

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Banjir

Genangan air yang terjadi pada daerah yang biasanya kering disebut banjir. Banjir di Indonesia umumnya disebabkan oleh hujan namun dapat diperparah oleh faktor-faktor lain. Banjir dapat terjadi di berbagai tempat namun umumnya terjadi pada bagian hilir sungai dikarenakan daerah ini biasanya landai dan mendapat limpahan air dari dataran yang lebih tinggi. Banjir juga mungkin terjadi pada daerah hulu namun umumnya banjir ini berdurasi singkat. Banjir dapat sangat merugikan bila terjadi pada lokasi padat aktifitas penduduk dan dengan volume dan arus yang besar (banjir bandang). Kerugian akibat bencana banjir bervariasi mulai dari menghambat aktifitas, kerugian materil sampai korban jiwa.

2.1.2 Penyebab Banjir

Penyebab banjir yang terjadi pada suatu daerah dapat diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu faktor alam dan akibat kegiatan manusia. Umumnya banjir terjadi akibat salah satu faktor tersebut atau keduanya (Kodoatie & Sugiyanto, 2002).

1. Faktor Alam Penyebab Banjir (Badan Pusat Statistik, 2022)

a. Curah Hujan

Sebagai negara tropis (berada pada katulistiwa), Indonesia memiliki 2 musim sepanjang tahun, yaitu musim panas dan musim hujan. Pada musim penghujan, yaitu sekitar bulan Oktober hingga Maret, curah hujan menjadi tinggi. Hujan yang deras dan memiliki durasi yang lama yang terjadi pada bulan-bulan ini dapat menyebabkan banjir. Namun, curah hujan tinggi juga dapat terjadi pada bulan lain selain pada musim hujan.

b. Kapasitas Sungai dan Drainase

Sungai merupakan saluran air utama untuk mengalirkan air dari daratan ke laut. Drainase mengalirkan air hujan sampai ke sungai. Masalah yang mengganggu kedua saluran ini dapat menyebabkan air hujan tidak mengalir dengan baik dan meluap. Masalah yang umum terjadi adalah pendangkalan dan penyempitan sungai yang mengakibatkan penampang sungai mengecil dan kapasitas sungai berkurang. Hal ini dapat disebabkan oleh erosi dan sedimentasi.

c. Geografi dan Fisiografi

Bentuk permukaan suatu daerah juga dapat menyebabkan menggenangnya air di kawasan tersebut. Bentuk daerah yang cekung dan sungai yang landai dapat mempengaruhi arah dan laju aliran air. Selain itu, jenis tanah atau material permukaan di sungai juga dapat mempengaruhi laju air pada sungai.

d. Pengaruh Air Pasang

Air pasang merupakan kondisi dimana muka laut naik. Hal ini dapat berakibat terganggunya aliran air dari sungai ke laut. Sehingga air meluap dari sungai. Air pasang yang cukup tinggi juga dapat menyebabkan daerah di pesisir pantai mengalami banjir.

2. Faktor Manusia Penyebab Banjir

a. Sampah

Pengurangan kapasitas sungai dapat terjadi salah satunya karena sampah. Penumpukan sampah pada sungai dapat menghambat laju aliran air. Sampah ini dapat berasal dari masyarakat yang membuang sampah sembarangan, pabrik dan lain-lain.

b. Tata Guna Lahan

Penggunaan lahan yang tidak tepat juga dapat menyebabkan terjadinya banjir. Contoh yang umum ditemui adalah pemukiman penduduk pada bantaran sungai. Tidak jarang pemukiman ini merupakan bangunan permanen yang sudah menempati daerah tersebut sejak lama sehingga sulit di tata kembali. Akibat dari tata guna lahan yang tidak tepat ini, penampang sungai menjadi semakin sempit dan mengganggu aliran air.

c. Drainase

Drainase yang kurang memadai, seperti saluran air yang terlalu kecil, saluran yang landai dan terlalu tertutup juga dapat menyebabkan penyaluran air ke sungai tidak lancar. Akibatnya air hujan akan menggenang di jalanan.

d. Perubahan kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS)

Penggundulan hutan, pembagunan jalan dan perkotaan dan penimbunan kolam atau tampungan air lainnya dapat menyebabkan banjir. Air yang harusnya dapat meresap ketanah, terhalang oleh beton atau aspal sehingga ikut mengalir ke sungai. Hal ini menyebabkan volume air yang di tampung drainase meningkat. Jika kapasitas sungai terlewati, maka akan menyebabkan banjir.

e. Kerusakan bangunan pengendali banjir

Kerusakan bangunan pengendali banjir dapat memperparah kondisi banjir. Sebagai contoh, Jika tanggul sungai rusak/jebol ketika muka air sedang sangat tinggi, maka kecepatan aliran atau arus air yang keluar akan sangat tinggi. Hal ini dapat meingkatkan daya rusak banjir dibandingkan banjir normal yang naik perlahan.

2.1.3 Jenis-Jenis Banjir

Berdasarkan Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), banjir di klasifikasikan menjadi 3 jenis (Badan Nasional Penanggulangan Bencana, 2017), yaitu:

1. Banjir Genangan

Banjir ini merupakan banjir dengan arus atau kecepatan air yang relatif kecil. Banjir ini umumnya disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dan air yang tidak dapat mengalir kesaluran dengan baik atau akibat terhabatnya saluran air sehingga air meluap. Daya rusak dan bahaya banjir ini cenderung kecil dan meningkat sejalan dengan meningkatnya kedalaman. Banjir yang rendah dapat mengganggu aktifitas sehari-hari. Banjir yang dalam dapat merusak barang barang seperti kendaraan atau

barang elektronik serta pada kasus ekstrim dapat merenggut nyawa. Durasi banjir ini bervariasi mulai dari beberapa saat sampai berhari-hari.

2. Banjir Bandang

Banjir bandang merupakan banjir dengan arus atau kecepatan air yang tinggi. Banjir ini dapat disebabkan karena kerusakan tanggul penahan air pada saat muka air sedang naik, mengakibatkan air keluar dengan kecepatan yang tinggi. Banjir ini lebih merusak dari pada banjir genangan dan dapat merusak bangunan dan infrastruktur yang dilewatinya. Banjir ini juga berbahaya karena dapat membawa material-material dalam arusnya. Banjir ini umumnya berdurasi pendek.

3. Banjir Rob

Banjir ini merupakan banjir yang disebabkan karena kenaikan muka air laut atau gelombang yang tinggi. Banjir ini terjadi pada pesisir pantai dan memiliki daya rusak yang kecil dibandingkan banjir bandang. Namun banjir ini berbeda karena air laut yang lebih merusak dari air tawar.

2.1.4 Pengendalian Banjir Metode Non-Struktur

Pengendalian banjir dengan metode non-struktur mengedepankan pendekatan umum dengan tidak membangun bangunan baru sebagai solusi penanganan banjir yang diambil. Berdasarkan Badan Pengembangan Sumber daya manusia (BPSDM), berikut adalah contoh usaha pengendalian banjir metode non-struktur (Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, 2017).

1. Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS)

Hal ini berhubungan erat, dengan peraturan, pelaksanaan dan pelatihan. Pengelolaan DAS meliputi hal-hal sebagai berikut.

- Penghijauan di daerah hulu.
- Penghijauan guna mengendalikan atau mengurangi kecepatan aliran permukaan dan erosi tanah.
- Perawatan vegetasi disepanjang drainase hingga sungai serta pemilihan tanaman air yang tepat disepanjang sungai guna mengurangi erosi.

- Merawat bangunan-bangunan air penngendali banjir disepanjang sungai.
- Pengelolaan khusus akibat aliran sedimentasi dari gunung berapi.
- Pembatasan penebangan hutan dan pembuatan kebijakan yang mengatur penghijauan kembali.
- Membatasi kegiatan disekitar bantaran sungai.

2. Pengaturan Tata Guna Lahan

Usaha ini dimaksudkan untuk mengatur penggunaan lahan, sesuai dengan rencana pola tata ruang yang ada. Penggunaan lahan dalam Daerah Aliran Sungai (DAS) pada dasarnya dimaksudkan untuk:

- memperbaiki kondisi hidrologis DAS, sehingga tidak terjadi kekeringan pada musim kemarau dan banjir pada musim penghujan.
- mengurangi laju erosi yang berlebihan pada DAS, sehingga sedimentasi pada sungai dapat berkurang juga.

Kawasan yang perlu perhatian khusus adalah DAS bagian hulu, dimana daerah ini merupakan daerah penyangga yang berfungsi mengisi kembali air tanah. Selain itu, erosi yang berlebihan pada kawasan ini dapat menyebabkan sedimentasi pada bagian hilir. Oleh karena itu diperlukan pengelolaan yang tepat seperti sistem pengelolaan tanaman, pola tanaman, dan jenis tanaman yang disesuaikan dengan jenis tanah, elevasi, dan kemiringan tanah.

3. Pengembangan dan Pengaturan Daerah Banjir/Genangan

Persoalan yang dapat timbul akibat penggunaan lahan atau daerah genangan antara lain:

- penduduk yang tinggal atau bermukim pada daerah banjir akan kehilangan mata pencaharian akibat banjir.
- Pemanfaatan daerah yang rawan banjir akan meningkatkan kerugian yang diakibatkan oleh banjir.

Maksud dari pengendalian daerah genangan banjir adalah untuk mengatur daerah yang dikembangkan dengan mempertimbangkan resiko kerusakan

yang ditimbulkan oleh banjir. Beberapa faktor yang perlu diperhatikan pada pengendalian daerah banjir adalah sebagai berikut.

- Ekonomi.
- Sosial.
- Besarnya banjir yang terjadi.
- Waktu peringatan efektif.
- Pengungsian Warga.
- Aksesibilitas lokasi.
- Potensi kerusakan akibat banjir.

Tahapan yang perlu dilakukan berkaitan dengan program pengendalian kawasan banjir adalah sebagai berikut.

- Tahap 1: Melarang pemanfaatan daerah banjir, seperti pembangunan gedung, rumah, area komersil dan industri.
- Tahap 2: Pengaturan pengendalian lahan suatu daerah sehingga mengurangi dampak yang disebabkan oleh banjir.

4. Peramalan dan Sistem Peringatan Banjir

Ciri-ciri dari sistem peramalan banjir yang efektif harus menunjukkan hal-hal berikut ini.

- Lokasi pemantauan terletak pada titik yang strategis sehingga hasil pengamatan cepat didapat untuk kemudian dilakukan pengambilan tindakan.
- Penggunaan alat ukur yang tepat. Alat ukur sederhana pada tempat yang tepat akan lebih baik digunakan dari pada menggunakan sistem telemetri yang rumit dan memerlukan biaya perawatan yang mahal.
- Menggunakan metode yang dapat diandalkan untuk memperkirakan debit banjir. Metode langsung, yaitu dengan memposisikan alat pengukuran disetiap stasiun hidrometri, sehingga diperoleh korelasi yang dapat dirumuskan antara elevasi muka air sungai dengan curah hujan atau debit yang ada. Metode tidak langsung, yaitu dengan

analisis curah hujan dengan memperhitungkan kondisi sungai dan Daerah Aliran Sungai (DAS) yang ada.

Peramalan banjir harus merupakan sistem terintegrasi dari sistem pengendalian banjir suatu sungai atau DAS. Maka dalam penyusunan sebuah sistem peramalan dan peringatan dini banjir perlu memperhatikan:

- Bangunan pengedali banjir.
- Operasional bangunan pengendalian banjir.
- Hidrologi.
- Karakteristik Daerah Aliran Sungai.
- Kemungkinan kerugian akibat banjir.
- Waktu peramalan banjir.

Sistem peringatan banjir sangat diperlukan pada daerah padat penduduk yang rawan banjir karena resiko kerugian yang besar. Secara teknis hal yang dapat dilakukan adalah sebagai berikut.

- Pengamatan tinggi muka air pada pos pengamatan.
- Pengamatan curah hujan.
- Pemberitaan banjir.

5. Penegakan Hukum

Penegakan hukum merupakan langkah yang tak terhindarkan dalam upaya mengatur DAS. Dengan adanya hukum yang kuat, peraturan yang dibuat kan efektif.

6. Penyuluhan Kepada Masyarakat

Banjir merupakan masalah umum yang dampaknya dirasakan oleh semua kalangan. Oleh karena itu, penjelasan tentang pengendalian banjir dan tindakan yang perlu diambil perlu diberikan kepada masyarakat. Pihak berwenang termasuk instansi terkait harus serius melaksanakan pembinaan, pengawasan, pengendalian dan penanggulangan terhadap banjir secara intensif dan terkoordinasi. (Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia, 2017)

2.1.5 Pengendalian Banjir Metode Struktur

Pengendalian banjir metode struktur mengedepankan penggunaan bangunan pengendali banjir dalam upaya pengendalian banjir. Banguna ini dapat berupa bangunan baru ataupun perbaikan dan peningkatan bangunan pengandali banjir yang sudah ada. Menurut Kodoatie dan Sugiyanto (2002), pengendalian banjir metode struktur adalah sebagai berikut (Kodoatie & Sugiyanto, 2002).

1. Kolam Retensi

Kolam ini memiliki fungsi seperti bendungan karena dapat menampung air. Adanya kolam ini dapat mengurangi debit banjir yang terjadi. Selain itu kolam retensi juga dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari dan komersil.

2. Pembuatan Sudetan

Sungai yang berkelok dapat memperlambat air untuk sampai ke hilir. Oleh karena itu sudetan bertujuan untuk mempersingkat jalur air ke hilir serta menambah kapasitas tampungan air sungai. Namun dalam pembuatan sudetan perlu diperhatikan agar tidak menyebabkan banjir di tempat lain.

3. Lapisan Pelindung Lereng

Lereng sungai rentan dengan erosi yang dapat berakibat pada sedimentasi. Vegetasi yang berlebihan pada lereng sungai juga dapat menghambat aliran sungai. Oleh karena itu perkuatan lereng sungai dapat menjadi solusi mencegah kedua hal tersebut. Hal ini juga menambah stabilitas sungai.

4. Dinding Kendali

Pada sungai yang berkelok, dinding kendali dapat digunakan untuk mengalirkan aliran sungai. Selain itu, dinding kendali juga dapat digunakan pada penyempitan alur sungai.

5. Penangkap Sedimen

Bangunan ini terletak pada hulu sungai, bekerja dengan memperkecil kemiringan dasar sungai sehingga dapat mengurangi kecepatan air. Hal ini

mengakibatkan erosi berkurang dan sedimentasi dapat tertahan di bagian hulu.

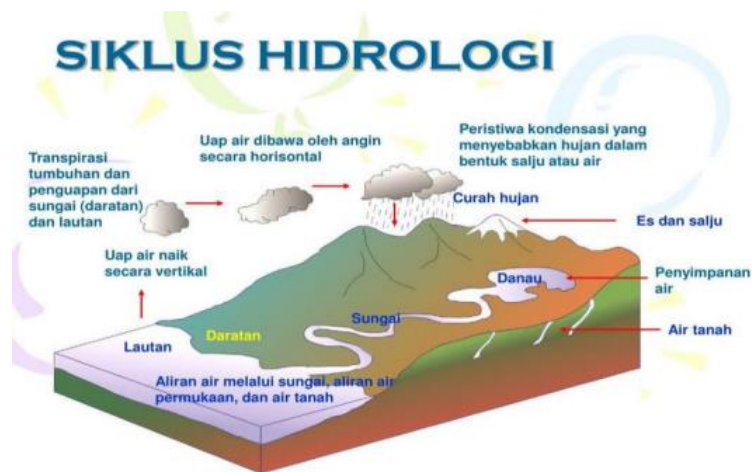
2.1.6 Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, baik mengenai terjadinya, peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya dan hubungan dengan lingkungannya terutama dengan makhluk hidup (Triatmojo, 2008), polusi air dan pengendalian erosi dan sedimentasi. Dalam *International Association of Scientific Hidrologi* (1938), Hidrologi dibagi menjadi 3 bagian, antara lain, *Potamology* (ada kaitannya dengan sungai), *Cryology* (ada kaitannya dengan salju), *Limnology* (ada kaitannya dengan danau) (Limantara, 2018).

Siklus hidrologi menjelaskan tentang pergerakan air dari laut ke udara, udara ke tanah, dan tanah ke laut. Beberapa hal yang perlu diketahui tentang siklus hidrologi, seperti:

1. Siklus hidrologi dapat berupa siklus pendek, yakni dari hujan menuju ke laut/danau.
2. Terjadinya siklus hidrologi tidak memiliki keseragaman waktu.
3. Frekuensi dan intensitas bergantung pada geografi dan iklim. Hal ini berkaitan dengan posisi matahari yang berubah sepanjang tahun (Limantara, 2018).

Siklus hidrologi panjang diawali dari menguapnya air laut, dari uap air tersebut terbentuklah awan. Uap ini bergerak ke dataran tinggi (gunung) kemudian mengalami pendinginan dan terjadi presipitasi (hujan, hujan salju, kabut). Kemudian air yang jatuh mengalir di daratan, sebagian mengalir di permukaan dan sebagian terinfiltrasi ke tanah dan mengalami perkolasi. Selain tersimpan di tanah dan mengalir di dataran, air juga dapat tertahan di darat dalam bentuk es atau gletser di atas gunung, atau tertahan di danau atau kolam.



Gambar 2.1 Siklus Hidrologi (Sholeh, 2021)

Hidrologi ditunjang oleh bidang ilmu lain seperti Statistika, Matematika, Fisika, Oceanografi, Geografi, Geologi, Geomorfologi, dan Hidrolika. Selain itu pengalaman dalam bidang Biologi, Pertanian, Kehutanan, dan Botani. Limantara (2018) mengklasifikasikan hidrologi menjadi 2 bagian besar, yaitu:

1. Hidrologi Parametrik

Bagian ini merupakan pengembangan dan analisa hubungan antar parameter fisik dalam kejadian hidrologi. Kajian tersebut meliputi model fisik, model analog, model digital, dan metode analisa fisik tradisional.

2. Hidrologi Stokastik

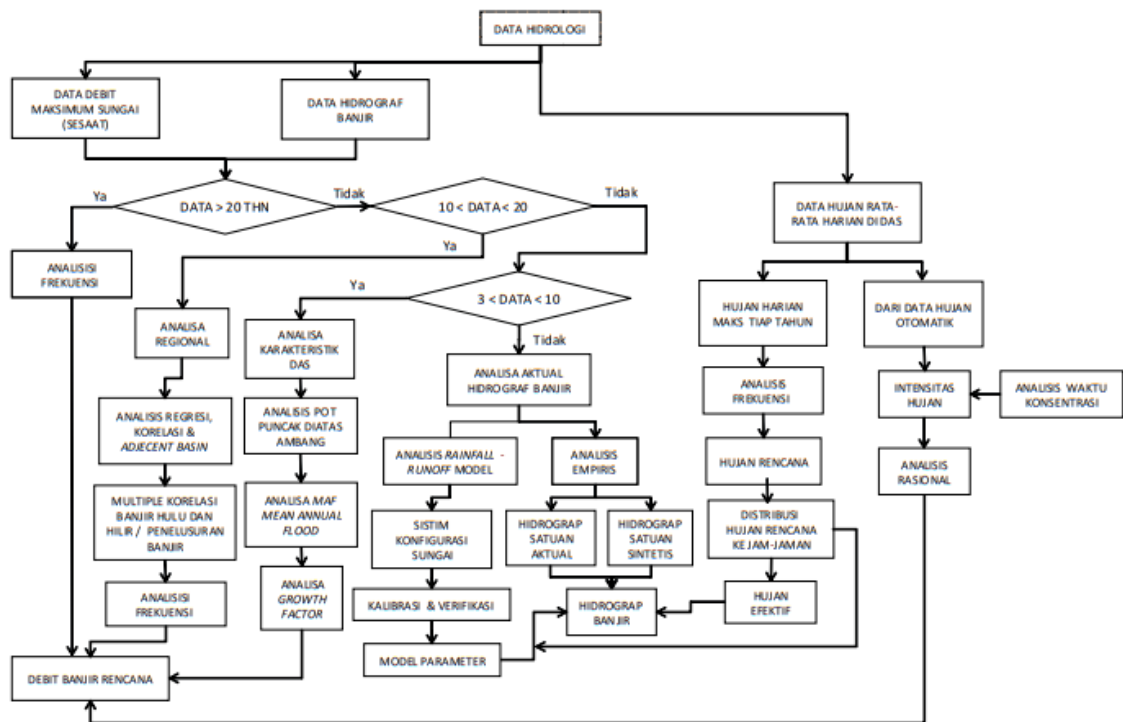
Bagian ini merupakan suatu bentuk manipulasi karakteristik statistik dari variabel-variabel hidrologi. Namun demikian, yang penting dalam penataannya adalah penataan urutan kejadian dan urutan non historik (Limantara, 2018).

Dalam bidang teknik sipil, hidrologi banyak dipelajari dan dimanfaatkan pada kegiatan berikut:

1. Memperkirakan besarnya banjir yang ditimbulkan oleh hujan, untuk bahan perencanaan bangunan-bangunan pengendali banjir, seperti tanggul, saluran drainase, gorong-gorong, jembatan, dan lain-lain.

2. Memperkirakan kebutuhan air oleh suatu jenis tanaman, sehingga dapat direncanakan sebuah bangunan pengandali air yang dapat melayani kebutuhan tersebut.
3. Memperkirakan jumlah air yang tersedia si suatu sumber air guna keperluan seperti air baku (industri), irigasi, pembangkit listrik tenaga air (Triatmojo, 2008).

Analisis hidrologi dalam perhitungan debit banjir rencana, diatur dalam SNI 2415 Tahun 2016 tentang Tata Cara Perhitungan Debit Banjir. Metode-metode yang diatur dalam peraturan tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah.

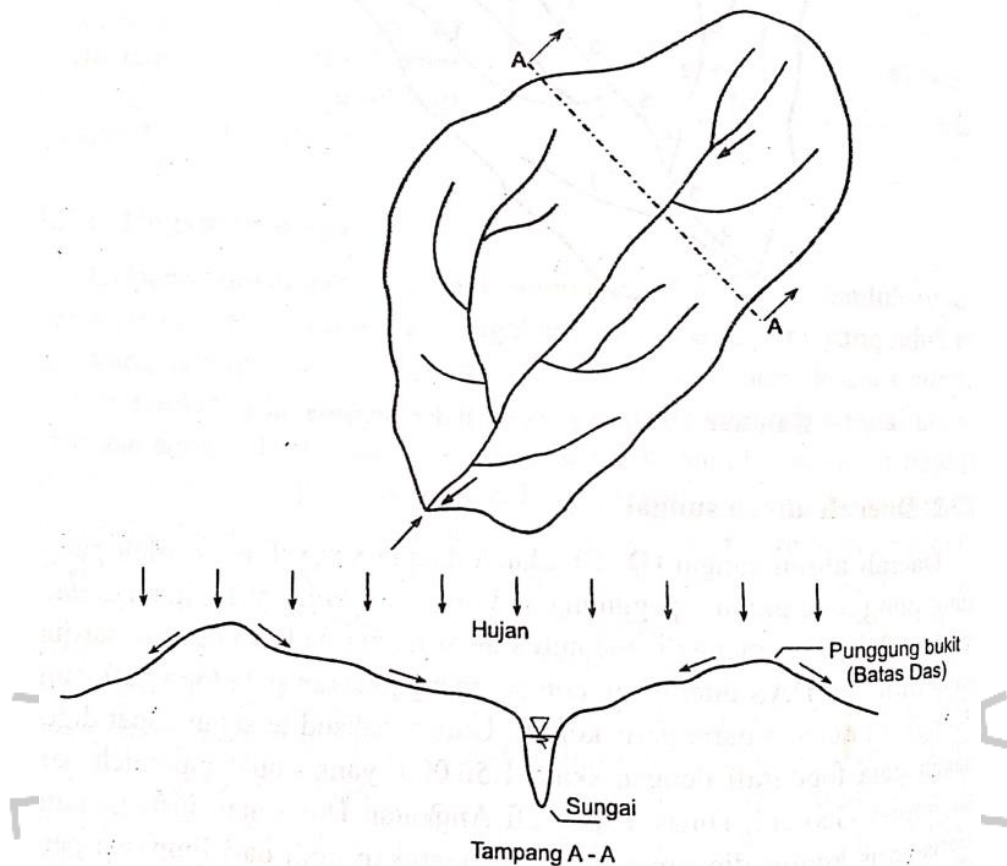


Gambar 2.2 Diagram berbagai metode perhitungan debit banjir rencana (Badan Standarisasi Nasional, 2016)

2.1.7 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah aliran sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggungan gunung/pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju suatu sungai utama (Triatmojo, 2008). DAS sangat mempengaruhi volume dan kecepatan air yang mengalir di sungai. Pembuatan peta DAS umumnya menggunakan peta topografi atau peta

kontur karena memerlukan elevasi untuk melihat titik titik tertinggi di sekitar sungai.



Gambar 2.3 Daerah Aliran Sungai (DAS) (Triatmojo, 2008)

2.1.7.1 Digital Elevation Model (DEM)

Terdapat beberapa cara memvisualisasikan dan mengukur DAS suatu sungai. Cara manual dengan menghubungkan titik tertinggi pada peta kontur merupakan cara yang umum digunakan. Namun, cara ini mulai ditinggalkan dengan adanya teknologi-teknologi baru yang mendukung. Digital Elevation Model adalah suatu model digital yang mengandung informasi bentuk permukaan bumi (topografi) dalam bentuk raster, vektor atau bentuk data lainnya (Trisakti, 2010). Gambar DEM umumnya menggunakan degradasi warna untuk menggambarkan ketinggian suatu daerah, berbeda dengan peta kontur yang menggunakan garis untuk menandai tingkat elevasi. Sumber pembuatan DEM adalah foto udara, dimana foto yang dimaksud adalah foto stereo yaitu foto kanan dan kiri. Hal ini dimaksudkan agar didapatkan tidak

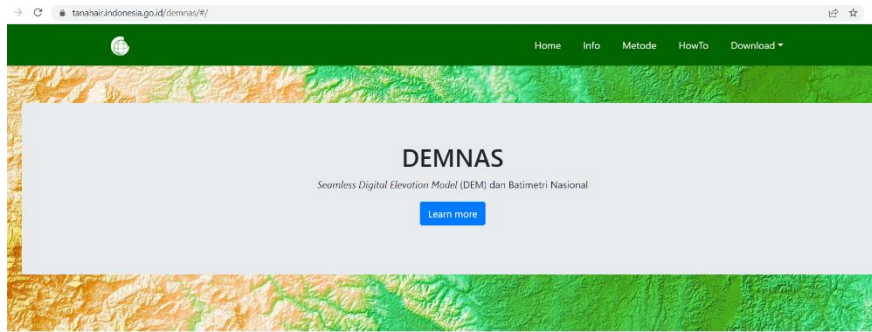
hanya data X atau Y tapi juga Z yang merepresentasikan ketinggian (Arfaini, 2016).

Selain DEM, terdapat beberapa model digital lainnya yang digunakan untuk memodelkan elevasi permukaan bumi. Model lain yang umum adalah Digital Surface Model (DSM) dan Digital Terrain Model (DTM). DSM merupakan model kontur digital yang memodelkan juga material diatas permukaan tanah seperti rumah dan gedung. DTM merupakan DSM yang dihapus semua fitur dan area pohon secara digital. Perbedaan DEM, DSM dan DTM dapat dilihat pada gambar berikut (Duantari, 2017).



Gambar 2.4 Perbedaan DEM, DSM, DTM (Zona Spasial, 2018)

Peta DEM di Indonesia disediakan oleh Badan Informasi Geospasial. Peta DEM Nasional (DEMNAS) ini dibangun dari beberapa sumber data meliputi data IFSAR dengan resolusi 5 m, TERRASAR-X dengan resolusi 5 m, dan ALOS PALSAR dengan resolusi 11,25 m. Resolusi DEMNAS yang disediakan Badan Informasi Geospasial adalah 0,27-arcsecond atau sekitar 8 meter. Peta DEM ini dapat diakses dan diunduh melalui website <https://tanahair.indonesia.go.id/demnas/> secara gratis.



Info

DEMNAS

DEM Nasional dibangun dari beberapa sumber data meliputi data IFSAR (resolusi 5m), TERRASAR-X (resolusi 5m) dan ALOS PALSAR (resolusi 11.25m), dengan menambahkan data Masspoint hasil *stereo-plotting*. Resolusi spasial DEMNAS adalah 0.27-arcsecond, dengan menggunakan datum vertikal EGM2008.



Gambar 2.5 Website DEMNAS

2.1.7.2 ARCGIS

Dalam mengolah data DEM, biasa digunakan aplikasi program komputer untuk mempermudah prosesnya. Aplikasi ini biasa disebut *Geographic Information System (GIS)* atau Sistem Informasi Geografi (SIG). Aplikasi ini dapat menampilkan, mengolah dan menganalisis data DEM termasuk untuk membuat peta DAS. Salah satu aplikasi GIS yang umum digunakan adalah ArcGIS. Aplikasi ini dikembangkan oleh Environmental Systems Research Intitute (ESRI) yang berbasis di California, Amerika Serikat. Aplikasi yang pertama kali rilis pada tahun 1999 ini menyediakan banyak fitur untuk memvisualisasikan, mengolah dan menganalisis peta DEM.



Gambar 2.6 ArcMap dalam ArcGIS 10.8

2.1.8 Analisis Curah Hujan Rencana

Analisis debit banjir rencana suatu DAS memperhitungkan curah hujan yang mungkin terjadi pada daerah tersebut. Perkiraan curah hujan tersebut didapat dari hasil analisis statistik data hujan yang telah tercatat. Pengukuran dan pencatatan data hujan ini dilakukan pada stasiun-stasiun hujan yang tersebar di dalam DAS, pencatatan ini biasanya berupa data hujan, harian, jam, atau menitan (Triatmojo, 2008). Curah hujan yang terjadi pada suatu DAS dapat berbeda beda di tiap stasiunnya. Oleh karena itu, data hujan dari berbagai titik stasiun tersebut di analisis untuk mendapat curah hujan yang dapat mewakili seluruh DAS. Beberapa metode yang umum digunakan untuk menghitung curah hujan rencana kawasan adalah metode Rata-Rata Aljabar, Thiessen dan Isohiet.

Tabel 2.1 Kriteria Pemilihan Metode Curah Hujan

Luas DAS	Metode Hujan Rata-rata
DAS besar (> 5000 km ²)	Metode Isohyet
DAS sedang (500 s/d 5000 km ²)	Metode Thiessen
DAS Kecil (<500 km ²)	Metode Rata-Rata Aljabar

Sumber: (Suripin, 2004)

1. Metode Rata-Rata Aljabar

Metode ini dilakukan dengan menghitung jumlah curah hujan yang terjadi lalu dibagi jumlah stasiun hujan yang ada. Metode ini sebaiknya dipakai pada DAS yang datar, pos hujan banyak, dan sifat hujannya merata. Persamaan yang digunakan sebagai berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2016).

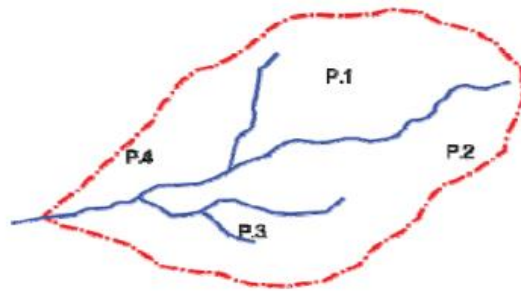
$$P = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{n} \dots\dots\dots(2.1)$$

keterangan:

P = Tinggi curah hujan rata – rata (mm)

P_1, \dots, P_n = Tinggi curah hujan tiap stasiun (mm)

$n = \text{Banyaknya stasiun pengukuran}$



Gambar 2.7 DAS metode Rata-Rata Aljabar (Badan Standarisasi Nasional, 2016)

2. Metode Thiessen

Metode ini berbeda dari metode Rata-Rata Aljabar karena dalam metode ini memperhitungkan luas pengaruh stasiun hujan dalam DAS. Metode ini dilakukan dengan membuat poligon pembagian luas daerah pengaruh kemudian tinggi hujan rata-rata daerah dihitung dari jumlah perkalian antara tiap-tiap luas poligon. Metode ini cocok digunakan apabila pos hujannya tidak merata. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2016).

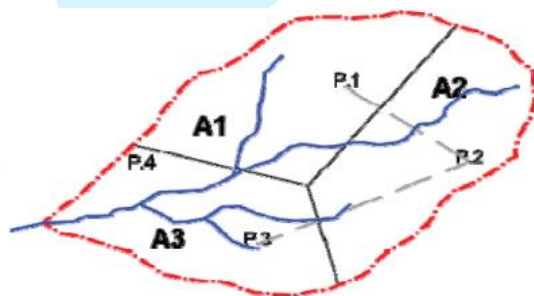
$$P = \frac{A_1P_1 + A_2P_2 + \dots + A_nP_n}{A_{total}} \dots\dots\dots(2.2)$$

keterangan:

$P = \text{Tinggi curah hujan rata-rata (mm)}$

$P_1, \dots, P_n = \text{Tinggi curah hujan tiap stasiun (mm)}$

$A_1, \dots, A_n = \text{Luas stasiun yang dibatasi poligon (km}^2\text{)}$



Gambar 2.8 DAS metode Thiessen (Badan Standarisasi Nasional, 2016)

3. Metode Isohyet

Metode ini memperhitungkan lokasi suatu stasiun dan luas daerah yang dipengaruhinya. Metode ini dilakukan dengan menghubungkan tempat-tempat yang memiliki tinggi hujan yang sama kemudian daerah yang terletak diantara 2 garis isohyet dianggap memiliki tinggi hujan yang sama

dan besarnya merupakan nilai rata-rata dari antara 2 garis isohyet tersebut (Limantara, 2018). Persamaan yang digunakan sebagai berikut.

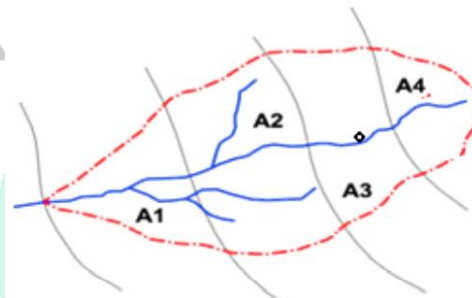
$$P = \frac{A_1 \frac{P_1+P_2}{2} + A_2 \frac{P_2+P_3}{2} + \dots + A_n \frac{P_n+P_{(n+1)}}{2}}{A_{total}} \dots\dots\dots(2.3)$$

keterangan:

P = Tinggi hujan rata – rata (mm)

P_1, \dots, P_n = Tinggi hujan pada garis isohyet (mm)

A_1, \dots, A_n = Luas daerah diantara 2 garis isohiet ((km²)



Gambar 2.9 DAS metode Isohyet (Badan Standarisasi Nasional, 2016)

2.1.9 Pengisian Data Curah Hujan Hilang

Data curah hujan yang direkam oleh tiap pos hujan bisa saja tidak lengkap. Hal ini dapat terjadi dikarenakan kerusakan alat, perawatan alat, atau kesalahan teknis bahkan non teknis lainnya. SNI 2415 Tahun 2016 tentang Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana mengatur cara untuk mengatasi hal tersebut. Pengisian data hujan tersebut dilakukan dengan pendekatan sebagai berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2016).

1. Menentukan hujan rata-rata pos terdekat dengan pos hujan yang tidak memiliki data.
2. Faktor bobot didasarkan pada suatu nilai ratio hujan tahunan dan ditentukan berdasarkan persamaan berikut.

$$P_x = \frac{1}{n} \left[P_a \frac{A_x}{A_a} + P_b \frac{A_x}{A_b} + \dots + P_n \frac{A_x}{A_n} \right] \dots\dots\dots(2.4)$$

keterangan:

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

P_a, \dots, P_b = Tinggi hujan di pos a, ..., n (mm)

$n =$ Jumlah data

$Ax =$ Tinggi hujan tahunan pos yang tidak lengkap (mm)

$A_{a,\dots,n} =$ Tinggi hujan tahunan pos a, \dots, n (mm)

2.1.10 Analisa Frekuensi

Analisis frekuensi biasa digunakan untuk mendapat hujan rencana dalam DAS dari data curah hujan stasiun-stasiun didalamnya. Menurut Limantara (2010), Analisa frekuensi merupakan suatu analisis untuk memperkirakan apakah debit aliran sungai tersebut akan melampaui atau menyamai suatu nilai tertentu, misalnya 10 atau 20 tahun yang akan datang, jadi bukan untuk menentukan besarnya debit aliran sungai pada suatu saat. Analisa frekuensi dapat diterapkan pada data curah hujan ataupun data debit sungai, data yang digunakan adalah data yang terbesar selama setahun, yang terukur dalam beberapa tahun (Triatmojo, 2008). Analisis frekuensi menggunakan prinsip-prinsip statistik dalam proses analisisnya.

2.1.10.1 Parameter Statistik

Nilai-nilai parameter statistik digunakan dalam analisis frekuensi. Parameter tersebut sebagai berikut (Sholeh, 2021).

1. Rata-rata (\bar{x})

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots(2.5)$$

2. Standar Deviasi (Sd)

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.6)$$

3. Koefisien Variasi (Cv)

$$C_V = \frac{s}{\bar{x}} \dots\dots\dots(2.7)$$

4. Koefisien Kemencengan (Cs)

$$C_s = \frac{n \sum(xi-\bar{x})^3}{(n-1)(n-2)s^3} \dots\dots\dots(2.8)$$

5. Koefisien Puncak/kurtosis (Ck)

$$C_k = \frac{n^2 \sum (x_i - \bar{x})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

\bar{x} = rata – rata (mm)

x = nilai data (curah hujan)

n = jumlah data

2.1.10.2 Pemilihan Jenis Sebaran

Analisis frekuensi dilakukan dengan melihat kecocokan sebaran data dengan jenis distribusi tertentu. Dari analisis frekuensi terhadap data hidrologi, baik data hujan maupun data debit sungai di Indonesia sebagian besar data mengikuti distribusi Gumbel, Log Normal dan Log Pearson III (Limantara, 2018). Pemilihan jenis distribusi dilakukan dengan melihat nilai parameter statistik data dan mencocokkannya dengan syarat distribusi. Syarat distribusi tertera pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Parameter Statistik untuk Pemilihan Jenis Sebaran

Distribusi	Koefisien Kemencengan (Cs)	Koefisien Kurtosis (Ck)
Normal	$Cs \approx 0 \pm 0,3$	3
Log Normal	$Cs \approx 3Cv + Cv^2$	5,383
Log Pearson III	$Cs \neq 0$	-
Gumbel	$Cs < 1,14$	$Ck < 5,4$

Sumber: (Triatmojo, 2008)

2.1.10.3 Pengujian Kesesuaian Distribusi

Ada dua cara yang digunakan untuk kesesuaian pemilihan distribusi untuk suatu set data, yaitu uji Chi-Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov. Uji ini diperlukan untuk memastikan kecocokan pemilihan sebaran. (Harto, 1993)

1. Chi-Kuadrat

Uji Chi-Kuadrat dilakukan untuk melihat kesesuaian distribusi data terhadap data teoritis ke arah vertikal. Persamaan Chi-Kuadrat adalah sebagai berikut (Limantara, 2018).

$$X^2_{hitung} = \sum_{i=1}^k \frac{(Fe-Ft)^2}{Ft} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan:

X^2_{hitung} = harga Chi – kuadrat hitung

Fe = Frekuensi pengamatan kelas

Ft = frekuensi teoritis kelas

k = jumlah kelas

Derajat bebas (d^k) dirumuskan sebagai berikut.

1. $d^k = k - 1$ jika frekuensi dihitung tanpa memperkirakan parameter dari sampel.
2. $d^k = k - 1 - m$ jika frekuensi dihitung dengan memperkirakan parameter dari sampel. (dalam Chi-Kuadrat digunakan nilai 2 (Triatmojo, 2008))

Harga X^2 hitung dibandingkan dengan X^2 dari tabel nilai kritis untuk distribusi Chi-Kuadrat. Jika $X^2_{hitung} < X^2$ tabel, berarti data sesuai dengan distribusi tersebut (Limantara L. M., 2018).

Tabel 2.3 Nilai kritis untuk distribusi Chi-Kuadrat

d^k	α derajat kepercayaan							
	$t_{0,995}$	$t_{0,99}$	$t_{0,975}$	$t_{0,95}$	$t_{0,05}$	$t_{0,025}$	$t_{0,01}$	$t_{0,005}$
1	0,039	0,016	0,098	0,393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,100	0,201	0,506	0,103	5,991	0,738	9,210	10,597
3	0,717	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	11,070	12,832	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	15,507	17,535	20,090	21,955

d^k	α derajat kepercayaan							
	$t_{0,995}$	$t_{0,99}$	$t_{0,975}$	$t_{0,95}$	$t_{0,95}$	$t_{0,025}$	$t_{0,01}$	$t_{0,005}$
9	1,735	2,088	2,700	3,325	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,884	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	36,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	36,415	39,364	42,980	45,558
25	10,520	11,524	13,120	14,611	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	40,113	43,194	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	43,773	46,979	50,892	53,672

Sumber: (Limantara L. M., 2018)

2. Smirnov Kolmogorov

Uji Smirnov Kolmogorov merupakan uji kesesuaian pemilihan distribusi untuk melihat penyimpangan data ke arah horizontal dengan jenis sebaran yang dipilih. Smirnov kolmogorov sering disebut uji parametrik, karena tidak memakai fungsi tertentu. Nilai terbesar dari Δ dibandingkan dengan Δ kritis dari tabel Smirnov Kolmogorov dengan derajat kepercayaan tertentu (α). Pemilihan distribusi sesuai jika $\Delta \text{ maks} < \Delta \text{ kritis}$. Tahapan uji smirnov kolmogorof adalah sebagai berikut (Limantara L. M., 2010).

1. Data hujan harian maksimum tahunan disusun dari besar ke kecil.

2. Probabilitas dihitung dengan rumus weibull ().

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100\% \dots\dots\dots (2.11)$$

keterangan:

P = Probabilitas

m = nomor urut data

n = jumlah data

3. Plot data X dengan probabilitas P.
4. Membandingkan nilai $\Delta_{maks} = P_e - P_t$ dengan Δ_{kritis} dari tabel nilai kritis smirnov kolmogorov berdasarkan nilai derajat kepercayaan (α).

Tabel 2.4 Nilai Δ kritis Smirnov-Kolmogorov

Ukuran Sampel (n)	Level of Significance α (%)				
	20	15	10	5	1
1	0,900	0,925	0,950	0,975	0,995
2	0,684	0,726	0,776	0,842	0,929
3	0,565	0,597	0,642	0,708	0,829
4	0,494	0,525	0,564	0,624	0,734
5	0,446	0,474	0,510	0,563	0,669
6	0,410	0,436	0,470	0,521	0,618
7	0,381	0,405	0,438	0,486	0,577
8	0,358	0,381	0,411	0,457	0,543
9	0,339	0,360	0,388	0,432	0,514
10	0,322	0,342	0,368	0,409	0,486
11	0,307	0,326	0,352	0,391	0,468
12	0,295	0,313	0,338	0,375	0,450
13	0,284	0,302	0,325	0,361	0,433
14	0,274	0,292	0,314	0,349	0,418
15	0,266	0,283	0,304	0,338	0,404
16	0,258	0,274	0,295	0,328	0,391
17	0,250	0,266	0,286	0,318	0,380
18	0,244	0,259	0,278	0,309	0,370
19	0,237	0,252	0,272	0,301	0,361
20	0,231	0,246	0,264	0,294	0,352
Rumus	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$
Asimtotik	$\frac{1,07}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,14}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,22}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,36}{\sqrt{n}}$	$\frac{1,63}{\sqrt{n}}$

Sumber: (Limantara L. M., 2018)

2.1.10.4 Jenis Distribusi dan Perhitungan Curah Hujan

Jenis distribusi yang dipilih menentukan metode perhitungan yang akan dilakukan. Metode perhitungan dari distribusi tersebut sebagai berikut.

1. Metode Gumbel

Formula yang digunakan dalam distribusi gumbel adalah sebagai berikut (Limantara L. M., 2018).

$$x = \bar{x} + \frac{Y_T - Y_n}{S_n} S_d \dots\dots\dots (2.12)$$

dengan

$$Y_t = -\ln \left[\ln \left[\frac{T_r}{T_r - 1} \right] \right] \dots\dots\dots (2.13)$$

keterangan

x = nilai curah hujan ekstrem (mm)

\bar{x} = nilai rerata – rata (mm)

Y_n = reduced variate mean, rata – rata Y_t , lihat tabel

Y_t = reduced variate, berdasarkan kemungkinan kala ulang T

S_d = standard deviation (standar deviasi)

S_n = reduced variate standar deviasi, lihat tabel (σ_n)

Tabel 2.5 Nilai y_n dan σ_n untuk distribusi Gumbel

n	y_n	σ_n	n	y_n	σ_n	n	y_n	σ_n
8	0,4843	0,9043	39	0,5430	1,1388	70	0,5548	1,1854
9	0,4902	0,9288	40	0,5436	1,1413	71	0,5550	1,1863
10	0,4952	0,9797	41	0,5442	1,1436	72	0,5552	1,1873
11	0,4996	0,9676	42	0,5448	1,1458	73	0,5555	1,1881
12	0,5053	0,9833	43	0,5453	1,1480	74	0,5557	1,1890
13	0,5070	0,9972	44	0,5258	1,1490	74	0,5559	1,1898
14	0,5100	1,0098	45	0,5463	1,1518	75	0,5561	1,1906
15	0,5128	1,0206	46	0,5468	1,1538	76	0,5563	1,1915
16	0,5157	1,0316	47	0,5473	1,1557	77	0,5565	1,1923
17	0,5181	1,0411	48	0,5447	1,1574	78	0,5567	1,1930
18	0,5202	1,0493	49	0,5481	1,1590	79	0,5569	1,1938
19	0,5220	1,0566	50	0,5485	1,1607	80	0,5570	1,1945
20	0,5235	1,0629	51	0,5489	1,1623	81	0,5572	1,1953
21	0,5252	1,0696	52	0,5493	1,1638	82	0,5574	1,1959

n	y _n	σ _n	n	y _n	σ _n	n	y _n	σ _n
22	0,5268	1,0754	53	0,5497	1,1653	83	0,5576	1,1967
23	0,5283	1,0811	54	0,5501	1,1667	84	0,5578	1,1973
24	0,5296	1,0864	55	0,5504	1,1681	85	0,5580	1,1980
25	0,5309	1,0914	56	0,5508	1,1696	86	0,5581	1,1987
26	0,5320	1,0961	57	0,5511	1,1708	87	0,5583	1,1994
27	0,5332	1,1004	58	0,5515	1,1721	88	0,5585	1,2001
28	0,5343	1,1047	59	0,5518	1,1734	89	0,5586	1,2007
29	0,5353	1,1086	60	0,5521	1,1747	90	0,5587	1,2013
30	0,5362	1,1124	61	0,5524	1,1759	91	0,5589	1,2020
31	0,5371	1,1159	62	0,5527	1,1770	92	0,5591	1,2026
32	0,5380	1,1193	63	0,5530	1,1782	93	0,5592	1,2032
33	0,5388	1,1226	64	0,5533	1,1793	94	0,5593	1,2038
34	0,5396	1,1255	65	0,5535	1,1803	95	0,5595	1,2044
35	0,5403	1,1285	66	0,5538	1,1814	96	0,5596	1,2049
36	0,5410	1,1313	67	0,5540	1,1824	97	0,5598	1,2055
37	0,5418	1,1339	68	0,5543	1,1834	98	0,5599	1,2060
38	0,5452	1,1363	69	0,5545	1,1844	99	0,5600	1,2065

Sumber: (Triatmojo, 2008)

2. Metode Normal

Perhitungan metode distribusi normal ditentukan berdasarkan nilai variabel probabilitas kumulatif. Formula yang digunakan dalam distribusi normal adalah sebagai berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2016).

$$x = \bar{x} + \sigma Y \dots\dots\dots (2.14)$$

keterangan

x = nilai curah hujan (mm)

\bar{x} = rata – rata curah hujan (mm)

Y = Nilai faktor probabilitas dari tabel metode normal

σ = Nilai standar deviasi (simpangan baku)

Tabel 2.6 Tabel nilai Y untuk faktor probabilitas untuk distribusi normal

Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0,0	0,5000	0,5040	0,5080	0,5120	0,5160	0,5199	0,5239	0,5279	0,5319	0,5359
0,1	0,5398	0,5438	0,5478	0,5517	0,5557	0,5596	0,5636	0,5675	0,5714	0,5753

Z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0,2	0,5793	0,5832	0,5871	0,5910	0,5948	0,5987	0,6026	0,6064	0,6103	0,6141
0,3	0,6179	0,6217	0,6255	0,6293	0,6331	0,6368	0,6406	0,6443	0,6480	0,6517
0,4	0,6554	0,6591	0,6628	0,6664	0,6700	0,6736	0,6772	0,6808	0,6844	0,6879
0,5	0,6915	0,6950	0,6985	0,7019	0,7054	0,7088	0,7123	0,7157	0,7190	0,7224
0,6	0,7257	0,7291	0,7324	0,7357	0,7389	0,7422	0,7454	0,7486	0,7517	0,7549
0,7	0,7580	0,7611	0,7642	0,7673	0,7704	0,7734	0,7764	0,7794	0,7823	0,7852
0,8	0,7881	0,7910	0,7939	0,7937	0,7995	0,8023	0,8051	0,8078	0,8106	0,8133
0,9	0,8159	0,8186	0,8212	0,8238	0,8264	0,8289	0,8315	0,8340	0,8365	0,8389
1,0	0,8413	0,8438	0,8461	0,8485	0,8508	0,8531	0,8554	0,8577	0,8599	0,8621
1,1	0,8643	0,8665	0,8686	0,8708	0,8729	0,8749	0,8770	0,8790	0,8810	0,8830
1,2	0,8849	0,8869	0,8888	0,8907	0,8925	0,8944	0,8962	0,8980	0,8997	0,9015
1,3	0,9032	0,9049	0,9066	0,9082	0,9099	0,9115	0,9131	0,9147	0,9162	0,9177
1,4	0,9192	0,9217	0,9222	0,9236	0,9251	0,9265	0,9279	0,9292	0,9306	0,9319
1,5	0,9332	0,9345	0,9357	0,9370	0,9382	0,9394	0,9406	0,9418	0,9429	0,9441
1,6	0,9452	0,9463	0,9474	0,9484	0,9495	0,9505	0,9515	0,9525	0,9535	0,9545
1,7	0,9554	0,9564	0,9573	0,9582	0,9591	0,9599	0,9608	0,9616	0,9625	0,9633
1,8	0,9641	0,9649	0,9656	0,9664	0,9671	0,9678	0,9686	0,9693	0,9699	0,9706
1,9	0,9713	0,9719	0,9726	0,9732	0,9738	0,9744	0,9750	0,9756	0,9761	0,9767
2,0	0,9772	0,9778	0,9783	0,9788	0,9793	0,9798	0,9803	0,9808	0,9812	0,9817
2,1	0,9821	0,9826	0,9830	0,9834	0,9838	0,9842	0,9846	0,9850	0,9854	0,9857
2,2	0,9861	0,9864	0,9868	0,9871	0,9875	0,9878	0,9881	0,9884	0,9887	0,9890
2,3	0,9893	0,9896	0,9898	0,9901	0,9904	0,9906	0,9909	0,9922	0,9913	0,9916
2,4	0,9918	0,9920	0,9922	0,9925	0,9927	0,9929	0,9931	0,9932	0,9934	0,9936
2,5	0,9938	0,9940	0,9941	0,9943	0,9945	0,9946	0,9948	0,9949	0,9951	0,9952
2,6	0,9953	0,9955	0,9956	0,9957	0,9959	0,9960	0,9961	0,9962	0,9963	0,9964
2,7	0,9965	0,9966	0,9967	0,9968	0,9969	0,9970	0,9971	0,9972	0,9973	0,9974
2,8	0,9974	0,9975	0,9976	0,9977	0,9977	0,9978	0,9979	0,9979	0,9980	0,9981
2,9	0,9981	0,9982	0,9982	0,9983	0,9984	0,9984	0,9985	0,9985	0,9986	0,9986
3,0	0,9987	0,9987	0,9987	0,9988	0,9988	0,9989	0,8889	0,9989	0,9990	0,9990
3,1	0,9990	0,9991	0,9991	0,9991	0,9992	0,9992	0,9992	0,9992	0,9993	0,9993
3,1	0,9993	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9994	0,9995	0,9995	0,9995
3,3	0,9995	0,9995	0,9995	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9996	0,9997
3,4	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9997	0,9998

Sumber: (Triatmojo, 2008)

3. Metode Log Normal

Metode Log Normal digunakan bila data tidak mengikuti distribusi normal namun nilai log nya mengikuti nilai distribusi normal (Triatmojo, 2008). Distribusi Log Normal merupakan distribusi Log Pearson III, yang mempunyai koefisien kemencengan (C_s) = 0 (Limantara L. M., 2018). Formula yang digunakan dalam distribusi log normal adalah sebagai berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2016).

$$z = \bar{z} + \sigma Y \dots\dots\dots (2.14)$$

keterangan

- z = nilai curah hujan dalam log (mm)
- \bar{z} = rata – rata curah hujan dalam log (mm)
- Y = Nilai faktor probabilitas dari tabel metode normal
- σ_z = Nilai standar deviasi data dalam log (simpangan baku)

4. Metode Log Pearson III

Ada 12 distribusi Pearson, namun hanya distribusi Log Pearson III yang digunakan dalam analisis frekuensi atas data hidrologi. Distribusi ini yang tidak memiliki syarat khusus dan disebut Log Pearson III karena menggunakan 3 parameter statistik (Limantara L. M., 2018). Formula yang digunakan dalam distribusi Log Pearson III adalah sebagai berikut.

$$Z = \bar{Z} + G(S_d) \dots\dots\dots (2.15)$$

keterangan

- Z = nilai curah hujan dalam log(mm)
- \bar{Z} = rata – rata hujan dalam log (mm)
- G = nilai variabel dari tabel Log Pearson III berdasarkan C_s
- S_d = Nilai standar deviasi data dalam log(simpangan baku)

Tabel 2.7 Nilai G untuk Cs negative Log Pearson III

Skew	1,0101	1,0526	1,1111	1,2500	2	5	10	25	50	100	200
Coef. (Cs)	99	95	90	80	Percent Charge			4	2	1	0,5
					50	20	10				
0	-2,336	-1,645	-1,282	-0,824	0,000	0,842	1,282	1,750	2,054	2,326	2,576
-0,1	-2,400	-1,673	-1,292	-0,836	0,017	0,846	1,270	1,716	2,000	2,252	2,482
-0,2	-2,472	-1,700	-1,301	-0,830	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178	2,388
-0,3	-2,544	-1,762	-1,309	-0,824	0,050	0,853	1,245	1,630	1,890	2,104	2,94
-0,4	-2,615	-1,750	-1,317	-0,816	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029	2,201
-0,5	-2,686	-1,774	-1,323	-0,808	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955	2,108
-0,6	-2,775	-1,797	-1,328	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880	2,016
-0,7	-2,824	-1,819	-1,333	-0,790	0,116	0,857	1,183	1,488	1,633	1,800	1,936
-0,8	-2,891	-1,839	-1,336	-0,780	0,132	0,856	1,166	1,484	1,608	1,733	1,837
-0,9	-2,957	-1,858	-1,339	-0,769	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660	1,749
-1,0	-3,022	-1,877	-1,340	-0,758	0,164	0,852	1,108	1,366	1,492	1,588	1,664
-1,1	-3,087	-1,894	-1,341	-0,745	0,180	0,848	1,107	1,324	1,435	1,518	1,581
-1,2	-3,149	-1,910	-1,340	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449	1,501
-1,3	-3,211	-1,925	-1,339	-0,719	0,210	0,838	1,064	1,240	1,324	1,383	1,424
-1,4	-3,271	-1,938	-1,337	-0,705	0,225	0,832	1,041	1,196	1,270	1,316	1,351
-1,5	-3,330	-1,961	-1,333	-0,690	0,240	0,825	1,018	1,157	1,217	1,256	1,282
-1,6	-3,388	-1,962	-1,329	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,168	1,197	1,216
-1,7	-3,444	-1,972	-1,324	-0,660	0,268	0,808	0,970	1,075	1,116	1,240	1,155
-1,8	-3,499	-1,981	-1,318	-0,643	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087	1,097
-1,9	-3,533	-1,989	-1,310	-0,627	0,294	0,788	0,920	0,996	1,023	1,037	0,044
-2,0	-3,605	-1,996	-1,302	-0,609	0,307	0,777	0,895	0,969	0,980	0,990	0,995
-2,1	-3,656	-2,001	-1,294	-0,592	0,319	0,765	0,869	0,923	0,939	0,946	0,949
-2,2	-3,705	-2,006	-1,284	-0,574	0,330	0,732	0,849	0,888	0,900	0,905	0,907
-2,3	-3,753	-2,009	-1,274	-0,555	0,341	0,739	0,819	0,855	0,864	0,867	0,869
-2,4	-3,800	-2,011	-1,264	-0,537	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832	0,833
-2,5	-3,845	-2,012	-1,250	-0,518	0,360	0,711	0,771	0,793	0,796	0,799	0,800
-2,6	-3,889	-2,013	-1,238	-0,499	0,368	0,696	0,742	0,764	0,767	0,769	0,769
-2,7	-3,932	-2,011	-1,224	-0,479	0,376	0,681	0,724	0,738	0,740	0,740	0,741
-2,8	-3,937	-2,010	-1,210	-0,460	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,734	0,714

Sumber: (Limantara L. M., 2018)

Tabel 2.8 Nilai G untuk Cs negatif Log Pearson III

Skew Coef. (Cs)	1,0101	1,0526	1,1111	1,2500	2	5	10	25	50	100	200
	99	95	90	80	Percent Charge			4	2	1	0,5
					50	20	10				
2,8	-0,714	-0,711	-0,702	-0,666	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,937	4,847
2,7	-0,740	-0,736	-0,724	-0,681	-0,376	0,479	1,224	2,272	3,097	3,932	4,783
2,6	-0,769	-0,762	-0,747	-0,695	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889	4,718
2,5	-0,799	-0,790	-0,771	-0,711	-0,360	0,518	1,250	2,262	3,048	3,845	4,652
2,4	-0,832	-0,819	-0,795	-0,725	-0,351	0,537	1,264	2,256	3,029	3,8	4,584
2,3	-0,867	-0,850	-0,819	-0,739	-0,341	0,555	1,274	2,248	2,997	3,753	4,515
2,2	-0,905	-0,882	-0,844	-0,752	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705	4,454
2,1	-0,946	-0,914	-0,869	-0,765	-0,319	0,592	1,294	2,230	2,942	3,656	4,372
2,0	-0,990	-0,949	-0,896	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605	4,298
1,9	-1,037	-0,984	-0,920	-0,788	-0,294	0,627	1,310	2,207	2,881	3,533	4,223
1,8	-1,087	-1,020	-0,945	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499	4,147
1,7	-1,140	-1,056	-0,970	-0,808	-0,268	0,660	1,324	2,179	2,815	3,444	4,069
1,6	-1,197	-1,093	-0,994	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388	3,990
1,5	-1,256	-1,131	-1,018	-0,825	-0,240	0,690	1,333	2,146	2,745	3,33	3,910
1,4	-1,318	-1,163	-1,041	-0,832	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271	3,828
1,3	-1,388	-1,206	-1,064	-0,838	-0,210	0,719	1,339	2,108	2,666	3,211	3,745
1,2	-1,449	-1,243	-1,086	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,086	2,626	3,149	3,661
1,1	-1,518	-1,280	-1,107	-0,848	-0,180	0,745	1,341	2,066	2,585	3,087	3,575
1,0	-1,588	-1,317	-1,128	-0,852	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022	3,489
0,9	-1,660	-1,353	-1,147	-0,854	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957	3,401
0,8	-1,733	-1,388	-1,166	-0,856	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891	3,312
0,7	-1,806	-1,423	-1,183	-0,857	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824	3,223
0,6	-1,880	-1,458	-1,200	-0,857	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,775	3,123
0,5	-1,965	-1,491	-1,216	-0,856	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686	3,041
0,4	-2,029	-1,524	-1,231	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615	2,949
0,3	-2,104	-1,555	-1,245	-0,853	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544	2,856
0,2	-2,175	-1,586	-1,258	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472	2,763
0,1	-2,225	-1,616	-1,270	-0,846	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,4	2,670
0	-2,326	-1,645	-1,282	-0,842	0,000	0,824	1,282	1,751	2,064	2,336	2,576

Sumber: (Limantara L. M., 2018)

2.1.11 Intensitas Hujan

Intensitas hujan digambarkan dengan berapa tinggi atau kedalaman hujan setiap satuan waktu. Dalam analisis curah hujan, intensitas dianggap berbanding terbalik dengan durasi hujan. Semakin lama hujan, semakin kecil intensitasnya, begitu juga sebaliknya. Metode umum yang digunakan untuk menghitung intensitas adalah metode Mononobe. Metode ini menghitung hujan jam-jaman berdasarkan curah hujan kala ulang tertentu. Rumus intensitas hujan jam-jaman Mononobe adalah sebagai berikut (Limantara L. M., 2018).

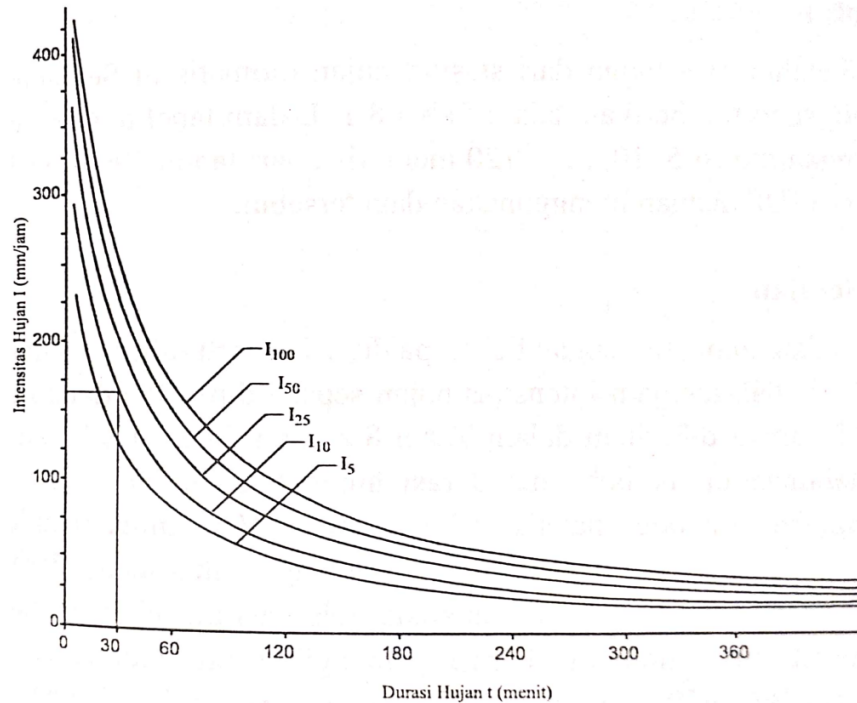
$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^n \dots\dots\dots (2.16)$$

keterangan

- I_t = Intensitas curah hujan untuk lama hujan t (mm / jam)
- t = lama curah hujan (jam)
- R_{24} = curah hujan maksimum selama 24 jam (mm)
- n = tetapan (untuk indonesia diperkirakan $n \sim \frac{2}{3}$)

Metode Mononobe ini sering digunakan untuk membuat kurva Intensitas – Durasi – Frekuensi (IDF). Analisis kurva IDF ini dilakukan untuk membuat perkiraan debit puncak di Daerah Aliran Sungai (DAS) kecil,

seperti dalam perancangan gorong-gorong, sistem drainase perkotaan serta jembatan (Triatmojo, 2008).



Gambar 2.10 Contoh diagram IDF (Triatmojo, 2008)

Dalam perhitungan debit rencana, hanya digunakan satu nilai t setiap kala ulang. Ada beberapa cara empiris yang dapat ditentukan untuk mendapatkan waktu tiba banjir (t_c), cara-cara tersebut adalah sebagai berikut (Limantara L. M., 2018).

1. Cara Kirpich

$$t_c = 0,0195l^{0,77}s^{-0,385} \dots\dots\dots (2.17)$$

keterangan

t_c = waktu tiba banjir atau konsentrasi (menit)

l = panjang lereng (m)

s = kemiringan lereng

2. Cara Mc.Dermot

$$t_c = 0,76A^{0,38} \dots\dots\dots (2.18)$$

keterangan

t_c = waktu tiba banjir atau konsentrasi (menit)

l = panjang lereng (m)

A = luas DAS (km^2)

2.1.12 Debit Banjir Rencana

Setelah data curah hujan dan intensitas didapatkan, perhitungan debit rencana banjir dapat dilakukan. Perhitungan yang dilakukan merupakan perhitungan debit banjir rencana dengan data curah hujan, terdapat beberapa data lain yang dapat dijadikan sebagai dasar perhitungan seperti data debit sungai harian atau perhitungan dengan hidrograf. Berikut beberapa metode perhitungan banjir rencana dengan data curah hujan.

1. Metode Rasional

- Metode ini merupakan metode paling umum yang digunakan untuk menghitung debit banjir. Metode dapat menggambarkan hubungan antara debit dengan besar curah hujan secara praktis. Metode ini secara praktis berlaku untuk luas DAS hingga 5000 hektar. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2016).

$$Q_p = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (2.19)$$

keterangan

Q_p = Debit Puncak Banjir (m^3/s)

C = koefisien limpasan

I = intensitas hujan selama waktu konsentrasi (mm / jam)

A = luas DAS (km^2)

Tabel 2.9 Nilai koefisien limpasan

Tata Lahan	Guna Lahan	Karakteristik	C	Im (%)	Keterangan
Pusat perbelanjaan dan perkantoran			0,90	100	

Industri	Bangunan penuh	0,80	80	Berkurang untuk bangunan tidak penuh
Pemukiman (kepadatan menengah – tinggi)	20 rmn/ha	0,48	30	Bandingkan daerah kedap air dengan daerah lain
	30 rmh/ha	0,55	40	
	40 rmh/ha	0,65	60	
	60 rmh/ha	0,75	75	
Pemukiman (kepadatan rendah)	10 rmh/ha	0,40	< 20	CN=85 (Curve Number)
Taman	Daerah datar	0,3	0	
Pedesaan	Tanah berpasir		0	C = 0,20; CN = 60
	Tanah berat (Heavy Soil)		0	C = 0,35; CN = 75
	Daerah Irigasi		0	C = 0,50; CN = 85

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2016)

Untuk C komposit dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_k = \frac{C_1A_1 + \dots + C_nA_n}{A_{Total}} \dots \dots \dots (2.20)$$

keterangan

- C_k = koefisien limpasan komposit
- C_1, \dots, C_n = koefisien limpasan tiap daerah
- A_1, \dots, A_n = luas tiap daerah

2. Metode Melchoir

Metode rasional dari Melchoir ini umumnya berlaku untuk luas DAS sampai 5000 hektar. Namun khusus untuk daerah ibukota persamaan ini dapat digunakan dengan asumsi; intensitas merata diseluruh DAS untuk waktu curah hujan tertentu, waktu hujan sama dengan waktu konsentrasi dari DAS, dan puncak banjir dan intensitas hujan memiliki kala ulang yang sama. Persamaan yang digunakan pada metode ini adalah sebagai berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2016).

$$Q_{maks} = \gamma \cdot \beta \cdot f \cdot q \dots \dots \dots (2.21)$$

keterangan

- Q_{maks} = debit maksimum (m^3/s)
- γ = koefisien aliran
- β = koefisien reduksi
- f = luas DAS (km^2)
- q = hujan maksimum ($m^3/km^2/s$)

Dengan penjelasan sebagai berikut.

- Koefisien aliran (γ) berkisar antara 0,42-0,62 dan disarankan memakai 0,52.
- Koefisien reduksi (β) mengikuti persamaan berikut.

$$f = \frac{1970}{\beta - 0,12} 3960 + 1720\beta \dots\dots\dots (2.22)$$

- Waktu konsentrasi ditentukan terlebih dahulu untuk mendapat curah hujan maksimum dengan persamaan berikut.

$$t_k = \frac{1.000L}{3.600V} \dots\dots\dots (2.23)$$

keterangan

- t_k = waktu konsentrasi (jam)
- L = panjang sungai (km)
- V = kecepatan air rata – rata (m/s)

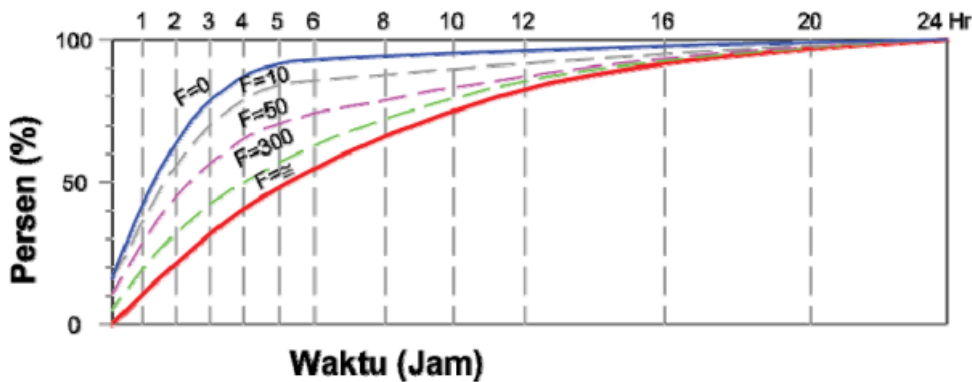
$$v = 1,31\sqrt[5]{\beta \cdot q \cdot f \cdot i^2} \dots\dots\dots (2.24)$$

$$i = \frac{H}{0,9L} \dots\dots\dots (2.25)$$

keterangan

H = beda tinggi antara dasar sungai dimulut (outlet) DAS dengan dasar sungai di titik 0,9L kearah hilir

- Hujan maksimum (q) dihitung dari grafik hubungan presentase curah hujan dengan t terhadap cerah hujan harian dengan luas DAS dan waktu.



Gambar 2.11 Distribusi hujan dalam 24 jam menurut Melchoir (Badan Standarisasi Nasional, 2016)

3. Metode Der Weduwen

Menurut SNI 2415 Tahun 2016, metode ini juga memiliki batasan luas DAS yaitu 5000 hektar (Badan Standarisasi Nasional, 2016). Persamaan yang digunakan dalam metode Der Weduwen sama dengan yang digunakan metode rasional dari Melchoir, namun berbeda cara perhitungan variabel-variabelnya. Persamaan yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut.

$$Q_{maks} = \gamma \cdot \beta \cdot f \cdot q \dots\dots\dots (2.26)$$

keterangan

- Q_{maks} = debit maksimum (m^3/s)
- γ = koefisien aliran
- β = koefisien reduksi
- f = luas DAS (km^2)
- q = hujan maksimum ($m^3/km^2/s$)

Dengan penjelasan sebagai berikut.

- Koefisien aliran (γ) dihitung dengan persamaan berikut.

$$\gamma = 1 - \frac{4,1}{\beta \cdot q + 7} \dots\dots\dots (2.27)$$

- Koefisien reduksi (β) dihitung dengan persamaan berikut.

$$\beta = \frac{120 + \frac{t+1}{t+9}f}{120+f} \dots\dots\dots (2.28)$$

- Waktu konsentrasi dihitung dengan persamaan berikut.

$$t_k = 0,125 \cdot L \cdot Q^{-0,125} \cdot i^{-0,25} \dots\dots\dots (2.29)$$

- Hujan maksimum (q) dihitung dengan persamaan berikut.

$$q = \frac{67,65}{t+1,45} \dots\dots\dots (2.30)$$

keterangan

*t adalah $\frac{1}{6}$ sampai dengan 12 jam;
f < 50 km²*

4. Metode Haspers

Dalam SNI 2415 Tahun 2016, metode Haspers ini ditempatkan sama seperti metode rasional dari Melchoir dan metode Der Weduwen yang memiliki batasan 5000 hektar. Metode ini juga memiliki persamaan sendiri dalam mendapatkan variabel-variabelnya. Persamaan yang digunakan metode Haspers adalah sebagai berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2016).

$$Q_{maks} = \gamma \cdot \beta \cdot f \cdot q \dots\dots\dots (2.31)$$

keterangan

*Q_{maks} = debit maksimum (m³/s)
γ = koefisien aliran
β = koefisien reduksi
f = luas DAS (km²)
q = hujan maksimum (m³/km²/s)*

Dengan penjelasan sebagai berikut.

- Koefisien aliran (γ) dihitung dengan persamaan berikut.

$$\gamma = \frac{1+0,012f^{0,7}}{1+0,075f} \dots\dots\dots (2.32)$$

- Koefisien reduksi (β) dihitung dengan persamaan berikut.

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t+(3,7 \cdot 10^{-0,4t})}{(t^2+15)} \times \frac{f^{\frac{3}{4}}}{12} \dots\dots\dots (2.33)$$

- Waktu konsentrasi dihitung dengan persamaan berikut.

$$t = 0,1L^{0,8}i^{-0,3} \dots\dots\dots (2.34)$$

- o Hujan maksimum (q) dihitung dengan persamaan berikut.

$$q = \frac{R_t}{3,6t} \dots\dots\dots (2.35)$$

dengan

$$R_t = \bar{R} + S_x Y \dots\dots\dots (2.36)$$

keterangan

t = waktu curah hujan (jam)

q = hujan maksimum (m³/km²/s)

\bar{R} = curah hujan maksimum rata – rata (mm)

S_x = simpangan baku

Y = variabel simpangan untuk periode ulang T tahun.

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

Berdasarkan haspers digunakan:

t < 2 jam,

$$R_t = \frac{t.R_{24}}{t+1-0,0008(260-R_{24})(2-t)^2} \dots\dots\dots (2.37)$$

2 jam < t < 9 jam,

$$R_t = \frac{t.R_{24}}{t+1} \dots\dots\dots (2.38)$$

19 jam < t < 30 hari,

$$R_t = 0,707 \cdot R_{24} \sqrt{t + 1} \dots\dots\dots (2.39)$$

keterangan

t = waktu curah hujan (hari)

R₂₄ = curah hujan dalam 24 jam (mm)

R_t = curah hujan dalam t jam (mm)

5. Metode Jepang

Metode ini masuk dalam SNI 2415 tahun 2016 sebagai salah satu metode yang dapat digunakan untuk menghitung nilai debit banjir. Dalam peraturan tersebut, tidak ada batasan dalam penggunaan metode ini. Persamaan yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2016).

$$V = 72(i)^{0,6} \dots\dots\dots (2.40)$$

$$t = 0,0138 (L)(i)^{-0,6} \dots\dots\dots (2.41)$$

$$R_t = \frac{R_{100}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots (2.42)$$

$$Q_{100} = \frac{CR_t f}{3,6} \dots\dots\dots (2.43)$$

keterangan

i = kemiringan

L = panjang sungai (km)

t = waktu (jam)

R_t = curah hujan (mm/jam)

R₁₀₀ = hujan rencana dengan periode ulang 100 tahun

F = luas DAS (km²)

C = koefisien

2.1.12.1 Kala Ulang Debit Banjir

Perhitungan debit banjir biasa dilakukan untuk proses desain drainase, tanggul atau bangunan air lainnya. Debit banjir yang digunakan untuk proses desain merupakan perkiraan dari debit banjir maksimal yang akan terjadi selama umur rencana suatu bangunan. Oleh karena itu, penggunaan kala ulang yang tepat perlu dilakukan agar debit banjir rencana yang digunakan tidak terlalu kecil atau terlalu melampaui dari nilai yang terjadi. Kala ulang didefinisikan sebagai waktu hipotetik dimana suatu nilai debit atau curah hujan tertentu akan dicapai atau dilampaui satu kali dalam jangka waktu

tersebut dan bukan bentuk prediksi nilai yang akan terjadi pada suatu waktu (Limantara L. M., 2010). Hal ini dapat juga diartikan bahwa kemungkinan terjadinya nilai tersebut adalah $1/T$ setiap tahunnya, tetapi hal ini bukan menyatakan banjir akan terjadi satu kali dalam periode T tahun yang berurutan (Triatmojo, 2008).

Tabel 2.10 Kala ulang berdasarkan topologi kota

Tipologi	Daerah Tangkapan Air (Ha)			
	< 10	10-100	101-500	>500
Kota				
Kota Metropolitan	2 Th	2-5 Th	5-10 Th	10-25 Th
Kota Besar	2 Th	2-5 Th	2-5 Th	5-20 Th
Kota Sedang	2 Th	2-5 Th	2-5 Th	5-10 Th
Kota Kecil	2 Th	2 Th	2 Th	2-5 Th

Sumber: (Kementrian Pekerjaan Umum, 2014)

- Pemilihan kala ulang yang akan digunakan untuk perencanaan suatu infrastruktur perlu mempertimbangkan tingkat resiko, urgensi infrastruktur serta pengaruh perubahan iklim (Kementrian Pekerjaan Umum, 2014). Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat menentukan pemilihan kala ulang sesuai tabel 2.10 untuk menentukan kala ulang yang digunakan berdasarkan topologi kota dan DAS, dengan nilai maksimal 25 tahun. Sungai sebagai drainase utama umumnya memiliki debit dan peran yang lebih besar sehingga umumnya menggunakan debit yang lebih besar.

Sebagai pembandingan, *The Federal Emergency Management Agency (FEMA)*, sebuah badan penanggulangan bencana federal di Amerika Serikat menetapkan banjir dengan probabilitas 1% (kala ulang 100 tahun) sebagai banjir yang digunakan pada *The National Flood Insurance Program (NFIP)*. Pada tahun 1973 kala ulang ini ditetapkan karena berada kala ulang yang digunakan *Corps of Engineers* untuk membangun dam (500 tahun) dan kala ulang yang umum digunakan untuk membangun sistem penanganan air hujan (badai) (*The Federal Emergency Management Agency*).

2.1.13 HEC-RAS

The Hydrologic Engineering Center River Analysis System (HEC-RAS) adalah suatu aplikasi program komputer yang dapat membantu dalam proses analisis satu atau dua dimensi untuk *steady flow* (aliran stabil) dan *unsteady flow* (aliran tidak stabil), transportasi sedimen sungai, sampai memodelkan kualitas sungai (The U.S. Army Corps of Engineers Hydrology Engineering Center, 2022). Aplikasi yang dikembangkan oleh *The U.S. Army Corps of Engineers* ini pertama kali dirilis pada 1995 dan menjadi salah satu aplikasi yang umum untuk menganalisis sungai khususnya di Indonesia.

Tahap awal dalam menggunakan program ini adalah dengan memasukan data penampang sungai. Selain memasukan data penampang sungai berdasarkan survei lapangan, pengguna juga dapat menggunakan peta DEM (dengan RAS-Mapper) daerah sungai untuk memodelkannya. Selain itu aplikasi ini juga dapat memodifikasi penampang sungai sesuai desain yang direncanakan. Pada analisis penampang, profil permukaan air dianalisis dari suatu potongan melintang kepada potongan melintang yang selanjutnya dengan persamaan energi sebagai berikut (Arbaningrum, 2015).

$$Y_2 + Z_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{a_1 v_1^2}{2g} + h_e \dots\dots\dots (2.44)$$

keterangan

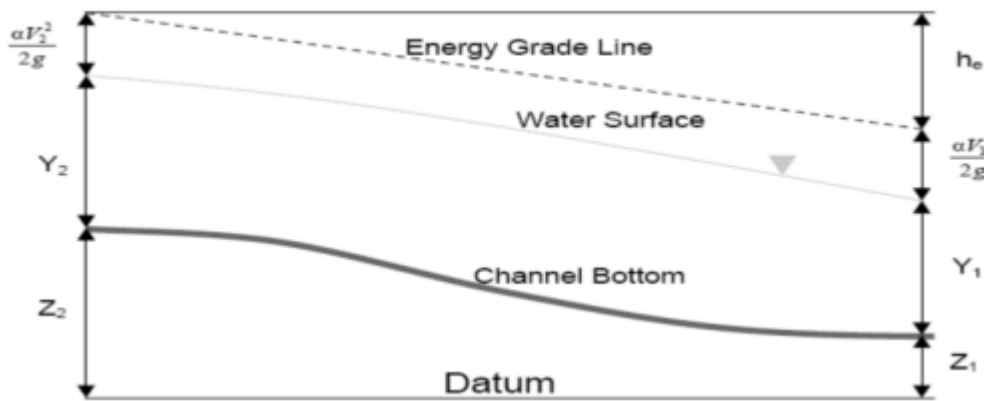
Z_1, Z_2 = Elevasi dasar penampang saluran

Y_1, Y_2 = Elevasi tinggi air dalam saluran

V_1, V_2 = Kecepatan aliran pada penampang saluran

a_1, a_2 = Koefisien kecepatan aliran

h_e = kehilangan energi pada aliran



Gambar 2.12 Gambaran dari persamaan energi (Arbaningrum, 2015)

dengan

$$h_e = L\bar{S}_f + C \left| \frac{a_2 v_2^2}{2g} - \frac{a_1 v_1^2}{2g} \right| \dots (2.45)$$

$$L = \frac{L_{lob}\bar{Q}_{lob} + L_{ch}\bar{Q}_{ch} + L_{rob}\bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}} \dots (2.46)$$

$$Q = K S_f^{\frac{1}{2}} \dots (2.47)$$

$$K = \frac{1486}{n} A R^{\frac{2}{3}} \dots (2.48)$$

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1.5})}{P} \right]^{2/3} \dots (2.45)$$

keterangan

L = Panjang antara 2 penampang melintang

\bar{S}_f = Kemiringan energi antara duapenampang melintang

C = koefisien kontraksi atau ekspansi

L_{lob}, L_{ch}, L_{Rob} = jarak antara tepi kiri, tengah dan kanan

$\bar{Q}_{lob}, \bar{Q}_{ch}, \bar{Q}_{rob}$ = rata rata debit untuk tepi kiri, tengah, kanan

K = kekasaran untuk tiap bagian

n = koefisien kekasaran manning untuk tiap bagian

A = luas area penampang basah untuk tiap bagian

R = radius hidrolik untuk tiap bagian

n_c = koefisien padanan atau gabungan kekasaran

P = garis keliling basah keseluruhan atau saluran utama

$P_i =$ garis keliling basah bagian i
 $n_i =$ nilai koefisien kekasaran untuk bagian i

Ada beberapa koefisien yang diperlukan dalam analisis menggunakan program HEC-RAS. Beberapa koefisien tersebut adalah sebagai berikut.

1. Koefisien Manning

Koefisien Manning atau koefisien kekasaran ini merupakan koefisien yang menggambarkan kekasaran suatu bidang alir. Koefisien ini memiliki beberapa versi persamaan empiris. Namun, karena kesulitan penentuannya terdapat penelitian yang merangkum nilai ini berdasarkan jenis salurannya seperti yang pertama dikemukakan oleh Chow (1959). Penelitian ini memberikan nilai koefisien Manning untuk berbagai jenis aliran yang kemudian dijadikan salah satu acuan SNI 2830 Tahun 2008 tentang Tata Cara Perhitungan Tinggi Muka Air Sungai dengan Cara Pias Berdasarkan Rumus Manning. Adapun tabel yang merangkum nilai koefisien Manning berdasarkan salurannya adalah sebagai berikut.

Tabel 2.11 Kekasaran alur sungai berdasarkan Manning

Kondisi dan Tipe Alur	Kekasaran Manning		
	Minimum	Normal	Maksimum
A. Sungai Kecil (Lebar Muka Air Banjir < 30 m)			
I. Mengalir pada dataran rendah			
1. Alur bersih, lurus, elevasi muka air penuh, tidak ada celah atau bagian yang dalam (kedung)	0,025	0,030	0,033
2. Sama seperti diatas tetapi lebih banyak batu dan rumput	0,030	0,035	0,040
3. Alur bersih melingkar, dengan bagian dalam dan dangkal	0,033	0,040	0,045
4. Sama Seperti diatas, tetapi lebih banyak batu dan rumput/tanaman	0,035	0,045	0,050
5. Sama Seperti diatas tetapi elevasi elevasi muka air lebih rendah dan lebih banyak perubahan kemiringan dan lebar.	0,040	0,048	0,055
6. Sama seperti diatas, tetapi lebih banyak batu	0,045	0,050	0,060
	0,050	0,070	0,080
	0,075	0,100	0,150

Kondisi dan Tipe Alur	Kekasaran Manning		
	Minimum	Normal	Maksimum
7. Penggal sungai dengan aliran pelan, penuh rumput, dengan kolam yang dalam			
8. Alur banyak rumput, alur-alur yang dalam, atau lintasan banjir dengan tegakan pohon dan semak.	0,030	0,040	0,050
II. Sungai pegunungan, pada alur tidak ada vegetasi, tebing sungai curam, pohonan semak pada tebing tenggelam saat muka air tinggi	0,040	0,050	0,070
1. Dasar sungai: krikil, krakal, dengan beberapa batu-batu besar			
2. Dasar sungai: krakal dengan batu-batu besar			
B. Bantaran Banjir			
I. Bantaran untuk padang gembalaan (padang rumput), tanpa semak belukar			
1. Rumput rendah	0,025	0,030	0,035
2. Rumput tinggi	0,030	0,035	0,050
II. Bantaran untuk tegalan			
1. Tidak ada tanaman	0,020	0,030	0,040
2. Tanaman dewasa ditanam berderet	0,025	0,035	0,045
3. Tanaman dewasa ditanam tidak berderet	0,030	0,040	0,050
III. Bantaran ditumbuhi semak belukar	0,035	0,050	0,070
1. Semak jarang, rumput lebat	0,040	0,060	0,080
2. Semak dan pohon jarang	0,070	0,100	0,160
3. Semak sedang			
IV. Bantaran dengan pohon-pohon	0,110	0,150	0,200
1. Pohon ditanam rapat, pohon lurus	0,030	0,040	0,050
2. Tanah yang dibersihkan dengan tunggul tanaman yang tidak tumbuh	0,050	0,060	0,080
3. Sama seperti diatas, tetapi tunggul kayu ditumbuhi daun lebat	0,080	0,100	0,120
4. Tegakan pohon rapat, pohon yang rendah sedikit, sedikit semak belukar, tinggi muka air banjir dibawah ranting pohon	0,100	0,120	0,160
5. Sama seperti diatas tetapi tinggi muka air banjir mencapai ranting pohon			
C. Sungai Besar (Lebar muka air banjir > 30 m)			
Nilai n lebih rendah dari sungai kecil pada kondisi yang sama sebab tebing sungai relatif lebih kecil			
I. Mengalir pada dataran rendah	0,025	-	0,060
1. Bagian yang teratur tanpa batu-batu besar, dan semak	0,035	-	0,100
2. Bagian yang tidak teratur dan kasar			

Sumber: (Badan Standarisasi Nasional, 2008)

2. Koefisien Kontraksi dan Ekspansi

Koefisien ini merupakan koefisien yang menggambarkan kehilangan energi yang terjadi akibat perubahan penampang alir. HEC-RAS memberikan acuan penentuan nilai koefisien ini berdasarkan jenis aliran dan jenis perubahan penampang. Aliran subkritis mengikuti nilai pada tabel 2.13. Aliran Superkritis biasanya diambil lebih kecil daripada aliran subkritis.

Tabel 2.12 Koefisien kontraksi dan ekspansi untuk aliran subkritis

	Contraction	Expansion
No Transition Loss Computed	0,0	0,0
Gradual Transition	0,1	0,3
Typical Bridge Section	0,3	0,5
Aburpt Transition	0,6	0,8

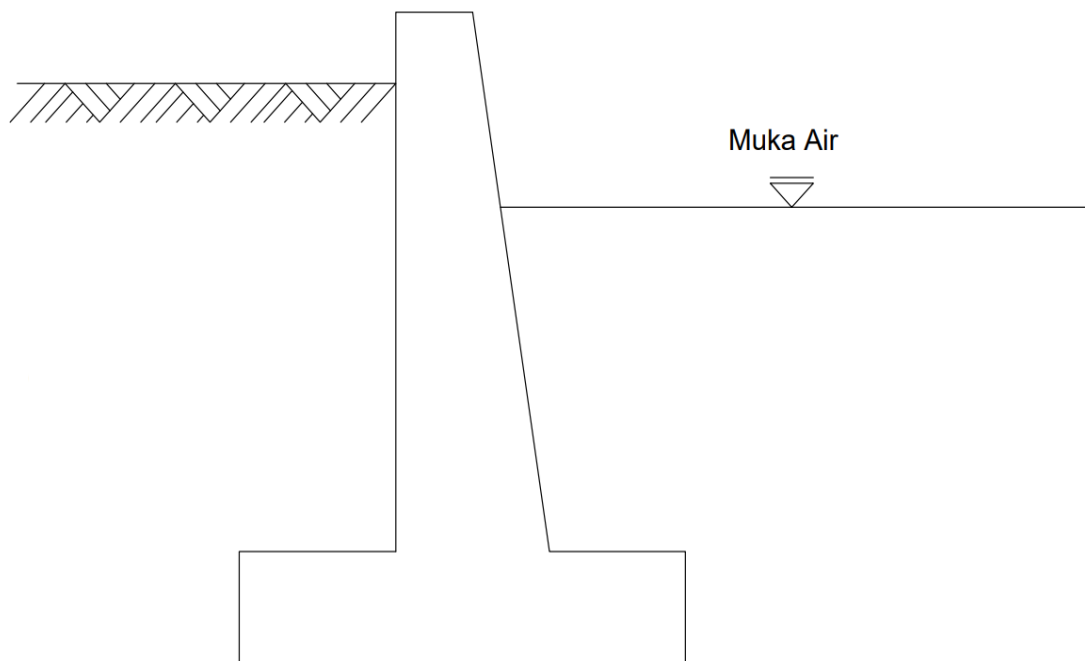
Sumber: Pedoman HEC-RAS

2.1.14 Dinding Penahan Tanah (DPT)

Dinding penahan tanah merupakan dinding penahan yang bertujuan untuk menahan tanah agar tidak bergerak. Dinding ini biasa ditemukan pada *basement*, penahan tanah sementara pada proses konstruksi atau pada tahanan dengan kemiringan tinggi (lereng). Jenis dinding penahan tanah cukup beragam mulai dari dinding dengan bambu, batu kali, sampai beton bertulang. Pada normalisasi penampang sungai di DKI Jakarta, yang paling sering ditemui adalah dinding penahan tanah dengan beton bertulang. Dinding penahan tanah ini dapat menggunakan metode cor ditempat seperti dinding penahan tanah tipe gravitasi atau dinding penahan tanah yang dicor di lokasi lain (*Precast*).

2.1.14.1 DPT Beton (*gravity*)

Dinding penahan tanah ini umum ditemui pada tepi sungai atau untuk stabilitas lereng. Dinding penahan tanah ini biasa digunakan pada lereng yang pendek. Dinding ini memanfaatkan berat sendiri untuk menjaga kestabilannya. Proses pengerjaan dinding ini umumnya dengan metode cor ditempat. Tepian sungai akan digali terlebih dahulu hingga ketinggian yang diinginkan lalu dilakukan pengerjaan mulai dari lantai kerja, *Bekisting*, penulangan, pengecoran hingga penimbunan tanah kembali. Metode ini cukup umum digunakan untuk normalisasi sungai di DKI Jakarta seperti pada normalisasi sungai di Kali Sunter bagian Cipinang Melayu.

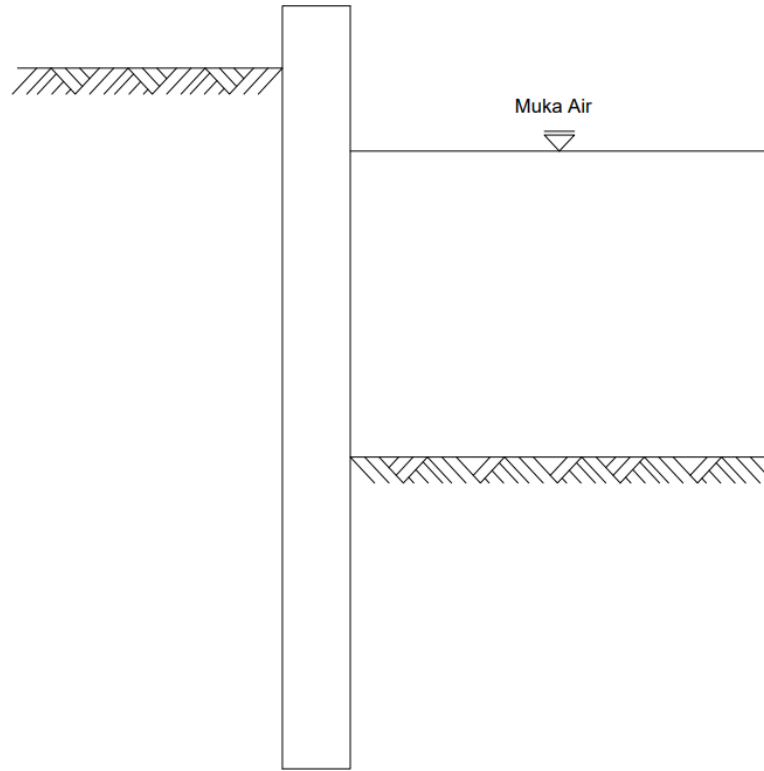


Gambar 2.13 Dinding Penahan Tanah Gravitasi

2.1.14.2 DPT Sheet Pile

Berbeda dengan dinding penahan tanah tipe gravitasi yang memanfaatkan beban sendiri untuk menjaga stabilitasnya, dinding penahan tanah tipe ini dapat stabil karena dijepit oleh tanah. Plat beton yang telah dicor di lokasi lain, ditancapkan ketanah dengan cara di pukul dengan beban hingga mencapai tanah keras yang mampu menahan bebannya. Penggunaan metode ini dalam normalisasi sudah cukup umum dilakukan di DKI Jakarta seperti

pada Kali Ciliwung dan Kali Sentong. Penggunaan metode ini kian hari kian populer.



Gambar 2.14 Dinding Penahan Tanah Sheet Pile

2.2 Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian terdahulu mengenai topik yang dibahas pada penelitian ini. Penelitian tersebut sedikit banyak akan menjadi acuan pada penelitian dan penulisan ini. Berikut beberapa penelitian tersebut.

1. Analisis Spasial Tingkat Bahaya Banjir Desa Amasing Kali dengan HEC-RAS 2D (2021).

Penelitian yang dilakukan Ichsan Rauf, Imran dan Idhar Sahdar ini bertujuan untuk menganalisis tingkat kerawanan banjir di desa Amasing Kali berdasarkan karakteristik banjir yang terjadi. Penelitian ini menggunakan analisis dua dimensi pada HEC-RAS untuk menganalisis sungai tersebut. Penelitian ini mendapat hasil berupa luasan daerah banjir per kala ulang debit banjir yaitu, 22,57 ha untuk kala ulang 2 tahun, 37,11

ha untuk kala ulang 5 tahun, 41,81 ha untuk kala ulang 10 tahun, dan 47,27 ha untuk kala ulang 25 tahun yang berada pada tingkat bahaya rendah – tinggi (Rauf, Imran, & Sahdar, 2021).

2. Analisis *Depth-Area-Duration* dengan HEC-RAS 2D dalam Penentuan Infrastruktur Pengendalian Banjir di Banjir Sungai Pedolo (2021).

Penelitian yang dilakukan oleh Kadek Windy Candrayana, I Nengah Sinarta, dan Cokorda Agung Yujana ini menganalisis sungai Padolo yang merupakan salah satu sungai besar yang terdapat di kota Bima. Penelitian ini bertujuan menganalisis bangunan pengendali banjir yang sesuai dengan melakukan simulasi pada HEC-RAS. Simulasi ini digunakan untuk memperlihatkan efektifitas bangunan pengendali banjir berdasarkan data tinggi banjir (*depth*), luas daerah banjir (*area*), dan lamanya banjir (*duration*). Hasil simulasi yang diperoleh tinggi muka air banjir 16,14 m, nilai ini mendekati kondisi rill yang tercatat yaitu 16,87 m. Setelah itu dari hasil simulasi bangunan pengendali banjir seperti kolam retensi, normalisasi dan pembangunan tanggul, analisis menunjukkan terjadinya penurunan tinggi, luas area dan durasi banjir. Tinggi genangan menunjukkan penurunan dari 2,49 m menjadi 0,32m. Luas area banjir menunjukkan penurunan dari 11,50 km² menjadi 0,24 km². Durasi banjir menunjukkan penurunan dari 9,25 jam menjadi 2,5 jam. Hasil simulasi menunjukkan bangunan pengendali banjir yang direncanakan mampu menurunkan tinggi, luas dan durasi banjir (Candrayana, Sinarta, & Yujana, 2021).

3. Analisis Genangan Banjir Akibat Akibat Debit Puncak Di DAS Baubau Menggunakan HEC-RAS dan GIS (2021).

Penelitian yang dilakukan Muhamad Nuzun, Mahmud Achmad dan Andang Suryana Soma ini bertujuan untuk mengetahui wilayah berpotensi banjir pada DAS Baubau dengan periode ulang 5 sampai 100 tahun Analisis yang dilakukan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu untuk mengetahui debit banjir rencana dari data curah hujan 10 tahun. Kemudian dari data debit banjir dilakukan analisis

hidrolika dengan HEC-RAS. Hasil dari HEC-RAS di ekspor ke Program ArcGIS untuk memvisualisasikan daerah banjir. Berdasarkan pemodelan yang dilakukan, diperoleh estimasi kerugian, fisik, sosial dan ekonomi dan juga peta potensi wilayah banjir yang meliputi Kecamatan Murhum, Kecamatan Batuparo, dan Kecamatan Wolio dengan tingkat resiko banjir tinggi (Nuzul, Achmad, & Soma, 2021),

4. Perencanaan Tanggul Banjir Sungai Lusi Hilir (2015)

Penelitian yang dilakuakn Rizka Arbaningrum, Jennifer Gerina Putri, Pranoto Sapto A, dan Dwi Kurnia menganalisis tentang sungai Lusi bagian hilir. Penelitian ini bertujuan untuk merencanakan tanggul untuk mengatasi banjir yang sering terjadi. Analisis ini menggunakan beberapa metode perhitungan debit pada penelitiannya dikarenakan luasnya DAS yang dianalisis yaitu 2093,24 km². Metode yang digunakan yaitu metode Melchoir, FSR Jawa-Sumatra, *Flood Marking*, dan *Passing Capacity*. Debit banjir rencana yang diambil senilai 892,018 m³/detik dari metode FSR Jawa-Sumatra pada kala ulang 25 tahun. Data debit banjir rencana ini dilakukan analisis hidrolika dengan aplikasi HEC-RAS. Hasil pemodelan dan analisis menunjukkan adanya penurunan tinggi muka air banjir sekitar 20 cm. Dari hasil analisis stabilitas tanah, diperoleh bahwa tanggul sungai memenuhi memiliki faktor keamanan yang mencukupi (stabil) (Arbaningrum, Putri, Sapto A, & Kurniani, 2015).