerah aliran sistem drainase
2. Elevasi saluran tidak mencukupi
3. Dimensi saluran yang tidak sesuai.
4. Lokasi merupakan daerah cekungan
5. Lokasi merupakan daerah penyimpanan air dengan fungsi yang dimodifikasi, seperti pemukiman. Ketika kawasan cagar alam (taman air)

berfungsi normal dan tidak berpenghuni, keberadaan genangan air tidak menjadi masalah. Masalah terjadi pada masyarakat yang berpenghuni

6. Tanggul kurang tinggi
7. Kapasitas tampungan kurang besar
8. Dimensi gorong-gorong terlalu kecil sehingga menyebabkan arus balik
9. Penyempitan saluran
10. Saluran tersumbat oleh sedimen, sedimen atau sampah dump.

Perubahan kapasitas ruang hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) sebesar +15% menyebabkan keseimbangan aliran/limbah mulai terganggu. Pengaruh yang meresahkan ini menambah perluasan (tajam) dalam jumlah pelepasan sungai dan jumlah sedimentasi di saluran air/limbah. Hal ini juga dapat berarti bahwa suatu DAS yang tidak tercemar dengan vegetasi yang lebat dapat mengubah kerja wilayahnya sebesar 15% tanpa mengubah kondisi reguler aliran/rembesan yang bersangkutan. Dalam hal perubahan melebihi 15%, harus ditemukan opsi atau pembayaran diharapkan untuk menjaga daya tahan saluran air/rembesan, misalnya dengan membuat sumur invasi.

2.2.6 Kerugian Akibat Banjir

Kemalangan akibat banjir sebagian besar sulit dikenali dengan jelas, yang terdiri dari kemalangan banjir karena banjir yang segera dan yang menyimpang. Musibah karena banjir langsung, adalah musibah yang sebenarnya akibat banjir yang terjadi, antara lain rusaknya bangunan sekolah, perusahaan, kerusakan kantor perhubungan, korban tewas, kerugian harta benda, kerusakan pemukiman, kerusakan kawasan agraris dan hewan peliharaan, kerusakan pada kerangka sistem air, kerangka air bersih, kerangka rembesan, kerangka listrik, kerangka pengendalian banjir termasuk struktur, kerusakan sungai, dan sebagainya Sementara itu, kemalangan karena backhanded flooding adalah sebagai kemalangan yang muncul akibat banjir, seperti surat menyurat, sekolah, kesejahteraan, latihan bisnis yang mengecewakan, dan sebagainya (*Kodoatie dan Sugiyanto, 2002*).

Ketahanan masyarakat (*community resilience*) terhadap bencana, termasuk banjir, adalah kemampuan suatu komunitas untuk mengantisipasi, merespons, beradaptasi, dan pulih dari gangguan yang ditimbulkan oleh bencana secara efektif dan berkelanjutan. Ketahanan ini tidak hanya bergantung pada sumber daya fisik, seperti infrastruktur dan teknologi, tetapi juga pada kekuatan sosial seperti jaringan sosial, partisipasi masyarakat, kepercayaan antarwarga, serta dukungan kelembagaan. Dalam konteks banjir, masyarakat yang memiliki ketahanan tinggi mampu mengorganisasi sumber daya lokal, menyebarkan informasi secara cepat, melakukan tindakan darurat secara mandiri, dan bangkit kembali tanpa tergantung sepenuhnya pada bantuan eksternal. Oleh karena itu, penguatan kapasitas sosial dan institusional menjadi kunci dalam membangun komunitas yang tangguh menghadapi risiko banjir.

2.3 Hidrologi

2.3.1 Definisi Hidrologi

Hidrologi adalah suatu ilmu yang menjelaskan tentang kehadiran dan gerakan air di alam kita ini. Ini meliputi berbagai bentuk air, yang menyangkut perubahan-perubahannya antara keadaan cair, padat, dan gas dalam atmosfer, diatas dan dibawah permukaan tanah. Didalam nya tercakup pula air laut yang merupakan sumber dan penyimpanan air yang mengaktifkan penghidupan diplanet bumi(Soemarto, 1986). Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air bumi, baik mengenai terjadinya peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya dan hubungan dengan lingkungannya terutama dengan makhluk hidup. Penerapan ilmu hidrologi dapat dijumpai dalam beberapa kegiatan seperti perencanaan dan operasi bangunan air, penyediaan air untuk berbagai keperluan (air bersih, irigasi, perikanan, peternakan), pembangkit listrik tenaga air, pengendalian banjir, pengendalian air, pengendalian erosi dan sedimentasi, drainase, dll.

Para teknisi sangat berkepentingan dengan perencanaan dan eksploitasi bangunan air untuk pengendalian penggunaan air, terutama yang mengatur aliran sungai, pembuatan waduk-waduk dan saluran irigasi.

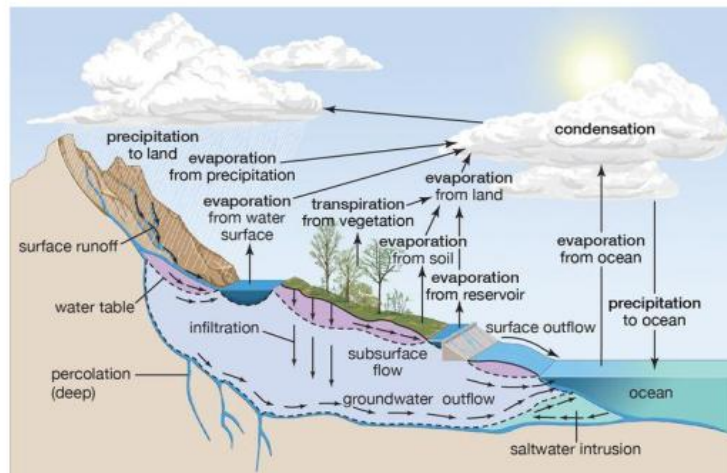
Besarnya jumlah air yang ada di muka planet bumi ini (diatmosfir, di atas permukaan tanah dan di bawah permukaan tanah) adalah sebanyak 1400×10^6 KM³. Dalam jumlah tersebut sebagian besar merupakan air laut dengan perbandingan prosentasi 97% berupa air laut dan 3% berupa air tawar. Pembagian air tawar yang hanya 3% dari jumlah air di planet bumi dibagi lagi dengan prosentasi 75% terdapat dikutup berupa salju, es dan gleser. 24% berupa air tanah. 0,3% terdapat di danau-danau yang tersebar diatas bumi. 0,065% sebagai butir-butir air atau lengas tanah. 0,035% ada diatmosfir berupa awan, kabut, embun, hujan, dan lain-lain. Dan 0,03% berupa hujan. Dari prosentasi ketersediaan jumlah air tawar yang segera dapat dipergunakan oleh manusia sangat terbatas, dan sebaiknya dipergunakan dengan baik (Soemarto,1986).

2.3.2 Daur (Siklus) Hidrologi

Daur atau siklus hidrologi adalah gerakan air laut ke udara, yang kemudian jatuh ke permukaan tanah lagi sebagi hujan atau bentuk persipitasi lain, dan akhirnya mengalir ke laut kembali (Soemarto, 1986). Siklus hidrologi dapat didefinisikan gerakan air laut ke udara , lalu jatuh ke permukaan bumi sebagai hujan atau bentuk presipitasi lain , dan akhirnya mengalir ke laut. Panasnya air laut didukung oleh sinar matahari karna matahari merupakan kunci sukses dari siklus hidrologi sehingga mampu berjalan secara terus menerus kemudian dalam terjadinya air berevaporasi, lalu akan jatuh ke bumi sebagai presipitasi dengan bentuk salju, gerimis atau atau kabut, hujan, hujan es dan salju, dan hujan batu.

Susunan peristiwa siklus tidak sesederhana itu, yang pertama ketika daur tersebut merupakan daur pendek , yaitu misalnya hujan yang jatuh dilaut, danau atau sungai yang segera dapat mengalir kembali ke laut. Kedua, tidak adanya keseragaman waktu yang diperlukan oleh suatu daur, pada musim kemarau kelihatnnya daur berhenti sedangkan di musim hujan berjalan kembali. Ketiga, intesitas dan frekuensi daur tergantung pada keadaan geografi dan iklim, yang mana hal ini merupakan akibat adanya matahari yang berubah-ubah letaknya terhadap meridian bumi sepanjang tahun. Keempat, berbagai bagian daur dapat menjadi sangat kompleks, sehingga hanya dapat diamati bagian akhirnya saja

suatu hujan yang jatuh diatas permukaan tanah dan kemudian mencari lainnya untuk kembali ke laut (Soemarto, 1986).



Gambar 2.5 Siklus Hidrologi

(Sumber : Internet)

Air laut menguap karena adanya radiasi matahari, dan awan yang terjadi oleh uap air, bergerak di atas daratan berhubung di desak oleh angin. Prestisipaasi terjadi karena adanya tabrakan antara butir-butir uap air akibat desakan angin, dapat berbentuk hujan atau salju yang jatuh ke tanah memebentuk limpasan (runoff) yang mengalir kembali ke laut. Beberapa diantaranya masuk kedalam tanah (infiltrasi) dan bergerak terus kebawah (perlokaasi) ke dalam daerah jenuh (saturated zone) yang terdapat dibawah permukaan air tanah atau permukaan phreatic. Air dalam daerah ini bergerak perlahan-lahan melewati akwifer masuk kesungai atau kadang-kadang langsung ke laut.

Air yang merembes ke dalam tanah (infiltrasi) memberi hidup kepada tumbuh-tumbuhan dan beberapa diantaranya naik ke atas lewat akar dan batangnya, sehingga terjadi transpirasi, yaitu evaporasi (penguapan) lewat tumbuh-tumbuhan melalui bagian bawah daun(stomata). Air yang tertahan dipermukaan tanah(surface detention) sebagian diuapkan dan sebagian besar mengalir masuk kesungai-sungai kecil dan mengalir sebagai limpasan permukaan(surface runoff) ke dalam palung sungai.

Ada empat macam proses dalam daur hidrologi, yaitu:

- a. Prestisipasi
- b. Evaporasi
- c. Infiltrasi
- d. Limpasan permukaan (surface runoff) dan limpasan air tanah (subsurface runoff).

2.4 Analisa Hidrologi

Analisa hidrologi berarti ilmu yang mempelajari air di muka bumi baik dalam bentuk cairan, padat maupun gas. Selain itu, hidrologi juga mempelajari karakteristik air, bentuk penyebaran air, dan siklus air yang terjadi di muka bumi (Hadisusanto, 2011).

Analisis data hidrologi dimaksudkan untuk memperoleh besarnya debit banjir rencana. Debit banjir rencana merupakan debit maksimum rencana di sungai atau saluran alamiah dengan periode ulang tertentu yang dapat dialirkan tanpa membahayakan lingkungan sekitar dan stabilitas sungai. Dalam mendapatkan debit banjir rencana yaitu dengan menganalisis data curah hujan maksimum pada daerah aliran sungai yang diperoleh dari beberapa stasiun hujan terdekat.

2.4.1 Perhitungan Curah Hujan Rata-Rata

2.4.1.1 Metode Perhitungan Rata-Rata

Metode rata-rata aljabar merupakan cara yang paling sederhana yaitu hanya dengan membagi rata pengukuran pada semua stasiun hujan dengan jumlah stasiun dalam wilayah tersebut. Sesuai dengan kesederhanaannya maka cara ini hanya disarankan digunakan untuk wilayah yang relatif mendatar dan memiliki sifat hujan yang relatif homogen tidak terlalu kasar. Dapat dihitung menggunakan rumus (Sri Harto, 1993) :

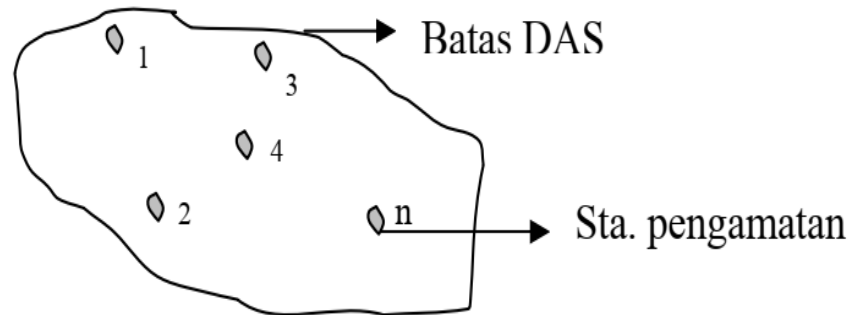
$$R = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

R = curah hujan rata-rata tahunan (mm)

n = jumlah stasiun pengukuran

$R_1 \dots R_n$ = curah hujan rerata tahunan di tiap titik pengamatan



Gambar 2.6 Sketsa stasiun curah hujan metode rata-rata

(Sumber : Sri harto, *Analisa Hidrologi*, 1993)

2.4.1.2 Metode Perhitungan Polygon Thiessen

Metode ini digunakan secara luas karena dapat memberikan data presipitasi yang lebih akurat. Karena setiap bagian wilayah tangkapan hujan diwakili secara proposional oleh suatu alat penakar hujan. Dengan ini, pembuatan gambar poligon dilakukan sekali saja. Sementara perubahan data hujan pertitik dapat diproses secara cepat tanpa penghitungan lagi luas perbagian poligon.

$$R = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

$$= \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + \dots + A_n R_n}{A}$$

$$R = W_1 R_1 + W_2 R_2 + \dots + W_n R_n \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

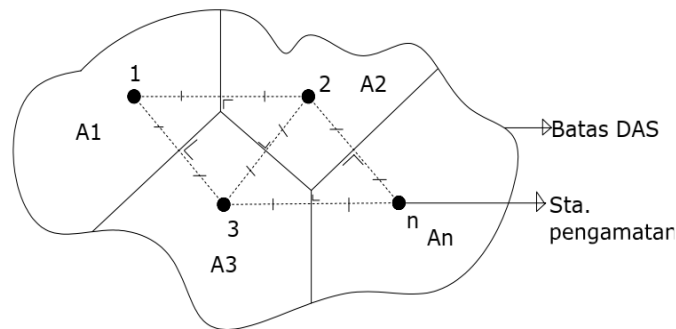
R = curah hujan rerata tahunan

$R_1 R_2 R_3$ = curah hujan rerata tahunan disetiap titik

R_n = jumlah titik

$A_1 A_2$ = luas wilayah yang dibatasi poligen

A = luas daerah penelitian



Gambar 2.7 Pembagian daerah metode polygon thiessen

(Sumber : Sri harto, *Analisa Hidrologi*, 1993)

2.4.1.3 Metode Perhitungan Ishoyet

Pada prinsipnya metode isohiet adalah garis yang menghubungkan titik-titik dengan kedalaman hujan yang sama. Metode ini menggunakan isohiet sebagai garis-garis yang membagi daerah aliran sungai menjadi daerah yang diwakili oleh stasiun yang bersangkutan, yang luasnya dipakai sebagai faktor koreksi dalam perhitungan hujan rata-rata.

Metode isohiet berguna terutama berguna untuk mempelajari pengaruh hujan terhadap perilaku aliran air sesuai terutama untuk daerah dengan tipe curah hujan orografik (daerah pegunungan). Rata-rata hujan ditentukan dengan menjumlahkan hasil kali luas isohiet dan hujan, dan dibagi dengan luas total dengan persamaan :

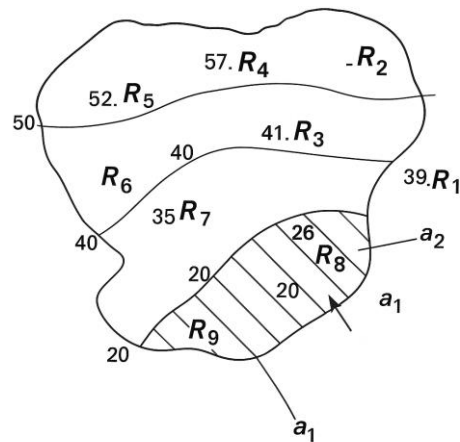
$$R = \frac{\sum A_i \times R_n}{\sum A_i} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

R = curah hujan daerah

R_n = curah hujan rata-rata pada bagian

A = luas daerah penelitian



Gambar 2.8 Pembagian daerah metode isohyet

(Sumber : Sri harto, *Analisa Hidrologi*, 1993)

2.4.2 Analisa Frekuensi Hujan

Analisa frekuensi hujan merupakan analisa statistik penafsiran hujan, tujuannya untuk menentukan terjadinya periode ulang hujan pada periode tahun tertentu (misalkan 10 tahunan, 100 tahunan, atau 1000 tahunan). Perhitungan curah hujan rencana ketika sudah mendapatkan data curah hujan yang berpengaruh disekitar daerah aliran sungai yang didapat dari satsiun hujan, selanjutnya data curah hujan tersebut dianalisis secara statistic untuk mendapatkan pola sebaran yang sesuai dengan sebaran curah hujan rata-rata yang ada. Perhitungan meliputi nilai rata-rata, simpangan baku, koefisien varian, koefisien skewness, koefisien kurtosis, yang diuraikan pada penjelasan berikut:

1. Nilai Rata-Rata

Tinggi rata-rata hujan diperoleh dengan mengambil harga rata-rata yang dihitung dari penakaran pada penakar hujan dalam area tersebut. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut (Hadisusanto, 2011):

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan ;

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata

X_i = Nilai Varian ke-

N = Jumlah Data

2. Standar Deviasi

Standard Deviasi atau biasa dikenal dengan simpangan baku. Berikut rumus standard deviasi yang sering digunakan (Triatmodjo, 2010):

$$Sx = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

Sx = Standar deviasi

n = Jumlah data

Xi = Nilai Varian ke-i

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata

3. Koefisien Varian

Koefisien varian merupakan nilai perbandingan antarastandar deviasi dan nilai rata-rata, yang dapat dihitung dengan rumus (Triatmodjo, 2010):

$$Cv = \frac{s}{\bar{X}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

Cv = Koefisien variasi

s = Standar deviasi

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata

4. Koefisien Skewness

Koefisien Skewness atau koefisien kemencengan merupakan suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi, yang dapat dihitung dengan rumus (Triatmojo, 2010):

$$Cs = \frac{\frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{s^3} \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

Cs = Koefisien skewnes

s = Standar deviasi

$\bar{X}$ = Nilai rata-rata

Xi = Nilai Varian ke-i
n = Jumlah data

5. Koefisien Kurtois

Koefisien Kurtosis digunakan untuk menentukan keruncingan kurva distribusi yang dibandingkan dengan distribusi normal dengan rumus sebagai berikut:

$$Ck = \frac{n^3}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

Ck = Koefisien kurtois
s = Standar deviasi
 $\bar{X}$ = Nilai rata-rata
Xi = Nilai Varian ke-i
n = Jumlah data

Syarat distribusi dengan ketentuan koefisien kemencengan (Cs) dan koefisien kurtois (Ck) pada distribusi frekuensi yang akan digunakan, dijelaskan pada tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.7 Karakteristik Distribusi Frekuensi

No	Distribusi Frekuensi	Syarat Distribusi	
		Cs	Ck
1	Normal	0	3
2	Log Normal	0	>3
3	Gumbel	1,14	5,4
4	Pearson Type III	Fleksibel	Fleksibel
5	Log Pearson Type III	Selain dari nilai diatas	

(Sumber : Triadmojo, 2010)

2.4.3 Perhitungan Curah Hujan Rencana

Sistem hidrologi biasanya dipengaruhi oleh hujan lebat, banjir dan kekeringan. Tujuan dari analisa frekuensi dan hidrologi adalah berkaitan dengan besaran frekuensi kejadian melalui penerapan distribusi kemungkinan.

Pada perhitungan debit banjir rencana, metode sebaran yang umum digunakan sebagai berikut (Widianto, 2010):

1. Metode Distribusi Normal
2. Metode Distribusi Log Normal
3. Metode Distribusi Gumbel
4. Metode Distribusi Log Pearson III

2.4.3.1 Metode Distribusi Normal

Distribusi normal banyak digunakan dalam analisa hidrologi, misalnya dalam analisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi rata-rata tahunan dan sebagainya. Distribusi normal atau disebut pula dengan distribusi Gauss. Secara umum persamaan distribusi normal sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

$$X_t = \bar{X} + z \cdot S_x \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

X_t = Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun

$\bar{X}$ = Curah hujan rata-rata

S_x = Standar deviasi/simpangan baku a

z = Nilai Koefisien untuk periode ulang T tahun

Tabel 2.8 Nilai Koefisien untuk Distribusi Log Normal

Periode Ulang (tahun)					
2	5	10	25	50	100
0,00	0,84	1,28	1,71	2,05	2,33

(Sumber : Lubis, 2016)

2.4.3.2 Metode Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X. Rumus yang digunakan dalam perhitungan metode Log Normal adalah sebagai berikut :

$$X_t = \bar{X} + K_t \cdot S_x \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

X_t = Besarnya curah hujan yang mungkin terjadi pada periode ulang T tahun

$\bar{X}$ = Curah hujan rata-rata

S_x = Standar deviasi/simpangan baku a

K_t = Nilai Koefisien untuk periode ulang T tahun

Tabel 2.9 Nilai koefisien untuk distribusi Log Normal

Periode Ulang (tahun)					
2	5	10	25	50	100
0,00	0,84	1,28	1,71	2,05	2,33

(Sumber : Lubis, 2016)

2.4.3.3 Metode Sebaran Gumbel

Metode Gumbel, digunakan pada perhitungan hujan harian maksimum untuk menentukan kejadian yang tidak biasa (ekstrem). Rumus yang digunakan untuk menghitung metode ini adalah sebagai berikut :

$$X_t = \bar{X} + sK \dots \dots \dots (2.11)$$

Keterangan :

$\bar{X}$ = Harga rata-rata sampel

s = Standar deviasi

Faktor probabilitas K untuk harga-harga ekstrem gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan :

$$K = \frac{Y_{Tr} - Y_n}{S_n} \dots \dots \dots (2.12)$$

Keterangan :

Y_n = Reduced mean yang tergantung jumlah sampel atau data n

S_n = Reduced standart deviation yang juga tergantung pada jumlah sampel/data n

Y_{Tr} = Reduced variate, yang dapat dihitung dengan persamaan berikut

:

$$Y_{tr} = -\ln(-\ln \frac{Tr}{Tr-1}) \dots \dots \dots (2.13)$$

Keterangan :

Tr = Periode ulang hujan untuk curah hujan tahunan rata-rata (2,33 tahun)

Tabel 2.10 Reduced mean, Yn metode sebaran Gumbel

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5300	0,5820	0,5882	0,5343	0,5353
30	0,5363	0,5371	0,5380	0,5388	0,5396	0,5400	0,5410	0,5418	0,5424	0,5430
40	0,5463	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5468	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,5540	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,5550	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,5570	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,5580	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,5600									

(Sumber : Soemarto, 1998)

Tabel 2.11 Reduced standard deviation, Sn metode sebaran gumbel

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9676	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0811	1,0864	1,0315	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1923	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,1770	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,1980	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2046	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065									

(Sumber : Soemarto, 1998)

Tabel 2.12 Reduced variate, Yt untuk metode sebaran Gumbel

Periode Ulang (Tahun)	Reduce Variate
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2502
20	2,9606
25	3,1985
50	3,9019
100	4,6001
200	5,2960
500	6,2140
1000	6,9190
5000	8,5390
10000	9,9210

(Sumber : Soemarto, 1998)

2.4.3.4 Metode Distribusi Log Pearson III

Sebaran Log-Pearson tipe III banyak digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrim. Salah satu distribusi yang dikembangkan Pearson yang menjadi perhatian ahli sumberdaya air adalah Log Pearson Type III. Tiga parameter penting dalam Log Pearson Type III diantaranya:

1. Harga rata-rata
2. Simpangan baku / standar deviasi
3. Koefisien kemencengan (skewness)

Berikut langkah-langkah metode distribusi Log Pearson III :

1. Ubah data ke dalam bentuk logaritma, $X = \log x$
2. Hitung harga rata-rata dengan rumus :

$$\log \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N \log X_i}{n} \dots \dots \dots (2.14)$$

3. Hitung harga simpangan baku dengan rumus :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{n-1}} \dots \dots \dots (2.15)$$

4. Hitung koefisien kemencengan dengan rumus ;

$$G = \frac{n \sum_{i=1}^n (\log X_i - \log \bar{X})^2}{(n-1)(n-2)s^3} \dots\dots\dots(2.16)$$

5. Hitung logaritma hujan atau banjir dengan periode ulang T dengan rumus :

$$\log X_T = \log \bar{X} + K \cdot s \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

Log = Harga rata-rata dari logaritma data hujan

Log Xt = Logaritma hujan rencana untuk T tahun

$\bar{X}$ = Logaritma hujan rencana untuk T tahun

Log S = Koefisien kemencengan

G = Variabel standar untuk X

K = Koefisien kemencengan G

Tabel 2.13 Harga K untuk sebaran metode Log Pearson III

Kemencengan (Cs)	Perode Ulang (Tahun)								
	2	5	10	15	25	50	100	200	1000
3.0	-0.360	0.420	1.180	1.455	2.278	3.152	4.051	4.970	7.250
2.5	-0.360	0.518	1.250	1.503	2.262	3.048	3.845	4.652	6.600
2.2	-0.330	0.574	1.284	1.523	2.240	2.970	3.705	4.444	6.200
2.0	-0.307	0.609	1.302	1.531	2.219	2.912	3.605	4.298	5.910
1.8	-0.282	0.643	1.318	1.537	2.193	2.848	3.499	4.147	5.660
1.6	-0.254	0.675	1.329	1.538	2.163	2.780	3.388	3.990	5.390
1.4	-0.225	0.705	1.337	1.535	2.128	2.706	3.271	3.828	5.110
1.2	-0.195	0.732	1.340	1.527	2.087	2.626	3.149	3.661	4.820
1.0	-0.164	0.758	1.340	1.516	2.043	2.542	3.022	3.489	4.540
0.9	-0.148	0.769	1.339	1.509	2.018	2.498	2.957	3.401	4.395
0.8	-0.132	0.780	1.336	1.502	1.998	2.453	2.891	3.312	4.250
0.7	-0.116	0.790	1.333	1.492	1.967	2.407	2.824	3.223	4.105
0.6	-0.099	0.800	1.328	1.481	1.939	2.359	2.755	3.132	3.960
0.5	-0.083	0.808	1.323	1.470	1.910	2.311	2.686	3.041	3.815
0.4	-0.066	0.816	1.317	1.458	1.880	2.261	2.615	2.949	3.670
0.3	-0.050	0.824	1.309	1.444	1.849	2.211	2.544	2.856	3.525
0.2	-0.033	0.842	1.282	1.399	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
0.1	-0.017	0.836	1.270	1.393	1.761	2.000	2.252	2.482	3.950
0.0	0.000	0.842	1.282	1.399	1.751	2.054	2.326	2.576	3.090
-0.1	0.017	0.850	1.258	1.364	1.680	1.945	2.178	2.388	3.950
-0.2	0.033	0.850	1.258	1.364	1.680	1.945	2.178	2.388	2.810
-0.3	0.050	0.853	1.245	1.345	1.643	1.890	2.104	2.294	2.675
-0.4	0.066	0.855	1.231	1.325	1.606	1.834	2.029	2.210	2.540
-0.5	0.083	0.856	1.260	1.337	1.567	1.777	1.955	2.108	2.400
-0.6	0.099	0.857	1.200	1.282	1.528	1.720	1.880	2.016	2.275
-0.7	0.116	0.857	1.183	1.259	1.488	1.663	1.806	1.926	2.150
-0.8	0.132	0.856	1.166	1.237	1.448	1.606	1.733	1.873	2.035
-0.9	0.148	0.854	1.147	1.212	1.407	1.549	1.660	1.749	1.910
-1.0	0.164	0.852	1.128	1.188	1.366	1.492	1.588	1.664	1.800
-1.2	0.195	0.844	1.086	1.135	1.282	1.379	1.449	1.501	1.625
-1.4	0.225	0.832	1.041	1.080	1.198	1.270	1.318	1.351	1.465
-1.6	0.254	0.817	0.994	1.025	1.116	1.166	1.197	1.216	1.280
-1.8	0.282	0.799	0.945	0.968	1.035	1.069	1.087	1.097	1.130
-2.0	0.307	0.777	0.895	0.911	0.959	0.980	0.990	1.995	1.000
-2.2	0.330	0.752	0.844	0.855	0.888	0.900	0.905	0.907	0.910
-2.5	0.360	0.711	0.771	0.777	0.793	0.798	0.799	0.800	0.802
-3.0	0.396	0.636	0.660	0.662	0.666	0.666	0.667	0.667	0.668

(Sumber : Soemarto, 1998)

2.4.4 Uji Kecocokan Distribusi Sebaran

Uji kecocokan sebaran dilakukan untuk mengetahui jenis sebaran yang paling sesuai dengan data hujan. Uji sebaran dilakukan dengan uji kecocokan distribusi yang dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan sebaran peluang yang telah dipilih dapat menggambarkan atau mewakili dari sebaran statistik sample data yang dianalisis tersebut (Soemarto, 1999). Ada dua jenis uji kecocokan (Goodness of fit test) yaitu uji kecocokan Chi-Square dan Smirnov-Kolmogorof. Umumnya pengujian dilaksanakan dengan cara menggambarkan data pada kertas peluang dan menentukan apakah data tersebut merupakan garis lurus, atau dengan membandingkan kurva frekuensi dari data pengamatan terhadap kurva frekuensi teoritisnya (Soewarno, 1995).

2.4.4.1 Uji Kecocokan Chi Square

Uji kecocokan Chi-Square dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan sebaran peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sampel data yang dianalisis. Prinsip pengujian dengan metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut. Uji distribusi data curah hujan yang dianggap paling mudah perhitungannya untuk menguji peluang curah hujan adalah metode chi kuadrat tes (Chi Square Test), (Suripin, 2004).

$$\chi^2.h = \sum \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots \dots \dots (2.18)$$

Keterangan :

$\chi^2.h$ = Parameter chi square kuadrat terhitung

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke i

E_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke i

2.4.4.2 Uji Kecocokan Smirnov-Kolmogorof

Uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorof* sering juga disebut uji kecocokan non parametrik (*non parametrik test*) karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu.

Rumus yang dipakai (Soewarno, 1995)

$$\alpha = \frac{P_{max}}{P(x)} - \frac{P_{xi}}{\Delta_{cr}} \dots \dots \dots (2.19)$$

Adapun prosedur pelaksanaan dari uji kecocokan Smirnov-kologorof sebagai berikut ;

1. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya peluang dari masing-masing data tersebut :
 $X1 = P(X1)$
 $X2 = P(X2)$
 $X3 = P(X3)$, dan seterusnya.
2. Urutkan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya).
 $X1 = P(X1)$
 $X2 = P(X2)$
 $X3 = P(X3)$, dan seterusnya.
3. Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antar peluang pengamatan dengan peluang teoritis :
 $D = \text{maksimum } (P(Xn) - (P(Xn)))$
4. Untuk harga D_o dapat ditentukan berdasarkan tabel nilai kritis (smirnov kolmogorof).

Tabel 2.14 Nilai Do kritis untuk uji kecocokan Smirnov Kolmogorof

Jumlah Data n	α derajat kepercayaan			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
40	0,17	0,19	0,21	0,25
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
n>50	1,07/n	1,22/n	1,36/n	1,63/n

(Sumber : Suripin, 2004)

2.4.5 Analisis Intesitas Hujan

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya makin tinggi pula intensitasnya. Hubungan antara intensitas, lama hujan dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas – Durasi - Frekuensi (*IDF = Intensity – Duration – Frequency Curve*). Diperlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit dan jam-jaman untuk membentuk lengkung IDF. Data hujan jenis ini hanya dapat diperoleh dari pos penakar hujan otomatis. Selanjutnya, berdasarkan data hujan jangka pendek tersebut lengkung IDF dapat dibuat (Suripin, 2004).

Untuk menentukan debit banjir rencana (*design flood*) perlu didapatkan harga suatu intensitas curah hujan terutama bila digunakan metoda rational. Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu di mana air tersebut berkonsentrasi. Analisis intensitas curah hujan

ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau (Loebis, 1987).

Intensitas hujan merupakan ketinggian atau kedalaman air hujan per satuan waktu. Semakin singkat intensitas hujan maka waktu yang diperlukan semakin lama. Dan sebaliknya, semakin lama intensitas hujan, maka waktu yang diperlukan semakin pendek. (Harsoyo, 2010) mengatakan bahwa rumus umum intensitas curah hujan adalah:

$$I_t = \frac{R_t}{t} \dots\dots\dots (2.20)$$

Keterangan :

I_t = Intesitas curah hujan (mm/jam)

R_t = Jumlah hujan (mm)

t = Waktu hujan (jam)

Sedangkan hujan yang turun selama 5 menit sampai 2 jam. Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk menghitung intesitas curah hujan.

2.4.5.1 Rumus Tablot

Rumus yang dipakai (Soemarto, 1999) :

$$I = \frac{a}{t+b} \dots\dots\dots (2.21)$$

Keterangan :

I = Intesitas curah hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

a dan b = Konstanta yang besarnya bergantung pada keadaan daerah setempat

Besarnya konstanta a dan b dapat ditentukan dengan melakukan pengamatan hujan dengan lama waktu hujan $t_1, t_2, t_3, \dots\dots\dots, t_n$. Biasanya pengamatan n diambil kurang lebih 8 kali pengamatan yang intensitasnya $I_1, I_2, I_3, \dots\dots, I_n$, yang dinyatakan dalam mm/jam. Konstanta a dan b dapat dihitung dengan persamaan:

$$a = \frac{\sum[I.t].\sum[I^2] - \sum[I^2.t].\sum[I]}{N \sum[I^2] - \sum[I] \sum[I]} \dots\dots\dots (2.22)$$

Sedangkan untuk b :

$$b = \frac{\sum[I] \cdot \sum[I \cdot t] - \sum N \cdot [I^2 \cdot t]}{N \sum[I^2] - \sum[I] \sum[I]} \dots\dots\dots(2.23)$$

Keterangan :

I = Intesitas curah hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

N = Banyaknya data

2.4.5.2 Rumus Sherman (1905)

Rumus Sherman biasanya digunakan untuk hujan yang lamanya lebih dari 2 jam. Adapun rumus yang digunakan (Soemarto, 1999) :

$$I = \frac{a}{t^k} \dots\dots\dots(2.24)$$

Perhitungan konstanta a dan b dapat diitung dengan persamaan :

$$a = \frac{\sum(\log I) \sum(\log t)^2 - \sum(\log t \cdot \log I) \sum(\log t)}{N \cdot \sum(\log t)^2 - \sum(\log t) \sum(\log t)} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$b = \frac{\sum(\log I) \sum(\log t) - \sum(\log t \cdot \log I)}{N \cdot \sum(\log t)^2 - \sum(\log t) \sum(\log t)} \dots\dots\dots(2.26)$$

Keterangan :

I = Intesitas curah hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

a dan b = Konstanta yang besarnya bergantung pada keadaan daerah setempat

2.4.5.3 Rumus Ishiguro

Rumus yang dipakai (Soemarto, 1999) :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b} \dots\dots\dots(2.27)$$

Perhitungan konstanta a dan b dapat dihitung dengan persamaan :

$$a = \frac{\sum[I \cdot \sqrt{t}] \cdot \sum[I^2] - \sum[I^2 \cdot \sqrt{t}] \cdot \sum[I]}{N \sum[I^2] - \sum[I] \sum[I]} \dots\dots\dots(2.28)$$

$$b = \frac{\sum[I] \cdot \sum[I \cdot \sqrt{t}] - \sum N \cdot [I^2 \cdot t]}{N \sum[I^2] - \sum[I] \sum[I]} \dots\dots\dots(2.29)$$

Keterangan :

I = Intesitas curah hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan (jam)

a dan b = Konstanta yang besarnya bergantung pada keadaan daerah setempat.

2.4.5.4 Rumus Mononobe

Apabila data hujan yang tersedia hanyalah data hujan harian, maka intesitas hujan dapat dihitung dengan rumus mononobe (Loebis, 1987) :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left[\frac{24}{t} \right]^{2/3} \dots\dots\dots(2.30)$$

Keterangan :

I = Intesitas curah hujan (mm/jam)

R₂₄ = Curah hujan maksimum harian (selama 24 jam) (jam)

t = lamanya hujan (mm)

Lamanya hujan pada perumusan tersebut, dinyatakan sama dengan waktu kosentrasi (tc) yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari suatu titik terjauh pada Daerah Aliran Sungai (DAS) hingga mencapai titik yang ditinjau pada sungai. Kemiringan daerah aliran dan kemiringan saluran dapat dihitung dengan rumus:

$$t_c = t_0 + t_f \dots\dots\dots(2.31)$$

$$t_0 = \left(0,0195 \frac{L_0}{\sqrt{S}} \right)^{0,77} \dots\dots\dots(2.32)$$

Keterangan :

tc = Waktu yang diperlukan air hujan untuk mengalir di permukaan (jam)

t₀ = Waktu kosentrasi (jam)

t_f = Waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir (jam)

L₀ = Panjang jarak dari tempat terjauh di daerah aliran sampai mencapai inlet atau tempat pengamatan banjir atau jarak titik terjauh pada lahan terhadap saluran (m)

S = Kemiringan rata-rata dari daerah aliran atau kemiringan lahan atau perbandingan dari selisih tinggi antara tempat terjauh dan tempat pengamat terhadap panjang jaraknya ($\Delta h / l$).

2.4.6 Analisa Debit Banjir Rencana

Debit aliran sungai diberi notasi Q adalah jumlah air yang mengalir melalui tampang lintang sungai tiap satuan waktu yang biasanya dinyatakan dalam meter kubik per detik (m^3 / s). Mengingat bahwa debit aliran sangat bervariasi dari waktu ke waktu, maka diperlukan data pengamatan debit dalam jangka waktu panjang (Triatmodjo, 2008).

Metode yang biasa digunakan untuk menghitung debit banjir rencana sebagai dasar perencanaan konstruksi bangunan air umumnya sebagai berikut ;

2.4.6.1 Metode Rasional

Metode rasional hanya digunakan untuk menentukan banjir maksimum bagi saluran-saluran dengan daerah aliran kecil, kira-kira 40-80 ha, metode rasional ini dapat menyatakan secara aljabar dengan persamaan sebagai berikut (Subarkah, 1980) :

$$Q = 0,278 . C . I . A \dots\dots\dots (2.33)$$

Keterangan :

Q = Debit banjir rencana (m^3 / dtk)

C = Koefisien run off (koefisien limpasan)

I = Intesitas maksimum selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = Luas daerah aliran (km^2)

Koefisien limpasan (C), dapat diperkirakan dengan meninjau tata guna lahan.

Tabel 2.15 Koefisien Limpasan

Tipe Daerah Aliran	C
Rerumputan	
Tanah pasir, datar, 2%	0,50 – 0,10
Tanah pasir, sedang, 2-7%	0,10 – 0,15
Tanah pasir, curam, 7%	0,15 – 0,20
Tanah gemuk, datar, 2%	0,13 – 0,17
Tanah gemuk, sedang, 2-7%	0,18 – 0,22
Tanah gemuk, curam, 7%	0,25 – 0,35
Perdagangan	
Daerah kota lama	0,75 – 0,95
Daerah pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan	
Daerah single family	0,30 – 0,50
Multi unit terpisah	0,40 – 0,60
Multi unit tertutup	0,60 – 0,75
Suburban	0,25 – 0,40
Daerah apartemen	0,50 – 0,70
Industri	
Daerah ringan	0,50 – 0,80
Daerah berat	0,60 – 0,90
Taman, kuburan	0,10 – 0,25
Tempat bermain	0,20 – 0,35
Halaman kereta api	0,20 – 0,40
Daerah tidak dikerjakan	0,05 – 0,35
Jalan : Beraspal	0,70 – 0,95
Beton	0,80 – 0,95
Batu	0,70 – 0,85
Atap	0,75 – 0,95

(Sumber ; Triatmodjo, 2010)

Tabel 2.16 Karakteristik Tanah

Karakteristik tanah	Tata guna lahan	Koeff. limpasan
Campuran pasir dan atau capuran kerikil	Pertanian	0,20
	Padang rumput	0,15
	Hutan	0,10
Geluh dan sejenisnya	Pertanian	0,4
	Padang rumput	0,35
	Hutan	0,3
Lempung dan sejenisnya	Pertanian	0,50
	Padang rumput	0,45
	Hutan	0,40

(Sumber : Subarkih, 1980)

Tabel 2.17 Koefisien Run Off menurut Monobe

Kondisi daerah aliran/ sungai	Koeff. Run off C
Daerah pegunungan curam	0,75 – 0,90
Daerah pegunungan tertier	0,70 – 0,80
Tanah bergelombang dan hutan	0,50 – 0,75
Tanah dataran yang ditanami	0,45 – 0,60
Persawahan saat diairi	0,70 – 0,80
Sungai didaerah pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai kecil di dataran	0,45 – 0,75
Sungai besar > setengah pengaliran nya di dataran	0,50 – 0,75

(Sumber : Loebis, 1984)

2.4.6.2 Hidrograf Satuan Sintetik Metode Nakayasu

Untuk menentukan hidrograf satuan daerah pengaliran sungai yang tidak terpasang stasiun AWLR (Automatic Water Level Recorder), dapat digunakan hidrograf sintetik “Nakayasu” (buku hidrologi untuk pengairan).

Parameter yang memepengaruhi unit hidrograf adalah:

1. Tenggang waktu dari permukaan hujan sampai puncak hidrograf (time to peak mangnitube).
2. Tenggang waktu dari titik berat sampai titik berat hidrograf (time log).
3. Tenggang waktu hidrograf (time base of hydrograph).
4. Luas daerah pengaliran.
5. Panjang alur sungai utama terpanjang (leght of longest channel).
6. Koefisien pengaliran (run off coefficient).

Nakayasu dari Jepang telah menyelidiki hidrograf satuan pada beberapa sungai di Jepang. Ia membuat rumusan hidrograf satuan sintetik dari hasil penyelidikannya tersebut. Rumus dari hidrograf satuan Nakayasu adalah:

$$Qp = \frac{CA.Ro}{3,6(0,3Tp+T_{0,3})} \dots\dots\dots(2.34)$$

Keterangan :

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

R_o = Hujan satuan (mm)

T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)

CA = Luas daerah pengaliran sampai outlet (km^2)

Untuk menentukan T_p dan $T_{0,3}$ digunakan pendekatan rumus sebagai berikut :

$$T_p = t_g + 0,8 t_r$$

$$T_{0,3} = \alpha t_g$$

$$T_r = 0,5 t_g \text{ sampai } t_g$$

t_g adalah time lag yaitu waktu antara hujan sampai debit puncak banjir (jam). t_g dihitung dengan ketentuan sebagai berikut :

1. Sungai dengan panjang alur $L > 15 \text{ km}$: $t_g = 0,4 + 0,058L$
2. Sungai dengan panjang alur $L < 15 \text{ km}$: $t_g = 0,21L^{0,7}$

Perhitungan $T_{0,3}$ menggunakan ketentuan:

$\alpha = 2$ pada daerah pengaliran biasa

$\alpha = 1,5$ pada bagian naik hidrograf lambat, dan turun cepat

$\alpha = 3$ pada bagian naik hidrograf cepat, dan turun lambat

- Pada waktu naik : $0 < t < T_p$

$$Q_a = (t/T_p)^{2,4} \dots \dots \dots (2.35)$$

Dimana Q_a adalah limpasan sebelum mencapai debit puncak (m^3/dt)

- Pada kurva turun (decreasing limb)

$$\text{Selang nilai : } 0 \leq t \leq (T_p + T_{0,3})$$

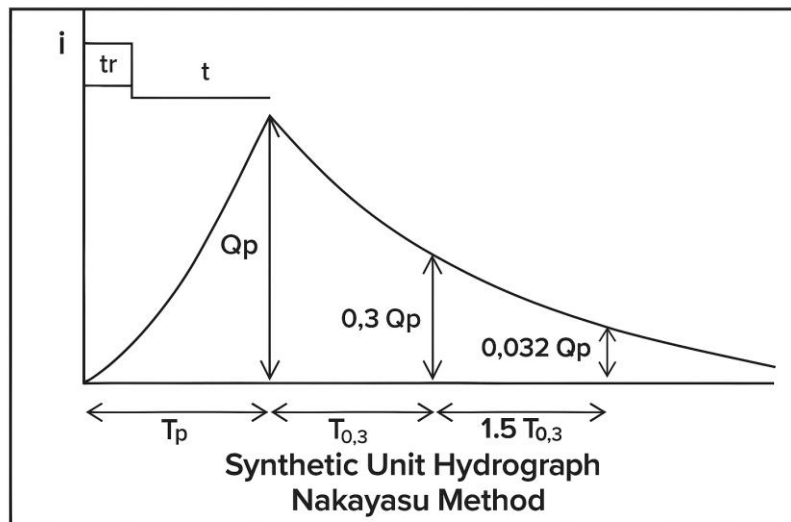
$$Q_{d_1} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0,3}}} \dots \dots \dots (2.36)$$

$$\text{Selang nilai : } (T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$$

$$Q_{d_2} = Q_p \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5T_{0,3})}{1,5T_{0,3}}} \dots \dots \dots (2.37)$$

Selang nilai : $t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3})$

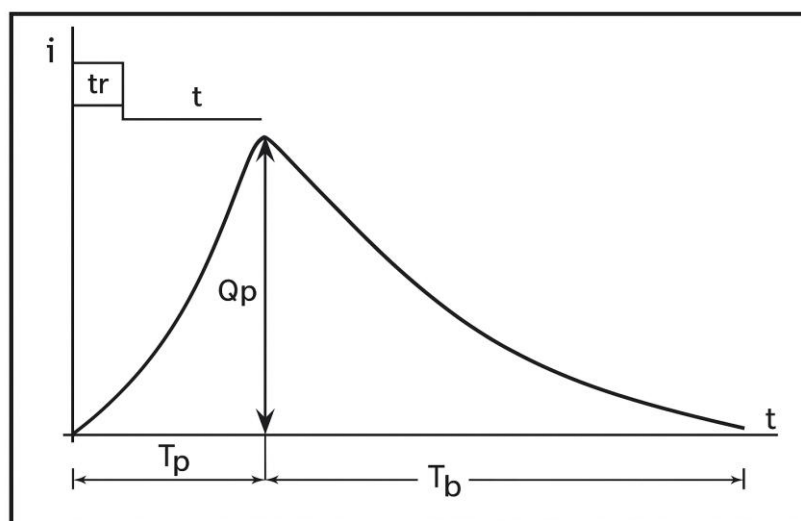
$$Qd_3 = Qp \cdot 0,3^{\frac{(t-T_p+1,5T_{0,3})}{2T_{0,3}}} \dots\dots\dots(2.38)$$



Gambar 2.9 Hidrograf Satuan Sintetis Metode Nakayasu
(Sumber ; Soemarto, 1987)

2.4.6.3 Hidrograf Satuan Sintetik Metode Synder

Hidrograf satuan snyder ditentukan secara cukup baik dengan tinggi $d = 1$ cm, dan dengan ketiga unsur yang lain, yaitu Qp ($m^3 /detik$), Tb serta tr (jam).



Gambar 2.10 Hidrograf Satuan Sintetis Metode Synder
(Sumber ; Soemarto, 1987)

Unsur-unsur hidrograf tersebut dihubungkan dengan: A = luas daerah pengaliran (km²) L = panjang aliran utama (km) Lc = jarak antara titik berat daerah pengaliran dengan pelepasan (outlet) yang diukur sepanjang aliran utama Dengan unsur-unsur tersebut diatas SNYDER membuat rumus-rumusnya seperti berikut:

$$t_p = C_t(LL_e)^{0,3} \dots\dots\dots(2.39)$$

$$t_r = \frac{t_p}{5,5} \dots\dots\dots(2.40)$$

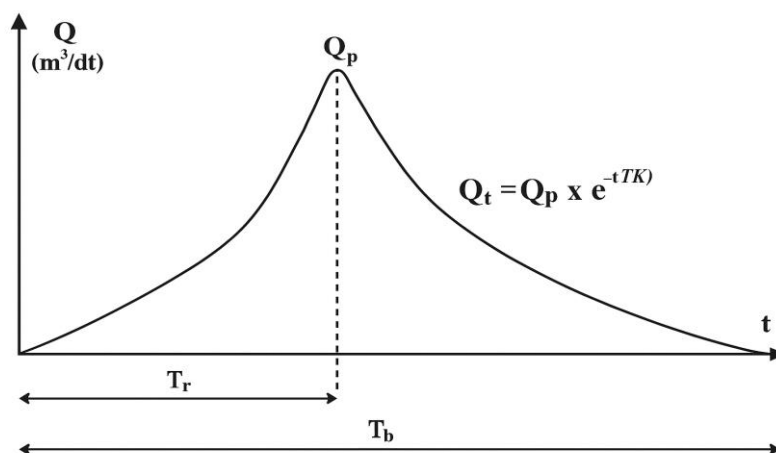
$$Q_p = 2,78 \frac{C_p A}{t_p} \dots\dots\dots(2.41)$$

$$T_b = 72 + 3t_p \dots\dots\dots(2.42)$$

Koefisien-koefisien C_t dan C_p harus ditentukan secara empiris, karena besarnya berubah-ubah antara daerah yang satu dengan daerah yang lain. Besarnya $C_t = 0,75 - 3,00$, sedangkan besarnya $C_p = 0,90 - 1,40$.

2.4.6.4 Hidrograf Satuan Sintetiik Metode Gama 1

HSS Gama 1 diteliti dan dikembangkan berdasarkan perilaku 30 DAS di Pulau Jawa oleh Sri Harto. Bagian-bagian dari HSS Gama 1 adalah bagian naik, puncak, dan bagian turun. Unsur-unsur HSS Gama 1 meliputi: waktu puncak (T_r), debit puncak (Q_p), dan Waktu dasar (T_b).



Gambar 2.11 Bagian-bagian HSS Gama 1

(Sumber : I Made K, 2011)

Parameter DAS yang diperlukan dalam perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis Gama 1 adalah sebagai berikut:

1. Luas DAS (A).
2. Panjang alur sungai utama (L).
3. Jarak antara titik berat DAS dengan outlet yang diukur disepanjang aliran utama (Lc).
4. Kemiringan memanjang dasar sungai (S).
5. Kerapatan jaringan drainase (D), yaitu perbandingan antara panjang total aliran sungai (jumlah panjang sungai semua tingkat) dengan luas DAS.
6. Faktor sumber (SF), yaitu perbandingan antara jumlah panjang sungai tingkat 1 dengan jumlah panjang sungai semua tingkat.
7. Frekuensi sumber (SN), yaitu perbandingan jumlah pangsa sungai tingkat 1 dengan jumlah pangsa sungai semua tingkat.
8. Faktor lebar (WF), yaitu perbandingan antara lebar DAS yang diukur di titik sungai yang berjarak 0,751 dari titik kontrol (WU) dan lebar DAS yang diukur di. titik sungai yang berjarak 0,251 dari titik kontrol atau outlet (WL).
9. RUA, adalah perbandingan antara AU dan A.

AU = luas DAS disebelah hulu garis yang ditarik tegak lurus terhadap garis hubung antara titik kontrol (outlet) dengan titik di sungai yang terdekat dengan titik berat DAS

A = luas total DAS

10. Faktor simetri (SIM)

$$SIM = WF \times RU \text{ (2-25)}$$

- $SIM > 50$, artinya DAS melebar di hulu dan menyempit di hilir.
- $SIM < 50$, artinya DAS menyempit di hulu dan melebar di hilir

Rumus-rumus yang dipergunakan dalam menurunkan HSS Gama 1 adalah sebagai berikut:

$$Tr = 0,43\left(\frac{L}{100 \times SF}\right)^3 + 1,0665 \times SIM = 1,2775 \dots \dots \dots (2.43)$$

$$Tb = 27,4132 \times Tr^3 \times S^{-0,0986} \times SN^{0,7344} \times RUA^{0,2574} \dots\dots\dots(2.44)$$

$$Qp = 0,1863 \times A^{0,5886} \times Tr^{-0,4008} \times JN^{0,2381} \dots\dots\dots(2.45)$$

$$Qp = 0,561 \times A^{0,1793} \times S^{-0,1446} \times SF^{-1,0897} \times D^{0,0452} \dots\dots\dots(2.46)$$

$$Q_t = Q_p \times e^{(-t/K)} \dots\dots\dots(2.47)$$

Keterangan :

- Tr = Waktu puncak (jam)
Tb = Waktu dasar (jam)
Qp = Debit pada puncak hidrograf (m³/dtk)
Qt = Debit pada bagian turun hidrograf (m³/dtk)
K = Tampungan (jam)
JN = Jumlah pertemuan sungai

Input data DAS yang dibutuhkan :

- Luas DAS (A).
- Luas DAS hulu (AU).
- Panjang aliran utama (L).
- Lebar DAS di titik 0,25 L dari outlet (WL).
- Lebar DAS di titik 0,75 L dari outlet (WU).
- Kemiringan memanjang dasar sungai (S). - Panjang sungai semua tingkat (LN).
- Panjang sungai semua tingkat 1 (L1).
- Jumlah pertemuan sungai (JN).
- Pangsa sungai tingkat 1 (P1). - Pangsa sungai semua tingkat (PN).

2.5 HEC-RAS

HEC-RAS adalah aplikasi yang diberikan secara freeware oleh Hydrologic Engineering Center Us Army. Aplikasi HEC-RAS ini menitik beratkan pada analisa Hidraulika pada sebuah Sungai / River Analysis Sistem, lain halnya dengan aplikasi serupa yang di keluarkan yaitu HEC-HMS yang menitik beratkan kepada analisa Hidrologinya. Data hujan yang digunakan oleh input

HEC-RAS bisa didapatkan dengan aplikasi HEC-HMS yang fungsinya sebagai analisis Hidrologi.

Analisis hidrolika penampang saluran dihitung dengan menggunakan program HECRAS. Dengan analisis ini dapat diketahui elevasi muka air pada penampang saluran saat suatu debit air melalui saluran tersebut. Analisis yang dilakukan oleh HEC-RAS adalah analisis Aliran Steady, Unsteady dan Sediment Transport. Aliran Steady adalah sebuah aliran di mana jumlah cairan yang mengalir per detik melalui bagian apapun, adalah konstan. Aliran Steady pun di bagi menjadi 2, yaitu Uniform Flow dan Non Uniform Flow. Sedangkan UnSteady Flow adalah sebuah aliran di mana jumlah cairan yang mengalir per detik melalui bagian apapun, adalah tidak konstan

Di dalam program HEC-RAS, kumpulan data tergabung di dalam proyek sistem saluran. Penggunaan program ini dapat dilakukan berbagai macam tipe analisa tentang pemodelan untuk formulasi beberapa rencana yang berbeda. Masing-masing rencana mewakili kumpulan data geometri dan data aliran. Setelah data awal dimasukkan dalam HEC-RAS, pemodelan dapat dengan mudah memformulasikan rencana baru. Setelah simulasi selesai dibuat untuk berbagai macam rencana, hasil simulasi dapat dibandingkan dalam bentuk tabel dan grafik yang berbeda. Terdapat lima langkah utama dalam pembangunan model hidrolis menggunakan HEC RAS, yaitu :

1. Memulai HEC RAS
2. Pembuatan nama pekerjaan
3. Memasukkan data geometri
4. Memasukkan data debit (steady flow) dan kondisi batas
5. Running program (steady flow).

2.5.1 Fungsi HEC-RAS

HEC-RAS memiliki banyak fungsi penting dalam hidrologi dan rekayasa sipil. Di bawah ini beberapa fungsi HEC-RAS:

1. Pemodelan Aliran Sungai: HEC-RAS digunakan untuk memodelkan dan menganalisis aliran air dalam sungai untuk berbagai kondisi, termasuk

banjir, debit normal, dan debit rendah. Ini membantu dalam perencanaan dan desain struktur sungai, seperti bendungan dan jembatan.

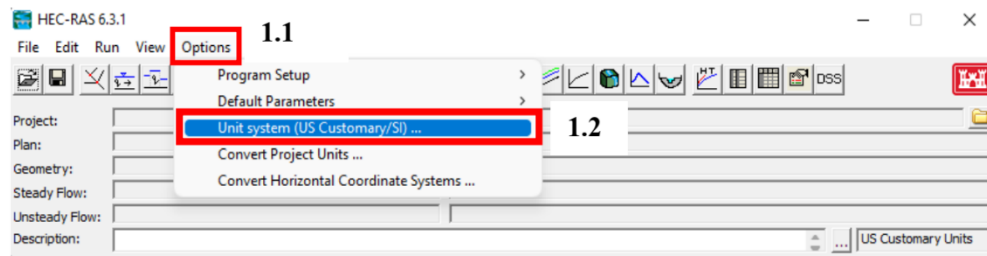
2. Analisis Banjir: Pada umumnya, HEC-RAS digunakan untuk analisis dan pemetaan wilayah banjir. Dengan simulasi yang akurat, perangkat ini dapat memperkirakan risiko banjir berdasarkan data hidrologi historis dan proyeksi masa depan.
3. Transportasi Sedimen: Fitur ini memungkinkan pengguna untuk memodelkan pergerakan sedimen dalam sungai, yang sangat penting untuk pemeliharaan dan manajemen sungai. Ini membantu dalam memahami bagaimana sedimen berpindah dan terendapkan di sepanjang aliran sungai.
4. Kualitas Air : HEC-RAS juga mampu menilai kualitas air di dalam sistem sungai. Ini termasuk model kualitatif dari pembuangan limbah, polutan, dan zat lain yang mempengaruhi ekosistem sungai.

2.5.2 Fitur Utama HEC-RAS

HEC-RAS dilengkapi dengan berbagai fitur canggih yang membuatnya sangat efektif dan efisien dalam analisis hidraulik. Beberapa fitur HEC-RAS utamanya adalah:

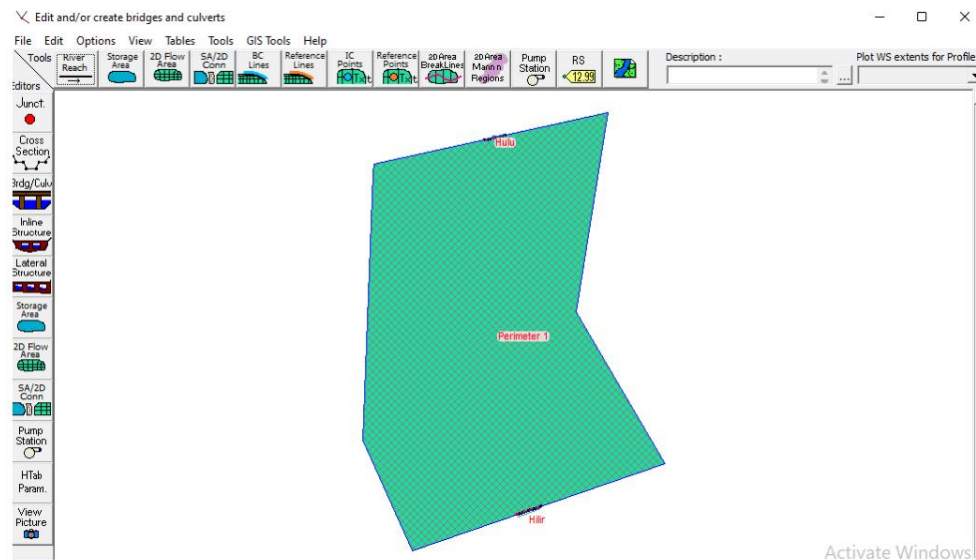
1. Antarmuka Pengguna yang Intuitif: HEC-RAS memiliki antarmuka yang user-friendly, memudahkan pengguna untuk mengimpor data, melakukan simulasi, dan menganalisis hasil dengan cepat.
2. Pemodelan Multidimensi: Selain menyediakan analisis satu dimensi (1D), HEC-RAS juga mendukung pemodelan dua dimensi (2D), yang memberikan gambaran lebih detail dan realistis dari perilaku aliran air.
3. Kompatibilitas dengan Data GIS: HEC-RAS dapat diintegrasikan dengan Sistem Informasi Geografis (GIS), memungkinkan pengguna untuk memanfaatkan data spasial dalam analisis hidraulik mereka.
4. Modularitas: Perangkat lunak ini memiliki pendekatan modular yang memungkinkan pengguna untuk menambahkan fitur tambahan sesuai kebutuhan spesifik, seperti analisis kualitas air atau transportasi sedimen.

5. Grafik dan Peta: HEC-RAS menyediakan berbagai alat visualisasi yang membantu dalam menampilkan hasil analisis dalam bentuk grafik dan peta, memudahkan interpretasi data dan pembuatan laporan.



Gambar 2. 12 Tampilan aplikasi HEC-RAS

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)



Gambar 2.13 Tampilan aplikasi HEC-RAS

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

2.6 GIS/SIG (Sistem Informasi Geografis)

Menurut Gistut (1994), pengertian SIG adalah sistem yang dapat mendukung pengambilan keputusan spasial dan mampu mengintegrasikan deskripsi – deskripsi lokasi dengan karakteristik – karakteristik fenomena yang ditemukan di lokasi tersebut. SIG yang lengkap mencakup metodologi dan teknologi yang diperlukan, yaitu data spasial perangkat keras, perangkat lunak dan struktur organisasi.

Menurut Bernhardsen (2002), SIG merupakan sistem komputer yang digunakan untuk memanipulasi data geografi. Sistem ini diimplementasikan dengan perangkat keras dan perangkat lunak komputer yang berfungsi untuk akuisisi dan verifikasi data, kompilasi data, penyimpanan data, perubahan dan pembaharuan data, manajemen dan pertukaran data, manipulasi data, pemanggilan dan presentasi data serta analisa data.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan suatu ilmu pengetahuan yang berbasis pada perangkat lunak komputer yang digunakan untuk memberikan bentuk digital dan analisa terhadap suatu permukaan geografi bumi sehingga membentuk suatu informasi keruangan yang tepat dan akurat.

2.6.1 Komponen-Komponen Dalam Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan serangkaian komponen yang bekerjasama untuk membuat suatu sistem dapat bekerja. Terdapat beberapa komponen yang sangat penting untuk dapat memastikan sistem tersebut dapat bekerja dengan baik, diantaranya:

1. Perangkat keras / hardware Tersedia di berbagai platform perangkat keras seperti komputer dan pendukungnya (printer, plotter, digitizer, dan lain-lain) merupakan perangkat keras yang mendukung bekerjanya Sistem Informasi Geografis (SIG).
2. Perangkat Lunak / software Perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) menyediakan fungsi dan alat kepada para pengguna untuk menyimpan, menganalisis, dan menampilkan informasi geografis. Komponen kunci untuk perangkat lunak adalah perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG), database, untuk sistem operasi berikut:

- a. Data

Data merupakan salah satu komponen yang paling penting dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) yaitu ketersediaannya suatu data. Data yang digunakan harus benar-benar akurat dan dapat dipertanggung jawabkan. Jenis-jenis data antara lain yaitu: data vector, raster, dan data atribut.

b. Orang / Brainware

Sebuah teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) tentu tidak akan dapat berfungsi dengan baik apabila tidak ada manusia yang mengelola dan mengembangkan rencana untuk mengaplikasikan Sistem Informasi Geografis (SIG). pengguna Sistem Informasi Geografis (SIG) sangat bervariasi, bermula dari tenaga ahli perencanaan dan analisis pasar.

c. Metode

Harus disusun dengan sedemikian rupa sehingga dapat langsung diaplikasikan. Termasuk di dalamnya adalah pedoman, spesifikasi, standar dan prosedur. Komponen-komponen dalam Sistem Informasi Geografis (SIG) tersebut harus ada, dikarenakan satu dengan yang lainnya saling keterkaitan. Maka jika tidak adanya salah satu komponen maka Sistem Informasi Geografis (SIG) tidak dapat bekerja dengan baik (Marfai, 2011).

2.6.2 Standar Pemetaan

Standar pemetaan di Indonesia bertujuan untuk menjamin kualitas, akurasi, dan interoperabilitas data geospasial yang digunakan dalam berbagai bidang seperti perencanaan wilayah, mitigasi bencana, dan pembangunan infrastruktur. Standar ini ditetapkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) bersama Badan Standardisasi Nasional (BSN) melalui sejumlah SNI yang wajib diacu dalam kegiatan pemetaan. Beberapa SNI penting yang digunakan dalam pemetaan di Indonesia antara lain:

- SNI 19-6722.1-2002 – Pemetaan Topografi dengan Skala Besar
 - SNI 7645:2010 – Pemetaan Tematik Skala 1:50.000
 - SNI ISO 19157:2014 – Kualitas Informasi Geospasial
 - SNI ISO 19115-1:2014 – Metadata Informasi Geospasial
 - SNI 7987:2013 – Peta Rupabumi Digital Skala 1:25.000
- Penerapan standar ini sangat penting agar data spasial dapat digunakan

secara konsisten dalam sistem digital seperti GIS dan mendukung kebijakan Satu Peta (One Map Policy) nasional.

Dalam perencanaan teknis sistem irigasi dan sumber daya air, standar penggambaran memegang peran penting untuk memastikan bahwa seluruh gambar teknis yang disusun konsisten, mudah dipahami, dan dapat diinterpretasikan oleh seluruh pihak yang terlibat. Hal ini diatur dalam Kriteria Perencanaan KP-07 yang secara khusus membahas *Standar Penggambaran*. KP-07 menetapkan aturan mengenai format gambar, ukuran kertas, jenis garis, simbol teknis, serta sistem penomoran gambar agar setiap dokumen rancangan dapat tersusun sistematis dan seragam.

Tabel 2.18 Tabel Pedoman Pemetaan dan Penggambaran

Tipe Gambar	Skala	Tebal-garis [mm]	Tinggi huruf/ angka (mm)
peta			
Peta topografi	1:50.000	0,18/0,25/0,35	1,8/2,5/3,5
	1:25.000	0,20/0,25/0,5	1,5/2,5/3,5
	1:5.000	0,25/0,35/0,5	2,5/3,5/5
Peta situasi	1:100	0,25/0,35/0,5	2,5/3,5/5
bendung	1:500	0,25/0,35/0,5/0,7	2,5/3,5/5
Peta ikhtisar	1:25.000	0,25/0,35/0,5/0,7	2,5/3,5/5
dan Peta petak	1:2.000	0,25/0,35/0,5/0,7	2,5/3,5/5/7
Peta situasi jaringan tersier	1:5.000	0,25/0,35/0,5/0,7	2,5/3,5/5/7
	1:2.000	0,25/0,35/0,5/0,7	2,5/3,5/5/7
Peta situasi/peta teknis	1:2.000		
situasi trase	1:2.000		
vert.	1:100		
Potongan memanjang	1:100		
	1:100		
<u>Gambar-gambar bangunan</u>			
Denah umum	1:1.000	0,25/0,35/0,7/1	2,5/3,5/5/7
	1:500	0,25/0,35/0,5/1	2,5/3,5/5/7
	1:100	0,25/0,35/0,5/1	2,5/3,5/5/7
	1:50	0,25/0,35/0,7/1	2,5/3,5/5/7
Potongan	1:100	0,25/0,35/0,7/1	2,5/3,5/5/7
	1:50	0,25/0,35/0,5/1	2,5/3,5/5/7
	1:20	0,25/0,35/0,5/1	2,5/3,5/5/7
	1:1	0,25/0,35/0,7/1	2,5/3,5/5/7
Detail	1:20	0,25/0,35/0,7/1	2,5/3,5/5/7
	1:10	0,25/0,35/0,5/1	2,5/3,5/5/7
	1:2	0,25/0,35/0,7/1	2,5/3,5/5/7

(Sumber : Kriteria Perencanaan KP-07)

2.7 Sistem Pengendalian Banjir

Pengendalian banjir merupakan kegiatan perencanaan, eksploitasi dan pemeliharaan, pengaturan penggunaan daerah dataran banjir dan mengurangi atau mencegah adanya bahaya/kerugian akibat banjir. Terdapat empat strategi dalam pengendalian banjir, yaitu (Grigg, 1996):

1. Modifikasi kerentanan dan kerugian banjir (penentuan zona atau pengaturan tata guna lahan).
2. Modifikasi banjir yang terjadi (pengurangan) dengan bantuan pengontrol (waduk) atau normalisasi sungai.
3. Modifikasi dampak banjir dengan penggunaan teknis mitigasi seperti asuransi, penghindaran banjir (flood profing).
4. Pengaturan peningkatan kapasitas alam untuk dijaga kelestariannya seperti penghijauan.

Pengendalian banjir pada dasarnya dapat dilakukan dengan berbagai cara, namun yang penting adalah dipertimbangkan secara keseluruhan dan dicari sistem yang paling optimal. Kegiatan pengendalian banjir menurut lokasi/daerah pengendaliannya dapat dikelompokkan menjadi dua:

1. Bagian hulu: yaitu dengan membangun dam pengendali banjir yang dapat memperlambat waktu tiba banjir dan menurunkan besarnya debit banjir, pembuatan waduk lapangan yang dapat merubah pola hidrograf banjir dan penghijauan di Daerah Aliran Sungai.
2. Bagian hilir: yaitu dengan melakukan perbaikan alur sungai dan tanggul, sudetan pada alur yang kritis, pembuatan alur pengendali banjir atau flood way, pemanfaatan daerah genangan untuk retarding basin dsb.

Sedangkan menurut teknis penanganan pengendalian banjir dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

1. Pengendalian banjir secara teknis (metode struktur).
2. Pengendalian banjir secara non teknis (metode non-struktur).

2.7.1 Pengendalian Banjir Metode Struktur

1. Bendungan

Bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (tailing), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk (PP No 37 Tahun 2010). Definisi lain bendungan atau dam adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi termasuk di antaranya menahan laju sedimentasi yang ditampung dalam tampungan mati/dead storage.

Fungsi bendungan diantaranya adalah:

- Untuk menampung air sungai.
- Mengelola dan mengatur air dalam waduk.
- Pengelolaan sumber daya air.
- Penyediaan air baku (raw water).
- Salah satu sumber untuk penyediaan air bersih dan air minum.
- Penyediaan air irigasi.
- Pengendalian banjir.
- Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).

Secara teknis perencanaan untuk dam pengendalian banjir adalah sebagai berikut:

a. Metode Pengaturan Banjir

Debit banjir akan diatur secara alamiah oleh pelimpah dari dam yang tanpa menggunakan pintu pengatur, dengan tujuan memudahkan operasi, untuk menekan biaya operasi dan pemeliharaan dimasa mendatang. Sedangkan untuk mendapatkan pengaruh pengaturan terhadap pengendalian banjir yang lebih besar, dapat digunakan waduk yang dilengkapi pintu pengendali banjir.

b. Ratio penurunan debit banjir pada dam pengendali banjir

Pada dam pengendali banjir terdapat alokasi volume untuk pengendalian banjir dan volume untuk memenuhi kebutuhan air. Alokasi volume waduk untuk pengendalian banjir, akan menentukan pola hidrograf banjir yang dilepas waduk ke hilir dan ratio penurunan debit banjir.

c. Alokasi kapasitas untuk pengendalian banjir

- Bila kapasitas untuk pengendalian banjir dan biaya konstruksi dam naik, maka debit rencana dan biaya perbaikan sungai akan menurun.
- Kapasitas pengendalian banjir ditentukan oleh biaya total minimum dari perbaikan sungai dan biaya konstruksi dam.

2. Waduk

Waduk adalah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan (PP No 37 Tahun 2010). Waduk pada umumnya dibangun untuk pengembangan sumber daya air sungai, dengan menampung air pada waktu musim hujan untuk memperbaiki kondisi aliran sungai terutama pada musim kemarau. Hal ini untuk mengantisipasi kebutuhan air yang meningkat terutama pada musim kemarau. Di samping itu waduk biasanya dibangun untuk beberapa manfaat yang disebut multi guna atau multi purpose dam, misalnya untuk irigasi, penyediaan air baku (air minum), pembangkit listrik tenaga air, dsb.

Waduk yang mempunyai faktor tampungan atau dapat menampung air, mempunyai efek terhadap aliran air di hilir waduk. Dengan kata lain waduk dapat merubah pola inflow-outflow hidrograf. Perubahan outflow hidrograf di hilir waduk biasanya menguntungkan terhadap pengendalian banjir, dengan adanya debit banjir yang lebih kecil dan perlambatan waktu banjir.

Pengendalian banjir dengan waduk hanya dapat dilakukan pada bagian hulu dan biasanya dikaitkan dengan pengembangan sumber daya air. Yang perlu diperhatikan dalam pengendalian banjir dengan waduk adalah perlambatan waktu tiba banjir, penurunan debit banjir yang dilepas ke hilir dan rasio alokasi volume waduk untuk pengendalian banjir terhadap volume untuk pengembangan dan pengelolaan sumber daya air.

3. Kolam retensi/penampungan (retention basin)

Seperti halnya bendungan, kolam penampungan (retention basin) berfungsi untuk menyimpan sementara debit sungai sehingga puncak banjir dapat dikurangi, retention berarti penyimpanan. Tingkat pengurangan banjir tergantung pada karakteristik hidrograf banjir, volume kolam dan dinamika beberapa bangunan outlet. Wilayah yang digunakan untuk kolam penampungan

biasanya di daerah dataran rendah atau rawa. Dengan perencanaan dan pelaksanaan tataguna lahan yang baik, kolam penampungan dapat digunakan untuk pertanian. Untuk strategi pengendalian yang andal diperlukan:

- Pengontrolan yang memadai untuk menjamin ketepatan peramalan banjir.
- Peramalan banjir yang andal dan tepat waktu untuk perlindungan atau evakuasi.
- Sistem drainase yang baik untuk mengosongkan air dari daerah tampungan secepatnya setelah banjir reda.

Selain retention basin ada juga detention basin dan retarding basin. Perbedaanannya adalah sebagai berikut:

- Retention basin berarti menyimpan air di suatu cekungan dan dibiarkan sampai airnya habis karena infiltrasi atau penguapan sering disebut wet pond.
- Detention basin adalah menyimpan air di suatu cekungan saat banjir lalu setelah hujan reda air dialirkan ke sungai atau saluran untuk membantu keberadaan air di sungai sering disebut dry pond.

Retarding basin adalah menyimpan air saat banjir dan lebih dominan penundaan (delay) air masuk ke sungai. Sehingga pada waktu hujan banjir sungai bisa berkurang karena dibantu dengan retarding basin.

4. Pembuatan check dam (penangkap sedimen)

Check dam adalah bangunan kecil temporer atau tetap yang dibangun melintang saluran/sungai untuk memperkecil kemiringan dasar memanjang sungai sehingga bisa mereduksi kecepatan air, erosi dan membuat sedimen bisa tinggal di bagian hulu bangunan. Sehingga bangunan ini bisa menstabilkan saluran atau sungai.

5. River Improvement

River improvement dilakukan terutama berkaitan erat dengan pengendalian banjir, yang merupakan usaha untuk memperbesar kapasitas pengaliran sungai. Hal ini dimaksudkan untuk menampung debit banjir yang terjadi untuk

dialirkan ke hilir atau laut, sehingga tidak terjadi limpasan. Pekerjaan ini pada dasarnya dapat meliputi kegiatan antara lain:

- Perbaikan bentuk penampang melintang.
- Mengatur penampang memanjang sungai.
- Menurunkan angka kekasaran dinding alur sungai.
- Melakukan sudetan pada alur sungai meander.
- Melakukan rekonstruksi bangunan di sepanjang sungai yang tidak sesuai dan mengganggu pengaliran banjir.
- Menstabilkan alur sungai.
- Pembuatan tanggul banjir.

6. Tanggul

Tanggul adalah penghalang yang didesain untuk menahan air banjir di palung sungai untuk melindungi daerah di sekitarnya. Tanggul juga berfungsi untuk melokalisir banjir di sungai, sehingga tidak melimpas ke kanan dan ke kiri sungai yang merupakan daerah peruntukan.

Beberapa faktor yang harus diperhatikan, antara lain:

- Dampak tanggul terhadap regim sungai,
- Tinggi jagaan dan kapasitas debit sungai pada bangunan-bangunan sungai misalnya jembatan,
- Ketersediaan bahan bangunan setempat,
- Syarat-syarat teknis dan dampaknya terhadap pengembangan wilayah,
- Hidrograf banjir yang lewat,
- Pengaruh limpasan, penambangan, longsor dan bocoran,
- Pengaruh tanggul terhadap lingkungan,
- Elevasi muka air yang lebih tinggi di alur sungai,
- Lereng tanggul dengan tepi sungai yang relatif stabil.

7. Sudetan (by pass/short cut)

Sudetan (by pass) adalah saluran yang digunakan untuk mengalihkan sebagian atau seluruh aliran air banjir dalam rangka mengurangi debit banjir

pada daerah yang dilindungi. Faktor-faktor yang penting sebagai pertimbangan dalam desain saluran by pass adalah sebagai berikut:

- Biaya pelaksanaan yang relatif mahal.
- Kondisi topografi dari rute alur baru.
- Bangunan terjunan mungkin diperlukan di saluran by pass untuk mengontrol kecepatan air dan erosi.
- Kendala-kendala geologi timbul sepanjang alur by pass (contoh: membuat saluran sampai batuan dasar sungai).
- Penyediaan air dengan program pengembangan daerah sekitar sungai.
- Kebutuhan air harus tercukupi sepanjang aliran sungai asli di bagian hilir dari lokasi percabangan.
- Pembagian air akan berpengaruh pada sifat alami daerah hilir mulai dari lokasi percabangan by pass.

8. Floodway

Pembuatan floodway dimaksudkan untuk mengurangi debit banjir pada alur sungai lama, dan mengalirkan sebagian debit tersebut banjir melalui floodway. Hal ini dapat dilakukan apabila kondisi setempat sangat mendukung untuk membuat floodway. Apabila kondisi lapangan tidak menguntungkan, misalnya sungai untuk jalur floodway tidak ada, maka pembuatan floodway kurang layak untuk dilaksanakan.

Floodway berfungsi untuk mengalirkan sebagian debit banjir pada waktu banjir, sehingga debit banjir pada alur sungai lama akan berkurang dan akan menurunkan tingkat resiko banjir. Kondisi pada umumnya, bahwa alur lama melewati kota, sehingga menjadi rawan banjir. Sedangkan lahan pada kawasan pemukiman di kota sangat mahal dan sulit untuk pembebasan lahan, sehingga perbaikan alur sungai untuk memenuhi debit mengalami kesulitan.

Beberapa faktor yang harus menjadi perhatian dalam pembuatan floodway adalah:

- Alur lama yang melewati kota sulit untuk diperbaiki sesuai dengan debit desain, karena kesulitan lahan yang sudah penuh pemukiman.
- Alur lama berbelok-belok terlalu jauh, untuk menuju ke laut, sehingga dari segi hidrolis tidak menguntungkan.
- Terdapat jalur untuk alur baru yang menguntungkan (lebih pendek), dengan menggunakan sungai kecil yang ada.
- Pembebasan lahan pada alur floodway tidak mengalami kesulitan.
- Tidak mengganggu pemanfaatan sumber daya air yang ada.
- Dampak negatif (sosial ekonomi) diupayakan sekecil mungkin.

Bila perbaikan alur terletak di daerah dengan kepadatan penduduk yang tinggi, maka perlu ada kajian dan evaluasi mengenai lahan yang ada, pembebasan tanah serta dampak sosial yang akan timbul. Sedangkan untuk pembuatan floodway yang melewati di daerah yang kepadatan penduduknya rendah ataupun daerah persawahan dan tambak, kemungkinan pembebasan lahan lebih murah dan ringan serta persoalan sosial bisa lebih kecil. Maka dalam desain, kemungkinan dapat menggunakan/memperlebar alur sungai yang ada ke kanan dan (atau) ke kiri untuk memenuhi kapasitas pengaliran yang ada menjadi konsideran yang penting sebelum penentuan atau perencanaan jalur floodway.

Dalam perencanaan floodway, kajian rekayasanya setidaknya meliputi antara lain:

- Debit banjir rencana,
- Jalur floodway,
- Perencanaan alur floodway yang meliputi penampang memanjang dan melintangnya,
- Bangunan pembagi banjir.

9. Sistem Drainase Khusus

Sistem drainase khusus sering diperlukan untuk memindahkan air dari daerah rawan banjir karena drainase yang buruk secara alami atau karena ulah manusia. Sistem khusus tipe gravitasi dapat terdiri dari saluran-saluran alami. Alternatif dengan pemompaan mungkin diperlukan untuk daerah buangan

dengan elevasi air di bagian hilir yang terlalu tinggi. Sistem drainase khusus biasanya digunakan untuk situasi berikut:

- Daerah perkotaan dimana drainase alami tidak memadai.
- Digunakan untuk melindungi daerah pantai dari pengaruh gelombang.
- Daerah genangan/bantaran banjir dengan bangunan flood wall/dinding penahan banjir.

Desain dari sistem drainase khusus berdasarkan pertimbangan berikut:

- Topografi, karakteristik infiltrasi dan luas daerah yang akan dilindungi.
- Kecepatan dan waktu hujan serta aliran permukaan.
- Volume dari air yang ditahan.
- Periode banjir.

Adapun kriteria yang digunakan dalam pemilihan bangunan adalah:

- Apabila elevasi air buangan lebih rendah dari elevasi daerah yang dilindungi, dapat digunakan outlet sederhana.
- Apabila fluktuasi perubahan elevasi air berubah-ubah diperlukan pintu-pintu otomatis.
- Stasiun pompa diperlukan apabila elevasi air buangan lebih tinggi dari daerah yang dilindungi.

2.7.2 Pengendalian Banjir Metode Non-Struktur

1. Pengelolaan DAS

Pengelolaan DAS berhubungan erat dengan peraturan, pelaksanaan dan pelatihan. Kegiatan penggunaan lahan dimaksudkan untuk menghemat dan menyimpan atau menahan air dan konservasi tanah. Pengelolaan DAS mencakup aktivitas-aktivitas berikut ini:

- Pemeliharaan vegetasi di bagian hulu DAS.
- Penanaman vegetasi untuk mengendalikan atau mengurangi kecepatan aliran permukaan dan erosi tanah.

- Pemeliharaan vegetasi alam, atau penanaman vegetasi tahan air yang tepat, sepanjang tanggul drainase, saluran-saluran dan daerah lain untuk pengendalian aliran yang berlebihan atau erosi tanah.
- Mengatur secara khusus bangunan-bangunan pengendali banjir (misal check dam) sepanjang dasar aliran yang mudah tererosi.
- Pengelolaan khusus untuk mengantisipasi aliran sedimen yang dihasilkan dari kegiatan gunung berapi yang dikenal dengan nama debris flow.

Sasaran penting dari kegiatan pengelolaan DAS adalah untuk mencapai keadaankeadaan berikut:

- Mengurangi debit banjir di daerah hilir.
- Mengurangi erosi tanah dan muatan sedimen di sungai.
- Meningkatkan produksi pertanian yang dihasilkan dari penataan guna tanah dan perlindungan air.
- Meningkatkan lingkungan di DAS dan daerah sempadan sungai.

2. Pengaturan Tata Guna Lahan

Pengaturan tata guna lahan di DAS dimaksudkan untuk mengatur penggunaan lahan, sesuai dengan rencana pola tata ruang yang ada. Hal ini untuk menghindari penggunaan lahan yang tidak terkendali, sehingga mengakibatkan kerusakan DAS yang merupakan daerah tadah hujan. Pada dasarnya pengaturan penggunaan lahan di DAS dimaksudkan untuk:

- Untuk memperbaiki kondisi hidrologis DAS, sehingga tidak menimbulkan banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau.
- Untuk menekan laju erosi daerah aliran sungai yang berlebihan, sehingga dapat menekan laju sedimentasi pada alur sungai di bagian hilir.

3. Pengendalian Erosi

Pengendalian erosi pada prinsipnya merupakan tindakan-tindakan untuk mencegah dan mengendalikan erosi baik di DAS maupun di tebing sungai. Beberapa cara pengendalian erosi di DAS sebagai berikut :

- Terasering
- Buffer strip (garis penyangga)
- Rotasi penanaman (perubahan pola tanam)
- Crop cover atau penutupan lahan (dengan tanaman lebat) mengurangi erosi.

4. Peramalan (Forecasting) dan Sistem Peringatan Banjir (Flood Warning System)

Sistem peramalan banjir yang efektif harus menunjukkan ciri-ciri berikut ini:

- Tempat pemantauan diletakkan pada lokasi yang strategis, sehingga dapat memberikan informasi peringatan yang cepat didapat, lebih lanjut tindakan dini dapat segera dilakukan.
- Sederhana dan efektif
- Alat ukur sederhana yang dipasang secara tepat akan memberikan informasi yang cepat dan lebih efektif dari pada menggunakan sistim telemetri yang rumit dan bahkan diperlukan perawatan yang mahal.
- Metode yang diandalkan untuk memperkirakan debit banjir
- Metode langsung, yaitu dengan menempatkan peralatan pemantauan pada stasiun-stasiun hidrometri, sehingga diperoleh hubungan yang dapat dirumuskan dengan baik antara elevasi muka air sungai dengan debit yang ada. Metode tidak langsung yaitu dengan cara analisis curah hujan yang disertai dengan memperhitungkan kondisi sungai dan DAS yang bersangkutan.

Pada suatu sungai perlu adanya flood warning system, terutama untuk sungai yang melewati daerah yang padat penduduk dan mempunyai sifat banjir yang membahayakan. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi kerugian akibat banjir yang lebih besar. Pada tingkat awal untuk flood warning system adalah peramalan akan datangnya banjir.

2.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian sejenis adalah kumpulan penelitian-penelitian serupa terdahulu yang dibuat oleh peneliti sebelumnya dan memiliki keterkaitan dengan penelitian yang akan penulis teliti. Penelitian sebelumnya dimaksudkan untuk mencari referensi dan sebagai acuan pada penelitian yang akan dibuat saat ini. Penelitian sejenis dicantumkan oleh penulis untuk menghindari unsur pengulangan penulisan, duplikasi atau kesalahan yang sama dari peneliti sebelumnya.

Berikut merupakan beberapa penelitian sejenis berupa skripsi yang dikumpulkan oleh peneliti untuk menjadi acuan dan memiliki keterkaitan dengan penelitian yang dilakukan penulis. Berdasarkan penelusuran yang telah dilakukan oleh penulis, penulis menemukan beberapa penelitian terdahulu yang dapat menjadi referensi dalam pelaksanaan penelitian ini. Adapun beberapa penelitian terdahulu tersebut adalah :

1. Santosa, W. W., Suprayogi, A., & Sudarsono, B. (2015). Kajian Pemetaan Tingkat Kerawanan Banjir Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus: DAS Beringin, Kota Semarang). *Jurnal Geodesi Undip*, 4(2), 185-190.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kerawanan daerah banjir menggunakan metode pembobotan dan rasional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi kerawanan banjir DAS Beringin secara umum termasuk dalam kondisi cukup rawan dengan luas sebesar 1795,003 ha (59,89%). Tingkat rawan banjir dengan kategori rawan dengan luas sebesar 875,441 ha (29,21%) dari total luas DAS. Tingkat agak rawan dan tidak rawan dengan luas sebesar 299,691 ha (40,13%) dan 22,566 ha (0,75%). Tingkat sangat rawan mempunyai persentase dengan luas sebesar 4,441 ha (0,1%) dari total luas kawasan DAS.

2. Utomo, E. S., Hadiani, R. R. R., & Suryandari, E. S. (2019). Analisis Banjir Dan Pemetaan Kawasan Terdampak Banjir Di Kelurahan Laweyan, Kota Surakarta. *Matriks Teknik Sipil*, 7(3).

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif. Pada penelitian ini Debit rencana dihitung dengan metode Hidrograf Satuan Sintetis *Soil Conservation Service*. Analisis banjir dan pemetaan dilakukan dengan bantuan *software HEC-RAS*. Dengan simulasi aliran *unsteady flow*, dengan debit periode ulang 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, dan hujan dua harian maksimum.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa analisis banjir dengan debit periode ulang 5 dan 10 tahun tidak terjadi banjir. Luasan wilayah tergenang banjir dengan debit periode ulang 25 tahun seluas 14.081,59 m² dengan durasi genangan 30 menit dan persentase wilayah tergenang sebesar 6,08%. Luasan wilayah tergenang banjir dengan debit periode ulang 50 tahun seluas 37.518,82 m² dengan durasi genangan 1,5 jam dan persentase wilayah tergenang sebesar 16,20%. Luasan wilayah tergenang banjir dengan debit dua harian maksimum seluas 79.824,68 m² dengan durasi genangan 2 jam dan persentase wilayah tergenang sebesar 34,46%.

3. Putri, Y. E., & Hermawati, H. (2022). Penggunaan Program Hec-Ras Dalam Pengendalian Banjir Sungai. *Jurnal Deformasi*, 7(2), 117-126.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif. Tujuan penelitian ini adalah untuk melihat perubahan muka air di Sungai Buah dengan menggunakan program HEC-RAS ver.4.1.0. Hasil penelitian menunjukkan, bahwa aliran Sungai Buah yang mempunyai kolam retensi Arafuru dengan daerah yang airnya melimpas yaitu pada stasiun 3+000 sebesar 0,90 m baik di kanan maupun kiri tebing saluran. Pada stasiun 2+750 sampai dengan 2+800 terjadi penurunan muka air berkisar antara 0,70 m sampai 0,80 m, sedangkan pada stasiun 2+700 terjadi kenaikan muka air Sungai Buah tersebut. Hal ini akibat pengaruh buka tutup pintu air (flap gate) yang ada di kolam Arafuru

4. Sardana, Y. W., Suripin, Nugroho, H., & Rendra, M. I. (2023). Pemetaan Area Genangan Banjir Menggunakan Model HEC-RAS 2D dan GIS Pada DAS Pacal Kabupaten Bojonegoro.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif. penelitian ini bertujuan untuk memetakan area genangan banjir yang terjadi pada DAS Pacal beserta luasannya dengan menggunakan perangkat lunak *Hydrologic Engineering Centre-River Analysis System* (HEC-RAS) dengan model 2D (*two dimensional*) *unsteady flow analysis* dan kemudian memetakannya dalam *Geographical Information Systems* (GIS). Peta yang dihasilkan yaitu peta genangan banjir pada periode ulang 100 tahun, 500 tahun dan 1000 tahun dengan masing-masing luasan area genangan sebesar 15.04 km² untuk debit periode ulang 100 tahun, 15.51 km² untuk debit periode ulang 500 tahun dan 16.45 km² untuk debit periode ulang 1000 tahun.

5. Putra, A. T. (2016). *Studi Pengendalian Banjir Sungai Bogel di Kecamatan Sutojayan Kabupaten Blitar* (Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya).

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif. Penelitian ini menggunakan simulasi profil aliran menggunakan aplikasi HECRASversi 4.10. Berdasarkan simulasi banjir yang dilakukan maka dibutuhkan membuat penampang sungai yang baru. Berdasarkan simulasi banjir yang dilakukan maka dibutuhkan membuat penampang sungai yang baru.