

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Manajemen Mitigasi Bencana Banjir

Bencana (*risiko/risk*) merupakan kombinasi dari 3 komponen, yaitu (1) bahaya (*hazard*) dapat berupa fenomena alam dan atau aktivitas manusia (2) tingkat kerentanan (*vulnerability*) masyarakat dalam menghadapi bencana dan (3) risiko yang ditimbulkan. Suatu kejadian dapat disebut dengan bencana apabila tingkat kemampuan dalam menghadapi bencana lebih rendah dibanding dengan tingkat bahaya yang mungkin terjadi. Bahaya dapat menjadi bencana apabila kerentanan yang dimiliki komunitas tinggi atau dalam arti kapasitas dalam menghadapi bahaya lebih rendah dari tingkat bahaya tersebut.

Menurut Iwan (1999), mitigasi mencakup semua tindakan-tindakan yang diambil sebelum, selama, dan setelah terjadinya peristiwa alam maupun non alam, dalam rangka meminimalkan dampaknya. Tindakan mitigasi meliputi menghindari bahaya, memberikan peringatan, dan evakuasi pada periode sebelum bahaya. Banjir dapat dikategorikan sebagai bencana ketika limpasan debit dari sungai menggenangi dan menimbulkan dampak bagi lingkungan sekitarnya. Kerugiannya pun bermacam-macam, mulai dari terganggunya aktivitas warga, timbulnya wabah penyakit akibat genangan hingga terputusnya jalur transportasi darat yang akan berdampak pada sektor perekonomian.

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam manajemen mitigasi bencana banjir.

1. Manajemen Pra Bencana

a. Kesiapsiagaan

Kesiapsiagaan bencana banjir wajib dilakukan di wilayah yang berpotensi dan untuk meminimalisir bahaya banjir dapat melakukan beberapa upaya dalam pencegahan, penanganan, dan upaya rekonstruksi ulang pasca banjir bersama masyarakat di lingkungan sekitar berupa hal-hal seperti berikut :

- 1) memperhatikan cuaca disekitar lingkungan tempat tinggal,
- 2) mencari informasi ketinggian air dari pintu dan papan informasi yang terpasang,
- 3) mendengar alat sistem peringatan dini,
- 4) memastikan sungai, pantai, dan saluran-saluran air disekitar bebas dari sampah dan sedimentasi, dan
- 5) memastikan ketersediaan kawasan resapan.

b. Deteksi Dini

Banjir merupakan salah satu bencana yang dapat dideteksi dini untuk meminimalisir dampak atau kerugian yang ditimbulkan. Secara konvensional banjir dapat dideteksi dengan mengetahui ketinggian air di hulu sungai. Hal lain yang dapat dilakukan untuk mendeteksi banjir adalah dengan mengamati data intensitas hujan yang terjadi. Pencatatan curah hujan dalam 24 jam yang dilakukan oleh stasiun hujan. pencatatan intensitas hujan dilakukan secara berkala dan manual (Yuwono & dkk 2013). Namun prediksi banjir tidak dapat dilakukan saat hujan berlangsung. Deteksi dini secara konvensional masih belum optimal dapat mendeteksi banjir secara akurat.

c. Pencegahan

- 1) Membuat saluran air. Saluran air yang baik juga bisa berupa terowongan saluran air di bawah tanah, yang menjamin semua air hujan akan disalurkan menuju laut.
- 2) Membuang sampah pada tempatnya. Membuang sampah pada tempatnya merupakan cara mencegah banjir yang efektif karena, dengan membuang sampah pada tempatnya maka banjir juga bisa dihindari. Ada baiknya untuk tidak mengotori selokan yang berpotensi menimbulkan banjir.
- 3) Rutin membersihkan saluran air. Membersihkan air juga bisa dikatakan sebagai salah satu mencegah banjir. Gotong royong sangat diperlukan untuk kebersihan bersama, adanya pasokan air akan terhambat apabila banyak tumbuhan yang ada diselokan air hanya akan menghambat saluran air saja.

- 4) Mendirikan bangunan untuk pencegahan banjir. Fungsi dari bendungan sendiri yaitu sebagai pengairan dan juga sebagai salah satu sarana pencegah banjir sehingga air yang datang masuk ke dalam bendungan.
- 5) Menanam pohon. Menanam pohon sangat diperlukan untuk mencegah banjir karena akar akan menyerap air yang masuk kedalam tumbuhan.
- 6) Membuat lubang biopori. Lubang biopori merupakan teknologi yang tepat dan juga ramah akan lingkungan untuk mencegah banjir yaitu dengan meningkatkan daya air yang meresap, dan mengubah sampah organik menjadi pupuk kompos.
- 7) Membuat sumur serapan. Sumur merupakan sarana penampungan air, sehingga sangat diperlukan sebagai salah satu alat untuk mencegah datangnya banjir.
- 8) Proyek pendalaman sungai. Jika proses mengeruk lumpur dilakukan pada sungai, maka sungai dapat mengalirkan jumlah air yang banyak.
- 9) Melestarikan hutan. Sudah sepatutnya sebagai warga negara yang baik untuk melestarikan hutan untuk mencegah banjir yang akan datang nantinya. Oleh karena itu jangan jadikan hutan sebagai lahan untuk mencari keuntungan saja, namun juga harus diperhatikan manfaatnya.

d. Mitigasi

Mitigasi bencana merupakan serangkaian upaya untuk mengurangi resiko bencana melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana baik bencana alam maupun bencana akibat ulah manusia. Terdapat empat hal penting dalam mitigasi bencana, yaitu sebagai berikut ini.

- 1) Tersedianya informasi dan peta kawasan rawan bencana untuk tiap jenis bencana.
- 2) Sosialisasi untuk meningkatkan pemahaman dan kesadaran masyarakat dalam menghadapi bencana, karena bermukim di daerah yang rawan bencana.
- 3) Mengetahui apa yang harus dilakukan dan dihindari, serta mengetahui cara penyelamatan diri jika timbul bencana banjir :

- 4) Adanya pengaturan dan penataan kawasan rawan bencana untuk mengurangi ancaman bencana.

Berikut ini langkah-langkah yang dapat dilakukan dalam mitigasi bencana adalah sebagai berikut ini.

- 1) Adanya pengawasan penggunaan lahan dan perencanaan lokasi untuk menempatkan fasilitas vital yang rentan terhadap banjir pada daerah yang aman.
- 2) Pembangunan tembok penahan dan tanggul di sepanjang sungai, tembok laut sepanjang pantai yang rawan badai atau tsunami yang akan sangat membantu mengurangi resiko bencana banjir.
- 3) Membuat bangunan yang bertingkat dan desain disesuaikan agar aman saat banjir tiba.
- 4) Reduksi debit banjir pada daerah hulu dengan pembangunan bendungan atau waduk, reboisasi dan pembangunan sistem resapan air.
- 5) Tidak membuang sampah ke sungai dan adanya pembersihan sedimen dengan pengerukan sungai serta melakukan pembangunan saluran drainase.
- 6) Adanya pelatihan tentang kewaspadaan banjir seperti cara penyimpanan atau pergudangan perbekalan dan tempat istirahat yang aman saat banjir.
- 7) Perlunya persiapan evakuasi saat bencana banjir tiba, seperti : perahu dan alat-alat penyelamatan lainnya.

2. Manajemen Saat Bencana

a. Tanggap Darurat

Tanggap darurat adalah suatu rangkaian kegiatan yang dilakukan dengan segera mungkin pada saat kejadian bencana untuk menangani dampak buruk yang ditimbulkan. Rangkaian kegiatan tersebut terdiri dari penyelamatan dan evakuasi korban, harta benda, pemenuhan kebutuhan dasar, perlindungan dan pengurusan pengungsi, penyelamatan serta pemulihan sarana dan prasarana (UU Nomor 24 Tahun 2007 Tentang Penanggulangan Bencana). Beberapa hal yang dapat dilakukan untuk tanggap darurat bencana banjir adalah:

- 1) Tidak berjalan di sekitar saluran air agar tidak terseret arus banjir.
 - 2) Saat banjir hendaknya mematikan aliran listrik di dalam rumah atau bisa juga dengan menghubungi PLN untuk mematikan aliran listrik di wilayah yang terkena banjir.
 - 3) Saat genangan air masih memungkinkan untuk dilewati warga harus segera mengungsi ke daerah aman atau pergi ke posko banjir.
 - 4) Warga hendaknya juga segera mengamankan barang-barang berharga ke tempat yang lebih tinggi
 - 5) Jika arus air semakin meninggi hendaknya warga menghubungi instansi terkait dengan penanggulangan bencana agar dapat mengevakuasi korban untuk dibawa ketempat yang dinilai lebih aman.
 - 6) Melakukan distribusi logistik untuk para pengungsi dan mendirikan posko- posko beserta dapur umum untuk memenuhi kebutuhan dasar para pengungsi.
 - 7) Mengirimkan tenaga medis dan obat-obatan ke posko-posko pengungsian.
 - 8) Siapkan air bersih untuk menghindari terjangkitnya penyakit diare pada pengungsi.
 - 9) Jika genangan air sudah tidak tinggi lagi, warga sebaiknya segera membersihkan rumah dengan antiseptik.
- b. Bantuan Darurat

Bantuan darurat merupakan upaya untuk memberikan bantuan berkaitan dengan pemenuhan kebutuhan dasar kepada korban bencana. Bantuan darurat dapat diberikan seperti selimut, pakaian layak pakai, wc, tempat tinggal sementara, air bersih serta makanan yang sehat baik yang sudah matang maupun belum matang. Selain itu, bantuan darurat yang dapat dilakukan oleh masyarakat berupa partisipasi dalam bentuk buah pikiran, tenaga, harta benda, keterampilan, dan kemahiran, serta partisipasi sosial. Akan tetapi, partisipasi yang dominan dilakukan oleh masyarakat adalah partisipasi tenaga dan partisipasi sosial (Nisa, 2014).

3. Manajemen Pasca Bencana

a. Pemulihan

Pemulihan sosial psikologis ditujukan untuk membantu masyarakat yang terkena dampak bencana, memulihkan kembali kehidupan sosial dan kondisi psikologis pada keadaan normal seperti kondisi sebelum bencana. Kegiatan pemulihan sosial psikologis yaitu kegiatan membantu masyarakat terkena dampak bencana sebagaimana dimaksud dilakukan melalui upaya pelayanan sosial psikologis berupa: (a) bantuan konseling dan konsultasi; (b) pendampingan; (c) pelatihan; dan (d) kegiatan psikososial

Pelayanan kesehatan ditujukan untuk membantu masyarakat yang terkena dampak bencana dalam rangka memulihkan kondisi kesehatan masyarakat melalui pemulihan sistem pelayanan kesehatan masyarakat.

Kegiatan pemulihan kondisi kesehatan masyarakat terkena dampak bencana sebagaimana dimaksud dilakukan melalui: (a) membantu perawatan lanjut korban bencana yang sakit dan mengalami luka; (b) menyediakan obat-obatan; (c) menyediakan peralatan kesehatan; (d) menyediakan tenaga medis dan paramedis; dan (e) memfungsikan kembali sistem pelayanan kesehatan termasuk sistem rujukan.

Pemulihan sosial ekonomi budaya ditujukan untuk membantu masyarakat terkena dampak bencana dalam rangka memulihkan kondisi kehidupan sosial, ekonomi, dan budaya seperti pada kondisi sebelum terjadi bencana.

Kegiatan pemulihan sosial, ekonomi, dan budaya sebagaimana dimaksud dilakukan dengan membantu masyarakat menghidupkan dan mengaktifkan kembali kegiatan sosial, ekonomi, dan budaya melalui: (a) layanan advokasi dan konseling; (b) bantuan stimulan aktivitas; dan (c) pelatihan.

Pemulihan keamanan dan ketertiban ditujukan untuk membantu masyarakat dalam memulihkan kondisi keamanan dan ketertiban masyarakat di daerah terkena dampak bencana agar kembali seperti kondisi sebelum terjadi bencana.

Kegiatan pemulihan keamanan dan ketertiban dilakukan melalui upaya: (a) mengaktifkan kembali fungsi lembaga keamanan dan ketertiban di daerah bencana; (b) meningkatkan peran serta masyarakat dalam kegiatan pengamanan dan ketertiban; dan (c) mengkoordinasi instansi/lembaga yang berwenang di bidang keamanan dan ketertiban.

Pemulihan fungsi pemerintahan ditujukan untuk memulihkan fungsi pemerintahan kembali seperti kondisi sebelum terjadi bencana. Kegiatan pemulihan fungsi pemerintahan dilakukan melalui upaya: (a) mengaktifkan kembali pelaksanaan kegiatan tugas-tugas pemerintahan secepatnya; (b) penyelamatan dan pengamanan dokumen-dokumen negara dan pemerintahan; (c) konsolidasi para petugas pemerintahan; (d) pemulihan fungsi-fungsi dan peralatan pendukung tugas-tugas pemerintahan; dan (e) pengaturan kembali tugas-tugas pemerintahan pada instansi/lembaga terkait.

Pemulihan fungsi pelayanan publik ditujukan untuk memulihkan kembali fungsi pelayanan kepada masyarakat pada kondisi seperti sebelum terjadi bencana.

Kegiatan pemulihan fungsi pelayanan publik sebagaimana dimaksud dilakukan melalui upaya-upaya: (a) rehabilitasi dan pemulihan fungsi prasarana dan sarana pelayanan publik; (b) mengaktifkan kembali fungsi pelayanan publik pada instansi/lembaga terkait; dan (c) pengaturan kembali fungsi pelayanan publik.

b. Rehabilitasi

Rehabilitasi adalah upaya langkah yang diambil setelah kejadian bencana untuk membantu masyarakat memperbaiki rumahnya, fasilitas umum dan fasilitas sosial penting, dan menghidupkan kembali roda perekonomian.

Tindakan rehabilitasi juga dapat dibedakan menjadi dua tindakan yang harus dilakukan pada pasca banjir, yaitu tindakan jangka pendek yaitu tindakan yang dilakukan untuk mengembalikan layanan utama kepada masyarakat dan mencukupi kebutuhan pokok masyarakat. Kemudian

tindakan jangka panjang yaitu tindakan dilakukan untuk mengembalikan kondisi masyarakat kepada kondisi normal atau bahkan lebih baik.

c. Rekonstruksi

Rekonstruksi adalah perumusan kebijakan dan usaha serta langkah-langkah nyata yang terencana baik, konsisten dan berkelanjutan untuk membangun kembali secara permanen semua prasarana, sarana dan sistem kelembagaan, baik di tingkat pemerintahan maupun masyarakat, dengan sasaran utama tumbuh berkembangnya kegiatan perekonomian, sosial dan budaya, tegaknya hukum dan ketertiban, dan bangkitnya peran dan partisipasi masyarakat sipil dalam segala aspek kehidupan bermasyarakat di wilayah pasca bencana. Dalam hal penanggulangan pasca banjir, terutama penanganan rekonstruksi maka diperlukan diperlukan suatu proses rekonstruksi yang tepat berdasarkan perencanaan yang baik sehingga tepat sasaran dan juga tertib dalam penggunaan dana, serta mampu meningkatkan ketahanan masyarakat terhadap ancaman banjir di masa mendatang melalui usaha-usaha pengurangan risiko bencana. Proses rekonstruksi pasca banjir yang baik harus menghasilkan pemulihan kondisi masyarakat baik secara fisik, mental, sosial dan ekonomi, dan mampu menurunkan kerentanan terhadap banjir, bukan memperparah kondisi kerentanan yang dapat menyebabkan terjadinya banjir.

Lingkup pelaksanaan rekonstruksi dibagi menjadi 2 program yaitu program rekonstruksi fisik dan program rekonstruksi non fisik. Yang dimaksud dengan rekonstruksi fisik adalah tindakan untuk memulihkan kondisi fisik lingkungan yang terkena banjir melalui pembangunan kembali secara permanen prasarana dan sarana permukiman, pemerintah dan pelayanan masyarakat (kesehatan, pendidikan, dan lain-lain), prasarana dan sarana ekonomi (jaringan perhubungan, air bersih, sanitasi dan drainase, irigasi, listrik dan telekomunikasi dan lain-lain), prasarana dan sarana sosial (ibadah, budaya, dan lain-lain) yang rusak akibat banjir agar kembali ke kondisi semula atau bahkan lebih baik dari kondisi sebelum banjir. Sedangkan rekonstruksi non fisik adalah tindakan untuk memperbaiki atau

memulihkan kegiatan pelayanan publik dan kegiatan sosial, ekonomi serta kehidupan masyarakat seperti sector kesehatan, pendidikan, perekonomian, pelayanan kantor pemerintahan, peribadatan dan kondisi mental/sosial masyarakat yang terganggu pasca banjir, kembali ke kondisi pelayanan dan kegiatan semula atau bahkan lebih baik dari kondisi sebelumnya. Cakupan rekonstruksi non fisik diantaranya adalah sebagai berikut ini.

- 1) Kegiatan pemulihan layanan yang berhubungan dengan kehidupan sosial dan budaya masyarakat,
- 2) Partisipasi dan peran serta lembaga/organisasi kemasyarakatan, dunia usaha, dan masyarakat,
- 3) Kegiatan pemulihan kegiatan perekonomian masyarakat, dan
- 4) Fungsi pelayanan publik dan pelayanan utama dalam masyarakat serta kesehatan mental masyarakat.

3.2. Upaya Pengendalian Bencana Banjir

3.2.1. Penyebab Terjadinya Banjir

Kodoatie (2002) mengatakan bahwa terdapat banyak faktor yang menjadi penyebab terjadinya banjir, namun secara umum penyebab banjir dapat diklasifikasikan dalam 2 kategori, yaitu banjir yang disebabkan oleh sebab-sebab alami dan banjir yang diakibatkan oleh tindakan manusia. Yang termasuk sebab-sebab alami diantaranya adalah sebagai berikut ini.

1. Curah Hujan

Indonesia memiliki iklim tropis sehingga sepanjang tahun mempunyai dua musim, yaitu musim hujan yang umumnya terjadi antara bulan Oktober sampai dengan bulan Maret, dan musim kemarau yang terjadi antara bulan April sampai dengan bulan September. Pada musim penghujan, curah hujan yang tinggi akan mengakibatkan banjir di sungai dan bilamana melebihi tebing sungai maka akan timbul banjir atau genangan.

2. Pengaruh Fisiografi

Fisiografi atau geografi fisik sungai seperti bentuk, fungsi, dan kemiringan Daerah Aliran Sungai (DAS), kemiringan sungai, geometrik hidrologi (bentuk

penampang sungai), hingga lokasi sungai, merupakan yang-hal-hal yang dapat mempengaruhi terjadinya banjir.

3. Erosi dan Sedimentasi

Erosi dan sedimentasi di DAS berpengaruh terhadap pengurangan kapasitas penampang sungai. Hal ini menjadi problem klasik sungai-sungai di Indonesia. Besarnya erosi dan sedimentasi akan mengurangi kapasitas saluran, sehingga timbul genangan dan banjir di sungai.

4. Pengaruh Pasang Surut Air Laut

Air pasang laut memperlambat aliran sungai dari hulu ke laut. Pada waktu banjir bersamaan dengan air pasang tinggi, maka tinggi genangan atau banjir menjadi besar karena terjadi aliran balik (backwater). Hal ini sering terjadi di kota-kota yang letaknya di pesisir seperti Semarang dan Jakarta.

Sedangkan, yang termasuk sebab-sebab banjir karena tindakan manusia diantaranya adalah sebagai berikut ini.

1. Perubahan Daerah Aliran Sungai (DAS)

Perubahan DAS seperti penggundulan hutan, usaha pertanian yang kurang tepat, perluasan kota, dan perubahan tata guna lahan lainnya dapat memperburuk masalah banjir karena hal ini dapat meningkatkan debit aliran banjir.

2. Kawasan Kumuh

Perumahan kumuh yang terdapat di sepanjang sungai, dapat menghambat aliran. Masalah kawasan kumuh dikenal sebagai faktor penting terhadap masalah banjir daerah perkotaan.

3. Sampah

Disiplin masyarakat untuk membuang sampah pada tempatnya masih kurang. Umumnya mereka langsung membuang sampah dipinggir sungai atau langsung membuangnya ke sungai. pembuangan sampah di alur sungai dapat meninggikan muka air banjir karena debit banjir terhalangi oleh sampah.

3.2.2. Tipologi Kawasan Banjir

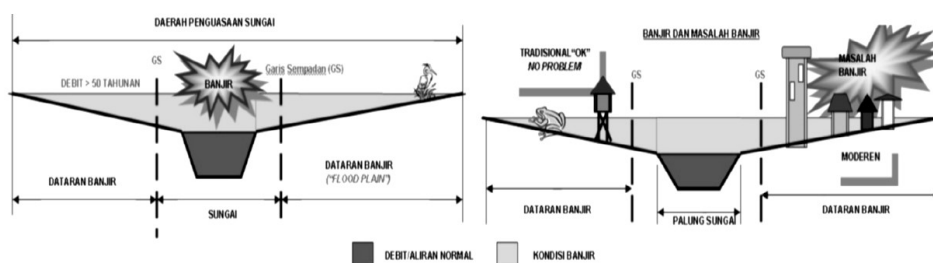
Kawasan rawan banjir merupakan kawasan yang sering atau berpotensi tinggi mengalami bencana banjir sesuai karakteristi penyebab banjir. Kawasan tersebut dapat dikategorikan sebagai berikut ini.

1. Daerah Pantai

Daerah pantai merupakan daerah rawan banjir karena daerah tersebut merupakan dataran rendah yang permukaannya lebih rendah atau sama dengan elevasi muka air laut pasang rata-rata (*Mean Sea Level*) dan tempat bermuaranya sungai yang biasanya mempunyai permasalahan penyumbatan.

2. Daerah Dataran Banjir (*Flood Plain Area*)

Daerah dataran banjir adalah daerah di kanan maupun kiri sungai yang muka tanahnya sangat landai dan cenderung datar, sehingga aliran air menuju sungai yang lambat bisa mengakibatkan daerah tersebut rawan terhadap baik banjir, maupun karena hujan lokal. Menurut dirjen Penataan Ruang Departemen PU (2005), kawasan Rawan Banjir (KRB) dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Garis Sempadan Sungai

3. Daerah Sempadan Sungai

Di daerah perkotaan yang padat penduduk masih sering dimanfaatkan sebagai tempat hunian dan kegiatan usaha hingga pertanian. Sehingga, apabila terjadi banjir berpotensi menimbulkan dampak bencana yang membahayakan jiwa dan harta benda.

4. Daerah Cekungan

Wilayah-wilayah yang rentan banjir biasanya berada di daerah cekungan. Daerah bentukan banjir dengan topografi rendah atau landai biasanya memiliki tingkatan yang acap kali terkena dampak ketika terjadi banjir. Biasanya daerah

ini memiliki tingkat kelembaban tanah yang tinggi dibanding daerah-daerah lain yang jarang terlanda banjir. Kondisi kelembaban tanah yang tinggi ini disebabkan karena bentuk lahan tersebut terdiri dari material halus yang diendapkan dari proses banjir dan kondisi drainase yang buruk sehingga daerah tersebut mudah terjadi penggenangan air.

3.2.3. Karakteristik Alur Sungai

Dari tempat asal sampai berakhirnya dilaut atau dari letak geografisnya, sungai dapat dibagi menjadi tiga daerah, yaitu : daerah hulu (pegunungan), daerah transisi, dan daerah hilir (muara atau pantai). Ketiga daerah ini menunjukkan sifat dan karakteristik yang berbeda.

Daerah hulu terutama daerah pegunungan, sungai-sungai biasanya mempunyai kemiringan yang terjal, dengan kemiringan dasar sungai antara 2-3 % atau lebih. Dampaknya ketika hujan yang cukup tinggi akan menimbulkan kuat arus atau debit sungai yang kuat. Periode waktu debit aliran biasanya berlangsung cukup singkat dan cepat. Di daerah transisi, batas pegunungan sampai ke daerah pantai, kemiringan dasar sungai biasanya kurang dari 2%, karena kemiringan memanjang dasar sungai di daerah ini berangsur-angsur menjadi landai. Di daerah ini sudah mulai sering dijumpai erosi dan sedimentasi. Hal ini mengakibatkan banjir yang terjadi akan lebih lambat dibanding di daerah hulu sungai. Sedangkan di daerah hilir, ditandai dengan kemiringan dasar sungai dari landai menuju sangat landai, bahkan bagian-bagian sungai terutama yang mendekati muara (laut) memiliki kemiringan dasar hampir 0%. Sehingga, bilamana terjadi banjir, maka periodenya lebih lama dibandingkan di daerah hulu dan daerah transisi.

3.2.4. Tipe Banjir

Pada wilayah yang bertopografi datar banyak menghadapi masalah banjir dan pembuangan air (hujan). Menurut Mulyono Sadyohutomo (2009), ada dua tipe banjir, yaitu sebagai berikut ini.

1. Banjir dari air hujan setempat yang menggenang karena drainase pada lokasi tersebut tidak baik, dan

2. Banjir dari luapan air hulu sungai yang mengalir dari daerah hulu. Banjir ini biasanya terjadi apabila terjadi hujan pada daerah setempat dan daerah hulu secara bersamaan.

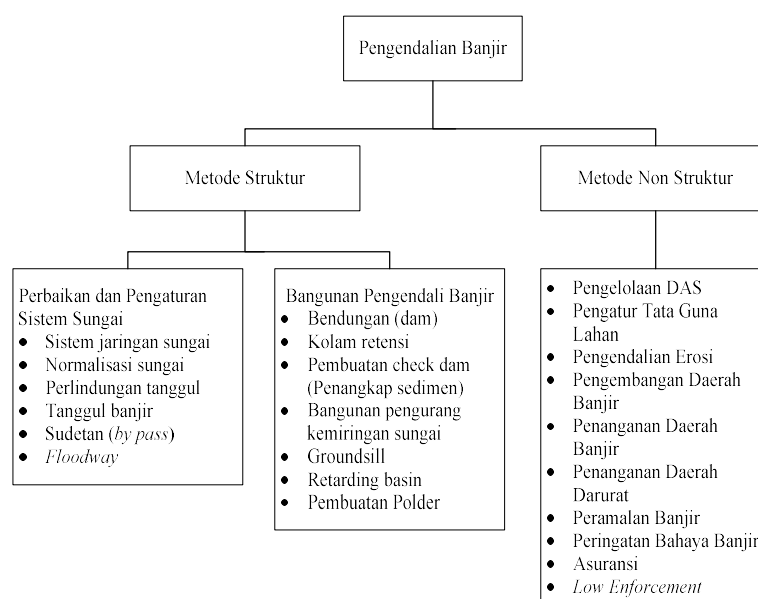
Dilihat dari aspek penyebabnya, jenis banjir yang ada dapat diklasifikasikan menjadi 4 yaitu sebagai berikut ini.

1. Banjir yang disebabkan oleh hujan yang lama, dengan intensitas rendah (hujan siklonik atau frontal) selama beberapa hari. Dengan kapasitas penyimpanan air yang dimiliki oleh masing-masing Satuan Wilayah Sungai (SWS) yang akhirnya terlampaui, maka air hujan yang terjadi akan menjadi limpasan yang selanjutnya akan mengalir secara cepat ke sungai-sungai terdekat, dan meluap menggenangi area dataran rendah di kiri-kanan sungai. Jenis banjir ini termasuk yang paling sering terjadi di Indonesia,
2. Banjir karena salju yang mengalir, terjadi karena mengalirnya tumpukan salju dan kenaikan suhu udara yang cepat di atas lapisan salju. Aliran salju ini akan mengalir dengan cepat bila disertai dengan hujan, dan
3. Banjir Bandang (*flash flood*), disebabkan oleh tipe hujan konvensional dengan intensitas yang tinggi dan terjadi pada tempat-tempat dengan topografi yang curam di bagian hulu sungai. Aliran air banjir dengan kecepatan tinggi akan memiliki daya rusak yang besar, dan akan lebih berbahaya bila disertai dengan longoran, yang dapat mempertinggi daya rusak terhadap yang dilaluinya, dan
4. Banjir yang disebabkan oleh pasang surut atau air balik (*back water*) pada muara sungai atau pada pertemuan dua sungai. Kondisi ini akan menimbulkan dampak besar, bila secara bersamaan terjadi hujan besar di daerah hulu sungai yang mengakibatkan meluapnya air sungai di bagian hilirnya, serta disertai badai yang terjadi di lautan atau pantai.

Mitigasi bencana banjir dapat diartikan sebagai serangkaian upaya atau tindakan yang dilakukan dalam rangka meminimalisasi risiko yang ditimbulkan akibat bencana banjir. Upaya-upaya tersebut dapat dilakukan sebelum, selama, dan/atau sesudah bencana banjir terjadi. Mitigasi bencana banjir dapat diklasifikasikan atas dua bentuk, yakni mitigasi struktural dan mitigasi non struktural. Tindakan mitigasi struktural dapat dilakukan dengan cara pembuatan

bendungan, kolam retensi, normalisasi alur sungai, membuat kanal banjir, dan perbaikan drainase. Sedangkan, mitigasi secara non struktural dapat dilakukan dengan memberikan sosialisasi dan peringatan dini sebagai upaya penyelamatan diri, dan regulasi kebijakan dengan pemanfaatan ruang pada zona rawan banjir.

Begitu banyak metode ataupun upaya dapat dilakukan dalam mereduksi banjir akibat limpasan aliran sungai, baik dengan metode struktural maupun non-struktural seperti yang disajikan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Bagan Pengendalian Banjir Dengan Metode Struktur Dan Non Struktur

(sumber : Kodoatie & Sugiyanto)

Mitigasi bencana banjir juga dapat dimaksudkan dalam perencanaan pembangunan sebagai upaya pencegahan untuk mengurangi kerugian akibat bencana alam tersebut, utamanya dimasa yang akan datang. Perencanaan mengacu pada proses untuk memutuskan apa yang harus dilakukan dan bagaimana cara untuk melakukannya. Perencanaan yang baik memerlukan proses metodologis yang jelas dan konkret, mendefinisikan tahapan-tahapan untuk mencapai solusi yang optimal.

3.3. Tinjauan Hidrologi

Hidrologi adalah ilmu yang berkaitan dengan air di bumi, baik mengenai terjadinya, peredaran dan penyebarannya, sifat-sifatnya, dan hubungan dengan

lingkungan terutama dengan makhluk hidup (Triatmojo, 2008). Ilmu hidrologi dapat dimanfaatkan untuk beberapa kegiatan berikut:

1. Memperkirakan besarnya banjir yang ditimbulkan oleh hujan deras sehingga dapat direncanakan bangunan-bangunan untuk mengendalikannya, seperti pembuatan tanggul banjir, saluran drainase, gorong-gorong, jembatan, dan bangunan pengendali banjir lainnya.
2. Memperkirakan jumlah air yang dibutuhkan oleh suatu jenis tanaman sehingga dapat direncanakan bangunan untuk melayani kebutuhan tersebut.
3. Memperkirakan jumlah air yang tersedia di suatu sumber air (mata air, sungai, danau) untuk dimanfaatkan guna berbagai keperluan seperti air baku (air untuk keperluan rumah tangga, perdagangan, dan industri), irigasi, pembangkit tenaga air, perikanan, peternakan, dan sebagainya.

3.2.1. Pengujian Seri Data

Sering dijumpai dalam pengukuran data hujan mengalami permasalahan pengumpulan data hujan. Permasalahan ini sering terjadi karena rusaknya alat atau pengamat data hujan, perubahan kondisi di lokasi pencatatan selama suatu periode pencatatan, seperti pemindahan atau perbaikan stasiun. Berdasarkan permasalahan tersebut perlu dilakukan pengujian seri data untuk mengikuti kelayakan data hujan yang dipakai. Pengujian seri data dapat dilakukan dengan metode kurva massa ganda (*double mass curve*).

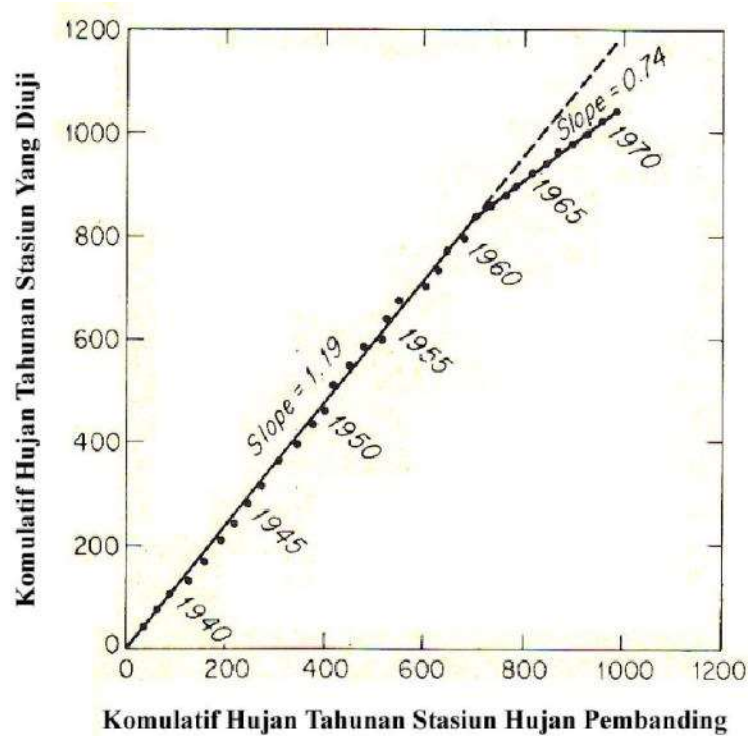
Metode ini membandingkan hujan tahunan kumulatif di stasiun “y” terhadap stasiun referensi “x”. Stasiun referensi biasanya adalah nilai rerata dari beberapa stasiun didekatnya. Nilai kumulatif tersebut digambarkan pada sistem koordinat kartesian x-y, dan kurva yang terbentuk diperiksa untuk melihat perubahan kemiringan (*trend*). Apabila garis yang terbentuk lurus, berarti pencatatan di stasiun y adalah konsisten. Apabila kemiringan kurva patah atau berubah, maka pencatatan di stasiun y tidak konsisten dan perlu dikoreksi. Koreksi bisa dilakukan dengan mengalikan data setelah kurva berubah dengan perbandingan kemiringan setekah dan sebelum kurva patah

$$\text{Faktor Koreksi} = \frac{\beta}{\alpha} \quad (3.1)$$

dimana,

β = Kemiringan setelah patahan, dan

α = Kemiringan sebelum patahan.



Gambar 3.3 Sketsa Analisis Kurva Ganda

3.2.2. Analisis Hujan Kawasan

Intensitas hujan yang tinggi pada suatu kawasan yang kecil dapat mengakibatkan genangan apabila kapasitas tampungan dari suatu sistem drainase di daerah tersebut tidak memadai. Hujan merupakan kejadian yang tidak dapat diprediksi dan tidak dapat diketahui secara pasti seberapa besar hujan yang akan terjadi pada suatu periode waktu tertentu.

Hujan rerata DAS dianalisis dengan menggunakan metode poligon *Thiessen* (Gambar 3.4.). Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa intensitas hujan adalah sama dengan yang terjadi pada stasiun yang terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili luasan tersebut. Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Hitungan curah hujan rerata dilakukan dengan memperhitungkan daerah pengaruh dari tiap stasiun.

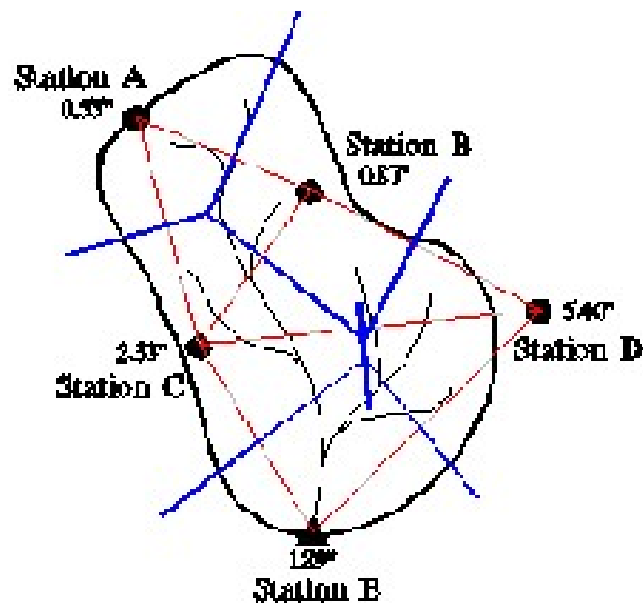
Cara ini berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*) dengan memasukkan faktor pengaruh daerah yang mewakili oleh stasiun hujan yang disebut faktor pembobotan atau koefisien *Thiessen*. Untuk pemilihan stasiun hujan yang dipilih harus berada disekitar daerah aliran sungai yang akan dibangun. Besarnya koefisien *Thiessen* tergantung dari luas daerah pengaruh stasiun hujan yang dibatasi oleh poligon-poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung stasiun. Setelah luas pengaruh tiap-tiap stasiun didapat, maka koefisien *Thiessen* dapat dihitung.

$$P = \frac{P_1A_1 + P_2A_2 + \dots + P_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (3.2)$$

dengan :

P = curah hujan tercatat di pos pengamat hujan 1,2, ... n, dan

A = luas area poligon 1,2, ... n



Gambar 3.4 Poligon Thiessen.

(Sumber : <https://www.weather.gov/abr/c/map>)

Dalam hal ini perlu diperhatikan dalam menggunakan metode ini adalah sebagai berikut.

1. Jumlah stasiun pengamatan minimal 3 (tiga) buah stasiun pengamatan hujan,

2. Penambahan satu atau lebih akan mengubah pola seluruh jaringan polygon, dan
3. Topografi tidak diperhitungkan.

3.2.3. Analisis Frekuensi

Tujuan dari analisis frekuensi data hidrologi adalah mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas. Besarnya kejadian ekstrim mempunyai hubungan terbalik dengan probabilitas kejadian, misalnya frekuensi kejadian debit banjir besar adalah lebih kecil dibandingkan frekuensi debit sedang atau kecil. Dengan analisis frekuensi akan diperkirakan besarnya banjir dengan interval kejadian tertentu yaitu 2, 5, 10, 25 dan 50 tahun. Pada Persamaan 3.2 ditampilkan persamaan untuk menghitung hujan atau debit dalam kala ulang tertentu.

$$X_T = \bar{X} + K_T \cdot \sigma \quad (3.3)$$

dengan :

X_T = Besarnya nilai suatu kejadian dalam kala ulang tertentu,

\bar{X} = Rata-rata data,

K_T = Faktor koefisien (berdasarkan distribusi tertentu), dan

σ = Standar deviasi data.

Secara sistematis metode analisis frekuensi perhitungan hujan rencana ini dilakukan secara berurutan sebagai berikut ini.

1. Parameter Statistik

Parameter yang dibutuhkan dalam penentuan jenis sebaran distribusi probabilitas yang dapat digunakan adalah sebagai berikut ini.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.4)$$

$$s = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (3.5)$$

$$C_v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (3.6)$$

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)(n-3)s^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3 \quad (3.7)$$

$$C_s = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)s^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4 \quad (3.8)$$

dengan:

\bar{X} = Rata-rata data,

X_i = Data hujan atau debit ke- i ,

n = Jumlah data,

s = Simpangan baku,

C_v = Koefisien variasi,

C_s = Koefisien skewness, dan

C_k = Koefisien kurtosis.

2. Penentuan Jenis Distribusi Probabilitas

Penentuan jenis distribusi probabilitas yang sesuai dengan data dilakukan dengan mencocokkan parameter data tersebut dengan syarat masing-masing jenis distribusi. Persyaratan penentuan parameter dapat dilihat pada Tabel 3. 1

Tabel 3. 1 Persyaratan Parameter Statistik Suatu Distribusi

No	Distribusi	Persyaratan
1	Normal	$C_s \approx 0$ $C_k \approx 3$
2	Gumbel	$C_s \approx 1,14$ $C_k \approx 5,4$
3	Log Normal	$C_s = C_v^3 + 3C_v$ $C_k = C_v^8 + 6C_v^6 + 15C_v^4 + 16C_v^2 + 3$
4	Log Pearson <i>Type III</i>	Selain dari nilai diatas.

Sumber : Triatmodjo (2008)

3. Uji Kecocokan Distribusi Probabilitas

Dalam pengolahan data dengan persamaan distribusi terpilih, maka perlu dilakukan uji distribusi probabilitas untuk dapat mewakili distribusi statistik sampel data yang telah dianalisis. Ada 2 (dua) metode yang dapat digunakan yaitu Metode *Chi-Kuadrat* dan Metode *Smirnov-Kolmogorov*.

a. Metode *Chi-Kuadrat*

Prinsip pengujian dengan metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap jumlah

data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut, atau dengan membandingkan dengan nilai *Chi Kuadrat* (x^2) dengan nilai *Chi-Kuadrat* Kritis (x^2_{Cr}). Uji kesesuaian *Chi-Kuadrat* menggunakan persamaan berikut ini.

$$x^2 = \sum_{t=1}^n \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f} \quad (3.9)$$

dengan :

x^2 = Nilai *Chi-Kuadrat* terhitung,

E_f = Frekuensi (banyak pengamatan) yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya,

O_f = Frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama, dan

n = Jumlah sub kelompok dalam satu grup.

Suatu distribusi dikatakan selaras jika nilai $x^2_{hitung} < x^2_{kritis}$). Dari hasil pengamatan yang didapat dicari penyimpangannya dengan *Chi-Kuadrat* kritis paling kecil. Untuk suatu nilai nyata tertentu yang sering diambil adalah 5%. Derajat kebebasan ini secara umum dihitung dengan persamaan sebagai berikut ini. Nilai dari Δ_{kritis} dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

$$DK = K - (\alpha + 1) \quad (3.10)$$

$$K = 1 + 3,3 \text{ Log } n \quad (3.11)$$

dengan :

DK = Derajat kebebasan,

K = Banyaknya kelas, dan

α = Banyaknya keterikatan/parameter, untuk uji *Chi-Kuadrat* adalah 2.

Tabel 3.2 Nilai Kritis Untuk Uji Keselarasan *Chi-Kuadrat*

DK	α (Derajat kepercayaan)							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000393	0,00015	0,000982	0,00393	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,0100	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,0717	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

Lanjutan Tabel 3.2 Nilai Kritis Untuk Uji Keselarasan *Chi-Kuadrat*

DK	α (Derajat kepercayaan)							
	0,995	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
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
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	6,844	7,633	8,907	10,117	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	31,41	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	41,683	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 : (Soewarno, 1995)

Adapun kriteria penilaian hasil dari pengujian adalah sebagai berikut ini.

- 1) Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima,
- 2) Apabila peluang lebih kecil dari 1%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima, dan
- 3) Apabila peluang lebih kecil dari 1% sampai dengan 5%, maka keputusan tidak dapat diambil dan perlu dilakukan penambahan data.

b. Metode *Smirnov-Kolmogorof*

Uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorov* juga disebut uji kecocokan non parametrik karena pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu, namun dengan memperhatikan kurva dan penggambaran pada kertas probabilitas. Dari gambar dapat diketahui jarak penyimpangan setiap titik data terhadap kurva. Jarak penyimpangan terbesar merupakan nilai

Δ_{maks} dengan kemungkinan didapat nilai lebih kecil dari nilai Δ_{kritik} , maka jenis distribusi yang dipilih dapat digunakan. Pengujian ini dilakukan dengan cara *plotting* gambar hubungan antara probabilitas (sumbu x) dan besaran hujan, debit atau data (sumbu y) pada kertas probabilitas. Berikut ini adalah persamaan yang dipakai untuk mencari probabilitas data.

$$P = \frac{m}{n+1} \quad (3.12)$$

$$T = \frac{1}{p} \quad (3.13)$$

dengan:

P = probabilitas,

T = periode ulang,

m = nomer urut, dan

n = jumlah data.

Kertas yang dipakai untuk setiap distribusi berbeda-beda. Kertas tersebut dibedakan menjadi kertas probabilitas distribusi normal, kertas probabilitas distribusi Log Normal dan *Log Pearson III*, dan kertas probabilitas distribusi Gumbel. Dari gambar pada kertas probabilitas dicari jarak penyimpangan setiap titik data terhadap kurva teoritis. Jarak penyimpangan terbesar merupakan nilai Δ_{maks} . Nilai Δ_{maks} harus lebih kecil dari Δ_{kritik} . Nilai dari Δ_{kritik} dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Nilai Kritis Untuk Uji Keselarasan *Smirnov Kolmogorov*

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

Sumber : (Soewarno, 1995)

4. Analisis Distribusi Hujan Rencana

Intensitas curah hujan adalah tinggi atau kedalaman air berbanding dengan satuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung, intensitasnya cenderung makin tinggi dan makin besar periode ulangnya, serta makin tinggi intensitasnya. Menurut *Mononobe*, perhitungan hujan rencana dapat menggunakan persamaan berikut :

$$I_t = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (3.14)$$

dengan :

I_t = intensitas curah hujan untuk lama hujan t (mm/jam),

t = lamanya curah hujan (jam), dan

R_{24} = curah hujan maksimum selama 24 jam (mm).

Nilai dari R_{24} didapatkan dari hujan rancangan. Dalam hal ini nilai dari durasi hujan (t) sama dengan waktu konsentrasi (t_c). Waktu konsentrasi yaitu waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke tempat keluaran DAS (titik kontrol). Waktu konsentrasi dapat dicari dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh *Kirpich* (1940), yang dapat ditulis sebagai berikut ini.

$$t_c = \left(\frac{0,8 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385} \quad (3.15)$$

dengan :

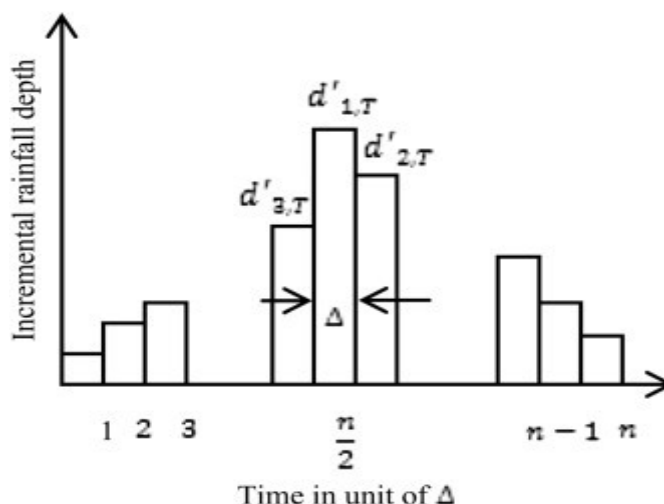
t_c = Waktu konsentrasi (jam),

L = Panjang saluran utama dari hulu sampai penguras (km), dan

S = Kemiringan rata-rata saluran utama.

Untuk mentransformasi curah hujan rancangan menjadi debit banjir rancangan diperlukan curah hujan jam-jaman. Pada umumnya data hujan yang tersedia pada suatu stasiun meteorologi adalah data hujan harian, artinya data yang tercatat secara kumulatif selama 24 jam. Distribusi hujan jam-jaman dihitung berdasarkan metode *Alternating Block Method* (ABM). Metode ini merupakan

cara sederhana untuk membuat *hyetograph* rencana dari kurva IDF (Chow, 1988 dalam Triatmojo, 2008).



Gambar 3.5 Hyetograph dengan Alternating Block Method (ABM).

(sumber : <https://ars.els-cdn.com/content>)

Hyetograph rencana yang dihasilkan dengan metode ini adalah hujan yang dalam “n” rangkaian interval waktu .yang berurutan dengan durasi waktu (Δt). kedalaman hujan yang diperoleh dari perkalian antara intensitas hujan dan durasi waktu tersebut. Perbedaan antara nilai kedalaman hujan yang berurutan merupakan pertambahan hujan dalam interval waktu (Δt). Pertambahan hujan tersebut (berupa blok-blok), diurutkan kembali dalam rangkaian waktu dengan intensitas hujan maksimum berada di tengah-tengah durasi hujan dan sisanya disusun dalam urutan menurun secara bolak-balok pada kanan dan kiri dari blok tengah. Dengan demikian kurva *hyetograph* rencana dapat ditampilkan seperti pada Gambar 3.4.

5. Analisis debit Banjir Rencana dengan Metode Nakayasu

Analisis banjir rencana dilakukan dengan bantuan hidrograf satuan sintetis. Hidrograf satuan sintetis digunakan dalam kondisi ketersediaan data hidrologi sangat terbatas dan tidak bisa digunakan untuk menurunkan hidrograf satuan, sehingga perlu di buat hidrograf satuan sintetis yang didasarkan pada karakteristik fisik dari sebuah DAS.

Analisis banjir rencana dalam studi ini dilakukan dengan menurunkan hidrograf satuan sintetis dengan metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu yang

dikembangkan berdasarkan beberapa sungai di Jepang (Soemarto, 1987). Penggunaan metode ini memerlukan beberapa karakteristik parameter daerah alirannya, seperti berikut ini.

- Tenggang waktu dari permukaan hujan sampai puncak hidrograf (*time of peak*),
- Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time lag*),
- Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*),
- Luas daerah aliran sungai, dan
- Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*).

Adapun persamaan yang digunakan dalam analisis hidrologi menggunakan metode ini adalah sebagai berikut ini.

$$Q_p = \frac{A \cdot R_o}{3,6(0,3 \cdot T_p + T_{0,3})} \quad (3.16)$$

$$T_p = t_g + 0,8 T_r \quad (3.17)$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 L \quad \text{di untuk } L \text{ (panjang sungai)} > 15 \text{ km} \quad (3.18)$$

$$t_g = 0,21 \cdot L^{0,7} \quad \text{di untuk } L \text{ (panjang sungai)} < 15 \text{ km} \quad (3.19)$$

$$T_{0,3} = \alpha \cdot t_g \quad (3.20)$$

$$t_r = 0,5 \cdot t_g \text{ sampai } t_g \quad (3.21)$$

dengan :

Q_p = Debit puncak banjir (m^3/dt),

R_o = Hujan satuan (mm),

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

t_r = Satuan waktu dari curah hujan (jam),

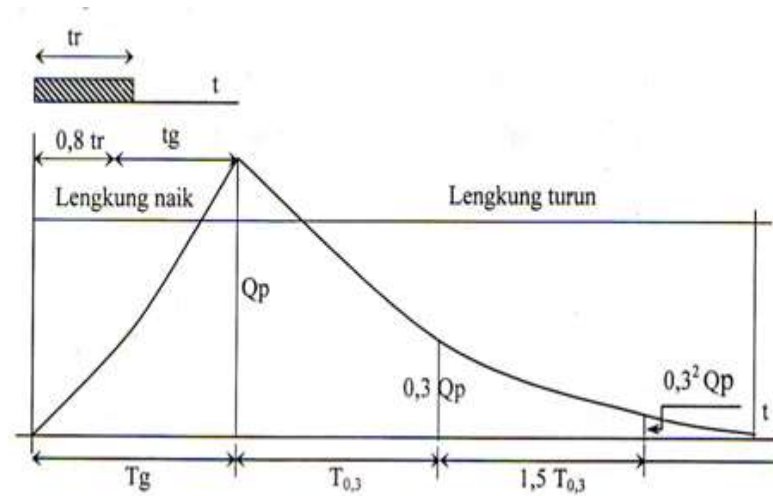
t_g = Waktu konsentrasi (jam),

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

A = Luas daerah pengaliran sampai *outlet* (km^2),

α = Koefesien karakteristik DAS, biasanya diambil nilai 2 (dua), dan

L = Panjang sungai utama (km).



Gambar 3.6 Bentuk umum hidrogram satuan sintesis Nakayasu
(Sumber : <http://article.sapub.org/10.5923.c.jce.201402.42.html>)

Bentuk satuan hidrograf pada Gambar 3.5 diberikan oleh persamaan berikut ini.

- a. Pada kurva naik ($0 < t < T_p$)

$$Q_t = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (3.22)$$

- b. Pada kurva turun ($T_p < t < T_p + T_{0,3}$)

$$Q_r = Q_p \times 0,3^{(t - T_p)/T_{0,3}} \quad (3.23)$$

- c. Pada kurva turun ($T_p + T_{0,3} < t < T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t - T_p) + (0,5T_{0,3})]/(1,5T_{0,3})} \quad (3.24)$$

- d. Pada kurva turun ($t > T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3}$)

$$Q_t = Q_p \times 0,3^{[(t - T_p) + (0,5T_{0,3})]/(2T_{0,3})} \quad (3.25)$$

Untuk memperkirakan aliran dasar (*base flow*), digunakan pendekatan dengan persamaan berikut. Persamaan ini merupakan pendekatan untuk aliran dasar yang tetap, besarnya dapat dihitung dengan rumus berikut ini (Soedibyo, 1993).

$$Q_B = 0,475 \cdot A^{0,6444} \cdot D^{0,9435} \quad (3.26)$$

$$D = \frac{L}{A} \quad (3.27)$$

dengan :

Q_B = Aliran dasar ($m^3/detik$),

D = Kerapatan jaringan sungai (km/km^2),

L = Panjang sungai (km),

A = Luas DAS (km^2), dan

3.4. Tinjauan Hidraulika Saluran Terbuka

3.3.1. Sungai

Sungai merupakan alur atau wadah air alami berupa jaringan pengaliran air mulai dari hulu sampai muara di laut dengan dibatasi tebing kanan dan kiri sepanjang pengalirannya oleh garis sempadan (PP No 38 Tahun 2011). Setiap sungai memiliki kondisi geometri, jenis, dan perilaku dengan segala aspek pembahasannya yang berbeda menyangkut sifat dinamik sungai dan lingkungannya yang saling berkaitan. Sifat-sifat sungai sangat dipengaruhi oleh luas dan bentuk daerah aliran sungai (DAS) dan kemiringan sungai.

3.3.2. Aliran Melalui Saluran Terbuka

Saluran terbuka merupakan saluran yang memiliki permukaan aliran bebas atau permukaan aliran berbatasan langsung dengan udara bebas., salah satunya adalah aliran sungai.

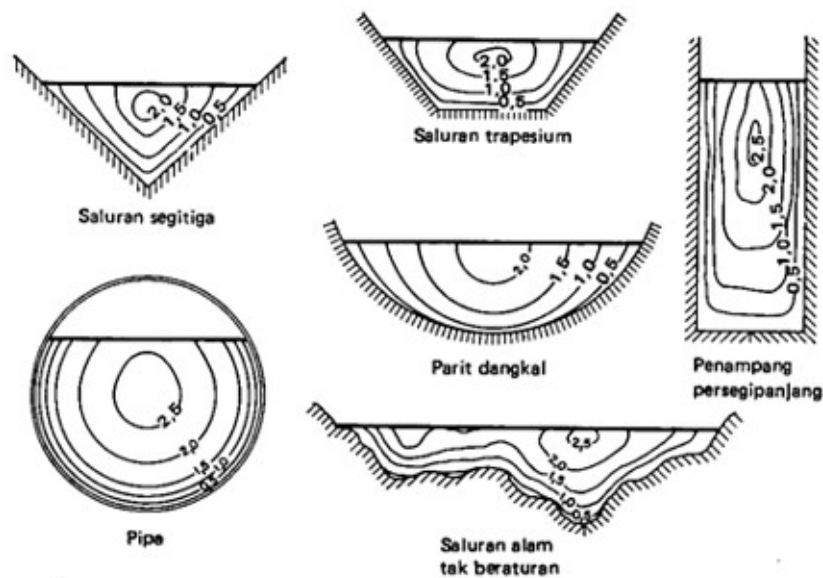
1. Klasifikasi Aliran

Aliran permukaan bebas dapat diklasifikasikan menjadi beberapa tipe, tergantung kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman dan/atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, maka aliran dibedakan menjadi aliran permanen (*steady flow*) dan aliran tidak permanen (*unsteady flow*), sedangkan berdasarkan fungsi ruang, maka aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform flow*) dan aliran tidak seragam (*non-uniform flow*).

2. Distribusi Kecepatan

Triatmodjo (2008) menyatakan bahwa dalam aliran melalui saluran terbuka, distribusi kecepatan tergantung pada banyak factor seperti bentuk saluran,

kekasaran dinding dan juga debit aliran. Distribusi kecepatan tidak merata disetiap titik pada tampang lintang. Gambar 3.7 menunjukkan distribusi kecepatan pada tampang melintang saluran dengan berbagai bentuk saluran, yang digambarkan dengan garis kontur kecepatan. Terlihat bahwa kecepatan minimum terjadi di dekat dinding batas (dasar dan tebing) dan bertambah besar dengan jarak menuju ke permukaan.



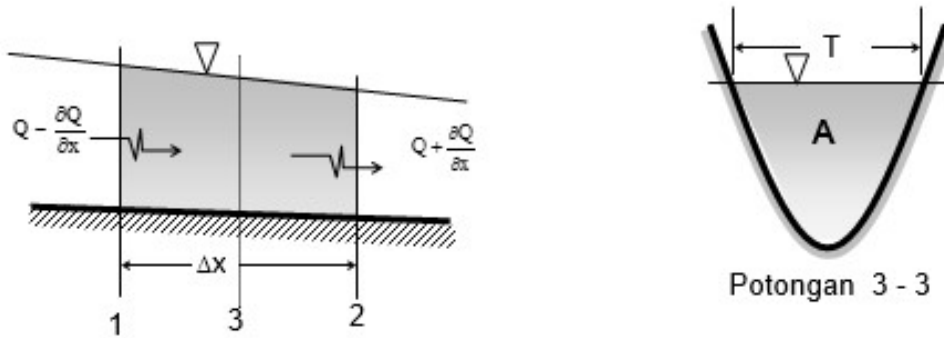
Gambar 3.7 Distribusi Kecepatan Pada Saluran Terbuka
(Triatmodjo, 2008)

3.3.3. Hukum Konservasi

1. Konservasi Massa (Persamaan Kontinuitas)

Prinsip kontinuitas menyatakan bahwa jumlah pertambahan volume sama dengan besarnya aliran netto yang lewat pada suatu pias penampang aliran (), sehingga dapat dinyatakan dalam persamaan berikut ini.

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (3.28)$$



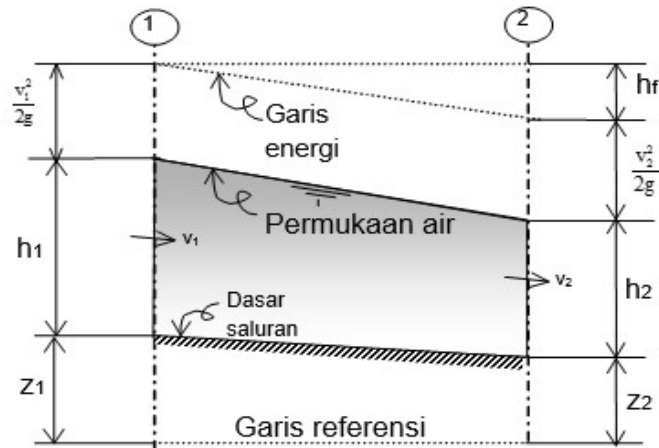
Gambar 3.8 Kontinuitas Aliran Dalam Suatu Pias

2. Konservasi Energi (Persamaan Energi)

Hukum Bernoulli menyatakan bahwa jumlah energi air dari setiap aliran yang melalui penampang saluran dapat dinyatakan sebagai jumlah fungsi air, tinggi tekanan dan tinggi kecepatan (Suripin, 2003).

$$H = z + d \cos \theta + \frac{v^2}{2g} \quad (3.29)$$

Menurut prinsip kekal energi, jumlah tinggi fungsi energi pada penampang 1 di hulu akan sama dengan jumlah energi pada penampang 2 di hilir dan fungsi h_f di antara kedua penampang tersebut.



Gambar 3.9 Energi Dalam Suatu Saluran Terbuka

Maka didapatkan persamaan untuk menyatakan konservasi energi sebagai berikut ini.

$$z_1 + d_1 \cos \theta + \alpha_1 \frac{v_1^2}{g} = z_2 + d_2 \cos \theta + \alpha_2 \frac{v_2^2}{g} + h_f \quad (3.30)$$

Apabila kemiringan saluran kecil ($\theta \approx 0$), maka persamaan 3.29 menjadi berikut ini.

$$z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{g} = z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{g} + h_f \quad (3.31)$$

dengan,

z = Fungsi titik di atas garis referensi,

h = Fungsi tekanan di suatu titik,

v = Kecepatan aliran, dan

g = Gaya gravitasi bumi.

3. Konservasi Momentum (Persamaan Momentum)

Menurut hukum Newton kedua tentang gerakan, menyatakan bahwa besarnya perubahan momentum persatuan waktu pada suatu persamaan adalah sama dengan besarnya resultante semua gaya-gaya yang bekerja pada pias tersebut. Persamaan konservasi momentum tersebut dapat ditulis sebagai berikut ini.

$$p_1 - p_2 + W \sin \theta - F_f - F_a = P \cdot Q (V_2 - V_1) \quad (3.32)$$

dengan,

P = Tekanan hidrostatis,

W = Berat volume pada pias 1 dan 2,

S_o = Kemiringan dasar saluran,

F_a = Tekanan udara pada muka air bebas, dan

F_f = Gaya geser yang terjadi akibat kekasaran dasar saluran.

Persamaan momentum sangat besar kegunaannya terutama pada hitungan di suatu pias yang mengalami kehilangan energi, misal pada loncat air. Pada keadaan tersebut prinsip konservasi energi sudah tidak dapat dipakai lagi.

3.3.4. Bentuk Saluran yang Paling Ekonomis

Menurut Suripin (2003), potongan melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewatkan debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar saluran tertentu. Berdasarkan persamaan

kontinuitas tampak jelas bahwa untuk luasan penampang melintang tetap, debit maksimum dicapai jika kecepatan aliran maksimum.

3.3.5. Analisis Kapasitas Penampang Sungai

Analisis kapasitas penampang sungai pada studi ini dihitung dengan menggunakan program HEC-RAS. Pemodelan dengan program ini akan diketahui elevasi muka air pada setiap penampang sungai, serta luas genangan yang terjadi saat suatu debit rencana melalui sungai tersebut. Hasil dari analisis ini merupakan dasar sebagai tindak lanjut dalam upaya pengurangan risiko bencana banjir yang terjadi akibat luapan Sungai Bringin.

Untuk aliran permanen, HEC-RAS memakai persamaan energi kecuali di tempat-tempat yang kedalaman alirannya melewati kedalaman kritis. Di tempat terjadi loncat air, pertemuan alur, dan aliran dangkal melalui jembatan, HEC-RAS memakai persamaan momentum. Di tempat terjadi terjunan, aliran melalui peluap, dan aliran melalui bendung, HEC-RAS memakai persamaan-persamaan empiris. Untuk aliran tak permanen, HEC-RAS memakai persamaan kekekalan massa (*continuity, conservation of mass*) dan persamaan momentum. Kedua persamaan dituliskan dalam bentuk persamaan *diferensial parsial*, yang kemudian diselesaikan dengan metode *finite difference approximation* berskema implisit. Setelah penampang ditentukan maka HEC-RAS akan menghitung profil muka air.

1. Kapasitas Debit Tampang

Dalam HEC-RAS penampang sungai atau saluran ditentukan terlebih dahulu, kemudian luas penampang akan dihitung. Untuk mendukung fungsi saluran sebagai penghantar aliran maka penampang saluran dibagi atas beberapa bagian. Pendekatan yang dilakukan HEC-RAS adalah membagi area penampang berdasarkan dari nilai “n” (koefisien kekasaran) sebagai dasar bagi pembagian penampang. Setiap aliran yang melalui pada bagian tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan *Manning* berikut ini.

$$Q = K \cdot S_f^{\frac{1}{2}} \quad (3.33)$$

$$K = \frac{1,486}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \quad (3.34)$$

dengan :

K = Nilai pengantar aliran pada unit,

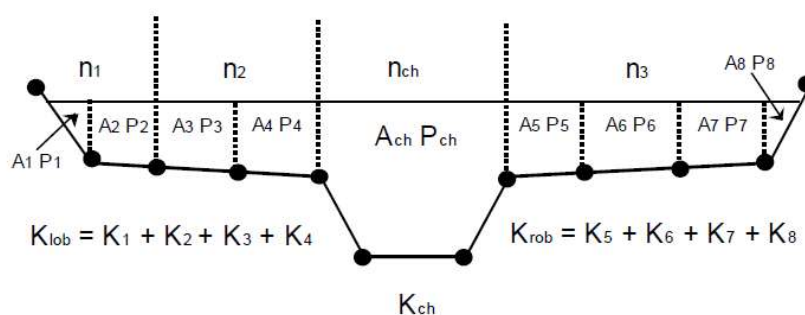
n = Koefisien kekasaran manning,

A = Luas bagian penampang,

R = Jari-jari hidrolis, dan

S_f = Kemiringan aliran.

Perhitungan nilai K dapat dihitung berdasarkan kekasaran *Manning* yang dimiliki oleh bagian penampang tersebut seperti terlihat pada Gambar 3.10



Gambar 3.10 Pembagian penampang saluran dalam HEC-RAS

(Sumber : *Army Corps of Engineers Hydraulic Engineering Center*, 2010)

Angka kekasaran *Manning* adalah suatu nilai koefisien yang menunjukkan kekasaran suatu permukaan saluran atau sungai baik pada sisi maupun dasar saluran atau sungai. Nilai kekasaran *Manning* memiliki hubungan terhadap kecepatan aliran yang terjadi pada suatu penampang. Semakin besar nilai angka kekasaran *Manning*, maka kecepatan aliran pada suatu penampang akan semakin kecil, begitu pula sebaliknya semakin kecil angka kekasaran *Manning* maka kecepatan aliran yang terjadi pada suatu penampang akan semakin besar. Nilai angka kekasaran *Manning* berbeda-beda tergantung dari tipe saluran. Adapun besaran angka koefisien *Manning* dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

Tabel 3.4 Nilai Koefesien Manning

No	Dinding Saluran	Kondisi	Nilai
1	Pasangan Batu	Plesteran semen kurang halus	0,0100
		Plesteran semen dan pasir	0,0120
		Beton dilapisi baja	0,0120
		Beton dilapisi kayu	0,0130
		Batu bata kosong kasar	0,0150
		Pasangan batu keadaan jelek	0,0200
2	Batu Kosong	Halus dipasang rata	0,0130
		Batu bengkaran batu pecah & batu belah	0,0170
		Batu guling dipasang dalam semen kerikil halus padat	0,0200
3	Tanah	Rata dan dalam keadaan baik	0,0200
		Dalam keadaan biasa	0,0225
		Dengan batu-batu dan tumbuh-tumbuhan	0,0250
		Dalam keadaan jelek	0,0350
		Sebagian terganggu oleh batu-batu dan tumbuh-tumbuhan	0,0500

2. Persamaan Energi (Konservasi Energi)

HEC-RAS menghitung profil muka air di sepanjang alur secara urut dari satu tampang lintang ke tampang lintang berikutnya. Prosedur perhitungan didasarkan pada penyelesaian persamaan aliran satu dimensi melalui saluran terbuka. aliran satu dimensi ditandai dengan besarnya kecepatan yang sama pada seluruh penampang atau digunakan kecepatan rata-rata. Profil muka air dihitung dari suatu penampang dengan persamaan energi melalui prosedur iterasi yang disebut dengan *standard step method*. Persamaan Energi yang dimaksud adalah sebagai berikut ini.

$$z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{g} = z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{g} + h_f \quad (3.35)$$

dengan,

z = Fungsi titik di atas garis referensi,

h = Fungsi tekanan di suatu titik,

v = Kecepatan aliran, dan

g = Gaya gravitasi bumi.

3. Persamaan Kontinuitas (Konservasi Massa)

Prinsip kontinuitas menunjukkan bahwa jumlah penambahan volume sama dengan besarnya aliran netto yang lewat pada suatu penampang sungai yang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$\frac{\partial A_T}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0 \quad (3.36)$$

dengan :

- x = Jarak (m),
- A = Luas penampang,
- Q = Debit aliran (m³/detik), dan
- q_l = Debit lateral (m³/detik).

4. Kehilangan Tinggi Energi

Kehilangan tinggi energi “h_e” di antara dua tampang lintang terdiri dari dua komponen, yaitu kehilangan energi karena gesekan (*friction losses*) dan kehilangan energi karena perubahan tampang (*contraction or expansion losses*). Kehilangan energi antara tampang 2 dan 1 dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$h_e = L \cdot S_f + C \left| \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \right| \quad (3.37)$$

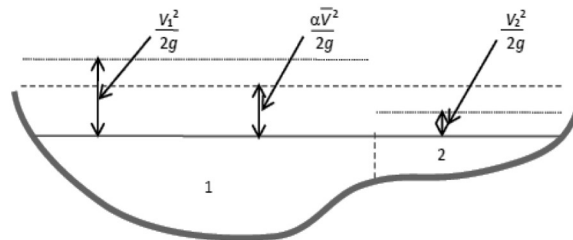
dengan :

- L = Panjang antar kedua ruas penampang sungai,
- S_f = *Representative friction slope* antar kedua tampang,
- C = Koefisien kehilangan energi akibat perubahan penampang (kontraksi dan ekspansi), dan
- α = Koefisien tinggi kecepatan

Dalam persamaan tersebut “C” adalah koefisien kontraksi atau ekspansi. HEC-RAS menganggap aliran melewati kontraksi (persempitan tampang) apabila tinggi kecepatan hilir lebih besar daripada tinggi kecepatan hulu. Sebaliknya, ketika tinggi kecepatan hulu lebih besar daripada tinggi kecepatan hilir, HEC-RAS menganggap aliran melewati ekspansi (perlebaran tampang).

5. Tinggi Energi Kinetik Rata-Rata

Karena HEC-RAS adalah model satu-dimensi, maka walaupun suatu tampang lintang dikelompokkan ke dalam beberapa bagian, namun hanya ada satu muka air di tampang lintang tersebut. Dengan demikian, di satu tampang hanya ada satu nilai tinggi energi kinetik (rata-rata). Untuk satu muka air, tinggi energi kinetik rata-rata dihitung dengan merata-ratakan tinggi energi kinetik di ketiga bagian tampang (*left overbank, main channel, right overbank*) yang diberi bobot berdasarkan debit di setiap bagian tampang. Gambar 2.3 menunjukkan contoh hitungan tinggi energi kinetik rata-rata di sebuah tampang yang dibagi menjadi *right overbank* dan *main channel* (tidak ada *left overbank*).



Gambar 3.11 Hitungan tinggi energi kinetik rata-rata di suatu tampang
(Sumber : *Army Corps of Engineers Hidraulic Engineering Center, 2010*)

Untuk menghitung tinggi energi kinetik rata-rata, diperlukan koefesien tinggi kecepatan “ α ” yang dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini.

$$\frac{\alpha \cdot v^2}{2g} = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{Q_1 + Q_2} \quad (3.38)$$

Dengan demikian didapatkan persamaan sebagai berikut ini,

$$\alpha = \left| \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 \dots + Q_n V_n^2}{Q V^2} \right| \quad (3.39)$$