

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Banjir

Banjir adalah suatu kondisi dimana tidak tertampungnya air dalam saluran pembuang (palung sungai) atau terhambatnya aliran air didalam saluran pembuang, sehingga meluap menggenangi daerah atau dataran banjir sekitarnya (Suripin, 2004).

Banjir merupakan peristiwa alam yang dapat menimbulkan kerugian harta benda penduduk serta dapat pula menimbulkan korban jiwa. Banjir adalah bencana musiman yang terjadi apabila terdapat luapan air yang disebabkan kurangnya kapasitas penampang saluran sehingga menggenangi wilayah sekitarnya. Banjir di bagian hulu biasanya arus banjirnya deras, daya gerusnya besar, tetapi durasinya pendek. Sedangkan di bagian hilir arusnya tidak deras, tetapi durasi banjirnya panjang.

2.1.1 Jenis-Jenis Banjir

Menurut Pusat Krisis Kesehatan Kemenkes RI (2016) banjir dibedakan menjadi 5 (lima) tipe sebagai berikut:

a. **Banjir Bandang**

Banjir Bandang yaitu banjir yang sangat berbahaya karena bisa mengangkut apa saja. Banjir ini memberikan dampak kerusakan cukup parah. Banjir bandang biasanya terjadi akibat gundulnya hutan dan rentan terjadi di daerah pegunungan.

b. **Banjir Air**

Banjir Air merupakan jenis banjir yang sangat umum terjadi. Banjir air umumnya disebabkan karena tingkat curah hujan yang tinggi sehingga sungai, danau, atau selokan tidak mampu untuk menampung dan menyerap air.

c. **Banjir Lumpur**

Banjir Lumpur merupakan banjir yang keluar dari dalam bumi yang sampai ke daratan. Banjir lumpur mengandung bahan yang berbahaya dan bahan gas yang mempengaruhi kesehatan makhluk hidup lainnya.

d. Banjir Rob (Banjir Laut Air Pasang)

Banjir Rob adalah banjir yang terjadi akibat air laut. Biasanya banjir ini menerjang kawasan di wilayah sekitar pesisir pantai.

e. Banjir Cileunang

Banjir Cileunang mempunyai kemiripan dengan banjir air, tetapi banjir ini terjadi akibat deras hujan sehingga tidak tertampung.

2.1.2 Faktor Penyebab Banjir

Faktor penyebab terjadinya banjir dapat dikelompokkan menjadi 2 kategori, yaitu banjir yang disebabkan oleh alam dan banjir yang disebabkan oleh tindakan manusia (Robert J. Kodoatie & Sugiyanto, 2002). Pengaruh air pasang, curah hujan tinggi, fisiografi, kapasitas drainase yang tidak memadai, erosi serta sedimentasi merupakan faktor penyebab banjir yang disebabkan oleh alam. Sedangkan faktor penyebab banjir yang disebabkan oleh tindakan manusia antara lain menurunnya fungsi Daerah Aliran Sungai (DAS), sampah, bendung dan bangunan lainnya, kerusakan bangunan pengendali banjir, serta perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat.

a. Faktor penyebab banjir yang disebabkan oleh alam, antara lain:

1. Pengaruh air pasang

Pasang air laut memperlambat aliran air sungai ke laut. Ketika banjir bersamaan dengan air pasang yang tinggi maka tinggi genangan atau banjir menjadi lebih besar karena terjadi aliran balik (*back water*).

2. Curah hujan

Curah hujan dengan intensitas tinggi, durasi yang lama, serta terjadi pada daerah yang luas dapat menyebabkan penampungan air tidak cukup menyerap serta menyimpan air hujan sehingga air tersebut akan meluap dan mengakibatkan terjadinya banjir yang merendam dataran serta pemukiman.

3. Fisiografi

Fisiografi atau geografi fisik sungai seperti bentuk, fungsi dan kemiringan daerah pengaliran sungai (DPS), kemiringan sungai, geometrik hidrolis (bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, potongan memanjang, material

dasar sungai), lokasi sungai, dll merupakan hal-hal yang mempengaruhi terjadinya banjir.

4. Kapasitas drainase yang tidak memadai

Drainase dapat menjadi penyebab suatu daerah mengalami banjir jika kapasitas drainase tersebut tidak dapat menampung air saat musim hujan.

5. Erosi dan Sedimentasi

Erosi dan sedimentasi di DPS berpengaruh terhadap pengurangan kapasitas penampang sungai. Besarnya sedimentasi akan mengurangi kapasitas saluran, sehingga timbul genangan dan banjir di sungai.

b. Faktor penyebab banjir yang disebabkan oleh tindakan manusia, antara lain:

1. Menurunnya fungsi DAS

Menurunnya fungsi DAS dalam meresapkan atau menahan air hujan yang disebabkan oleh penggundulan hutan, pertanian yang kurang tepat, perluasan kota, serta perubahan tata guna lahan lainnya dapat memperburuk masalah banjir karena dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas banjir.

2. Sampah

Sampah yang langsung dibuang ke sungai dapat mengakibatkan naiknya muka air banjir.

3. Bendung dan bangunan lainnya

Bendung dan bangunan lain seperti pilar jembatan dapat meningkatkan elevasi muka air banjir karena efek aliran balik (*back water*).

4. Kerusakan bangunan pengendali banjir

Pemeliharaan yang kurang memadai dari bangunan pengendali banjir sehingga menimbulkan kerusakan dan akhirnya menjadi tidak berfungsi dapat meningkatkan kuantitas banjir.

5. Perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat

Beberapa bangunan sistem pengendalian banjir memang berfungsi mengurangi kerusakan akibat banjir kecil hingga sedang, namun dapat pula menambah kerusakan apabila terjadi banjir besar. Sebagai contoh yaitu limpasan pada tanggul pada saat terjadi banjir yang melebihi banjir rencana

(perencanaan). Hal tersebut dapat menyebabkan keruntuhan tanggul yang menimbulkan kecepatan aliran air menjadi sangat besar melalui bobolnya tanggul sehingga menimbulkan banjir yang besar.

2.2 Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai secara umum didefinisikan sebagai suatu hamparan wilayah atau kawasan yang dibatasi oleh pembatas topografi (punggung bukit) yang menerima, mengumpulkan air hujan, sedimen, dan unsur hara serta mengalirkannya melalui anak-anak sungai keluar pada sungai utama ke laut atau danau (Asdak, 2007).

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan daerah dimana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasarkan aliran air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasarkan air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian.

DAS termasuk 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 (PP No. 37, 2012).

Fungsi suatu DAS merupakan fungsi gabungan yang dilakukan oleh seluruh faktor yang ada pada DAS tersebut, yaitu vegetasi, bentuk wilayah (topografi), tanah, dan pemukiman. Apabila salah satu dari faktort tersebut di atas mengalami perubahan maka hal tersebut akan mempengaruhi pola ekosistem DAS.

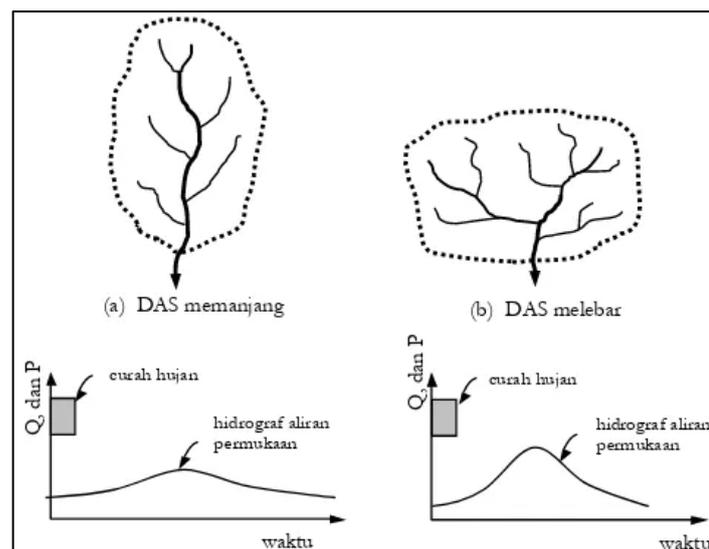
Perubahan ekosistem akan menyebabkan gangguan terhadap kerja fungsi DAS sehingga tidak berjalan sebagaimana mestinya. Apabila fungsi suatu DAS terganggu, maka sistem penangkapan curah hujan akan menjadi tidak sempurna, sehingga penangkapan air menjadi sangat berkurang atau sistem penyimpanan airnya sangat longgar, ataukah sistem penyalurannya menjadi sangat boros.

Karakteristik DAS yang berpengaruh besar pada aliran permukaan meliputi (Suripin, 2004):

a. Luas dan Bentuk DAS

Laju dan volume aliran permukaan makin bertambah besar dengan bertambahnya luas DAS. Akan tetapi apabila aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah total dari DAS melainkan sebagai laju dan volume per satuan luas, besarnya akan berkurang dengan bertambahnya luas DAS. Ini berkaitan dengan waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari titik terjauh sampai dengan waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke titik kontrol (waktu konsentrasi), dan juga penyebaran atau intensitas hujan (Asdak, 2007).

Pengaruh bentuk DAS terhadap aliran permukaan dapat ditunjukkan dengan memperhatikan hidrograf-hidrograf yang terjadi pada dua buah DAS yang bentuknya berbeda namun mempunyai luas yang sama dan menerima hujan dengan intensitas yang sama. Merujuk pada (Suripin, 2004) pengaruh bentuk DAS pada aliran permukaan dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Sumber : Suripin, 2004

Gambar 2.1 Pengaruh bentuk DAS terhadap aliran permukaan

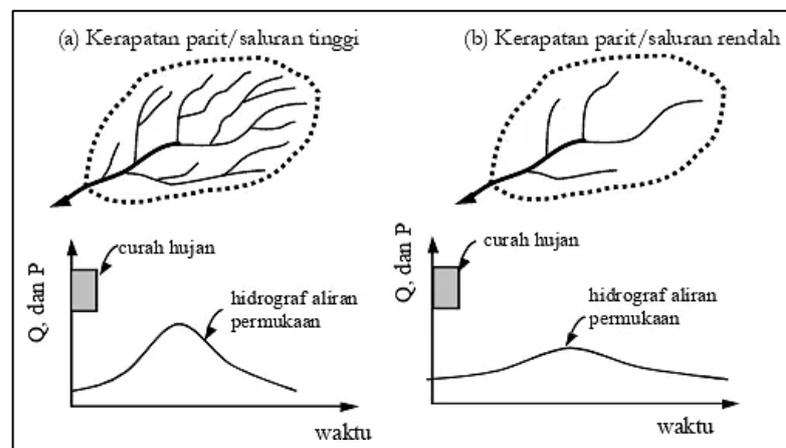
DAS yang memiliki bentuk memanjang dan sempit cenderung menghasilkan aliran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan DAS yang berbentuk melebar. Hal ini terjadi karena waktu konsentrasi DAS yang memiliki bentuk

memanjang lebih lama dibandingkan dengan DAS yang memiliki bentuk melebar, sehingga terjadi konsentrasi air di titik kontrol lebih lambat yang berpengaruh pada laju dan volume aliran permukaan.

Faktor bentuk juga dapat berpengaruh pada aliran permukaan apabila hujan terjadi tidak serentak diseluruh DAS, tetapi bergerak dari ujung yang satu ke ujung lainnya. Pada DAS memanjang laju aliran akan lebih kecil karena aliran permukaan akibat hujan di hulu belum memberikan kontribusi pada titik kontrol ketika aliran permukaan dari hujan di hilir mengecil. Sebaliknya pada DAS melebar, datangnya aliran permukaan dari semua titik di DAS tidak terpaut banyak, artinya air dari hulu sudah tiba sebelum aliran di hilir mengecil.

b. Topografi

Tampakan rupa muka bumi atau topografi seperti kemiringan lahan, keadaan dan kerapatan parit atau saluran, dan bentuk cekungan lainnya mempunyai pengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. DAS dengan kemiringan curam disertai parit atau saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang dan adanya cekungan. Pengaruh kerapatan parit yaitu panjang parit per satuan luas DAS, pada aliran permukaan akan memperpendek waktu konsentrasi sehingga memperbesar laju aliran permukaan (Asdak, 2007). Mengacu pada (Suripin, 2004) pengaruh kerapatan saluran terhadap hidrograf aliran dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



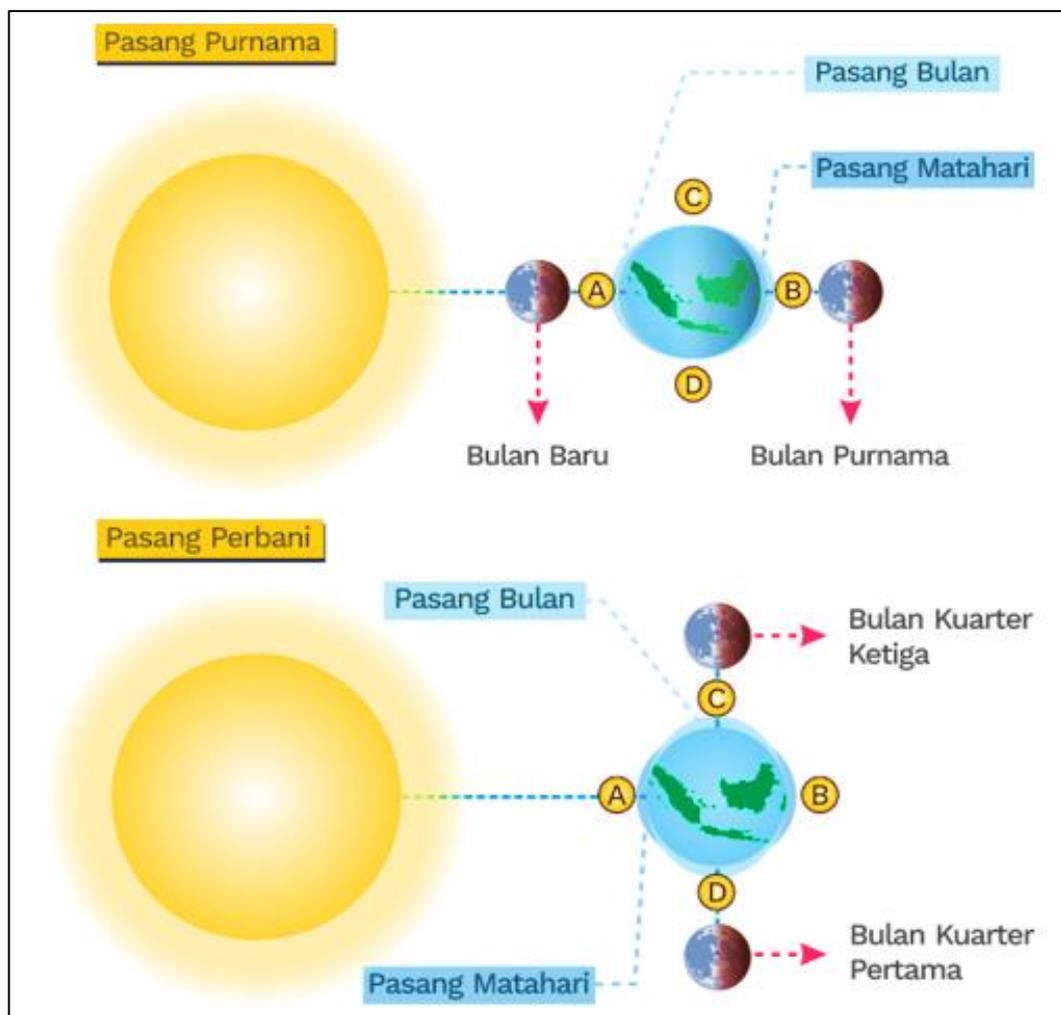
Sumber : Suripin, 2004

Gambar 2.2 Pengaruh kerapatan saluran terhadap hidrograf aliran

2.3 Pasang Surut

Pasang surut adalah peristiwa naik turunnya permukaan air laut secara periodik yang disebabkan oleh pengaruh gaya tarik benda-benda langit terutama bulan dan matahari (Poerbandono dan Djunarsjah, 2005). Pasang surut merupakan salah satu gejala alam yang tampak di laut, yakni suatu gerakan vertikal partikel massa air laut dari permukaan sampai bagian terdalam dari dasar laut.

Pasang surut merupakan hasil dari gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal, yakni dorongan ke arah luar pusat rotasi. Secara umum pasang surut dibedakan menjadi 2 (dua) yaitu pasang surut purnama (*spring tides*) dan pasang surut perbani (*neap tides*) yang dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Sumber : Zenius, 2020

Gambar 2.3 Skema pasang surut purnama (*spring tides*) dan pasang surut perbani (*neap tides*)

Pasang surut purnama terjadi dua kali dalam sebulan yaitu saat bulan baru (*new moon*) dan bulan purnama (*full moon*). Hal ini terjadi saat matahari, bumi dan bulan berada pada satu garis lurus. Pada saat ini permukaan air laut pada daerah yang mengalami purnama akan pasang pada titik tertinggi (titik A dan B), dan daerah yang tidak mengalami purnama akan surut pada titik terendah (titik C dan D). Sedangkan pada pasang perbani (*neap tide*) terjadi saat bumi, bulan dan matahari membentuk sudut tegak lurus satu sama lain. Pada saat ini permukaan air laut mengalami pasang naik yang tidak terlalu tinggi (titik A dan B) dan surut yang tidak terlalu rendah (titik C dan D). Pasang laut perbani ini terjadi pada saat bulan kuartir pertama dan kuartir ketiga.

Pasang surut laut dapat didefinisikan pula sebagai gelombang yang dibangkitkan oleh adanya interaksi antara bumi, matahari dan bulan. Puncak gelombang pasang surut biasa disebut muka air pasang (*high tide*) dan lembahnya biasa disebut air surut (*low tide*), sedangkan tinggi gelombang disebut “*tidal range*”.

Bentuk pasang surut di berbagai daerah tidak sama. Pasang surut di Indonesia dibedakan menjadi 4 (empat) tipe yaitu:

a. Pasang surut tipe harian tunggal (*diurnal type*).

Dalam 1 hari terjadi 1 kali air pasang dan 1 kali air surut. Periode pasang surut yaitu 24 jam 50 menit dan terjadi di perairan Selat Karimata.

b. Pasang surut tipe tengah harian/harian ganda (*semi diurnal type*).

Dalam 1 hari terjadi 2 kali air pasang dan 2 kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dengan pasang surut terjadi secara berurutan dan teratur. Periode pasang surut rata-rata yaitu 12 jam 24 menit. Pasang surut tipe ini terdapat di selat Malaka sampai laut Andaman.

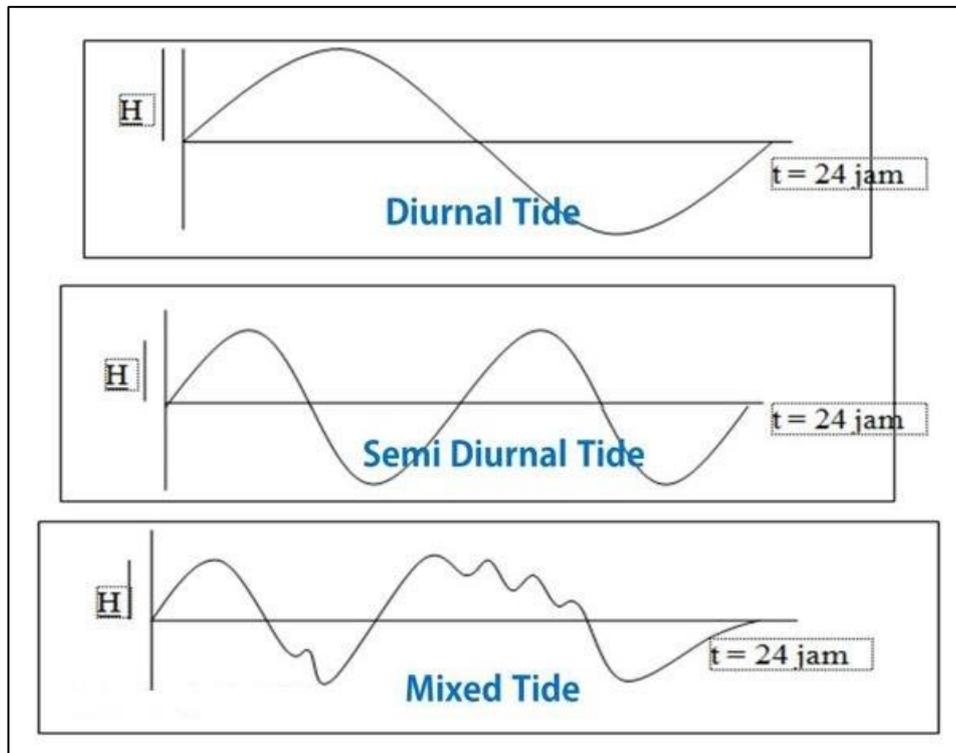
c. Pasang surut tipe campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semi diurnal type*).

Dalam 1 hari terjadi 2 kali air pasang dan 2 kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda. Pasang surut jenis ini terdapat di perairan Indonesia Timur.

d. Pasang surut tipe campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal type*).

Pada tipe ini dalam 1 hari terjadi 1 kali air pasang dan 1 kali air surut, terkadang untuk sementara waktu terjadi 2 kali pasang dan 2 kali surut dengan tinggi dan periode yang berbeda. Pasang surut jenis ini terdapat di Selat Kalimantan dan pantai utara Jawa Barat.

Contoh bentuk grafik pasang surut dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Sumber : *Geolognesia, 2018*

Gambar 2.4 Contoh grafik pasang surut

2.4 Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air bumi, baik mengenai terjadinya, peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya dan hubungan dengan lingkungannya terutama dengan makhluk hidup. Analisis data hidrologi ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik hidrologi daerah pengaliran yang akan digunakan sebagai dasar analisis dalam menentukan debit aliran atau banjir rencana. Analisis hidrologi merupakan bidang yang sangat rumit dan kompleks. Hal ini disebabkan oleh ketidakpastian siklus hidrologi, rekaman data dan kualitas data (Triatmodjo, 2010).

Selain aliran permukaan, hujan merupakan faktor terpenting dalam analisis hidrologi. Intensitas hujan yang tinggi pada suatu kawasan hunian yang kecil dapat mengakibatkan genangan pada jalan, parkir, dan tempat lainnya karena fasilitas drainase tidak di desain untuk mengalirkan air akibat intensitas hujan yang tinggi.

2.4.1 Distribusi Curah Hujan

Penentuan Metode Analisa Distribusi Curah Hujan dimaksudkan untuk menentukan metode analisa yang paling cocok digunakan dalam menentukan hujan periode ulang tertentu. Metode yang dimaksud adalah metode yang tercakup dalam distribusi kontinu, diantaranya:

- a. Metode Distribusi Normal
- b. Metode Gumbel Tipe I
- c. Metode Log Pearson Tipe III
- d. Metode Log Normal 2 Parameter
- e. Metode Log Normal 3 Parameter

A. Distribusi Normal

Distribusi Normal atau kurva normal ini biasanya disebut juga distribusi *Gauss*. Bentuk persamaan kurva frekuensi adalah:

$$X_T = \bar{X} + k \cdot Sd \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana:

- X_T = Nilai suatu kejadian dengan periode ulang T tahun (mm)
- \bar{X} = Curah hujan rata-rata (mm)
- Sd = Standar deviasi
- k = Karakteristik dari distribusi probabilitas normal

Nilai curah hujan rata-rata (\bar{X}) dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Dimana:

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

$\sum Xi$ = Jumlah curah hujan (mm)

n = Jumlah data

Merujuk pada (Soewarno, 1995) nilai k didapat dengan membaca tabel area di bawah kurva standar normal untuk nilai probabilitas kumulatif yang dihitung, dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Nilai Variasi Reduksi *Gauss*

Periode Ulang T (Tahun)	Peluang	k	Periode Ulang T (Tahun)	Peluang	k
1,001	0,999	-3,10	3,330	0,300	0,52
1,005	0,995	-2,60	4,000	0,250	0,67
1,010	0,990	-2,30	5,000	0,200	0,84
1,050	0,950	-1,60	10,000	0,200	1,28
1,110	0,900	-1,30	20,000	0,050	1,64
1,250	0,800	-0,80	50,000	0,020	2,05
1,330	0,750	-0,70	100,000	0,010	2,33
1,430	0,700	-0,50	200,000	0,005	2,58
1,670	0,600	-0,30	500,000	0,002	2,88
2,000	0,500	0	1.000,000	0,001	3,09
2,500	0,400	0,30			

Sumber : *Bonnier, 1980.*

Simpangan baku atau standar deviasi diartikan sebagai kuadrat perbedaan antara besaran variat dengan nilai rata-ratanya. Nilai standar deviasi dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$Sd = \left[\frac{\sum(Xi-\bar{X})^2}{(n-1)} \right]^{\frac{1}{2}} \text{ atau } Sd = \sqrt{\frac{\sum(Xi-\bar{X})^2}{(n-1)}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana:

Sd = Standar deviasi

Xi = Data curah hujan (mm)

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

n = Jumlah data

B. Gumbel Tipe I

Distribusi Gumbel Tipe I atau disebut juga dengan distribusi ekstrim I (*extreme type I distribution*) umumnya digunakan untuk analisa data maksimum, misalnya untuk analisis frekuensi banjir (Soewarno, 1995).

Persamaan garis lurus untuk distribusi frekuensi Gumbel Tipe I dapat juga menggunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut:

$$X_T = \bar{X} + k \cdot S_d \quad \dots\dots\dots (2.4)$$

$$k = \frac{Y_T - Y_n}{S_n} \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Dimana:

- X_T = Nilai variat yang diharapkan terjadi (mm)
- \bar{X} = Nilai rata-rata hitung variat (mm)
- S_d = Standar deviasi
- Y_T = Nilai reduksi variat dari variabel yang diharapkan terjadi pada periode ulang tertentu
- Y_n = Nilai rata-rata reduksi variat
- S_n = Deviasi standar dari reduksi variat

Simpangan baku atau standar deviasi pada metode Gumbel Tipe I dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$S_d = \left[\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{(n-1)} \right]^{\frac{1}{2}} \quad \text{atau} \quad S_d = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{(n-1)}} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Dimana:

- S_d = Standar deviasi
- X_i = Data curah hujan (mm)
- \bar{X} = Curah hujan rata-rata (mm)
- n = Jumlah data

Nilai Y_T adalah faktor reduksi Gumbel Tipe I yang merupakan fungsi dari besarnya peluang atau periode ulang seperti yang ditunjukkan dalam **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Nilai Variabel Reduksi Gumbel

T (Tahun)	Peluang	Y _T	T (Tahun)	Peluang	Y _T
1,001	0,001	-1,930	3,330	0,700	1,030
1,005	0,005	-1,670	4,000	0,750	1,240
1,010	0,010	-1,530	5,000	0,800	1,510
1,050	0,050	-1,097	10,000	0,900	2,250
1,110	0,100	-0,834	20,000	0,950	2,970
1,250	0,200	-0,476	50,000	0,980	3,900
1,330	0,250	-0,326	100,000	0,990	4,600
1,430	0,300	-0,185	200,000	0,995	5,290
1,670	0,400	0,087	500,000	0,998	6,210
2,000	0,500	0,366	1.000,000	0,999	6,900
2,500	0,600	0,671			

Sumber : *Bonnier, 1980.*

Mengacu pada (Soewarno, 1995), nilai hubungan reduksi variat rata-rata (Y_n) dengan jumlah data (n) dapat dilihat pada **Tabel 2.3**.

Tabel 2.3 Hubungan Reduksi Variat Rata-Rata (Y_n) dengan Jumlah Data (n)

n	Y _n	n	Y _n	n	Y _n	n	Y _n
10	0,4592	33	0,5388	56	0,5508	79	0,5567
11	0,4996	34	0,5396	57	0,5511	80	0,5569
12	0,5053	35	0,5402	58	0,5518	81	0,5570
13	0,5070	36	0,5410	59	0,5518	82	0,5572
14	0,5100	37	0,5418	60	0,5521	83	0,5574
15	0,5128	38	0,5424	61	0,5524	84	0,5576
16	0,5157	39	0,5430	62	0,5527	85	0,5578
17	0,5181	40	0,5436	63	0,5530	86	0,5580
18	0,5202	41	0,5442	64	0,5533	87	0,5581
19	0,5220	42	0,5448	65	0,5535	88	0,5583
20	0,5236	43	0,5453	66	0,5538	89	0,5585
21	0,5252	44	0,5458	67	0,5540	90	0,5586
22	0,5268	45	0,5463	68	0,5543	91	0,5587
23	0,5283	46	0,5468	69	0,5545	92	0,5589
24	0,5296	47	0,5473	70	0,5548	93	0,5591
25	0,5309	48	0,5477	71	0,5550	94	0,5592
26	0,5320	49	0,5481	72	0,5552	95	0,5593
27	0,5332	50	0,5485	73	0,5555	96	0,5595
28	0,5343	51	0,5489	74	0,5557	97	0,5596
29	0,5353	52	0,5493	75	0,5559	98	0,5598
30	0,5362	53	0,5497	76	0,5561	99	0,5599
31	0,5371	54	0,5501	77	0,5563	100	0,5600
32	0,5380	55	0,5504	78	0,5565		

Sumber : *Soewarno, 1995.*

Nilai hubungan antara deviasi standar (S_n) dengan jumlah data (n) dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

Tabel 2.4 Hubungan Antara Deviasi Standar (S_n) dengan Jumlah Data (n)

n	S_n	n	S_n	n	S_n	n	S_n
10	0,9496	33	1,1226	56	1,1696	79	1,1930
11	0,9676	34	1,1255	57	1,1708	80	1,1938
12	0,9933	35	1,1285	58	1,1721	81	1,1945
13	0,9971	36	1,1313	59	1,1734	82	1,1953
14	1,0095	37	1,1339	60	1,1747	83	1,1959
15	1,0206	38	1,1363	61	1,1759	84	1,1967
16	1,0316	39	1,1388	62	1,1770	85	1,1973
17	1,0411	40	1,1413	63	1,1782	86	1,1980
18	1,0493	41	1,1436	64	1,1793	87	1,1987
19	1,0565	42	1,1458	65	1,1803	88	1,1994
20	1,0628	43	1,1480	66	1,1814	89	1,2001
21	1,0696	44	1,1499	67	1,1824	90	1,2007
22	1,0754	45	1,1519	68	1,1834	91	1,2013
23	1,0811	46	1,1538	69	1,1844	92	1,2020
24	1,0864	47	1,1557	70	1,1854	93	1,2026
25	1,0915	48	1,1574	71	1,1863	94	1,2032
26	1,1961	49	1,1590	72	1,1873	95	1,2038
27	1,1004	50	1,1607	73	1,1881	96	1,2044
28	1,1047	51	1,1623	74	1,1890	97	1,2049
29	1,1086	52	1,1638	75	1,1898	98	1,2055
30	1,1124	53	1,1658	76	1,1906	99	1,2060
31	1,1159	54	1,1667	77	1,1915	100	1,2065
32	1,1193	55	1,1682	78	1,1923		

Sumber : Soewarno, 1995.

C. Log Pearson Tipe III

Distribusi Log Pearson Tipe III banyak digunakan dalam analisis hidrologi, terutama dalam analisis data maksimum (banjir) dan minimum (debit minimum) dengan nilai ekstrem. Bentuk distribusi Log Pearson Tipe III merupakan hasil transformasi dari Distribusi Pearson Tipe III dengan menggantikan variat menjadi nilai logaritmik.

Bentuk kumulatif dari distribusi Log Pearson Tipe III dengan nilai variat X apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan menjadi model matematik dengan persamaan garis lurus. Persamaan garis lurusnya adalah (Soewarno, 1995):

$$Y = \bar{Y} + k \cdot Sd \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Dimana:

- Y = Nilai logaritma dari X (log x atau ln x)
- \bar{Y} = Nilai rata-rata hitung atau rata-rata geometrik nilai Y
- Sd = Standar deviasi nilai Y
- k = Faktor sifat distribusi Log Pearson Tipe III

Langkah-langkah perhitungan untuk menentukan kurva distribusi Log Pearson Tipe III adalah sebagai berikut:

1. Tentukan logaritma dari semua nilai variat X
2. Hitung nilai rata-ratanya:

$$\overline{\log X} = \frac{\sum \log X}{n}$$

3. Hitung nilai deviasi standar dari log X

$$S \log X = \sqrt{\frac{(\log X - \overline{\log X})^2}{n-1}}$$

4. Hitung nilai koefisien kemencengan (*Skewness*)

$$Cs = \frac{n \sum (\log X - \overline{\log X})^3}{(n-1)(n-2)(S \log X)^3}$$

Sehingga persamaannya dapat ditulis:

$$\log X = \overline{\log X} + k(S \log X)$$

5. Tentukan anti log dari nilai Log X untuk mendapat nilai X yang diharapkan terjadi pada tingkat peluang atau periode tertentu sesuai dengan nilai Cs nya. Nilai koefisien kemencengan (Cs) dapat dilihat pada **Tabel 2.5**.

Apabila nilai $Cs = 0$ maka distribusi Log Pearson Tipe III identik dengan distribusi Log Normal, sehingga distribusi kumulatifnya akan tergambar sebagai garis lurus pada kertas grafik log normal.

Tabel 2.5 Hubungan Nilai k Distribusi Log Person Tipe III dengan Periode Ulang (T) dan Koefisien Kemencengan (Cs)

Kemencengan (Cs)	Periode Ulang (T)							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
3,0	-0,360	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051	4,970	7,250
2,5	-0,360	0,518	1,250	2,262	1,048	3,845	4,652	6,600
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,444	6,200
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	4,147	4,298	5,910
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147	5,660
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990	5,390
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828	5,110
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149	3,661	4,820
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489	4,540
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401	4,395
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,998	2,453	2,891	3,312	4,250
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223	4,105
0,6	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755	3,132	3,960
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041	3,815
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949	3,670
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856	3,525
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763	3,380
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400	2,670	3,235
0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326	2,576	3,090
-0,1	0,017	0,847	1,270	1,761	2,000	2,252	2,482	2,950
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388	2,810
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104	2,294	2,675
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201	2,540
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108	2,400
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016	2,275
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806	1,926	2,150
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733	1,837	2,035
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749	1,910
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588	1,664	1,800
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501	1,625
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318	1,351	1,465
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197	1,216	1,280
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,097	1,130
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990	0,995	1,000
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905	0,907	0,910
-2,5	0,360	0,711	0,771	0,793	0,798	0,799	0,800	0,802
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667	0,667	0,668

Sumber : Soewarno, 1995.

D. Log Normal 2 Parameter

Distribusi Log Normal 2 Parameter mempunyai persamaan transformasi:

$$\log X = \overline{\log X} + k \cdot S \log X \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

- $\log X$ = Nilai variat X yang diharapkan terjadi
- $\overline{\log X}$ = Rata-rata nilai X hasil pengamatan
- $S \log X$ = Deviasi standar logaritmik nilai X pengamatan
- k = Karakteristik dari distribusi Log Normal

Nilai k dapat diperoleh dari tabel yang merupakan fungsi peluang kumulatif dan periode ulang. Nilai faktor frekuensi k untuk Distribusi Log Normal 2 Parameter dapat dilihat pada **Tabel 2.6** berikut.

Tabel 2.6 Nilai Faktor Frekuensi k untuk Distribusi Log Normal 2 Parameter

Koefisien Variasi (Cv)	Peluang Kumulatif P(%) : P(X≤X)					
	50	80	90	95	98	99
	Periode Ulang (Tahun)					
	2	5	10	20	50	100
0,05	-0,0250	0,8334	1,2965	1,6863	2,1341	2,4570
0,10	-0,0496	0,8222	1,3078	1,7247	2,2130	2,5489
0,15	-0,0738	0,8085	1,3156	1,7598	2,2899	2,2607
0,20	-0,0971	0,7926	1,3200	1,7598	2,3640	2,7716
0,25	-0,1194	0,7746	1,3209	1,7911	2,4318	2,8805
0,30	-0,1406	0,7647	1,3183	1,8183	2,5015	2,9866
0,35	-0,1604	0,7333	1,3126	1,8414	2,5638	3,0890
0,40	-0,1788	0,7100	1,3037	1,8602	2,6212	3,1870
0,45	-0,1957	0,6870	1,2900	1,8746	2,6731	3,2799
0,50	-0,2111	0,6626	1,2778	1,8848	2,7202	3,3673
0,55	-0,2251	0,6379	1,2613	1,8909	2,7613	3,4488
0,60	-0,2375	0,6129	1,2428	1,8931	2,7971	3,5211
0,65	-0,2185	0,5879	1,2226	1,8951	2,8279	3,3930
0,70	-0,2582	0,5631	1,2011	1,8866	2,8532	3,3663
0,75	-0,2667	0,5287	1,1784	1,8677	2,8735	3,7118
0,80	-0,2739	0,5118	1,1548	1,8543	2,8891	3,7617
0,85	-0,2801	0,4914	1,1306	1,8388	2,9002	3,8056
0,90	-0,2852	0,4686	1,1060	1,8212	2,9071	3,8137
0,95	-0,2895	0,4466	1,0810	1,8021	2,9103	3,8762
1,00	-0,2929	0,4254	1,0560	1,7815	2,9098	3,9035

Sumber : Soewarno, 1995.

Parameter statistik metode Log Normal 2 Parameter dapat dicari dengan:

- Koefisien Variasi (Cv) $= \frac{\sigma}{\mu} = [e^{\sigma^2} n - 1]^{0,5} = \frac{s}{\bar{x}}$
- Koefisien *Skewness* (Cs) $= 3Cv + Cv^3$
- Koefisien Kurtosis (Ck) $= Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$

Apabila diinginkan prosedur perhitungan tanpa menggunakan nilai logaritmik, dapat menggunakan persamaan:

$$X = \bar{X} + k \cdot Sd$$

dimana nilai k diambil dari tabel nilai fungsi kumulatif dari periode ulang dengan nilai koefisien variasinya.

E. Log Normal 3 Parameter

Log Normal 3 Parameter adalah hasil transformasi distribusi normal dengan modifikasi suatu parameter dengan β sebagai batas bawah, sehingga nilai variat X harus ditransformasikan menjadi $(X-\beta)$ dan nilai Ln X menjadi Ln $(X-\beta)$. Persamaan garis lurus metode Log Normal 3 Parameter adalah sebagai berikut:

$$Y = \bar{Y} + k \cdot Sd \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

- Y = Logaritma dari kejadian $(X-\beta)$ pada periode ulang tertentu
- \bar{Y} = Nilai rata-rata kejadian Y
- Sd = Deviasi standar kejadian Y
- k = Nilai karakteristik dan distribusi Log Normal 3 Parameter

Nilai k tergantung pada koefisien *skewness*, dapat diperoleh dari tabel. Jika tanpa menggunakan nilai logaritmik, dapat menggunakan persamaan:

$$X = \bar{X} + k \cdot Sd$$

dimana nilai k diambil dari tabel nilai fungsi kumulatif dari periode ulang dengan nilai koefisien *Skewness*-nya. Nilai faktor frekuensi k untuk Distribusi Log Normal 3 Parameter dapat dilihat pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2.7 Nilai Faktor Frekuensi k untuk Distribusi Log Normal 3 Parameter

Koefisien Skewness (Cs)	Peluang Kumulatif P(%) : P(X≤X)					
	50	80	90	95	98	99
	Periode Ulang (Tahun)					
	2	5	10	20	50	100
-2,0	0,2366	-0,6144	-1,2437	-1,8916	-2,7943	-3,5196
-1,8	0,2240	-0,6395	-1,2621	-1,8928	-2,7578	-3,4433
-1,6	0,2092	-0,6654	-1,2792	-1,8901	-2,7138	-3,3570
-1,4	0,1920	-0,6920	-1,2943	-1,8827	-2,6615	-3,2601
-1,2	0,1722	-0,7186	-1,3067	-1,8696	-2,6002	-3,1521
-1,0	0,1495	-0,7449	-1,3156	-1,8501	-2,5294	-3,0333
-0,8	0,1241	-0,7700	-1,3201	-1,8235	-2,4492	-2,9043
-0,6	0,0959	-0,7930	-0,3194	-1,7894	-2,3600	-2,7665
-0,4	0,0654	-0,8131	-0,3128	-1,7478	-2,2631	-2,6223
-0,2	0,0332	-0,8296	-0,3002	-1,6993	-2,1602	-2,4745
0	0	0	0	0	0	0
0,2	-0,0332	0,8296	0,3002	1,6993	2,1602	2,4745
0,4	-0,0654	0,8131	0,3128	1,7478	2,2631	2,6223
0,6	-0,0959	0,7930	0,3194	1,7894	2,3600	2,7665
0,8	-0,1241	0,7700	1,3201	1,8235	2,4492	2,9043
1,0	-0,1495	0,7449	1,3156	1,8501	2,5294	3,0333
1,2	-0,1722	0,7186	1,3067	1,8696	2,6002	3,1521
1,4	-0,1920	0,6920	1,2943	1,8827	2,6615	3,2601
1,6	-0,2092	0,6654	1,2792	1,8901	2,7138	3,3570
1,8	-0,2240	0,6395	1,2621	1,8928	2,7578	3,4433
2,0	-0,2366	0,6144	1,2437	1,8916	2,7943	3,5196

Sumber : Soewarno, 1995

2.4.2 Uji Kecocokan

Uji kecocokan dimaksudkan untuk menentukan metode analisa apa yang cocok digunakan dalam menentukan hujan periode ulang tertentu. Ada 2 tahap pengujian, yaitu:

- a. Uji Deskriptor Statistik
- b. *Goodness of Fit Test*; Uji Chi Kuadrat (χ^2) dan Uji Smirnov-Kolmogorov

A. Uji Deskriptor Statistik

Pengujian terhadap besaran statistik data (nilai koefisien *kurtosis*, nilai koefisien *skewness*, nilai koefisien variasi), yang akan dibandingkan dengan nilai tabel untuk dilihat apakah data yang digunakan mendekati parameter statistik acuan

yang telah ditentukan dari salah satu metode yang ada. Nilai acuan uji deskriptor statistik dari beberapa metode dapat dilihat pada **Tabel 2.8**.

Tabel 2.8 Nilai Acuan Uji Deskriptor Statistik dari Beberapa Metode

Metode	Cv	Ck	Cs
Normal	$\frac{\sigma}{v}$	3,000	0
Gumbel Tipe I	$\frac{\sigma}{v}$	5,402	1,139
Log Pearson Tipe III	0,3	$\left\{ \frac{n(n+1)}{(n-1)(n-2)(n-3)} \sum \left(\frac{\text{Log}X_i - \overline{\text{Log}X}}{S} \right)^4 \right\} - \frac{3(n-1)^2}{(n-2)(n-3)}$	$\frac{n \sum (\text{Log}X - \overline{\text{Log}X})^3}{(n-1)(n-2)(S_{\text{Log}X})^3}$
Log Normal 2 Parameter	$\frac{\sigma}{v}$	$Cv^8 + 6Cv^6 + 15Cv^4 + 16Cv^2 + 3$	$3Cv + Cv^3$
Log Normal 3 Parameter	$\frac{\sigma}{v}$	3,800	0,702

B. Uji Chi Kuadrat (χ^2)

Uji Chi Kuadrat (χ^2) dilakukan dengan membagi data pengamatan menjadi beberapa sub bagian pengamatan dengan interval peluang tertentu, sesuai dengan pengguna inginkan. Kemudian peluang yang telah ditentukan tersebut dikompilasi dengan persamaan garis lurus dari distribusi yang diuji, selanjutnya parameter χ^2 dapat dihitung dengan rumus:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \dots\dots\dots (2.10)$$

Langkah-langkah Perhitungan Uji Chi Kuadrat:

- a. Urutkan data pengamatan (dari besar ke kecil atau kecil ke besar)
- b. Kelompokkan data menjadi G sub-grup, tiap-tiap sub-grup minimal 4 data pengamatan, dalam skripsi ini dibagi atas 4 sub-grup
- c. Jumlahkan data pengamatan sebesar O_i tiap-tiap sub-grup
- d. Jumlahkan data dari pengamatan distribusi yang digunakan sebesar E_i
- e. Tiap-tiap sub-grup hitung nilai: $(O_i - E_i)^2$ dan $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$

- f. Jumlahkan seluruh G sub-grup nilai $\frac{(O_i - E_i)^2}{E_i}$ untuk menentukan nilai chi kuadrat (χ^2) hitung
- g. Tentukan derajat kebebasan (dk), nilai $dk = G - R - 1$
- h. Keputusan:
 Apabila nilai chi kuadrat (χ^2) hitung < chi kuadrat (χ^2) tabel, maka metode yang diuji dapat digunakan (diterima), sedangkan apabila nilai chi kuadrat (χ^2) hitung > chi kuadrat (χ^2) tabel, maka metode yang diuji tidak dapat digunakan (ditolak).

2.4.3 Hujan Periode Ulang

Hujan periode ulang adalah hujan yang terjadi dengan waktu kala ulang tertentu atau periode ulang tertentu. Dimana periode ulang adalah interval waktu dari suatu peristiwa yang mencapai suatu harga tertentu atau melampaui harga tersebut. Periode ulang curah hujan adalah waktu dimana curah hujan dengan besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tertentu. Metode yang digunakan untuk mencari besaran curah hujan periode ulang tertentu adalah metode yang dianggap paling sesuai untuk menentukan curah hujan rancangan yang mungkin terjadi dalam periode ulang waktu tertentu, diantaranya hujan periode ulang 2, 5 dan 10 tahun (R_2 , R_5 dan R_{10}).

2.4.4 Intensitas Curah Hujan

Intensitas Curah Hujan adalah jumlah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu. Intensitas curah hujan didefinisikan sebagai curah hujan merata yang terjadi disuatu daerah dalam satuan waktu tertentu yang sesuai dengan waktu konsentrasi dan periode ulang tertentu. Intensitas Curah Hujan dapat dianalisa dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau.

Intensitas Curah Hujan (I) dihitung dengan satuan mm dengan kurun waktu per jam (mm/jam). Hubungan antara intensitas, lama hujan, dan frekuensi hujan biasanya dinyatakan dalam lengkung Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF = *Intensity-Duration-Frequency*) yang memerlukan data hujan jangka pendek, misalnya 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit, dan jam-jaman Apabila data curah hujan jangka pendek tidak tersedia, maka intensitas curah hujan dihitung dengan rumus

Mononobe yang menggunakan data curah hujan harian. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{2/3} \dots\dots\dots (2.11)$$

Dimana:

- I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
- t_c = Waktu konsentrasi (jam)
- R₂₄ = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

Nilai t_c pada metode Mononobe dapat dihitung dengan persamaan Kirpich sebagai berikut:

$$t_c = \left[\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right]^{0,385} \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

- t_c = Waktu konsentrasi (jam)
- L = Panjang jarak titik terjauh didaerah sampai titik pengamat banjir (km)
- S = Kemiringan rata-rata dasar saluran

2.4.5 Debit Rencana

Debit (*discharge*) atau besarnya aliran sungai (*stream flow*) adalah volume aliran yang melalui suatu penampang melintang per satuan waktu (Soewarno, 1995). Debit biasanya dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m³/detik). Untuk menentukan besarnya debit saluran yang diakibatkan besarnya curah hujan perlu ditinjau hubungan antara hujan dan aliran di saluran. Besarnya aliran di dalam saluran ditentukan terutama oleh besarnya curah hujan, durasi hujan, luas daerah sungai dan ciri-ciri daerah aliran tersebut. Debit banjir rencana adalah debit besar tahunan yang diperkirakan dengan suatu proses kemungkinan ulang tertentu.

Analisa debit rencana akibat curah hujan dapat dihitung menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Snyder dengan rumus sebagai berikut:

$$t_p = C_t(L \times L_c)^{0,3} \dots\dots\dots (2.13)$$

$$q_p = 2,75 \frac{C_p}{t_p} \dots\dots\dots (2.14)$$

Dimana:

- t_p = *Time lag*/waktu kelambatan (jam)
- L = Panjang sungai (km)
- L_c = Panjang sungai dari cek point sampai titik di sungai yang terdekat dengan titik berat daerah pengaliran (km)
- q_p = Puncak unit hidrograf yang diakibatkan oleh hujan setinggi 1 inci dengan durasi t_r dinyatakan dalam (l/det)
- C_p dan C_t = Koefisien yang tergantung dari *basic* karakteristik

Nilai C_t dan C_p diambil dari hasil rekonstitusi *flood hydrograph* dengan cara *trial and error*. Dari *flood hydrograph* yang diamati dicari *synthetic unit hydrograph*-nya, kemudian dari *synthetic hydrograph* ini dihitung kembali *flood hydrograph* dengan mengambil sembarang nilai C_t dan C_p yang berlainan sehingga hasil perhitungan *flood* sama dengan yang diamati.

Dari beberapa hasil perhitungan dan pengamatan, besarnya C_t dan C_p dapat diperkirakan dari luas daerah pengaliran (*catchment area*) seperti yang tercantum dalam **Tabel 2.9** berikut.

Tabel 2.9 Harga C_t dan C_p Untuk Berbagai *Catchment Area*

Luas <i>Catchment Area</i> (km ²)	C_t	C_p
0 – 50	1,10	0,69
50 – 300	1,25	0,63
≥ 300	1,40	0,56

Sumber : DPMA, 1967

Untuk mencari lamanya curah hujan efektif (t_e) dipengaruhi langsung oleh *time log* yang dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$t_e = \frac{t_p}{5,5} \dots\dots\dots (2.15)$$

Dimana:

$$t_e = \text{Lamanya curah hujan efektif (jam)}$$

Setelah t_e dan t_p dihitung ternyata:

Bila $t_e < t_r$: maka t_p adalah benar

Bila $t_e > t_p$: maka t_p adalah salah

Maka t_p yang diperoleh harus dikoreksi dengan cara sebagai berikut:

$$t'_p = t_p + 0,25 (t_r - t_p), \text{ sehingga}$$

$$t_p = t'_p + 0,5t_r \dots\dots\dots (2.16)$$

Dimana:

$$T_p = \text{Peak time, yaitu waktu unit hidrograf mulai naik sampai dengan puncaknya (jam)}$$

Karena intensitas curah hujan biasanya diambil untuk setiap jam, maka untuk mempermudah diambil $t_r = 1$ jam. Untuk hujan 1 inci (25,4 mm) dengan luas daerah pengaliran km^2 akan diperoleh persamaan sebagai berikut:

$$Q_p = q_p \cdot \frac{25,4}{1000} \cdot A \dots\dots\dots (2.17)$$

Dimana:

- Q_p = Debit maksimum (m^3/detik)
- q_p = Puncak unit hidrograf yang diakibatkan oleh hujan setinggi 1 inci dengan durasi t_r dinyatakan dalam (l/deik)
- A = Luas daerah aliran (km^2)

Sebagai hubungan antara debit dengan waktu oleh Alexeyev digambarkan dengan persamaan: $Q = f(x)$. dan jika Q sebagai ordinat (sumbu Y), t sebagai absis (sumbu X), oleh Alexeyev bentuk persamaannya dapat dinyatakan dalam fungsi *exponential*, yaitu:

$$Y = 10^{-\alpha \frac{(1-X)^2}{X}} \dots\dots\dots (2.18)$$

Nilai α diperoleh dari persamaan berikut dengan $h =$ tinggi hujan 1 jam

$$\alpha = 1,32\lambda^2 + 0,15\lambda + 0,045 \quad \dots\dots\dots (2.19)$$

$$\lambda = \frac{Q_p \cdot t_p}{h \cdot A \cdot 1000} \quad \dots\dots\dots (2.20)$$

Dimana:

- A = Luas daerah pengaliran (km²)
- λ = Bilangan Alexeyev
- h = Tinggi satuan hujan yang digunakan dalam hal ini 1 inci
dinyatakan dalam mm

Hubungan antara titik X dan Y ini oleh Alexeyev disusun dalam tabel yang didasarkan harga-harga λ . Dimana koefisien λ ditentukan melalui rumus berikut:

$$X = \frac{t}{t_p} \quad \dots\dots\dots (2.21)$$

$$Y = \frac{Q}{Q_p} \quad \dots\dots\dots (2.22)$$

Dimana:

- Q = Debit dengan periode hidrograf
- Y = Perbandingan debit periode hidrograf dengan debit puncak
- X = Perbandingan waktu periode hidrograf dengan waktu mencapai
puncak banjir

2.5 Hidrolika

Hidrolika adalah suatu ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat dan hukum yang berlaku pada zat cair, baik dalam keadaan diam maupun bergerak atau mengalir (Chow, 1992). Hidrolika adalah ilmu terapan dari hidrodinamika, sifatnya empiris, problem tiga dimensi dalam hidrodinamika sering hanya dipandang sebagai fenomena dua dimensi. Dalam hidrolika juga dipelajari koefisien-koefisien aliran yang diperoleh dari studi empiris (melalui eksperimen).

Sifat-sifat hidrolis saluran alam biasanya sangat tidak menentu. Dalam beberapa hal dapat dibuat anggapan pendekatan yang cukup sesuai dengan pengamatan dari pengalaman sesungguhnya sedemikian rupa, sehingga persyaratan aliran pada saluran dapat diterima untuk penyelesaian analisa hidrolika teoritis.

2.5.1 Profil Saluran

Profil saluran pada penelitian ini termasuk dalam jenis saluran terbuka. Saluran terbuka adalah saluran alami atau buatan yang memiliki permukaan bebas pada tekanan atmosfer. Saluran terbuka dapat diklasifikasikan berdasarkan asal-usulnya dan konsistensi bentuk penampang dan kemiringan dasar.

- a. Berdasarkan asal-usulnya, klasifikasi saluran terbuka adalah sebagai berikut:
 1. Saluran alam (*natural channel*), yaitu saluran yang terbentuk secara alami tanpa campur tangan manusia, contohnya sungai-sungai kecil di daerah hulu (pegunungan) hingga sungai besar di muara.
 2. Saluran buatan (*artificial channel*), yaitu saluran yang dibuat dan direncanakan oleh manusia, contohnya saluran drainase tepi jalan, saluran irigasi untuk mengairi persawahan, saluran pembuangan, saluran untuk membawa air ke pembangkit listrik tenaga air, saluran untuk *supply* air minum, dan saluran banjir.

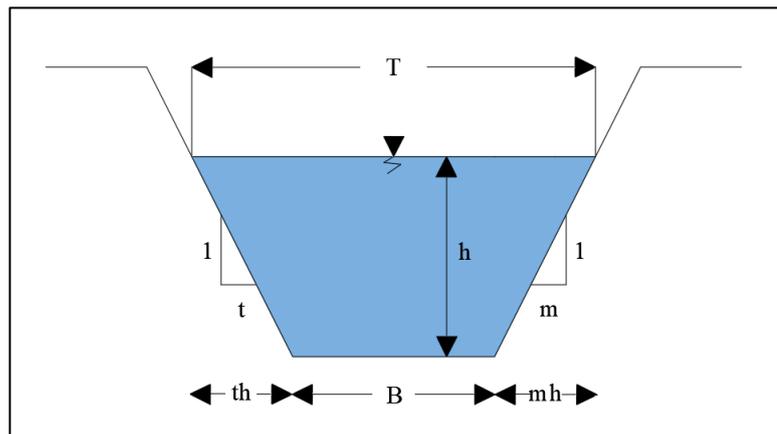
- b. Berdasarkan konsistensi bentuk penampang dan kemiringan dasar, klasifikasi saluran terbuka adalah sebagai berikut:
 1. Saluran prismatic (*prismatic channel*), yaitu saluran yang bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya tetap, contohnya saluran drainase dan saluran irigasi.
 2. Saluran non-prismatic (*non-prismatic channel*), yaitu saluran yang bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya berubah-ubah, contohnya sungai.

Penampang saluran alam umumnya sangat tidak beraturan, biasanya bervariasi dari bentuk seperti parabola sampai trapesium. Penampang saluran buatan biasanya dirancang berdasarkan bentuk geometris yang umum. Bentuk yang paling umum dipakai untuk saluran ber dinding tanah yang tidak dilapisi adalah bentuk trapesium, sebab stabilitas kemiringan dindingnya dapat disesuaikan.

Bentuk persegi panjang dan segitiga merupakan bentuk khusus selain trapesium. Berhubung bentuk persegi panjang mempunyai sisi tegak, biasanya dipakai untuk saluran yang dibangun dengan bahan yang stabil, seperti pasangan batu, padas, logam atau kayu. Penampang segitiga hanya dipakai untuk saluran

kecil, selokan dan penyalidikan di laboratorium. Penampang lingkaran banyak dipakai untuk saluran pembuangan air kotor dan gorong-gorong berukuran sedang maupun kecil (Chow, 1992).

Umumnya saluran di lapangan berbentuk trapesium dan persegi panjang. Untuk bentuk saluran yang optimal, maka bentuk trapesium lebih ekonomis dalam membawa aliran dibandingkan dengan bentuk persegi panjang (Pusat Pendidikan dan Pelatihan Sumber Daya Air dan Konstruksi, 2017). Contoh profil saluran berbentuk trapesium dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Profil saluran berbentuk trapesium

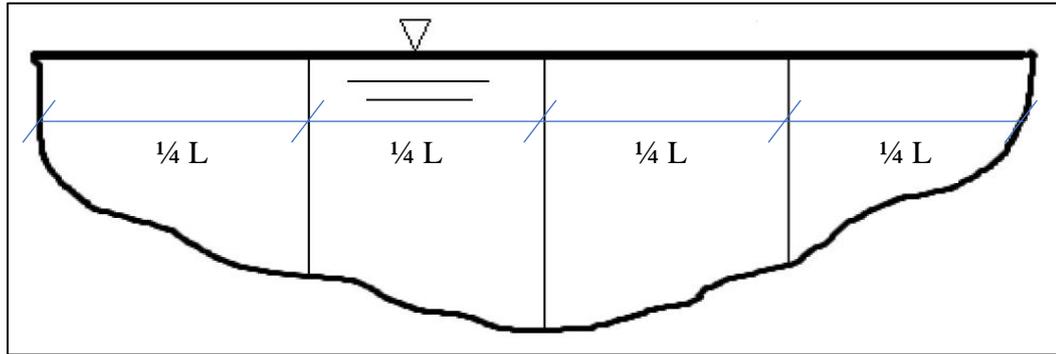
Luas profil basah saluran berbentuk trapesium dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$A = \frac{(B+T)}{2} \times h \quad \dots\dots\dots (2.23)$$

Dimana:

- A = Luas profil basah (m²)
- B = Lebar dasar saluran (m)
- h = Tinggi air dalam saluran (m)
- T = (B + m·h + t·h) = Lebar atas muka air (m)
- t = Kemiringan talud kiri
- m = Kemiringan talud kanan

Untuk mencari luas penampang saluran alam yang bentuknya tidak beraturan, dapat dibagi menjadi beberapa segmen seperti pada **Gambar 2.6** berikut.



Gambar 2.6 Profil saluran berbentuk tak beraturan

2.5.2 Kecepatan Saluran (Teoritis)

Kecepatan saluran rata-rata dapat dihitung dengan rumus *Chezy*, *Manning* dan *Strickler*.

Rumus *Manning*

Robbert Manning mengusulkan rumus sebagai berikut:

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2.24)$$

Dengan koefisien tersebut maka rumus kecepatan aliran menjadi:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} I^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (2.25)$$

Untuk mencari besaran jari-jari hidrolis (R) digunakan rumus:

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (2.26)$$

Dimana:

- v = Kecepatan saluran teoritis (m/s)
- n = Koefisien *Manning*
- R = Jari-jari hidrolis (m)
- A = Profil basah saluran (m²)
- P = Keliling basah saluran (m)
- I = Kemiringan dasar saluran

Nilai koefisien kekasaran *manning* dapat dilihat pada **Tabel 2.10** berikut.

Tabel 2.10 Koefisien Kekasaran *Manning*

Bahan	Koefisien <i>Manning</i> (n)
Besi tulang dilapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapis mortar	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

Sumber : Bambang Triatmodjo, 1993.

2.5.3 Debit Penampang

Debit penampang dapat dicari menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = v \cdot A \quad \dots\dots\dots (2.27)$$

Dimana:

- Q = Debit rencana (m³/s)
- A = Luas penampang basah (m²)
- v = Kecepatan saluran teoritis (m/s)

2.6 Pintu Klep

Pintu klep adalah salah satu pintu air yang pengoperasiannya dilakukan secara otomatis dengan memanfaatkan tekanan hidrostatis. Gerakan membuka dan menutupnya pintu klep disebabkan karena adanya perbedaan tekanan hidrostatis yang terjadi pada pintu klep. Pintu klep terbagi menjadi 2 (dua) jenis, yaitu:

1. Pintu Klep *Supply*, yang berarti pintu berfungsi untuk memasukkan air.
2. Pintu Klep *Drain*, yang berarti pintu berfungsi untuk mengeluarkan air.

Pintu klep dengan jenis *supply* biasanya dipasang pada daerah irigasi pertanian yang diharapkan berfungsi untuk memasukkan air atau menyuplai kebutuhan air irigasi sehingga tidak mengalami kekeringan lahan, sedangkan pintu klep dengan jenis *drain* biasanya dipasang pada tempat yang bermuara atau berbatasan langsung dengan batas air yang salinitasnya tinggi, misalnya pantai atau sungai yang memiliki kadar garam tinggi untuk menghalau masuknya air asin.

2.6.1 Fungsi dan Manfaat Pintu Klep

Adapun fungsi dan manfaat dari pintu klep adalah sebagai berikut:

1. Menahan intrusi salinitas.
2. Mengatur elevasi muka air.
3. Menunjang sistem tata air satu arah.

2.6.2 Kelebihan Pintu Klep Fiber

Adapun kelebihan dari pintu klep berbahan fiber adalah sebagai berikut:

1. Bobot pintu (berat jenis yang relatif lebih kecil dibandingkan dari bahan lain).
2. Lebih tahan terhadap keretakan (*fracture*) dibandingkan dengan bahan kayu.
3. Pembuatan dan kontrol mutu (pabrikasi) lebih terjamin.
4. Mobilisasi dan transportasi relatif lebih rendah.
5. Pemasangan dan pengoperasian lebih mudah.
6. Kebocoran yang terjadi lebih kecil, sehingga mengurangi biaya pemeliharaan.
7. Telah didukung oleh pengujian di laboratorium dengan uji model fisik dan kekuatan bahan.

2.6.3 Tipe Pintu Klep

Pintu klep memiliki beberapa tipe, diantaranya tipe *frame* lurus, tipe *frame* miring serta tipe bulat yang dapat dilihat pada **Gambar 2.7** berikut.

Tipe Pintu Klep		
Tipe <i>frame</i> lurus	Tipe <i>frame</i> miring	Tipe bulat
<p>PINTU KLEP TIPE PA-FG1 FRAME LURUS</p>	<p>PINTU KLEP TIPE PA-FG1 FRAME MIRING</p>	<p>PINTU KLEP TIPE PA-FG2 BULAT</p>

Sumber : Saung Awiligar, 2012

Gambar 2.7 Berbagai tipe pintu klep

2.6.4 Gaya yang Bekerja pada Pintu Klep

Adapun rumus-rumus yang digunakan dalam perhitungan pintu klep adalah sebagai berikut:

- a. Menentukan tinggi muka air di hulu (h_2) dan di hilir (h_1)

Menghitung h dengan tinggi maksimum rata-rata ditambah dengan tinggi curah hujan minimum harian, adalah:

$$h = \text{Pasang maksimum} + \text{Tinggi curah hujan minimum} - \text{Muka air maksimum di saluran} \quad \dots\dots\dots (2.28)$$

$$H_{\text{hulu}} (h_2) = h + h_1 \quad \dots\dots\dots (2.29)$$

- b. Menghitung luas penampang pintu klep rencana. Permukaan pintu klep direncanakan berbentuk persegi panjang, maka luas penampangnya adalah:

$$A = b \cdot h \quad \dots\dots\dots (2.30)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} A &= \text{Luas pintu (m}^2\text{)} \\ b &= \text{Lebar pintu (m)} \\ h &= \text{Tinggi pintu (m)} \end{aligned}$$

- c. Menghitung gaya tekanan hidrostatis di hilir, dengan rumus sebagai berikut:

$$F_1 = A \cdot \rho \cdot g \cdot h_{01} \quad \dots\dots\dots (2.31)$$

$$h_{01} = \frac{1}{2} \times h_1 \quad \dots\dots\dots (2.32)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} F_1 &= \text{Gaya tekanan hidrostatis di hilir (N/m}^2\text{)} \\ A &= \text{Luas penampang pintu klep (m}^2\text{)} \\ \rho &= \text{Masa jenis air (kg/m}^3\text{)} \\ g &= \text{Gaya gravitasi (m/s}^2\text{)} \end{aligned}$$

- d. Menghitung momen inersia dari permukaan pintu klep

$$I = \frac{1}{12} bh^3 \quad \dots\dots\dots (2.33)$$

Dimana:

- I = Momen inersia
- b = Lebar pintu (m)
- h = Tinggi pintu (m)

e. Penentuan letak pusat tekanan dengan rumus sebagai berikut:

$$y_{p1} = y_{01} + \frac{I}{A} \times y_{01} \quad \dots\dots\dots (2.34)$$

f. Menghitung gaya tekanan hidrostatis di hulu, dengan rumus sebagai berikut:

$$F_2 = A \cdot \rho \cdot g \cdot h_{02} \quad \dots\dots\dots (2.35)$$

$$h_{02} = \frac{1}{2} \times h_2 \quad \dots\dots\dots (2.36)$$

Dimana:

- F_2 = Gaya tekanan hidrostatis di hulu (N/m²)
- A = Luas penampang pintu klep (m²)
- ρ = Masa jenis air (kg/m³)
- g = Gaya gravitasi (m/s²)

g. Pengukuran untuk jarak searah pintu dari sendi ke muka air (y) adalah sebagai berikut:

$$y = \frac{h}{\cos\alpha} \quad \dots\dots\dots (2.37)$$

$$y_{02} = y + \frac{H_{pintu}}{2} \quad \dots\dots\dots (2.38)$$

$$y_{p2} = y_{02} + \frac{I}{A} + y_{02} \quad \dots\dots\dots (2.39)$$

Dimana:

- α = Sudut kemiringan pintu klep rencana

h. Pada saat pintu mulai membuka, momen statis terhadap sendi adalah nol, $\sum Ms = 0$ maka:

$$F_1 \times y_{p1} + W \frac{y}{2} \sin\alpha - F_2 (y_{p2} - y) = 0 \quad \dots\dots\dots (2.40)$$

2.7 HEC-RAS

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, *River Analysis System (RAS)*, yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center (HEC)* yang merupakan satu divisi di dalam *Institute for Water Resources (IWR)* dibawah *US Army Corps of Engineers (USACE)*. HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*). HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi, yaitu:

1. Hitungan profil muka air aliran permanen
2. Simulasi aliran tak permanen
3. Hitungan transport sedimen, dan
4. Hitungan kualitas air

Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama, *routine* hitungan hidrolika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan. HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan (Istiarto, 2014).

Persamaan yang digunakan dalam melakukan analisa hidrodinamik pada aplikasi ini adalah dengan dasar persamaan garis energi. Profil muka air dari satu tampang ke tampang berikutnya dihitung dengan persamaan energi dengan prosedur iterasi standar step.

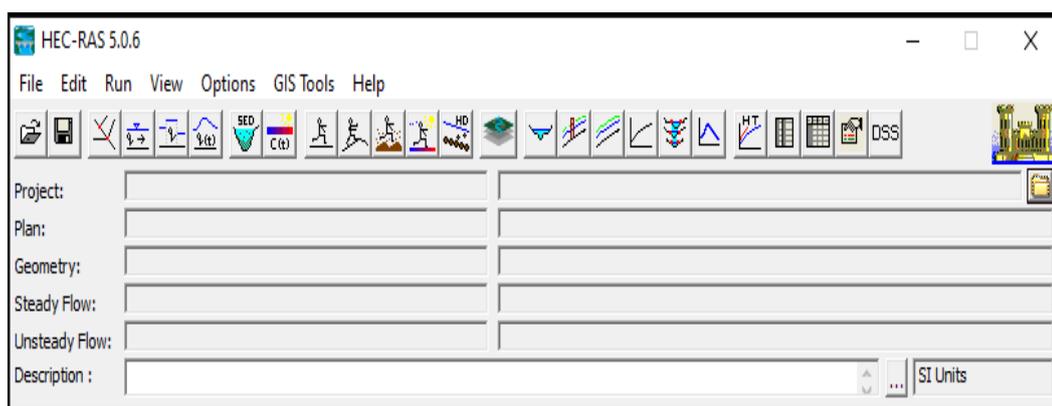
Dari hasil pemodelan hidrodinamik dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS didapatkan beberapa parameter hidrolis sebagai berikut:

1. Profil muka air rencana hasil skenario pemodelan. Dengan diketahuinya profil muka air sungai baik profil melintang maupun profil memanjang, maka akan dapat direncanakan dimensi saluran rencana ataupun ketinggian tanggul rencana, sehingga tidak terjadi limpasan (banjir).
2. Debit saluran pada lokasi-lokasi tertentu dan pada waktu-waktu tertentu (*flow hydrograph*).

3. Kecepatan aliran yang terjadi pada segmen sungai. Selain pada segmen sungai, kecepatan aliran juga dapat diketahui di lokasi bangunan yang ada di sepanjang sungai.

2.7.1 Menu dan Toolbar HEC-RAS

Software HEC-RAS memiliki berbagai kegunaan dimana untuk mencapai hal tersebut yang harus dilakukan sebelumnya adalah memasukkan data-data yang diperlukan pada menu yang telah disediakan. Tampilan menu utama HEC-RAS (versi 5.0.6) pada saat pertama kali dibuka dapat dilihat pada **Gambar 2.8**.



Gambar 2.8 Menu utama HEC-RAS

Adapun menu dan toolbar dasar yang terdapat pada aplikasi HEC-RAS serta fungsi dari masing masing menu itu sendiri adalah sebagai berikut:

a. *Geometry Data*



Menu *geometry data* berfungsi sebagai tempat untuk menginput data geometri, diantaranya adalah penampang saluran, bangunan air, data aliran, kondisi batas, dll.

b. *River Reach*



Menu *river reach* berfungsi sebagai tempat untuk menggambarkan aliran dari hilir ke hulu.

c. *Cross Section*



Menu *cross section* berfungsi sebagai tempat untuk memasukkan data penampang melintang.

d. *Brdg/Culv*

Menu *brdg/culv* berfungsi sebagai tempat untuk memasukkan data jembatan.

e. *Inline Structure*

Menu *inline structure* berfungsi sebagai tempat untuk memasukkan data bendung maupun pintu air.

f. *Storage Area*

Menu *storage area* berfungsi sebagai tempat untuk memasukkan data kolam tampungan.

g. *Pump Station*

Menu *pump station* berfungsi sebagai tempat untuk memasukkan data letak pompa air terhadap saluran.

h. *Steady Flow Data*

Menu *steady flow data* berfungsi sebagai tempat untuk memasukkan data aliran seragam.

i. *Unsteady Flow Data*

Menu *unsteady flow data* berfungsi sebagai tempat untuk memasukkan data aliran tak seragam.

j. *Sediment Boundary Conditions*

Menu *sediment boundary conditions* berfungsi sebagai tempat untuk memasukkan data sedimen pada aliran.

k. *Temperature Boundary Conditions*

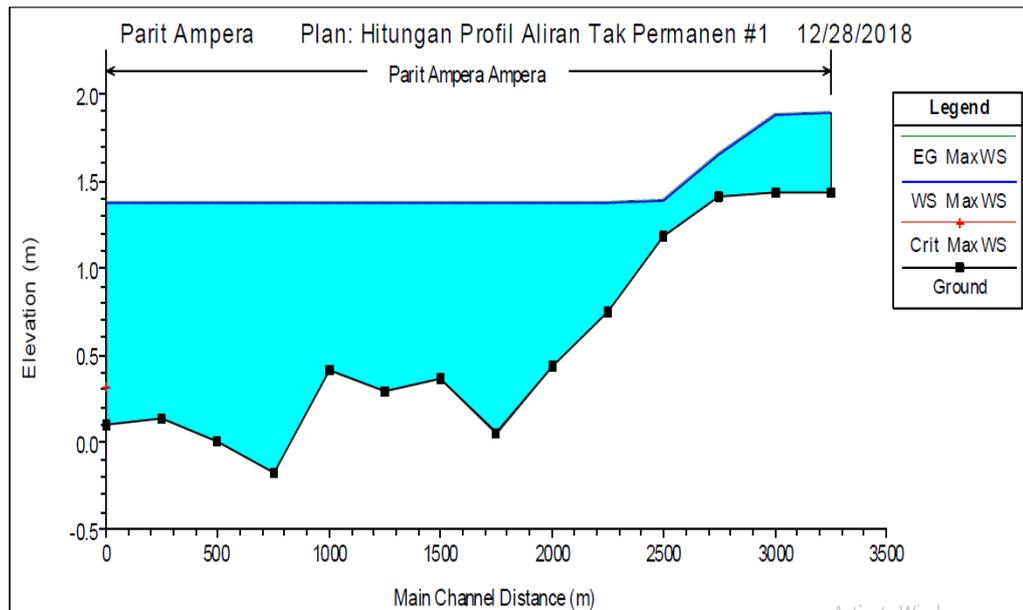
Menu *temperature boundary conditions* berfungsi untuk memasukkan data temperatur aliran.

2.7.2 Tampilan *Output* HEC-RAS

Adapun *output* yang ditampilkan pada *software* HEC-RAS sebagai berikut:

a. *Output* Gambar

Berikut adalah contoh hasil *output* profil muka air berupa gambar pada *software* HEC-RAS dapat dilihat pada **Gambar 2.9**.



Sumber : Muhammad Nazarudin, 2019

Gambar 2.9 Contoh *output* gambar profil muka air

b. *Table Output*

Berikut adalah contoh hasil *output* profil berupa tabel pada *software* HEC-RAS, dapat dilihat pada **Gambar 2.10**.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (cfs)	Min Ch El (ft)	W.S. Elev (ft)	Crit W.S. (ft)	E.G. Elev (ft)	E.G. Slope (ft/ft)	Vel Chnl (ft/s)	Flow Area (sq ft)	Top Width (ft)	Froude # Chl
Weir Reach	60.1	Max WS	73394.88	-13.50	22.93		23.25	0.000144	4.59	15994.94	536.79	0.15
Weir Reach	59.5	Max WS	73387.20	-16.20	22.78		22.95	0.000049	3.25	22610.21	775.29	0.11
Weir Reach	58.8	Max WS	73293.08	-18.90	22.65		22.79	0.000037	3.05	24067.77	736.65	0.09
Weir Reach	58.05	Max WS	73203.01	-16.00	22.49		22.64	0.000041	3.12	23485.10	738.17	0.10
Weir Reach	57	Max WS	73118.66	-31.70	22.23		22.40	0.000046	3.34	21907.36	675.27	0.10
Weir Reach	55.86	Max WS	73038.79	-30.40	21.87		22.10	0.000056	3.84	19019.03	547.97	0.11
Weir Reach	54.5	Max WS	72959.71	-52.00	21.53		21.70	0.000056	3.29	22195.82	822.10	0.11
Weir Reach	53.1	Max WS	72824.05	-25.30	21.02		21.26	0.000062	3.94	18494.49	555.45	0.12
Weir Reach	52.2	Max WS	72760.72	-16.10	20.84		21.00	0.000049	3.22	22588.42	786.49	0.11
Weir Reach	51.2	Max WS	72757.45	-24.00	20.58		20.75	0.000046	3.30	22047.68	688.06	0.10
Weir Reach	50.8	Max WS	72703.09	-20.50	20.42		20.64	0.000065	3.76	19329.14	655.51	0.12
Weir Reach	50	Max WS	72650.73	-18.60	20.21		20.37	0.000061	3.26	22277.87	895.26	0.12
Weir Reach	49.3	Max WS	72649.02	-16.30	19.97		20.15	0.000057	3.44	21115.92	743.25	0.11
Weir Reach	48.5	Max WS	72603.18	-24.10	19.64		19.88	0.000072	3.99	18185.74	606.40	0.13
Weir Reach	48	Max WS	72601.22	-20.90	19.56		19.72	0.000049	3.24	22415.06	767.77	0.11

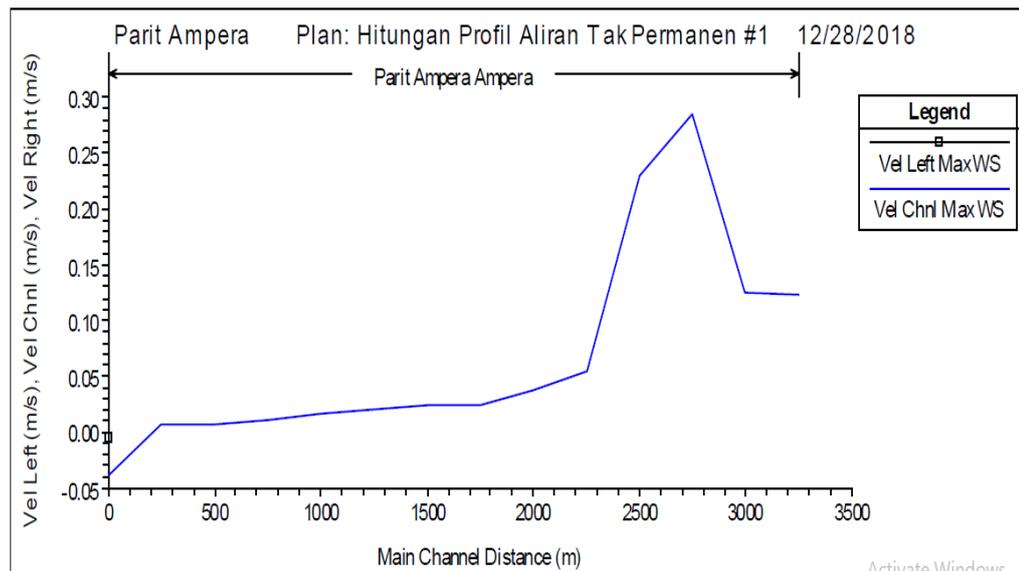
Total flow in cross section.

Sumber : Muhammad Nazarudin, 2019

Gambar 2.10 Contoh *profile output table*

c. *Grafik Output*

Berikut adalah contoh hasil *output* kecepatan aliran berupa grafik pada *software* HEC-RAS, dapat dilihat pada **Gambar 2.11**.



Sumber : Muhammad Nazarudin, 2019

Gambar 2.11 Contoh *output* grafik kecepatan aliran

2.8 Penelitian Terdahulu

Untuk mendukung penyajian dalam penulisan penelitian, maka diambil beberapa contoh penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan penelitian ini. Penelitian terdahulu yang telah dilakukan dapat menjadi referensi dalam hal penulisan teori maupun pengerjaan pada penelitian ini. Penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian Soekrasno S (2015) dengan judul “Sebelas Syarat Penentuan Lokasi Bendung Irigasi”. Tulisan ini menyajikan sebelas syarat dalam pemilihan lokasi bendung untuk mendapatkan kinerja yang baik, yaitu: kondisi topografi, geoteknik, hidraulik, rejim sungai, saluran induk, ruang lokasi bendung, luas layanan, daerah aliran sungai, pencapaian, justifikasi ekonomi, tingkat penerimaan pemangku kepentingan. Analisa korelasi antara pemilihan lokasi bendung saat perencanaan dan kinerjanya, dikombinasikan dengan pengamatan lapangan dengan melakukan peninjauan langsung dan dialog dengan penjaga operasi bendung untuk menjustifikasi 11 syarat tersebut. Umumnya penyebab kesalahan pemilihan lokasi bendung antara lain: kurangnya kemampuan tenaga ahli irigasi, dana yang terbatas, waktu dan sumber daya yang tidak memadai, rendahnya profesionalisme tenaga ahli irigasi.

2. Penelitian Atika Prabawati (2016) dengan judul “Analisa Hidrolika Perencanaan Pintu Klep Otomatis Fiber Resin Pada *Collector Drain* Lereng Dengan Model Simulasi HEC-RAS”. Hasil analisis dari penelitian ini yaitu didapatkan penambahan tanggul kiri (rerata) sebesar 0,6 m saluran *collector drain* sehingga aman dari meluap. Dengan adanya pemasangan pintu klep otomatis fiber resin pada collector drain lereng debit sebesar 15 m³/detik dengan elevasi tinggi muka air 3,56 m diharapkan akan menjadi 3,07 m. Perbandingan antara dipasang atau tidaknya pintu klep otomatis ini adalah ketika tidak ada pintu klep otomatis maka penambahan tanggul sebesar 0,6 m sepanjang 5000 m pada *collector drain* sedangkan ketika dipasang pintu klep otomatis penambahan tanggul menjadi 0,3 m sepanjang 3500 m pada *collector drain*.
3. Penelitian Zainul Bahri (2019) dengan judul “Model Pintu Air Otomatis *Counter Weight* Di Areal Persawahan Pasang Surut Untuk Mengatasi Tanaman Padi Tenggelam Pada Saat air Pasang”. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa tinggi bukaan pintu air pada saat pasang dan surut dapat ditentukan berdasarkan sudut kemiringan awal dan berat pintu terhadap engsel serta berat bandul (*counter weight*), sehingga tinggi bukaan pintu yang diinginkan agar tanaman tidak tenggelam yaitu 1,25 m dapat dilakukan.