

Bab II Tinjauan Pustaka

II.1 Gambaran Umum Sungai Deli

II.1.1 Pengertian Sungai

Sungai ialah air tawar bersumber dari alam yang mengalir dari tempat tinggi ke tempat yang rendah dan berakhir atau bermuara di sungai yang lebih besar, danau atau di laut. Sungai memiliki bentuk yang berkelok-kelok, kemiringan aliran yang berbeda-beda, kecepatan aliran, dan volume air sungai sehingga pada waktu tertentu sungai dapat melakukan aktivitas mengalami pengikisan atau erosi, pengendapan atau sedimentasi dan pengangkutan atau transportasi.

Sungai adalah aliran besar air alami mengalir. Sungai ditemukan disetiap benua dan dihampir setiap jenis tanah. Beberapa mengalir sepanjang tahun. Lainnya mengalir secara musiman atau selama bulan-bilan basah. Sebuah sungai mungkin hanya beberapa kilometer penjangnya. (National Geographic). Menurut UU No. 35 1991 tentang sugai, menyebutkan pengertian bantaran sungai adalah lahan pada kedua sisi sepanjang palung sungai dihitung dari tepi sampai dengan kaki tanggul sebelah dalam. Sehubungan dengan itu maka pada bantaran sungai dilarang membuang sampah dan mendirikan bangunan untuk hunian. (Polantolo, 2008). Beberapa manfaat sungai bagi kehidupan manusia sebagai berikut :

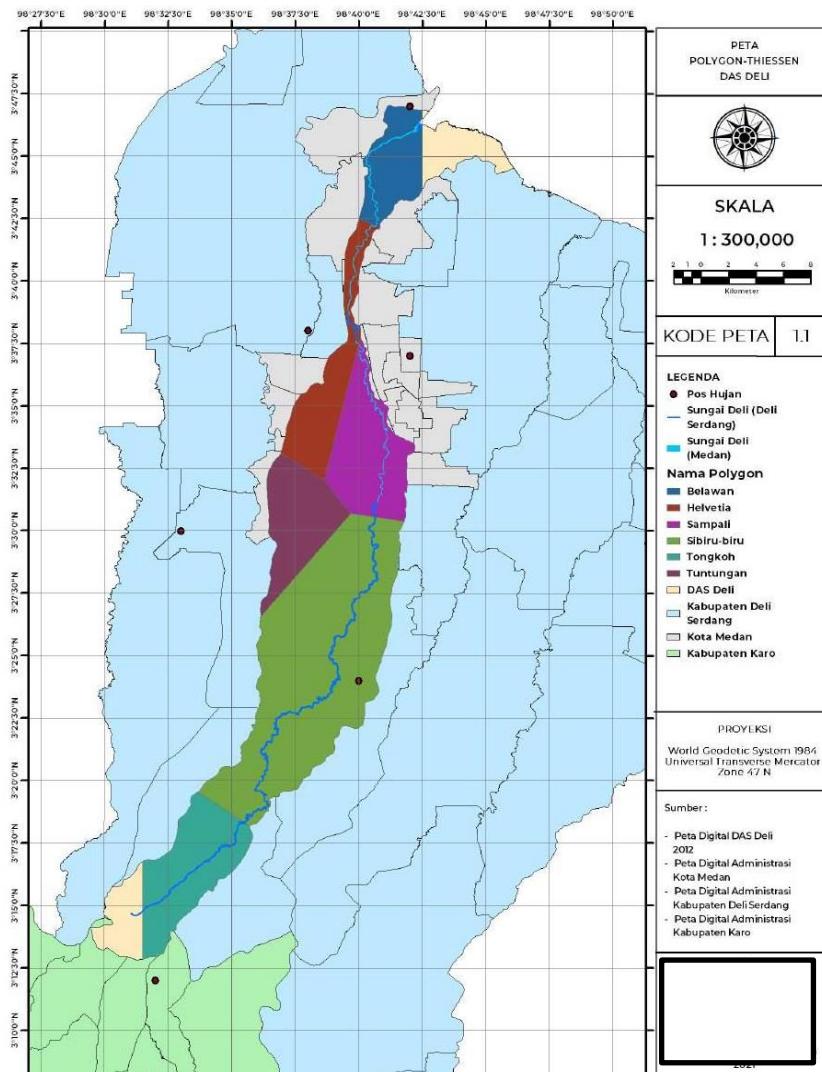
1. Penampung air, manfaat pertama sungai adalah menampung debit air yang turun ke tanah melalui hujan.
2. Mengalirkan air ke hilir, fungsi sungai mengalirkan air dari hulu ke hilir dimana sifat air mengalir dari tempat tinggi ke rendah.
3. Pembangkit listrik, sungai dapat menjadi salah satu energy yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik.
4. Pusat ekosistem, sungai dapat menjadi rumah bagi segala makhluk hidup yang tinggal dalam ekosistemnya, contoh nya ikan dan tanaman air.
5. Mencari nafkah, beternak ikan, penambang pasit, penambang batu kali, nelayan pencari ikan, penambang emas merupakan beberapa jenis mata pencarian yang didapat dari sungai.

6. Sumber bahan konsumsi, beberapa jenis ikan air tawar yang bergizi tinggi bagi kesehatan manusia yang hidup di sungai dapat di konsumsi oleh manusia.
7. Tempat rekreasi dan lokasi mencari ketenangan dan relaksasi, suara aliran sungai yang merdu memberikan relaksasi bagi manusia.

II.1.2 Daerah Aliran Sungai (DAS)



Gambar II. 1 DAS Sumatera Utara
(Sumber : Permen PUPR 2015)



Gambar II. 2 DAS Sumatera Utara

Undang-undang No. 17 tahun 2019 pasal menyatakan bahwa DAS adalah wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya yang berfungsi menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang bersasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami yang batas didarat merupakan pemisah pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan. Daerah aliran sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi punggung-punggung gunung dimana air hujan yang jatuh pada daerah tersebut dan akan dialirkan melalui sungai-sungai kecil ke sungai utama (Asdak, 1995).

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 tentang Pengelolaan DAS, Pasal 1).

Daerah aliran sungai (DAS) atau dalam skala luasan kecil disebut *Catchment area* atau daerah tangkapan air adalah suatu wilayah daratan yang dibatasi oleh punggung bukit atau batas-batas pemisah topografi, kemudian yang jatuh di atasnya ke alur-alur sungai yang terus mengalir ke anak sungai hingga ke sungai utama, dan akhirnya bermuara ke danau atau waduk atau ke laut.

II.1.3 Kawasan Daerah Aliran Sungai Deli

Sungai Deli adalah salah satu induk sungai pada Satuan Wilayah Sungai (SWS) Belawan/ Belumai Ular dengan 5 (lima) anak sungai. Panjang sungai Deli sekitar 72 Km dengan luas basin 472,96 Km².

Sungai Deli beserta anak dan ranting sungainya mengalir dari Kabupaten Karo, Kabupaten Deli Serdang dan melintasi Kota Medan sebelum bermuara ke Selat Malaka. Bagian hulu sungai pada umumnya berada di Kabupaten Karo dan Kabupaten Deli Serdang, sedangkan bagian tengah dan hilir berada di Kota Medan.

Tabel II. 1 Anak dan Ranting Sungai Deli

Induk Sungai	Anak Sungai	Daerah Pengairan	Ranting Sungai	Daerah Pengairan
Sungai Deli	1. Sei Sikambang	Kota Medan	Sei Putih, Sei Selayang, Sei Batua	Kota Medan
	2. Sei Babura	Kota Medan	Sei Bekala	Kota Medan, Pancur Batu*

	3. Lau Kelimut	Sibolangit*, Namorambe*		
	4. Lau Petani	Namorambe*, Delitua*, Simpang Empat**	Sei Betimus	Sibolangit*
	5. Sei Simai- mai	Namorambe*	Lau Bewaci, Lau Simantri, Lau Bekusah	Namorambe*, Sibiru-biru*

Sumber : Dokumen laporan pemantauan kualitas sungai Deli, Bapeda Sumut

*Kecepatan pada Kabupaten Deli Serdang

**Kecamatan pada Kabupaten Karo

Sungai Deli dapat digolongkan atas tiga bagian yakni, daerah hulu, tengah dan daerah hilir.

Tabel II. 2 Penggolongan Sungai Deli

Bagian Sungai	Lokasi	Luas DTA (Km²)	Panjang (Km)
Hulu	Kaki G. Sibayak -Pertemuan dengan anak sungai Simeime	159	30
Tengah	Sampai pertemuan dengan Sungai Sikaming	188	20
Hilir	Sampai ke Muara Sungai	55	20
Total		402	73

Sumber : Dokumen laporan pemantauan kualitas sungai Deli, Bapeda Sumut

Daerah pengairan sungai di Kabupaten Karo terdapat di Kecamatan Simpang Empat Desa Semangat Gunung dan Desa Doulu sedangkan di Kabupaten Deli Serdang meliputi 5 kecamatan, yaitu Kecamatan Pancur Batu, Kecamatan Sibolangit, Kecamatan Namorambe, Kecamatan Deli Tua, dan Kecamatan Sibiru-

biru. Sedangkan di Kota Medan meliputi 14 kecamatan, yaitu Kecamatan Medan Tuntungan, Kecamatan Medan Johor, Kecamatan Medan Selayang, Kecamatan Medan Polonia, Kecamatan Medan Maimun, Kecamatan Medan Kota, Kecamatan Medan Baru, Kecamatan Medan Sunggal, Kecamatan Medan Petisah, Kecamatan Medan Barat, Kecamatan Medan Deli, Kecamatan Medan Labuhan, Kecamatan Medan Marelan, Kecamatan Medan Belawan. Pada beberapa kecamatan sungai ini menjadi bagian batas administrasi.

II.1.4 Daerah Hulu

Pada daerah hulu, Sungai Deli mengalir melalui daerah perbukitan dengan topografi yang beragam, antara landai, terjal dan curam sehingga terdapat beberapa terjunan. Kondisi ini memberi efek yang baik pada proses *self purification* karena alirannya cenderung turbulen sehingga proses aerasi dapat berlangsung dengan baik. Hal ini turut didukung oleh banyaknya batuan yang terdapat pada badan air. Pemanfaatan lahan daerah pengaliran sungai di hulu antara lain sebagai daerah pertanian, perikanan dan pemukiman serta hutan. Sedangkan air sungai dimanfaatkan untuk irigasi, rekreasi air serta air baku air minum. Pertanian terutama terdapat di Desa Semangat Gunung, Desa Doulu dan Desa Lau Mulgap, perikanan terutama terdapat di Desa Lau Mulgap. Irigasi terdapat diberbagai lokasi, rekreasi air terdapat di Desa Sembahe dan Desa Logna Kecamatan Sibolangit. Pemanfaatan air sungai sebagai air baku air minum terdapat di Desa Pamah Kecamatan Delitua. Kegiatan yang berpotensi menurunkan kualitas air sungai dan lingkungan sekitarnya antara lain, penambangan pasir dan batu dari badan air, pegunungan pestisida dan pupuk di daerah pertanian, pengambilan humus serta konversi hutan menjadi pemukiman dan lahan pertanian.

II.1.5 Daerah Pertengahan

Pada daerah pertengahan topografi daerah pengaliran Sungai Deli cenderung landai dengan kemiringan 0.31%. Hal ini menyebabkan laju air air sungai lebih lambat dibandingkan daerah hulu. Pada laju air yang lebih lambat , proses aerasi juga berkurang dengan demikian *self purification* juga menurun

Di daerah pertengahan pemanfaatan lahan di sekitar daerah pengaliran sungai adalah untuk pemukiman, perkantoran dan industri. Daerah pertengahan merupakan pusat kota, sentral jasa dan perdagangan. Terdapat banyak kegiatan yang menimbulkan degradasi sungai pada daerah ini, pemukiman kumuh pada bantaran sungai, pembuangan limbah domestik dan industri, pembuangan sampah, pengubahan alur sungai, pengerasan benteng sungai dengan beton dll. Pada lokasi-lokasi pemukiman kumuh, penduduk memanfaatkan sungai sebagai tempat mandi, cuci dan juga kakus. Pada umumnya limbah domestik yang masuk ke Sungai Deli tidak mengalami pengolahan terlebih dahulu. Menurut survey yang dilakukan oleh Bapedalda (2003), terdapat lebih dari 89 (delapan puluh sembilan) saluran air limbah domestik ke Sungai Deli beserta anak –anak sungainya dan lebih dari 48 (empat puluh delapan) lokasi pembuangan sampah pada bibir/ bantaran sungai.

II.1.6 Daaerah Hilir

Topografi daerah hilir Sungai Deli semakin landai dengan kemiringan 0.2 % laju air pada daerah ini semakin lambat, terutama ke arah muara. Daerah hilir merupakan sentral industri, terdapat lebih dari 54 (lima puluh empat) kegiatan/ industri disepanjang Sungai Deli , termasuk hotel dan rumah sakit, banyak diantara industi ini yang membuang limbahnya ke Sungai Deli tanpa pengolahan terlebih dahulu.

II.2 Studi Literatur

Adapun penelitian terdahulu yang membahas mengenai banjir terkhususnya yang berkaitan dengan sungai Deli dapat dilihat dalam tabel II.3 berikut :

Tabel II. 3 Penelitian Terdahulu Mengenai Banjir Kota Medan

No	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Rosalina Putri Ramadhani	2022	Kajian Pengendalian Banjir dan Perubahan Dasar Sungai Akibat Adanya Bendung Gerka di Muara Sungai Loji Kota Pekalongan	Menggunakan software HEC-RAS 1D, dengan pemodelan banjir beberapa kombinasi antara debit, pasut, run up.	Hasil simulasi banjir dengan adanya run up menjadi bertambah dari 12.16 Ha menjadi 749 Ha. Setelah adanya bendungan gerak tinggi genangan banjir rata-rata mengalami penurunan dari 1.706 m menjadi 1.394 m. Sedimentasi mengalami peningkatan setelah adanya bendung gerak sekitar 0.506 m menjadi 0.806 m dan mengalami penurunan kedalaman erosi

					rata-rata dari 0.291 m menjadi 0.213 m
2	Khoirunisa Ulya Nur Utari	2022	Kajian Pengendalian Banjir Pada Proyek Peningkatan Kanal Banjir (<i>Floodway</i>) Plangwot- Sedayu Lawass Kabupaten Lamongan	Mengkaji pengaruh penambahan pintu inlet kanal banjir terhadap reduksi debit banjir sungai bengawan solo dan perubahan dasar saluran floodway dengan menggunakan debit puncak kala ualng 50 tahun dan pemodelan dengan HEC- RAS	Debit banjir pada kala ulang 50 tahun sebesar 4191.7 m ³ /s. Simulasi dengan 3 pintu inlet menjukkan bahwa debit puncak tereduksi sebesar 13.43%. Simulasi dengan 5 pintu inlet debit puncak tereduksi sebesar 21.31%.

3	Putri Zandiba Siregar	2017	Studi Potensi Dan Resiko Banjir Di Daerah Aliran Sungai (DAS) Deli Dengan Sistem Informasi Geografis (GIS)	Penggunaan aplikasi HEC – HMS dalam penentuan potensi dan resiko banjir dan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu untuk mengetahui debit banjir	Dari periode ulang 10, 25, 50 dan 100 tahun terdapat 4 kecamatan yang masuk zona rawan banjir dan terdapat 4 titik evakuasi
4	Indra Prima Hasyim Siregar	2015	Penentuan Tinggi Muka Air Banjir Sungai Deli	Perhitungan dengan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu dan rumus Manning untuk menghitung tinggi muka air sungai Deli.	Debit banjir periode ulang 25 – 100 tahun berkisar 92,56 m ³ /detik sampai 448,56 m ³ /detik, dan bagian hilir DAS Deli yang memiliki potensi paling besar

5	Muhamad Reza Robby Nugraha	2021	Studi Penanggulangan Bajir Wilayah Bekasi	Penggunaan data sekunder yang dianalisis dengan analisa hidrologi dan analisa hidrolia serta menggunakan metode kuantitatif	Hasil penanggulanga n banjir melalui bundungan narogong dengan menggunakan debit banjir rencana lokasi waduk narogong DED 2019. Kecilnya reduksi, mka dilakukan pemodelan dengan menggunakan pilot channel.
6	Ibnu Syifa H	2015	Kajian Metode Hidrograf Satuan Sintetik Pada Sungai Deli	Membandingkan data sekunder yang telah dianalisis dengan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik	Penggunaan metode HSS Nakayasu diperoleh debit sebesar 300,056 m ³ /detik yang manamendekati debit dari BWS sebesar 310,822

					m ³ /detik
7	M. Khairul Syahputra	2015	Evaluasi Fungsi Bendung Dan Floodway Sungai Deli – Percut Dalam Mitigasi Banjir Di Kota Medan	Menghubungkan tinggi muka air banjir dengan debit banjir pada periode ulang tertentu dengan menggunakan <i>rating curve</i>	Debit sungai Deli sebesar 114,8044 m ³ /detik baru masuk ke <i>floodway</i> dan sebesar 289,755 m ³ /detik baru akan melewati puncak mercu <i>floodway</i> . Sehingga Medan <i>Floodway Control</i> belum dapat berfungsi secara optimal karena elevasi mercu yang terlalu tinggi.

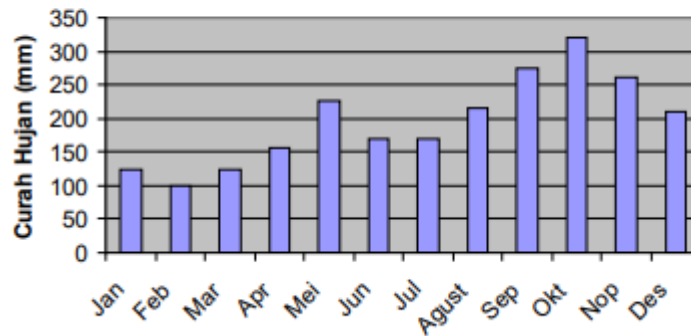
8	Mega Natalia	2014	Banjir Di Perkotaan (Studi Kasus Kampung Aur Kecamatan Medan Maimun Kota Medan)	Membahas perilaku masyarakat Kampung Aur dan faktor penyebab banjir serta pemanfaatan sungai dalam kehidupan sehari – hari	Perilaku masyarakat yang membuang sampah ke sungai sudah menjadi kebiasaan sehingga sulit untuk dihilangkan
---	--------------	------	---	--	---

II.3 Curah Hujan

Curah hujan disebelah selatan daerah pegunungan dan sebelah utara daerah pantai diperkirakan masing – masing berkisar 2.800 mm/tahun dan 1.700 mm/tahun. Dari catatan hujan sepanjang tahun, diketahui bahwa curah hujan terendah pada bulan Februari dan tertinggi pada Bulan September. Pada daerah yang lebih tinggi, curah hujan juga lebih tinggi.

Rata – rata curah hujan tahunan diperkirakan 2.337 mm/tahun. Musim hujan mulai bulan Januari sampai bulan Juli sedangkan musim kemarau mulai bulan Juli sampai Desember. Namun demikian, hujan dapat terjadi setiap bulan, sehingga perbedaan antara musim hujan dan kemarau kurang jelas.

Grafik 2.1. Curah Hujan Bulanan (rata-rata) di Daerah Tangkapan Air Sungai Deli



Gambar II. 3 Grafik Curah Hujan Bulanan

Sumber: Dokumen Bapedalda kegiatan pemantauan dan pengendalian kerusakan tata air

Pada penelitian ini curah hujan yang digunakan dari tahun 2007-2021 (15 tahun), pada Stasiun Tongkoh, Stasiun Helvetia, Stasiun Sampali, dan Stasiun Belawan.

II.4 Panjang dan Kemiringan DAS Deli

Panjang sungai dan kemiringan pada DAS Deli seluas 32,581 ha dengan kemiringan lereng < 5%. 7,445 ha dengan kemiringan lereng antara 5-15 %. 6,273 ha dengan kemiringan lereng 15-35 %. 1,521 ha dengan kemiringan lereng 35-50% dan 342 ha dengan kemiringan > 50 %.

II.5 Debit Air Sungai Deli

Debit air Sungai Deli dari tahun ke tahun mengalami penurunan, hal ini terutama karena konversi hutan yang terjadi pada daerah hulu sungai. Pada saat ini terdapat dua stasiun pengukuran debit air sungai Deli yakni di Helvetia pada koordinat 03°37'39.1" LU, 098° 39'53.6" BT dan 21 m dpl serta di Simeime pada koordinat 03° 28'33.6"LU, 098°. 40'36.0" BT dan 59 m dpl.

II.6 Analisa Banjir dan Upaya Penanggulangan Banjir

II.6.1 Pengertian Banjir

Menurut Undang-undang No.24 Tahun 2007 bencana banjir adalah peristiwa yang mengancam dan mengganggu kehidupan dan penghidupan masyarakat. Besarnya pasokan air banjir diidentifikasi dari besarnya curah hujan (sebagai masukan sistem DAS) dan karakteristik daerah tangkapan air (catchment area). Banjir dalam pengertian umum adalah debit aliran air di sungai dalam jumlah yang tinggi, atau debit aliran air di sungai secara relative lebih besar dari kondisi normal akibat hujan yang turun di hulu atau disuatu tempat tertentu terjadi secara terus menerus, sehingga air tersebut tidak dapat ditampung oleh alur sungai yang ada, maka air melimpah keluar dan menggenangi daerah sekitarnya (Peraturan Dirjen RLPS No.04 thn 2009). Suatu keadaan dapat dikatakan banjir jika air yang meluap dan tertahan pada suatu wilayah yang rendah mencapai tinggi muka air 30 hingga > 200 cm. Tingkat ancaman hujan terhadap besarnya banjir tergantung dari hujan harian maksimum yang merata terjadi pada daerah tangkapan air tersebut. Sedangkan karakteristik daerah tangkapan air dipilah antara parameter penyusun alami (relatif sulit dikelola) dan penyusun manajemen (mudah dikelola). Parameter atau faktor alami yang mempengaruhi air banjir dari daerah tangkapan air, bentuk DAS dan gradient sungai.

Selain itu banjir dapat di defenisikan naiknya permukaan air karena beberapa hal diantaranya curah hujan yang tinggi, perubahan suhu, tanggul atau bendungan yang rusak atau bobol, dan aliran air yang terhambat akibat penumpukan sampah dll. (Indi, 2022) Faktor manajemen adalah penggunaan/penutupan lahan.

Kondisi hutan merupakan salah satu unsur dari manajemen penutupan lahan yang berpengaruh terhadap banjir (Paimin dkk, 2009).

Banjir digolongkan menjadi 2 yaitu banjir berdasarkan sumber aliran permukaan dimana banjir yang tergolong kedalamnya yaitu banjir kiriman atau banjir bandang dan banjir lokal. Jenis yang kedua adalah banjir berdasarkan mekanisme banjir, yaitu banjir yang diakibatkan oleh hujan dan banjir yang diakibatkan oleh selain hujan, seperti tsunami, gelombang pasang, dan hancurnya bendungan.

II.6.2 Tingkat Bahaya Banjir dan Upaya Penanggulangan Banjir

Tingkat kerawanan daerah yang terkena banjir (kebanjiran) diidentifikasi dari Karakter wilayahnya seperti bentuk lahan, lereng kiri-kanan sungai, meandering, pebendungan alami, dan adanya bangunan pengendali banjir. Bentuk lahan (landform) dari sistem lahan seperti dataran aluvial, lembah aluvial, kelokan sungai, dan rawa-rawa merupakan daerah yang rentan terkena banjir karena merupakan daerah rendah atau cekungan dengan lereng (Paimin dkk, 2009).

Tingkat bahaya banjir menurut periode kala ulang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel II. 4 Tingkat Bahaya Banjir Menurut Periode Kala Ulang

Kelas	Kala Ulang Debit Banjir	Daerah Rawan Banjir
1	Q50 - Q100	Sangat Tinggi
2	Q30 - Q50	Tinggi
3	Q10 - Q30	Sedang
4	Q1 - Q10	Rendah

Sumber: Zevri, 2014

Dalam menanggulangi resiko banjir yang terjadi, sangat penting memahami bencana khususnya bencana banjir di wilayah perkotaan. Prinsip pengelolaan resiko banjir terdiri dari 10 tahapan, yaitu:

1. Memahami jenis, sumber, asset-aset yang rentan terhadap banjir
2. Rancangan untuk pengolahan banjir harus dapat menyesuaikan dengan perubahan dan ketidakpastian di masa depan.

3. Urbanisasi yang berjalan cepat membutuhkan pengolahan risiko banjir secara terintegrasi dengan rancangan kota rutin dan tata laksana.
4. Strategi terintegrasi membutuhkan penggunaan tindakan-tindakan struktural dan non-struktural dan cara pengukuran yang tepat untuk mendapatkan hasil yang seimbang secara tepat.
5. Tindakan-tindakan struktural dengan rekayasa tinggi dapat menyebabkan transfer risiko di hilir dan di hulu.
6. Kemungkinan untuk meniadakan risiko banjir secara keseluruhan adalah mustahil.
7. Banyak tindakan pengelolaan banjir memiliki keuntungan berganda diatas peran mereka mengelola banjir.
8. Sangat penting untuk mempertimbangkan konsekuensi sosial dan ekologis secara lebih luas dalam pembiayaan pengelolaan banjir.
9. Kejelasan mengenai siapa yang bertanggung jawab untuk konstruksi dan pengelolaan program-program risiko banjir sangat perlu. Implementasi tindakantindakan pengelolaan risiko banjir memerlukan kerjasama dari para pemangku kepentingan.
10. Perlu adanya komunikasi yang berlangsung secara terus menerus untuk meningkatkan kesadaran dan memperkuat kesiapan.

II.6.3 Daerah Rawan Banjir

Daerah rawan banjir ada di beberapa tempat, berikut daerah yang rawan bencana banjir berdasarkan wilayahnya, yaitu Wilayah cekungan, daerah tepi sungai, dan daerah tepi pantai. Ketiga daerah atau wilayah tersebut rawan terhadap bencana banjir. Menurut Peraturan Menteri PU No. 63/PRT/1993 tentang garis sempadan sungai, daerah manfaat sungai, daerah penguasaan sungai dan berkas sungai, daerah penguasaan sungai adalah dataran banjir, daerah retensi, bantaran atau daerah sempadan. Elevasi dan debit banjir daerah rawan banjir sekurang-kurangnya ditentukan berdasarkan analisis periode ulang 50 tahunan.

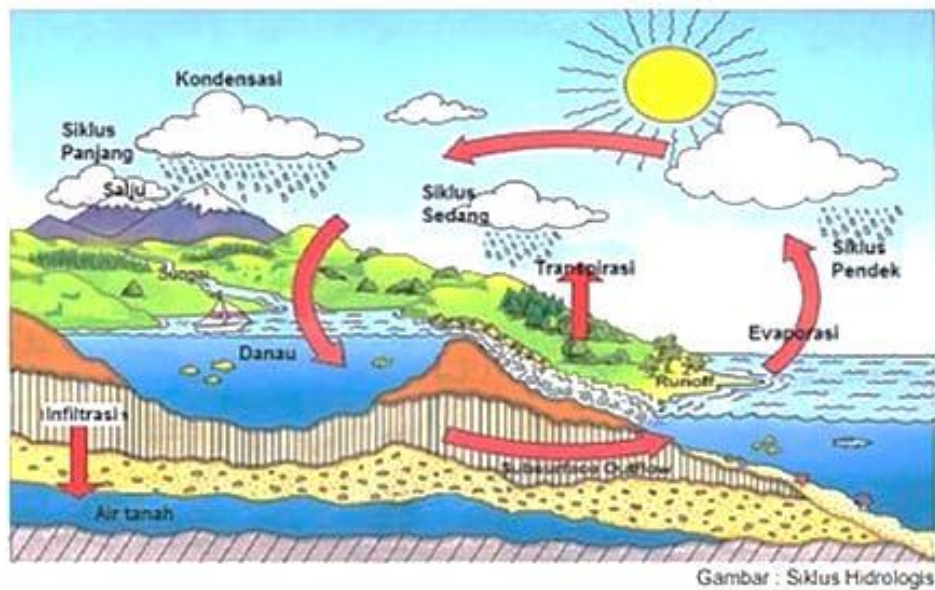
II.7 Hidrologi

II.7.1 Pengertian dan Siklus Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang membahas karakteristik menurut waktu dan ruang tentang kuantitas dan kualitas air bumi, termasuk didalamnya kejadian, pergerakan, penyebaran, sirkulasi tampungan, eksplorasi, pengembangan dan manajemen. Hidrologi adalah tahapan paling awal yang harus diketahui dalam merancang bangunan dalam suatu DAS untuk memperkirakan besarnya debit banjir yang terjadi di suatu daerah. Siklus hidrologi merupakan peran penting bagi kelangsungan hidup organisme bumi. Melalui siklus hidrologi ketersediaan air di daratan bumi dapat tetap terjaga mengingat teraturnya suhu lingkungan, cuaca, hujan dan keseimbangan ekosistem bumi dapat tercipta karena proses siklus hidrologi. Air di bumi antara lain meliputi yang ada di atmosfer, di atas permukaan tanah dan di bawah permukaan tanah. Jumlah air di bumi kurang lebih berjumlah $1400 \times 10^6 \text{ km}^2$, yang terdiri dari air laut 97% dan air tawar 3%.

Siklus hidrologi merupakan perputaran atau suatu rangkaian proses berpindahnya air permukaan bumi dari suatu tempat ke tempat lainnya kemudian hingga kembali ke tempat asalnya. Adapun secara singkat proses siklus hidrologi adalah sebagai berikut, berawal air naik ke udara dari permukaan laut atau dari daratan disebut juga proses evaporasi. Proses selanjutnya ialah transpirasi dimana penguapan yang berasal bukan hanya dari air laut, danau, sungai tetapi dari tumbuh-tumbuhan dan hewan. Air di atmosfer dalam bentuk uap air atau awan bergerak dalam massa yang besar di atas benua dan dipanaskan oleh radiasi tanah. Panas membuat uap air lebih naik lagi sehingga cukup tinggi dan dingin untuk terjadi kondensasi. Uap air berubah jadi embun kemudian seterusnya jadi hujan atau salju.

Curahan (precipitation) turun ke bawah, ke daratan atau langsung ke laut. Air yang tiba di daratan kemudian mengalir di atas permukaan sebagai sungai, terus kembali ke laut. (Limantara, L.M., 1986).



Gambar II. 4 Siklus Hidrologi

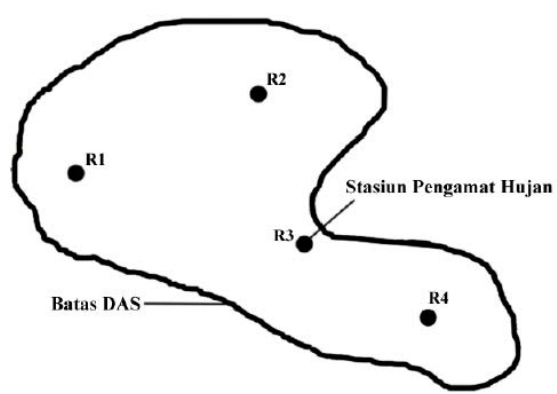
II.7.2 Analisa Curah Hujan Kawasan

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini dapat disebut curah hujan wilayah atau daerah dan dinyatakan dalam satuan mm (Sosrodarsono dan Takeda, 2003).

Berikut ini beberapa cara untuk menentukan tinggi curah hujan rata-rata pada suatu kawasan dari angka-angka curah hujan di beberapa titik stasiun pengamat curah hujan, yaitu :

1. Metode rata-rata aljabar

Metode ini memberikan hasil yang dapat dipercaya apabila pos dimana penakarnya ditempatkan secara merata, dan hasil penakaran masing-masing pos tidak menyimpang jauh jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh kawasan (Sumber: Soemarto,1987). Keuntungan dari metode rata-rata aljabar ini adalah lebih objektif.



Gambar II. 5 Perhitungan Metode Aljabar

Persamaan dari metode rata-rata aljabar menurut (Harto, 1993), yaitu:

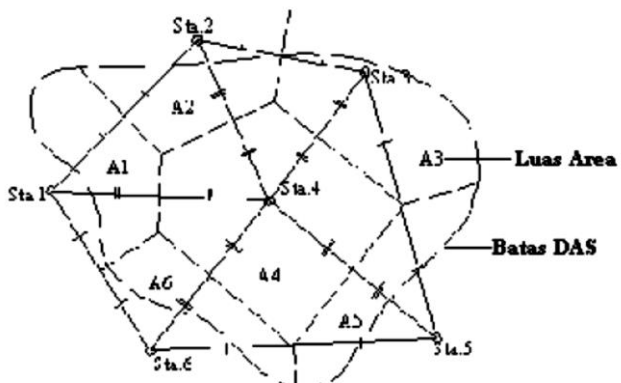
$$\bar{R} = \frac{R_1 + R_2 + \dots + R_n}{n}$$

Dimana :

- \bar{R} : Curah hujan rata-rata kawasan (mm)
- R_1, R_2, R_n : Curah hujan pada stasiun pengamatan 1,2,...,n (mm)
- n : Jumlah stasiun pengamatan

2. Metode Poligon Thiessen

Metode polygon thisen dilakukan dengan mempertimbangkan daerah pengaruh setiap titik pengamatan, karena stasiun pengamatan tidak tersebar secara merata pada suatu daerah. Hal yang perlu diperhatikan dalam cara poligon thiessen ini adalah stasiun pengamatan minimal tiga stasiun dan penambahan stasiun akan merubah seluruh jaringan.



Gambar II. 6 Perhitungan Metode Thiessen

Persamaan dari metode polygon thiessen menurut (Harto, 1993), yaitu:

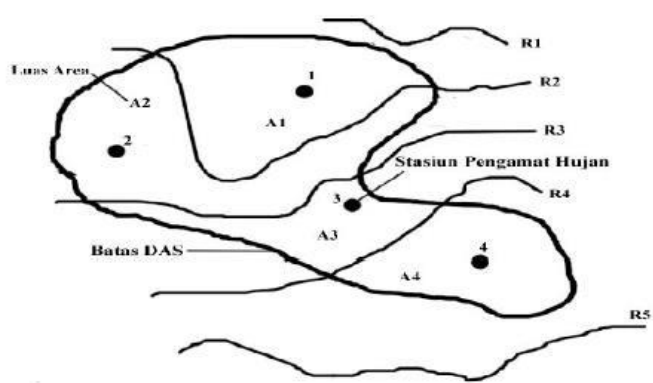
$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Dimana :

- \bar{R} : Curah hujan rata-rata kawasan (mm)
- R_1, R_2, R_n : Curah hujan pada stasiun pengamatan 1,2,...,n (mm)
- A_1, A_2, A_n : Luas daerah polygon 1, 2, 3, ... , n (Km²)
- n : Jumlah stasiun pengamatan

3. Metode Isohyet

Metode ini bersifat subjektif dibutuhkan keahlian, pengalaman dan pengetahuan yang menggunakan terhadap sifat curah hujan pada daerah setempat. Isohyet merupakan garis pada peta yang menunjukkan tempat dimana curah hujan pada tempat tersebut sama. Metode ini bermanfaat terutama untuk daerah yang memiliki tipe hujan orografik atau di daerah pegunungan. Metode isohyet merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata.



Gambar II. 7 Perhitungan Metode Isohyet

Persamaan dari metode isohyet menurut (Harto, 1993), yaitu:

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{A_n \times \frac{(R_n + R_{n+1})}{2}}{A_n} \right)$$

Dimana :

- \bar{R} : Curah hujan rata-rata kawasan (mm)
- R_1, R_2, R_n : Curah hujan pada stasiun pengamatan 1,2,.....,n (mm)
- A_1, A_2, A_n : Luas daerah polygon 1, 2, 3, ... , n (Km²)
- n : Jumlah stasiun pengamatan

II.7.3 Analisa Frekuensi Curah Hujan

Penelitian ini menghitung hujan harian rancangan dengan kala ulang 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, dan 100. Dalam ilmu statistic dikenal beberapa macam distribusi, pada umumnya distribusi yang digunakan dalam bidang hidrologi, yaitu : Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Log-Pearson Type III, dan Distribusi Gumble.

1. Metode Distribusi Normal

Metode ini juga sering disebut dengan metode Gauss. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$X_T = \bar{X} + K_T x S_X$$

$$K_T = \frac{X_T - \bar{X}}{S_X}$$

Dimana :

X_T : Besarnya curah hujan rencana pada periode ulang T tahun

\bar{X} : Nilai rata-rata hitung sampel

K_T : Faktor frekuensi

S_X : Standar deviasi

Nilai faktor frekuensi K_T sudah tersedia dalam tabel untuk mempermudah perhitungan, tabel nilai K_T disebut sebagai nilai variable reduksi Gauss, ditunjukkan pada tabel II.5 dibawah ini :

Tabel II. 5 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No.	Periode ulang, T (tahun)	Peluang	KT
1	1,001	0,999	-3,05
2	1,005	0,995	- 2,58
3	1,010	0,990	- 2,33
4	1,050	0,950	- 1,64
5	1,110	0,900	- 1,28
6	1,250	0,800	- 0,84
7	1,330	0,750	- 0,67
8	1,430	0,700	- 0,52
9	1,670	0,600	- 0,25
10	2,000	0,500	0

11	2,500	0,400	0,25
12	3,300	0,300	0,52
13	4,000	0,250	0,67
14	5,000	0,200	0,84
15	10,000	0,100	1,28
16	20,000	0,050	1,64
17	50,000	0,020	2,05
18	100,000	0,010	2,33
19	200,000	0,005	2,58
20	500,000	0,002	2,88
21	1000,000	0,001	3,09

(Sumber : Suripin, 2004, Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan : 37)

2. Metode Distribusi Log Normal

Apabila variable acak $Y = \text{Log}x$ terdistribusi secara normal, maka nilai X dikatakan mengikuti distribusi Log Normal. Persamaan metode distribusi log normal adalah sebagai berikut :

$$\text{Log}X_T = \overline{\text{Log}X} + K_T \times S_{\text{Log}X}$$

Dimana :

$\text{Log}X_T$: Besarnya curah hujan rencana pada periode ulang T tahun

$\overline{\text{Log}X}$: Nilai rata - rata hitung sampel

K_T : Faktor frekuensi

$S_{\text{Log}X}$: Standar deviasi

Nilai K_T pada metode distribusi log normal, sama dengan nilai metode distribusi normal.

3. Metode Distribusi Log Person III

Pada metode ini parameter statistik yang diperlukan untuk perhitungan Log Person III ada 3 yaitu: harga rata-rata (*mean*), penyimpangan baku (*Standard deviation*) dan koefisien *swekness*. Metode ini memiliki 12 buah distribusi Pearson, tetapi hanya distribusi Log Person III yang dipakai dalam analisis hidrologi. Tidak ada syarat untuk distribusi ini, disebut Log Person III karena memperhitungkan 3 parameter fisik (Limantara Lili, 2010).

Dalam menghitung besarnya curah hujan rencana dengan distribusi Log Person III, tentukan nilai koefisien kemiringan (C_s) dan standar deviasi (S_x) terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan dispersi logaritmik, kemudian hitung besarnya curah hujan rencana dengan memakai persamaan berikut ini :

$$\text{Log}X_T = \overline{\text{Log}X} + K_T \times S_{\text{Log}X}$$

Dimana :

$\text{Log}X_T$: Besarnya curah hujan rencana pada periode ulang T tahun

$\overline{\text{Log}X}$: Nilai rata - rata hitung sampel

K_T : Faktor frekuensi

$S_{\text{Log}X}$: Standar deviasi

Besarnya nilai K_T pada distribusi Log Person III dapat dilihat pada tabel II.5. dibawah ini :

Tabel II. 6 Nilai K_T Pada Metode Distribusi Log Person III

Koef. G	Interval Kejadian (Recurrence interval), tahun (periode ulang)							
	1,0101	1,25	2	5	10	25	50	100
	Persentase peluang terlampaui (<i>Percent chance of being exceeded</i>)							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3	-0,667	-0,636	-0,396	0,42	1,18	2	3,152	4,051
2,8	-0,714	-0,666	-0,384	0,46	1,12	2,275	3,144	3,973
2,6	-0,769	-0,696	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	2,889
2,4	-0,832	-0,725	-0,351	0,537	1,238	2,256	3,023	3,8
2,2	-0,905	-0,752	-0,33	0,574	1,262	2,24	2,97	3,705
2	-0,99	-0,777	-0,307	0,609	1,284	2,219	2,192	3,605
1,8	-0,817	-0,799	-0,282	0,643	1,302	2,193	2,848	3,449
1,6	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,318	2,163	2,78	3,388
1,4	-1,318	-0,832	-0,225	0,705	1,329	2,218	2,076	3,271
1,2	-1,449	-0,844	-0,195	0,732	1,337	2,087	2,626	3,149
1	-1,558	-0,852	-0,164	0,758	1,34	2,043	2,542	3,022
0,8	-1,733	-0,856	-0,132	-0,78	1,336	1,993	2,453	2,891
0,6	-1,88	-0,857	-0,099	0,8	1,328	1,939	2,359	2,755
0,4	-2,029	-0,855	-0,066	0,516	1,317	1,88	2,261	2,615

0,2	-2,178	-0,85	-0,033	0,83	1,301	1,818	2,159	2,472
0	-2,326	-0,842	0	0,842	1,282	1,715	2,051	2,236
-0,2	-2,472	-0,83	-0,033	0,855	1,258	1,68	1,945	2,178
-0,4	-2,615	-0,816	-0,066	0,85	1,231	1,606	1,834	2,028
-0,6	-2,755	-0,8	-0,099	0,857	1,2	1,28	1,72	1,88
-0,8	-2,891	-0,78	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-1	-3,022	-0,758	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,2	-2,149	-0,732	0,195	0,884	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,4	-2,271	-0,705	-0,225	0,832	1,041	1,198	1,27	1,318
-1,6	-2,238	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
-1,8	-3,499	-0,643	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2	-3,605	-0,609	0,307	0,777	0,895	0,959	0,98	0,99
-2,2	-3,705	-0,574	0,33	0,752	0,844	0,888	0,9	0,905
-2,4	-3,8	-0,532	0,351	0,725	0,795	0,823	0,823	0,832
-2,6	-3,889	-0,49	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,796
-2,8	-3,973	-0,469	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714
-3	-7,051	-0,42	0,396	0,636	0,66	0,666	0,666	0,667

(Sumber : Suripin, 2004, Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan : 37)

4. Metode Distribusi Gumbel

Metode gumbel biasanya digunakan jika data yang digunakan dalam perhitungan adalah berupa sampel (populasi terbatas), maka perhitungan hujan rencana berdasarkan distribusi Gumbel dilakukan dengan rumus berikut ini:

$$X_T = \bar{X} + \left(\frac{Y_{TR} - Y_n}{S_n} \right) x S_X$$

Dimana :

- X_T : Besarnya curah hujan rencana pada periode ulang T tahun
 \bar{X} : Nilai rata - rata hitung sampel
 Y_{TR} : Reduced variate
 Y_n : Reduced mean sesuai jumlah sampel
 S_n : Reduced standar deviation sesuai jumlah sampel
 S_X : Standar Deviasi

Pada metode ini nilai dari Y_{TR} , Y_n , S_n telah memiliki nilai dengan ketentuan tertentu, adapun nilainya dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel II. 7Reduksi Standar Deviasi (Y_n) untuk Metode Distribusi Gumbel

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,507	0,51	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,552
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,532	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,538	0,5388	0,5396	0,5403	0,541	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	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	0,553	0,5533	0,5535	0,5538	0,554	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,555	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,557	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,558	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	0,56	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,561	0,5611

(Sumber : Suripin, 2004, Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan : 51)

Tabel II. 8 Reduksi Standar Deviasi (Sn) untuk Metode Distribusi Gumbel

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.9496	0.9676	0.9883	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	1.0915	1.0961	1.1004	1.1047	1.108
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	1.148	1.1499	1.1519	1.1538	1.1547	1.1557	1.159
50	1.1607	1.1623	1.1638	1.1658	1.1667	1.1681	1.1696	1.1708	1.1721	1.1734
60	1.1747	1.1759	1.177	1.1782	1.1793	1.1803	1.1814	1.1824	1.1834	1.1844
70	1.1854	1.1863	1.1873	1.1881	1.189	1.1898	1.1906	1.1915	1.1923	1.193
80	1.1938	1.1945	1.1953	1.1959	1.1967	1.1973	1.198	1.1987	1.1994	1.2001
90	1.2007	1.2013	1.202	1.2026	1.2032	1.2038	1.2044	1.2049	1.2055	1.206
100	1.2065	1.2069	1.2073	1.2077	1.2081	1.2084	1.2087	1.209	1.2093	1.2096

(Sumber : Suripin, 2004, Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan : 52)

Setiap perhitungan distribusi yang telah dilakukan memiliki beberapa syarat yang harus dipenuhi sebagai pemilihan atau penentuan penggunaan metode distribusi yang mana. Berikut ini disajikan tabel sebagai syarat masing-masing distribusi.

Tabel II. 9 Persyaratan masing-masing Metode Distribusi

No.	Distribusi	Persyaratan
1	Normal	$(x \pm s) = 68,27$ $(x \pm 2s) = 95,44$ $C_s = 0$ $C_k = 3$
2	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
3	Gumbel	$C_s = 1,14$ $C_k = 5,4$
4	Log Pearson III	Selain dari Nilai Diatas

(Sumber : Hidrologi Terapan, Bambang Triadmodjo, 2008)

II.7.4 Intensitas Curah Hujan

Menurut Lubis (1992) intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana air tersebut terkonsentrasi. Pada penelitian ini intensitas hujan diturunkan dari data curah hujan harian. Menurut Lubis (1992) intensitas hujan (mm/jam) dapat diturunkan dari data curah hujan harian (mm) empirik menggunakan metode Dr. Mononobe sebagai berikut:

$$I = \frac{R_{24}}{24} x \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

Dimana :

I : Intensitas curah hujan (mm/jam)

R₂₄ : curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

t : durasi curah hujan (jam)

Dengan menggunakan persamaan diatas intensitas curah hujan untuk berbagai nilai waktu konsentrasi dapat ditentukan dari besar data curah hujan harian (24 jam).

II.7.5 Waktu Konsentrasi

Waktu Konsentrasi (*t_c*) suatu DAS adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ketempat keluaran DAS (titik kontrol) setelah tanah menjadi jenuh dan depresi-depresi kecil terpenuhi. Dalam hal ini diasumsikan bahwa jika durasi hujan sama dengan waktu konsentrasi, maka setiap bagian DAS secara serentak telah menyumbangkan aliran terhadap titik kontrol (Suripin, 2004).

Adapun persamaan yang dikembangkan oleh Kirpich (1940) untuk menentukan besarnya nilai *t_c* adalah sebagai berikut :

$$t_c = \left(\frac{0.87 x L^2}{1000 x S} \right)^{0.385}$$

Dimana :

tc : Waktu konsentrasi banjir (Jam)

L : Panjang saluran (km)

S : Kemiringan rata – rata saluran

II.7.6 Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan didefinisikan sebagai nisbah antara laju puncak aliran permukaan terhadap intensitas hujan. Faktor utama yang mempengaruhi nilai C adalah laju infiltrasi tanah, tanaman penutup tanah dan intensitas hujan (Arsyad, 2006).

Faktor utama yang mempengaruhi koefisien adalah laju infiltrasi tanah, kemiringan lahan, tanaman penutup tanah, dan intensitas hujan. Selain itu juga tergantung pada sifat dan kondisi tanah, air tanah, derajat kepadatan tanah, porositas tanah, dan tingkat kejenuhan tanah (Suripin, 2004).

Berdasarkan SNI 03-2415-1991 besarnya nilai C untuk masing masing daerah dapat dilihat pada tabel II.9 dibawah ini :

Tabel II. 10 Koefisien Aliran Permukaan (C) untuk Daerah Urban

Jenis Daerah	Koefisien Limpasan
Daerah Perdagangan	
Kota	0,70 – 0,95
Sekitar Kota	0,50 – 0,70
Daerah Pemukiman	
Satu rumah	0,30 – 0,50
Banyak rumha, terpisah	0,40 – 0,60
Banyak rumah, rapat	0,60 – 0,75
Pemukiman, Pinggiran kota	0,25 – 0,40
Apartemen	0,50 – 0,70
Daerah industry	

Ringan	0,50 – 0,80
Padat	0,60 – 0,90
Lapangan kuburan dan sejenisnya	0,10 – 0,25
Halaman, jalan kereta api dan sejenisnya	0,20 – 0,35
Lahan tidak terpelihara	0,10 - 0,30

(Sumber : SNI 03-2415-1991)

II.8 Debit Banjir

II.8.1 Pengertian Debit Banjir

Daerah dataran banjir dihitung berdasarkan nilai debit banjir pada kala ulang tertentu. Q_{100} atau debit banjir dengan kala ulang 100 artinya banjir yang mempunyai probabilitas kejadian banjir 0.01 dalam setahun yang akan menggenangi banjir. Debit banjir rencana merupakan debit maksimum rencana di sungai atau saluran alamiah dengan n periode ulang tertentu dan dapat dialirkan tanpa harus membahayakan stabilitas sungai dan tanpa membahayakan lingkungan disekitarnya. Jumlah sungai di Indonesia yang semakin meningkat dan tidak memiliki alat pengukur debit, maka debit banjir dapat dihitung berdasarkan curah hujan dengan menggunakan beberapa metode analisa frekuensi hujan yang sudah dijelaskan sebelumnya. Untuk perhitungan debit banjir digunakan dengan metode sintesis, seperti Metode Gamma 1, Snyder, ITB 1 dll untuk pemodelan *unsteady flow* dan metode rasional untuk *steady flow*.

II.8.2 Metode Perhitungan Debit Banjir

II.8.2.1 Metode Rasional

Metode Rasional hanya digunakan untuk menentukan banjir maksimum bagi saluran-saluran dengan daerah aliran kecil, kira-kira 100 - 200 acres atau kira-kira 40-80 ha. Untuk daerah yang alirannya lebih luas sampai dengan 5000 Ha, dapat digunakan metode rasional yang diubah. Untuk luas daerah yang lebih dari 5000 Ha, digunakan hidrograf satuan atau metode rasional yang diubah. Metode Rasional ini dapat dinyatakan secara aljabar dengan persamaan sebagai berikut (Subarkah, 1980)

$$Q = f \times C \times I \times A$$

Dimana :

Q : Debit banjir rencana (m³/s)

I : Intensitas hujan (mm/jam)

f : Faktor konversi = 0,278

A : Luas daerah aliran (km²)

C : Koefisien pengaliran

II.8.3 Metode Hidrograf Banjir

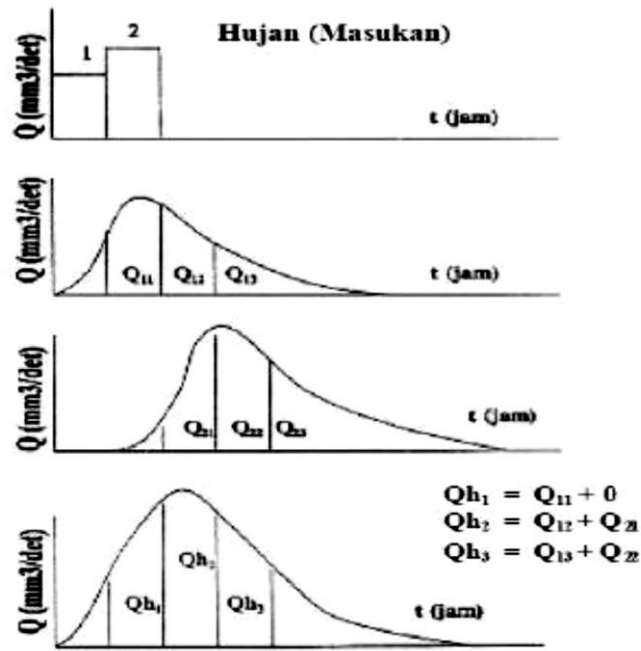
Biasanya daerah aliran sungai sebagian besar curah hujannya akan menjadi limpasan langsung. Aliran yang terjadi akibat limpasan langsung dapat menghasilkan puncak banjir yang tinggi. Teori hidrograf satuan merupakan teori yang menggabungkan hujan efektif atau hujan netto, sebagai hujan total yang mengakibatkan terjadinya limpasan permukaan, hidrograf limpasan jua dapat menjadi sarana untuk menghitung hidrograf akibat hujan sebarang. Hal ini dapat terjadi atas dasar anggapan bahwa transformasi hujan netto menjadi limpasan langsung tidak berubah karena waktu (*time invariant*).

Hidrograf dapat diartikan sebagai hubungan antara salah satu unsur aliran terhadap waktu. Dengan demikian hidrograf terdiri dari 2 jenis, yaitu hidrograf muka air dan hidrograf debit. Hidrograf muka air merupakan grafik atau data hasil rekaman AWRL (*Automatic Water Level Recorder*). Sementara hidrograf debit, diperoleh dari muka air dan lengkungan debit. Hidrograf terdiri atas dua komponen, yaitu aliran permukaan, yang berasal dari aliran langsung air hujan, dan aliran dasar (*base flow*). Aliran dasar berasal dari air tanah yang pada umumnya tidak memberikan respon yang cepat terhadap hujan.

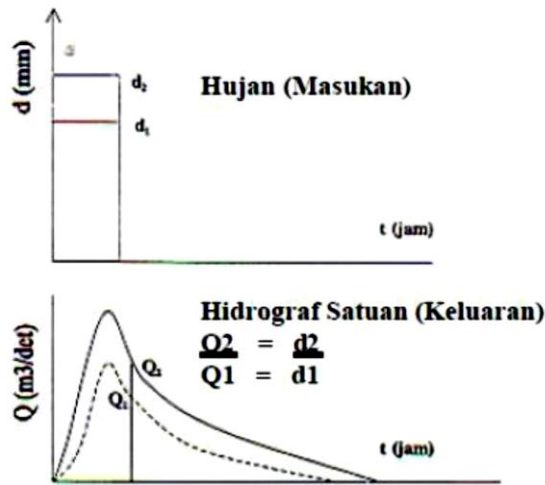
1. Hidrograf Satuan

Hidrograf satuan merupakan hidrograf limpasan langsung (*direct runoff hydrograph*) yang dihasilkan oleh hujan efektif yang terjadi merata di seluruh DAS dan intensitas tetap dalam satuan waktu yang ditetapkan (Sherman, 1932, dalam Harto, 1993). Sedangkan Soemarto (1987) mengemukakan 4 dalil dalam teori klasik tentang hidrograf satuan, yang menganggap bahwa teori hidrograf satuan merupakan penerapan dari teori sistem linier dalam bidang hidrologi. Keempat asumsi tersebut adalah sebagai berikut :

- Dalil I (prinsip merata), yaitu hidrograf satuan ditimbulkan oleh satu satuan hujan lebih yang terjadi merata di seluruh DAS, selama waktu yang ditetapkan.
- Dalil II (prinsip waktu dasar konstan), yaitu dalam suatu DAS, hidrograf satuan dihasilkan oleh hujan-hujan efektif dalam waktu yang sama akan mempunyai waktu dasar yang sama, tanpa melihat intensitas hujannya (Gambar II.6).
- Dalil III (prinsip linearitas), yaitu besarnya limpasan langsung pada suatu DAS berbanding lurus terhadap tebal hujan efektif, yang berlaku bagi semua hujan dengan waktu yang sama (Gambar II.6).
- Dalil IV (prinsip superposisi), yaitu total hidrograf limpasan langsung yang disebabkan oleh beberapa kejadian hujan yang terpisah merupakan penjumlahan dari tiap-tiap hidrograf satuan (Gambar II.6).



Gambar II. 8 Hidrograf Satuan Bebas Terhadap Waktu dan limpasannya berbanding lurus dengan tebal hujan efektif (Soemarto 1987)



Gambar II. 9 Hidrograf Satuan Memenuhi Prinsip Superposisi (Soemarto 1987)

2. Hidrograf Satuan Sintetik

Hidrograf Satuan Sintetis adalah hidrograf yang di dasarkan atas sintetis parameter-parameter daerah aliran sungai (Sutapa, 2005). Seyhan (1977) mengemukakan bahwa beberapa parameter fisik DAS berperan dalam menentukan bentuk hidrograf satuan selain karakteristik hujan. Parameter fisik DAS tersebut adalah luas DAS, kemiringan, panjang sungai.

Parameter-parameter fisik DAS itulah yang akan dipergunakan untuk menetapkan besarnya hidrograf satuan dari DAS yang bersangkutan dengan metode hidrograf satuan sintesis.

Adapun keuntungan dari hidrograf satuan sintetis ini menurut Seyhan (1977) adalah bisa mensintesisasikan hidrograf dari DAS yang terukur dan menggunakannya untuk DAS yang tidak teruku. Sedangkan kelemahannya menurut Seyhan (1977) dan Harto (1993).ialah karena persamaan hidrograf satuan sintesis dibuat secara empiris dengan data yang diperoleh pada tempat-tempat lokal, persamaan tersebut terbatas pada kawasan dengan kondisi geografis yang serupa dengan kawasan dimana persamaan tersebut diperoleh. Hidrograf satuan sintetis yang digunakan pada penelitian ini adalah hidrograf satuan sintetis ITB 1 dan Gamma 1.

3. Hidrograf Satuan Sintetis Gamma 1

Hidrograf satuan sintetis Gamma I dikembangkan oleh Sri Harto (1993) berdasarkan perilaku hidrlogi 30 DAS di Pulau Jawa. Meskipun diturunkan dari data DAS di pulau Jawa. Ternyata hidrograf satuan sintetis Gamma I berfungsi baik untuk berbagai daerah lain di Indonesia.

Bagian-bagian dari HSS Gamma 1 adalah bagian naik, bagian puncak dan bagian turun. Adapun rumus yang digunakan ialah sebagai berikut :

a. Waktu Naik (T_R)

Waktu naik (T_R) adalah waktu yang diukur mulai dari saat hidrograf mulai naik sampai terjadinya debit puncak. Persamaan yang digunakan dalam menentukan besarnya nilai T_R adalah :

$$T_R = 0.43 t_c = \left(\frac{L}{100SF} \right)^3 + 1.0665 SIM + 1.2775$$

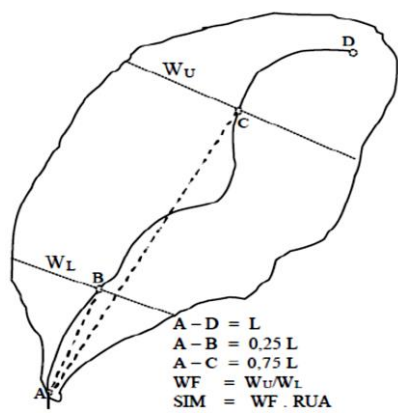
Dimana :

TR : Waktu naik (jam)

L : Panjang sungai (km)

SF : Faktor sumber yaitu perbandingan antara jumlah panjang tingkat I dengan jumlah panjang sungai semua tingkat. $SF = \frac{L_1 + L_1}{L_1 + L_1 + L_2}$

SIM : Faktor simetri ditetapkan sebagai hasil kali antara faktor lebar (WF) dengan luas relatif DAS sebelah hulu (RUA)



Gambar II. 10. Penentuan Nilai WF

b. Debit Puncak (Qp)

Persamaan untuk menghitung nilai debit puncak adalah :

$$Qp = 0.1836 A^{0.5886} TR^{-0.4008} JN^{0.2381}$$

Dimana :

Qp : Debit puncak (m³/s)

JN : Jumlah pertemuan sungai

A : Luas DAS (Km)

TR : Waktu Naik (Jam)

c. Waktu Dasar (T_B)

Waktu dasar adalah waktu yang diukur pada saat hidrograf mulai naik sampai berakhirnya limpasan langsung atau saat nilai debit sama dengan nol. Persamaan yang digunakan dalam menentukan besarnya nilai T_B adalah :

$$T_B = 27.4132 \cdot TR^{0.1457} \cdot SN^{0.7344} \cdot RUA^{0.2574}$$

Dimana :

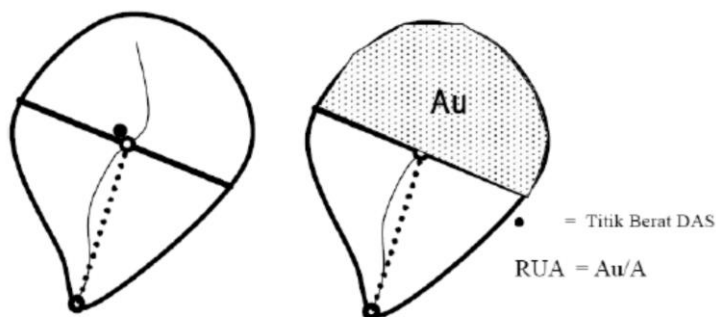
TB : Waktu dasar (jam)

TR : Waktu naik (jam)

SN : Frekuensi sumber

S : Kelandaian sungai

RUA : Luas DAS sebelah hulu



Gambar II. 11 Penentuan RUA (*Relative Upstream Area*)

d. Koefisien Tampungan (K)

Nilai koefisien tampungan menunjukkan kemampuan DAS dalam fungsinya sebagai tampungan air. Persamaan koefisien tampungan adalah :

$$K = 0.5617 \cdot A^{0.1798} \cdot S^{-0.1446} \cdot SF^{-1.0897} \cdot D^{0.0452}$$

Dimana :

- K : Koefisien tampungan (jam)
- A : Luas DAS (Km²)
- S : Kelandaian sungai
- SF : Faktor sumber
- D : Kerapatan jaringan kuras (Km / Km²)

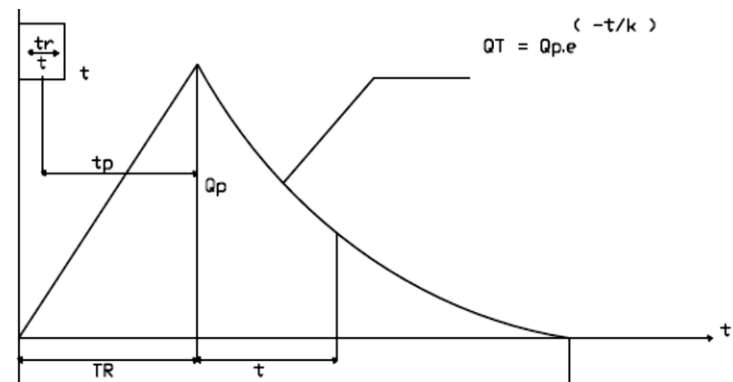
e. Debit saat bagian turun hidrograf (Q_T)

Persamaan untuk menghitung nilai Q_T adalah sebagai berikut :

$$Q_T = Q_p \times e^{-t/K}$$

Dimana :

- Q_T : Debit saat bagian turun hidrograf
- t : Waktu (jam)
- K : Koefisien tampungan (jam)



Gambar II. 12. Sketsa HSS Gamma 1 (Soedibyo,1993)

f. Hujan Efektif (φ)

$$\varphi = 10.4903 - 3.859 \times 10^{-6} \cdot A^2 + 1.6985 \times 10^{-13} \left(\frac{A}{SN} \right)^4$$

Dimana :

φ : Hujan efektif (mm/jam)

SN : Frekuensi sumber

A : Luas DAS (Km²)

g. Aliran Dasar (Q_b)

$$Q_b = 0.4751 \cdot A^{0.6444} \cdot D^{0.9430}$$

Dimana :

Q_b : Aliran dasar (m³/s)

A : Luas DAS (Km²)

D : Kerapatan jaringan kuras (Km/Km²)

4. Hidrograf Satuan Sintetis ITB-1

Hidrograf satuan sintesis ITB-1 bermanfaat untuk menganalisis HSS pada suatu DAS dengan menggunakan cara hidrograf satuan sintesis ITB. Nilai α pada perhitungan HSS ITB-1 adalah 0,15.

Berikut ini beberapa komponen penting dalam perhitungan HSS ITB-1 :

a. Tinggi dan Durasi Hujan Satuan

Pada umumnya tinggi hujan satuan yang digunakan adalah 1 inchi atau 1 mm. Dengan durasi hujan satuan umumnya diambil $T_r = 1$ jam. Jika dipilih durasi 0,5 jam maka tinggi hujan setiap jam harus dibagi 2 dan didistribusikan dalam interval 0,5 jam.

b. *Time Lag* (T_L)

Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$TL = Ct \cdot 0.81225 \cdot L^{0.6}$$

Dimana

T_L : *Time lag* (Jam)

Ct : Koefisien waktu (untuk proses kalibrasi)

L : Panjang sungai (Km).

c. Waktu Puncak (T_p)

Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$T_p = T_L + 0.5 \cdot T_r$$

Dimana

T_p : Waktu puncak

T_L : *Time lag*

T_r : Durasi hujan satuan

d. Waktu Dasar (T_b)

Pada Daerah aliran sungai dengan luasan kurang dari 2 km² menurut *Soil Conservation Service* (SCS) harga T_b dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$T_b = \frac{8}{3} \cdot T_p$$

Dimana

T_b : Waktu dasar

T_p : Waktu puncak

Nilai T_b dapat dibatasi sampai lengkung turun mendekati nol atau dapat menggunakan rumus berikut :

$$T_b = (10 - 20) \cdot T_p$$

Bentuk dasar hidrograf satuan pada Metode HSS ITB-1 dan ialah sebagai berikut :

HSS ITB-1 memiliki persamaan lengkung naik dan lengkung turun seluruhnya yang dinyatakan dengan satu persamaan yang sama yaitu :

$$q(t) = \exp \left\{ 2 - t - \frac{1}{t} \right\}^{\alpha \cdot Cp}$$

Nilai Koefisien α , β , dan Cp yaitu metode HSS ITB-1 menggunakan nilai $\alpha = 1,50$ (SNI, 2016).

Untuk menentukan Luasan HSS tak berdimensi menggunakan rumus sebagai berikut :

$$A_i = \frac{1}{2} x ((t_i - t_{i-1})(q_i + q_{i-1}))$$

Dimana

q_i : Debit ke-i

t_i : Waktu ke-i

A_i : Luasan HSS tak berdimensi

Untuk menentukan Q HSS berdimensi menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_i = q_i x Q_p$$

Dimana

Q_i : Debit ke-i

Q_p : Waktu puncak (m^3/s)

q_i : Debit ke-i tak berdimensi

Untuk menentukan V HSS berdimensi menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{2} x 3600 x (T_i - T_{i-1})(Q_i + Q_{i+1})$$

Dimana

Q_i : Debit ke-i

T_i : Waktu ke-i

V : Volume HSS (m^3)

Prinsip konservasi masa dan definisi hidrograf satuan sintesis maka dapat disimpulkan bahwa volume satuan hujan efektif yang jatuh merata diseluruh DAS harus sama dengan volume hidrograf satuan sintesis dengan waktu puncak, dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$V_{DAS} = R \cdot A_{DAS} = 1000 \cdot A_{DAS}$$

$$1000 \cdot A_{DAS} = A_{HSS} \cdot Q_p \cdot T_p \cdot 3600$$

Untuk nilai debit puncak dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$Q_p = \frac{R}{3.6 \cdot T_p} \cdot \frac{A_{DAS}}{A_{HSS}}$$

Dimana

Q_p : Debit puncak hidrograf satuan sintesis (m^3/s)

R : Curah hujan satu satuan (1 mm)

A_{DAS} : Luas DAS (Km^2)

A_{HSS} : Luas HSS yang tak berdimensi

II.9 Analisa Hidraulika

Analisa hidraulika bertujuan untuk menentukan kapasitas saluran dengan memperhatikan sifat-sifat hidrolika yang terjadi di daerah aliran saluran tersebut. Selain itu juga dapat menentukan dimensi dari saluran tersebut, dimana aliran air dalam saluran terdiri dari saluran terbuka dan saluran tertutup.

II.9.1 Saluran Terbuka

Saluran terbuka merupakan saluran alami atau saluran buatan yang memiliki permukaan bebas yang dipengaruhi oleh tekanan atmosfer secara langsung. Saluran terbuka dapat dikelompokkan berdasarkan asal-usulnya, bentuk penamoangnya dan nilai kemiringan dasar.

Berikut ini beberapa persamaan yang digunakan untuk menentukan dimensi saluran.

1. Kecepatan dalam saluran Chezy

$$V = C\sqrt{RI}$$

Dimana :

V : Kecepatan rata – rata (m³/s)

C : Koefisien Chezy

R : Jari – jari hidrolis (m)

I : Kemiringan dasar saluran

2. Debit aliran dengan rumus *Manning*

$$Q = V \times A = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \times A$$

Dimana :

Q : Debit aliran (m³/s)

V : Kecepatan rata-rata (m/s)

n : Koefisien kekasaran *manning*

R : Jari-jari hidrolis (m)

S : Kemiringan dasar saluran

Hubungan C dengan manning

$$Q_{chezy} = Q_{manning}$$

$$C\sqrt{RI} \times A = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2} \times A$$

$$C \times R^{1/2} \times \cancel{S^{1/2}} \times A = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times \cancel{S^{1/2}} \times A$$

$$C = \frac{1}{n} \times (R)^{1/6}$$

Dimana : I = S

Tabel nilai koefisien kekasaran *manning* menurut Van Te Chow yang umum digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel II. 11 Nilai Koefisien *Manning*

No	Tipe Saluran dan jenis bahan	Harga n		
		Minimum	Normal	Maksimum
1	Beton			
	• Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,010 0,011	0,011 0,013	0,013 0,014
	• Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0,011 0,013	0,012 0,015	0,014 0,017
	• Beton dipoles			
	• Saluran pembuang dengan bak kontrol			
2	Tanah, lurus dan seragam			
	• Bersih baru	0,016	0,018	0,020
	• Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	• Berkerikil	0,022	0,025	0,030
	• Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
3	Saluran alam			
	• Bersih lurus	0,025 0,033	0,030 0,040	0,033 0,045

<ul style="list-style-type: none"> • Bersih, berkelok-kelok • Banyak tanaman pengganggu • Dataran banjir berumput pendek-tinggi • Saluran di belukar 	0,050	0,070	0,08
	0,025	0,030	0,035
	0,035	0,050	0,07

(Sumber : *Open Channel Hydraulics*, Van Te Chow)

3. Penampang Saluran

Penampang saluran ialah penampang yang diambil tegak lurus arah aliran. Penampang saluran terbuka yang ekonomis adalah saluran yang mampu mengalirkan debit yang cukup besar dengan keliling basah yang minimum. Bentuk saluran penampang yang ekonomis adalah bentuk setengah lingkaran, persegi panjang dan trapesium.

Berikut ini beberapa geometri penampang saluran yang disediakan dalam bentuk tabel.

Tabel II. 12 Geometri Saluran Penampang

Penampang	Luas A	Keliling basah O	Jari-jari hidraulis R	Lebar puncak T	Kedalaman hidraulis D	Faktor penampang Z
 Persegi Panjang	Bh	$B+2h$	$\frac{Bh}{B+2h}$	B	h	$Bh^{1.5}$
 Trapezium	$(B+zh)h$	$B+2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(B+zh)h}{B+2h\sqrt{1+z^2}}$	$B+2zh$	$\frac{(B+zh)h}{B+2zh}$	$\frac{[(B+zh)h]^{1.5}}{\sqrt{B+2zh}}$
 Segi tiga	zh^2	$2h\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zh}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zh$	$\frac{1}{2}h$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zh^{2.5}$
 Lingkaran	$\frac{1}{2}(\theta - \sin\theta)d_0^2$	$\frac{1}{2}\theta d_0$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)d_0$	$\frac{(\sin \frac{1}{2}\theta)d_0}{2\sqrt{h(d_0-h)}}$ or $\frac{(\sin \frac{1}{2}\theta)d_0}{2\sqrt{h(d_0-h)}}$	$\frac{1}{6}\left(\frac{\theta - \sin\theta}{\sin \frac{1}{2}\theta}\right)d_0$	$\frac{\sqrt{2}(\theta - \sin\theta)^{1.5}}{32(\sin \frac{1}{2}\theta)^{0.5}}d_0^{2.5}$
 Parabola	$\frac{1}{2}Th$	$T + \frac{8}{3}h^{2.5}$	$\frac{2T^2h}{3T^2+8h^2}$	$\frac{3}{2}\frac{A}{h}$	$\frac{2}{3}h$	$\frac{2}{9}\sqrt{6}Th^{1.5}$
 Persegi panjang sel diabaikan	$\left(\frac{\pi}{2}-2\right)r^2+(B+2r)h$	$(\pi-2)r+B+2h$	$\frac{\left(\frac{\pi}{2}-2\right)r^2+(B+2r)h}{(\pi-2)r+B+2h}$	$B+2r$	$\frac{\left(\frac{\pi}{2}-2\right)r^2}{B+2r} + h$	$\frac{\left[\left(\frac{\pi}{2}-2\right)r^2+(B+2r)h\right]^{1.5}}{\sqrt{B+2r}}$
 Segi tiga, dasar diabaikan	$\frac{T^2}{24} - \frac{T^2}{2}(1-z \cot^2 \frac{1}{2})$	$\frac{T}{2}\sqrt{1+z^2} - \frac{2T}{3}(1-z \cot^2 \frac{1}{2})$	$\frac{A}{O}$	$2[z(h-r)+r\sqrt{1+z^2}]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

(Sumber : *Open Channel Hydraulics*, Van Te Chow)

II.9.2 Dimensi Saluran

Perhitungan dimensi saluran berdasarkan debit tampungan oleh saluran (Q_s dalam satuan m^3/s) \geq (Q_t dalam satuan m^3/s). Nilai Q_s adalah :

$$Q_s = A_s \times V$$

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$R = \frac{A_s}{P}$$

Dimana:

- V : Kecepatan rata-rata aliran di dalam saluran (m/det)
- n : Koefisien kekasaran Manning (Tabel II.14)
- R : Jari-jari hidrolis (m)
- S : Kemiringan dasar saluran
- A_s : Luas penampang saluran (m^2)
- P : Keliling basah saluran (m)

II.10 HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center River Analysis System)

HEC-RAS adalah suatu 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), di bawah *US Army Corps of Engineers* (USACE). HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady onedimensional flow model*). HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan. HEC-RAS memiliki beberapa versi dengan tampilan yang sama namun memiliki perbedaan pada menu yang setiap versi memberikan menu baru.

Permasalahan banjir yang terjadi, hal yang paling penting untuk kita ketahui agar dapat menangani masalahnya adalah ketinggian profil muka air banjir yang dapat menggenangi daerah disekitar sungai tersebut. Program HEC-RAS dapat memprediksi ketinggian profil muka air saat banjir menurut periode ulang banjir tahunan dari periode ulang 2 tahun (Q2) sampai periode ulang 100 tahun (Q100) yang terjadi sepanjang daerah aliran sungai baik di bagian bantaran kanan atau kiri sungai, maupun di badan sungai. Hasil simulasi pemodelan banjir ini dapat memprediksi atau menganalisa banjir tahunan yang terjadi Karen curah hujan yang tinggi, maupun akibat saluran penampang sungai yang tidak dapat menampung debit banjir yang melebihi kapasitas sungai atau tampungan saluran. Hasil dari simulasi pemodelan HEC-RAS tersebut dapat diintegrasikan dengan sistem informasi geografis dimana nantinya dapat menampilkan informasi daripada daerah genangan banjir dan luas genangan yang terjadi menurut periode kala ulang tahunannya.