

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 UMUM

Studi pustaka dalam laporan ini berisi dasar-dasar teori yang akan digunakan dalam perencanaan jaringan drainase pada suatu wilayah, khususnya daerah dekat pantai dalam penanganan banjir/genangan akibat air laut pasang dan adanya genangan air yang diakibatkan oleh banjir kiriman dan banjir lokal pada musim hujan di daerah dekat pantai tersebut.

2.2 BANJIR

Banjir merupakan peristiwa alam yang dapat menimbulkan kerugian harta benda serta menimbulkan korban jiwa disamping itu dapat pula merusak bangunan sarana dan prasarana, dan lingkungan hidup serta merusak tata kehidupan masyarakat. Banjir yaitu suatu keadaan aliran sungai dimana permukaan airnya lebih tinggi dari pada suatu ketinggian tertentu (pada umumnya disamakan dengan ketinggian bantaran).

Pengendalian banjir pada dasarnya dapat dilakukan dengan berbagai cara, namun yang lebih penting adalah dipertimbangkan secara keseluruhan dan dicari sistem yang paling optimal.

2.2.1 Klasifikasi Banjir dan Penyebabnya.

Banjir berdasarkan penyebab utamanya dapat dibagi menjadi tiga yaitu :

1. Banjir Kiriman

Yang dimaksud dengan banjir kiriman adalah banjir yang disebabkan oleh melimpasnya air hujan dari suatu daerah yang lebih tinggi ke daerah yang lebih rendah atau daerah genangan, jumlah air yang harus ditampung oleh daerah dataran rendah tersebut akan bertambah besar dengan adanya banjir kiriman ini. Oleh karena itu harus diusahakan agar banjir yang berupa banjir kiriman tersebut disalurkan melalui saluran yang ada ataupun dengan cara lain sehingga tidak mengganggu daerah dataran rendah.

2. Banjir Genangan / Lokal

Yang dimaksud dengan banjir genangan adalah banjir yang disebabkan adanya genangan yang berasal dari air hujan lokal. Air hujan lokal adalah air hujan yang terjadi pada daerah itu sendiri. Jika curah hujan ini cukup tinggi dan terus menerus sehingga di daerah tangkapan hujan terjadi penjumlahan atau air yang melebihi kapasitas-kapasitas saluran yang ada, maka air hujan lokal ini dapat menjadi limpasan permukaan. Limpasan permukaan inilah yang pada umumnya dapat mengakibatkan banjir. Hal ini dapat menjadi parah jika kapasitas saluran tidak memadai akibat dari :

- Sedimentasi dan sampah di saluran
- Penyempitan dan penutupan saluran karena adanya bangunan liar
- Hambatan fasilitas umum, seperti tiang listrik, pipa PDAM.

3. Banjir Air Laut Pasang / ROB

Umumnya banjir air laut pasang / ROB terjadi pada kota pantai yang elevasi / ketinggian muka tanahnya lebih rendah dari muka air laut pasang. Sedangkan banjir akibat back water (aliran balik) dari saluran pengendali banjir terjadi pada kota pantai maupun kota yang jauh dari pantai. Banjir akibat genangan air laut pasang (rob) tidak dapat diatasi dengan sistem drainase gravitasi, tetapi harus diatasi dengan sistem drainase pompa, agar pompa dapat berfungsi dengan maksimal maka perlu diberikan *Retarding Pond*.

2.2.2 Kerugian Banjir

Di Indonesia, walaupun waktu terjadinya banjir bervariasi hampir semua daerah menghadapi bahaya banjir yang signifikan. Kerugian dan kerusakan akibat banjir adalah sebesar dua pertiga dari semua bencana alam yang terjadi (Departemen Sosial 1987 dan 1989 dalam Direktorat Sungai 1994). Setiap tahun banjir hampir ± 300 peristiwa banjir terjadi menggenangi ± 150.000 ha dan merugikan sekitar satu juta orang.

Di Semarang kerugian banjir dan dampak yang terjadi selama ini akibat *rob* (plus banjir di musim hujan) bila dinilai dan di transfer dalam bentuk uang, kuantitasnya pasti sudah triliunan rupiah.

Di sisi lain, akibat pengelolaan yang salah air bisa menjadi bencana bagi kehidupan dengan air yang berlebihan di suatu tempat akibat hujan yang besar dapat menjadi banjir dan genangan yang menimbulkan kerugian sangat besar. Sebaliknya kekurangan air memungkinkan terjadinya bencana kekeringan (*drought*), di Amerika secara umum banjir menyebabkan kerusakan yang lebih parah dibandingkan dengan bencana alam lainnya (Grigg, 1996). Lebih jauh banjir merupakan bencana alam yang paling merusak dan mahal (Schilling dkk, 1987) dan banjir diperhitungkan $\pm 85\%$ seluruh bencana yang diumumkan Presiden AS setiap tahunnya dan 6 juta ha (7 % dari tanah di AS) adalah di dalam dataran banjir.

2.3 DRAINASE

Drainase yang berasal dari bahasa Inggris *drainage* mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. Dalam bidang teknik sipil, drainase dapat di definisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan / lahan, sehingga fungsi kawasan / lahan tidak terganggu. Drainase dapat juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas. Jadi drainase menyangkut tidak hanya air permukaan tapi juga air tanah.

Secara umum drainase dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal. Dirunut dari hulunya, bangunan sistem drainase terdiri dari saluran penerima (*interceptor drain*), saluran pengumpul (*collector drain*), saluran pembawa (*conveyor drain*), saluran induk (*main drain*), dan badan air penerima (*receiving waters*). Di sepanjang sistem sering dijumpai bangunan lainnya, seperti gorong-gorong, siphon, jembatan air (*aqueduct*), pelimpah, pintu-pintu air, bangunan terjun, kolam tando, dan stasiun pompa.

Drainase sering direncanakan seolah-olah bukan pekerjaan yang penting, atau paling tidak dianggap kecil dibandingkan dengan pekerjaan-pekerjaan pengendalian banjir. Padahal pekerjaan darainase merupakan pekerjaan yang rumit dan kompleks, bias jadi memerlukan biaya, tenaga dan waktu yang lebih besar dibandingkan dengan pekerjaan pengendalian banjir.

Secara fungsional sulit memisahkan secara jelas antara sistem drainase dan pengendalian banjir, namun secara praktis dapat dikatakan bahwa drainase menangani kelebihan air sebelum masuk ke alur-alur besar atau sungai.

Saat ini sistem drainase sudah menjadi salah satu infrastruktur perkotaan yang sangat penting. Kualitas manajemen suatu kota dapat dilihat dari kualitas sistem drainase yang ada, dengan sistem drainase yang baik dapat membebaskan kota dari genangan air.

2.3.1 Klasifikasi Drainase

2.3.1.1 Drainase Sistem Polder

Drainase sistem polder adalah sistem penanganan drainase perkotaan dengan cara mengisolasi daerah yang dilayani (*catchment area*) terhadap masuknya air dari luar sistem, baik berupa limpasan (*over flow*) maupun di bawah permukaan tanah (gorong-gorong dan rembesan), serta mengendalikan ketinggian muka air banjir di dalam sistem sesuai dengan rencana.

Drainase sistem polder digunakan apabila penggunaan drainase sistem gravitasi sudah tidak dimungkinkan lagi, walaupun biaya investasi dan operasinya lebih mahal.

Drainase sistem polder akan digunakan untuk kondisi sebagai berikut:

1. Elevasi/ketinggian muka tanah lebih rendah daripada elevasi muka air laut pasang, pada daerah tersebut sering terjadi genangan akibat air pasang (*rob*).
2. Elevasi muka tanah lebih rendah daripada muka air banjir di sungai (pengendali banjir) yang merupakan *outlet* dari saluran drainase kota.
3. Daerah yang mengalami penurunan tanah (*land subsidence*), sehingga daerah yang semula lebih tinggi dari muka air laut pasang maupun muka air banjir di sungai pengendali banjir diprediksikan akan tergenang akibat air laut pasang maupun *backwater* (aliran balik) dari sungai pengendali banjir.

Pengisolasian dapat dilakukan dengan penanggulan atau dengan mengelakkan air yang berasal dari luar kawasan polder. Air di dalam polder dikendalikan dengan sistem drainase, atau kadang-kadang dikombinasikan dengan sistem irigasi. Dengan demikian, polder mempunyai sifat-sifat sebagai berikut :

1. Polder adalah daerah yang dibatasi dengan baik, dimana air yang berasal dari luar kawasan tidak boleh masuk, hanya air hujan (dan kadang-kadang air rembesan) pada kawasan itu sendiri yang dikumpulkan.
2. Dalam polder tidak ada aliran permukaan bebas seperti pada daerah tangkapan air alamiah, tetapi dilengkapi dengan bangunan pengendali pada pembuangannya (dengan penguras atau pompa) untuk mengendalikan aliran keluar.
3. Muka air di dalam polder (air permukaan maupun air bawah permukaan) tidak bergantung pada permukaan air di daerah sekitarnya dan dinilai berdasarkan elevasi lahan, sifat-sifat tanah, iklim dan tanaman.

Komponen-komponen yang harus ada pada sistem polder meliputi :

1. Tanggul keliling dan/atau pertahanan laut (*sea defense*) atau konstruksi isolasi lainnya.

Tanggul keliling dalam sistem drainase polder memiliki kesamaan fungsi dengan pintu air, yaitu untuk mengisolasi atau memproteksi daerah tangkapan (*catchment area*)/pembatas hidrologi sistem polder terhadap masuknya air banjir dari luar maupun dari pengaruh air laut (pasang surut dan gelombang), baik yang melalui permukaan tanah maupun di bawah permukaan tanah.

Pada daerah datar, khususnya daerah pantai, sering dihadapi kondisi saluran drainase mempunyai pembuangan (*outlet*) di badan air yang muka airnya berfluktuasi. Saluran drainase yang membuang langsung ke laut dipengaruhi oleh pasang surut, sedangkan drainase yang membuang ke saluran pengendali banjir dipengaruhi oleh tinggi banjir. Pada kondisi air di hilir tinggi, baik akibat pasang maupun air banjir, maka air dari drainase tidak dapat mengalir ke pembuang, bahkan dimungkinkan terjadi aliran balik.

Pada ujung saluran drainase perlu dilengkapi dengan bangunan pengatur berupa pintu pengatur untuk menghindari terjadinya aliran balik. Ada dua kelompok pintu pengatur, yaitu pintu manual dan pintu otomatis.

Penggunaan pintu manual untuk sistem drainase atau pengendalian banjir banyak kekurangannya, yaitu:

- Air pasang atau banjir dapat terjadi kapan saja dan sering terjadi tengah malam. Pada saat itu, operator pintu sering ketiduran.

- Pada pintu ukuran besar, pembukaan secara manual sangat memakan waktu dan kemungkinan bisa kalah cepat dengan datangnya banjir.

2. Sistem drainase lapangan (*field drainage system*).

Sistem drainase lapangan (lahan) disebut juga sistem minor, sedangkan sistem pembawa dan penguras disebut sistem utama (*mayor*). Sistem pembawa terdiri dari saluran tersier, sekunder, dan primer. Keempat komponen dalam sistem drainase harus direncanakan secara terpadu, tidak ada artinya membuat sistem lapangan (lahan) yang bagus dan penguras yang handal dengan kapasitas yang besar jika sistem pembawanya tidak mampu menyalurkan air dari lapangan (lahan) ke penguras.

Titik awal dalam perencanaan sistem drainase adalah tingkat lapangan (lahan), perencanaan bagian-bagian yang lain tergantung pada keluaran yang diperoleh dari lapangan (lahan). Sistem drainase lapangan didesain sebagai sistem minor yang berfungsi menangkap air (*interceptor drain*), sedangkan sistem pembawa dan *outfall* sebagai sistem induk.

3. Sistem pembawa (*conveyance system*).

Sistem pembawa terdiri dari saluran tersier, sekunder, dan primer, berfungsi untuk menyalurkan genangan yang terjadi pada daerah tangkapan yang terletak di dalam sistem polder kolam penampung dan ke stasiun pompa, sedangkan kondisi badan air penerima di luar kawasan drainase harus juga dipertimbangkan. Kesulitan mungkin muncul berkaitan dengan pengaruh air balik pada sistem yang mengandalkan sistem gravitasi, pengendapan sedimen (seperti delta), energi yang terbatas khususnya dalam drainase pasang surut.

Sistem pembawa harus menjamin dapat menampung debit banjir maksimum dan ketinggian muka air banjir disepanjang saluran drainase dan diusahakan selalu dibawah permukaan tanah diseluruh daerah tangkapan drainase sistem polder termasuk pada daerah cekungan dengan tinggi jagaan tertentu. Slope (kemiringan) dasar saluran dan muka air ditentukan berdasarkan slope muka tanah rata-rata, ketinggian dasar saluran tergantung pada ketinggian muka air banjir dan kedalaman air yang dipakai.

4. Kolam penampung dan stasiun pompa (*outfall system*).

Kolam penampungan (retensi) adalah suatu bangunan atau konstruksi yang berfungsi untuk menampung sementara air banjir atau hujan dan sementara itu sungai induknya tidak dapat menampung lagi debit banjir yang ada. Perencanaan kolam penampungan ini dikombinasikan dengan pompa sehingga pembuangan air dari kolam penampungan bisa lebih cepat.

Dimensi kolam penampungan ini didasarkan pada volume air akibat hujan selama t menit yang telah ditentukan, artinya jika hujan sudah mencapai t menit, maka pompa harus sudah dioperasikan sampai elevasi air dikolam penampungan mencapai batas minimum. Untuk mengantisipasi agar kolam penampungan tidak meluap melebihi kapasitasnya maka petugas yang mengoperasikan pompa harus selalu siap pada waktu hujan.

Suatu daerah dengan elevasi muka tanah yang lebih rendah dari muka air laut dan muka air banjir di sungai menyebabkan daerah tersebut tidak dapat dilayani oleh drainase sistem gravitasi. Maka daerah tersebut perlu dilengkapi dengan stasiun pompa. Pompa ini berfungsi untuk membantu mengeluarkan air dari kolam penampung banjir maupun langsung dari saluran drainase pada saat air tidak dapat mengalir secara gravitasi.

Rumus yang digunakan untuk menghitung kapasitas pompa apabila volume tampungan ditentukan adalah:

$$Q_p = Q_{maks} - \left(\frac{2 \times Q_{maks} \times V_t}{nt_c} \right)^{0,5}$$

(*Ir Sugiyanto, M.Eng, 2001, Diklat kuliah Pengendali Banjir, UNDIP Semarang*)

di mana :

- Q_p = kapasitas pompa ($m^3/detik$),
- Q_{maks} = debit banjir maksimum ($m^3/detik$),
- V_t = volume tampungan total (m^3),
- nt_c = lama terjadinya banjir (detik).

Volume tampungan total (V_t) terdiri dari 3 (tiga) komponen, yaitu:

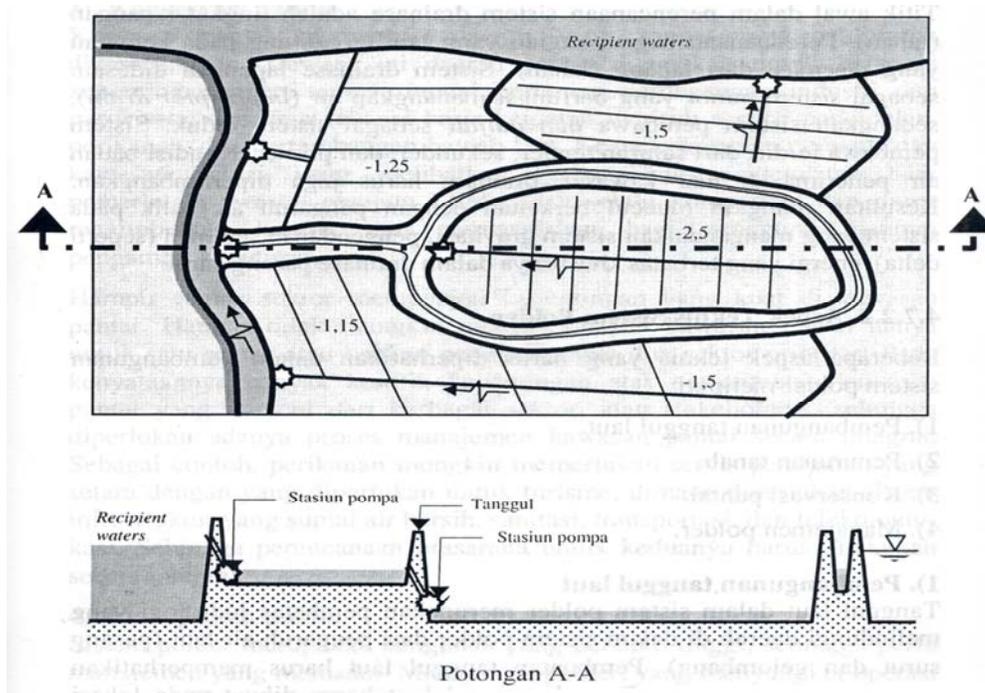
1. Volume tampungan di kolam retensi (V_k),
2. Volume genangan yang diizinkan terjadi (V_g),
3. Volume tampungan di saluran drainase (V_s).

5. Badan air penerima (*recipient waters*).

Badan air penerima (*recipient waters*) berfungsi sebagai tempat akhir buangan drainase dari sistem drainase polder berasal dari sistem pembawa (*conveyance system*) berfungsi untuk menyalurkan genangan pada daerah tangkapan yang terletak di dalam sistem polder ke kolam penampung dan ke stasiun pompa (*outfall system*).

Badan air penerima (*recipient waters*) dalam sistem polder terletak diluar sistem drainase seperti : sungai utama (*main drain*)/sungai banjir kanal (dari stasiun pompa dibuang ke sungai utama) , laut (dari stasiun pompa langsung dibuang kelaut).

Kelima komponen sistem polder harus direncanakan secara integral, sehingga sistem dapat bekerja secara optimal. Tidak ada artinya membangun sistem drainase lapangan dan *outfall* yang sempurna dengan kapasitas tinggi, jika saluran pembawa tidak cukup mengalirkan air dari lapangan ke *outfall*, demikian juga sebaliknya.



Gambar 2.1 Sketsa tipikal sistem polder, daerah yang masuk dalam sistem diisolasi terhadap pengaruh air permukaan di luar sistem dengan membuat tanggul keliling dan saluran pengelak

2.3.1.2 Drainase Sistem Gravitasi

Drainase sistem gravitasi adalah sistem drainase perkotaan dengan cara menampung dan membuang limpasan air hujan dan membuangnya ke badan air (*receiving waters*) terdekat lewat sistem pembawa terdiri dari saluran tersier, sekunder, dan primer, berfungsi untuk menyalurkan genangan yang terjadi pada daerah tangkapan yang lebih tinggi ke daerah yang lebih rendah. Sistem gravitasi akan menemui kesulitan apabila terjadi pengendapan sedimen, energi yang terbatas khususnya dalam drainase pasang surut. Sistem pembawa harus menjamin dapat menampung debit banjir maksimum dan ketinggian muka air banjir disepanjang saluran drainase dan diusahakan selalu dibawah permukaan tanah diseluruh daerah tangkapan drainase. Slope (kemiringan) dasar saluran dan muka air ditentukan berdasarkan slope muka tanah rata-rata, ketinggian dasar saluran tergantung pada ketinggian muka air banjir dan kedalaman air yang dipakai.

Saluran drainase sistem gravitasi direncanakan untuk dapat melewati debit rencana dengan aman, perencanaan teknis saluran drainase mengikuti tahapan-tahapan sebagai berikut :

1. Menentukan debit rencana.
2. Menentukan jalur (trase) saluran.
3. Merencanakan profil memanjang saluran.
4. Merencanakan penampang melintang saluran.
5. Mengatur dan merencanakan bangunan-bangunan serta fasilitas sistem drainase.

Dalam perencanaan perlu memperhatikan cara pelaksanaan, ketersediaan lahan dan bahan, biaya, serta operasi dan pemeliharaan setelah pembangunan selesai. Seluruh tahapan pekerjaan yang disebutkan diatas tidak berdiri sendiri-sendiri tetapi saling kait mengkait, sehingga dalam proses perencanaan perlu saling cek.

Tahapan-tahapan perencanaan teknis saluran drainase sistem gravitasi dapat dijelaskan secara umum sebagai berikut :

1. Menentukan Debit Rencana

Perhitungan debit rencana untuk saluran drainase di daerah perkotaan dapat dilakukan dengan menggunakan rumus rasional, atau hidrograf satuan. Dalam perhitungan waktu konsentrasi dan koefisien limpasan perlu memperhitungkan perkembangan tata guna lahan di masa mendatang.

Data debit tidak selalu tersedia untuk sungai-sungai kecil, apalagi saluran drainase, sebagai gantinya diperlukan data hujan. Semua data hujan pada stasiun hujan yang ada di daerah perencanaan dan sekitarnya perlu dikumpulkan. Di daerah perkotaan, diperlukan data hujan jangka pendek untuk merencanakan debit rencana.

Dalam perencanaan saluran drainase dapat dipakai standar yang telah ditetapkan, baik debit rencana (periode ulang) dan cara analisis yang dipakai, tinggi jagaan, struktur saluran, dll. Yang tidak kalah pentingnya adalah data aliran sungai atau saluran, khususnya yang akan dijadikan muara sistem drainase, atau saluran drainase induk, atau banjir kanal, saat ini dan perkembangan masa mendatang perlu dipelajari untuk menentukan usaha-usaha perbaikan sistem drainase. Frekuensi, debit banjir maksimum, tinggi maksimum, dan durasi banjir pada sungai tersebut perlu dianalisis, khususnya untuk menentukan debit rencana.

2. Menentukan Jalur (Trase) Saluran

Jalur saluran sedapat mungkin mengikuti pola jaringan yang telah ada, kecuali untuk saluran tambahan, dan/atau saluran drainase di daerah perluasan kota. Penentuan jalur saluran harus memperhatikan jaringan dan/atau rencana fasilitas (komponen infrastruktur) yang lain, misalnya rencana jalan, pipa air minum, jaringan kabel bawah tanah, dll.

3. Merencanakan Profil Memanjang Saluran

Dalam merencanakan profil memanjang pada saluran drainase perlu memperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- Tinggi muka air di muara (*outlet*) atau di hilir saluran harus didesain berdasarkan pada tinggi muka air rencana di saluran buangan, dalam hal ini bisa berupa saluran induk, kolam penampungan, atau langsung kelaut. Dalam hal yang terakhir perlu memperhatikan fluktuasi air laut akibat adanya pasang surut.
- Profil memanjang rencana muka air tertinggi harus direncanakan kira-kira sama dengan kemiringan tanah sepanjang saluran sehingga air hujan dari semua titik di daerah tangkapan dapat mengalir ke saluran dengan lancar.

- Kemiringan muka air tertinggi harus berubah secara berangsur-angsur dari terjal di hulu menjadi landai di hilir.
- Kemiringan dasar saluran didesain sama dengan kemiringan muka air tertinggi kecuali pada saluran yang terpengaruh oleh aliran balik. Elevasi dasar saluran didesain serendah mungkin selama masih praktis untuk menjamin terpenuhinya penampang basah. Hal ini dilakukan karena pelebaran sungai di daerah perkotaan sering mengalami kesulitan.

4. Merencanakan Penampang Melintang Saluran

Penampang melintang saluran cukup didesain dengan menggunakan rumus aliran seragam, kecuali pada bagian saluran yang terpengaruh aliran balik (pengempangan). Pengambilan angka kekasaran Manning perlu memperhatikan kondisi dan kemiringan dasar saluran, dinding saluran dan pemeliharaan saluran.

Bentuk penampang saluran biasanya berupa saluran tunggal, karena keterbatasan lebar saluran (lahan terbatas). Tinggi jagaan perlu disediakan sesuai dengan besar kecilnya debit rencana saluran. Keterbatasan lahan sering menjadi pembatas utama dalam memilih bentuk penampang melintang saluran. Bentuk-bentuk penampang efisien secara hidrolis tentu dapat diterapkan.

Untuk keperluan konstruksi dan pemeliharaan saluran, diperlukan jalan inspeksi di kanan dan kiri saluran. Lebar jalan inspeksi sebaiknya lebih dari 3,00 meter, tetapi untuk daerah perkotaan hal ini kadangkala sulit terpenuhi.

5. Mengatur Dan Merencanakan Bangunan-Bangunan Serta Fasilitas Sistem Drainase

Mengingat bahwa lebar saluran drainase di daerah perkotaan sangat terbatas, maka kemiringan dinding saluran biasanya dibuat lebih tegak, sehingga diperlukan perkuatan untuk menjamin supaya dinding tidak longsor. Perkuatan dinding saluran dapat berupa pasangan batu kali atau lapisan beton, perkuatan ini juga sekaligus berfungsi untuk mencegah terjadinya erosi oleh arus air.

Perkuatan/pelapisan dasar saluran biasanya tidak diperlukan kecuali kecepatan airnya lebih dari 1,50 m/detik, sehingga dikuatirkan terjadi gerusan dasar yang dapat mengakibatkan keruntuhan dinding saluran.

Untuk menghindari kecepatan yang terlalu tinggi, dapat dibuat konstruksi terjunan, sehingga kemiringan dasar saluran dapat dibuat lebih landai.

Di lapangan sering dijumpai adanya fasilitas-fasilitas umum lain yang perlu disesuaikan pada saat pelaksanaan konstruksi saluran drainase, misalnya jembatan-jembatan yang melintang di atas saluran, pipa air bersih, kabel telepon dan kabel listrik bawah tanah, dan lain-lain.

2.3.2 Metode dan Sistem Pengendalian Banjir

Pengendalian banjir pada dasarnya dapat dilakukan dengan berbagai cara, namun yang paling penting adalah dipertimbangkan secara keseluruhan dan dicari sistem yang paling optimal. Kegiatan pengendalian banjir menurut lokasi/daerah pengendalian dapat dikelompokkan menjadi 2 (dua) :

1. Bagian atas, yaitu dengan membangun dam pengendali banjir yang dapat memperlambat waktu tiba banjir dan menurunkan besarnya debit banjir, pembuatan waduk lapangan yang dapat merubah pola hidrograf banjir dan penghijauan di Daerah Aliran Sungai (DAS).
2. Bagian hilir, yaitu dengan melakukan normalisasi alur sungai dan tanggul, sudetan pada alur yang kritis, pembuatan alur pengendali banjir (*flood way*), pemanfaatan daerah genangan untuk penampungan (*retarding basin*).

Pengendalian banjir pada suatu daerah perlu dibuat sistem pengendalian banjir yang baik dan efisien, dengan memperhatikan kondisi yang ada dan pengembangan pemanfaatan sumber air mendatang. Untuk menanggulangi masalah genangan perlu suatu metode penanganan genangan serta perencanaan yang menyeluruh dan terpadu dengan sasaran utama yang akan dicapai yaitu penanganan daerah genangan. Menurut Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia (HATHI), metode pengendalian genangan adalah sebagai berikut :

1. Sistem drainase yang menyeluruh dan terpadu
2. Normalisasi drainase yang ada
3. Pembuatan kolektor drainase
4. Pembuatan kolam penampungan
5. Pengerukan alur sungai/drainase sampai ke muara

6. Pembuatan pintu-pintu klep otomatis sebagai penahan susupan pasang naik air laut.
7. Pompanisasi
8. Penimbunan (pengurangan) areal genangan

Wilayah yang terletak di hilir atau daerah pantai dengan elevasi yang lebih rendah dari muka air laut apabila terjadi pasang air laut, maka perlu ditanggulangi dengan membuat bangunan pengendalian banjir pada wilayah tersebut.

Sebagai alternatif pemecahan masalah yang menjadi pertimbangan untuk menangani banjir genangan di daerah studi adalah sebagai berikut :

1. Pintu Klep
2. Normalisasi Saluran
3. Stasiun Pompa Air
4. Kolam Penampungan

1. Pintu Klep

Pada daerah datar, khususnya daerah pantai sering menghadapi kondisi saluran drainase mempunyai pembuangan (*outlet*) di badan air yang muka airnya berfluktuasi. Saluran drainase yang membuang langsung ke laut dipengaruhi oleh pasang surut, sedangkan drainase yang membuang ke banjir kanal dipengaruhi oleh tinggi banjir. Pada kondisi air di hilir tinggi, baik akibat air pasang maupun air banjir maka air dari drainase tidak dapat mengalir ke pembuang bahkan dimungkinkan terjadi aliran balik (*back water*). Pada ujung saluran drainase perlu dilengkapi dengan bangunan pengatur berupa pintu pengatur untuk menghindari terjadinya aliran balik. Ada dua kelompok pintu pengatur, yaitu pintu manual dan pintu otomatis.

Penggunaan pintu manual untuk sistem drainase atau pengendalian banjir tidak populer, karena banyak kekurangannya seperti berikut :

- Air pasang atau banjir dapat terjadi kapan saja dan sering terjadi tengah malam, pada saat itu operator pintu sering ketiduran.
- Pada pintu ukuran besar, pembukaan secara manual sangat memakan waktu dan bisa jadi kalah cepat dengan datangnya banjir.

Oleh karena itu sekarang banyak dipakai pintu otomatis, baik yang bekerja secara mekanis maupun elektrik.

Pintu klep (pintu otomatis) berfungsi untuk membatasi masuknya air pasang dari hilir sungai yang melewati kapasitas saluran, dan pintu klep ini dibuka apabila muka air di hilir sudah berada di bawah ambang kapasitas, sehingga air di saluran dapat mengalir kembali.

Gerakan membuka dan menutup pintu klep (pintu otomatis) mengandalkan keseimbangan momen yang ditimbulkan oleh pemberat pintu dan/atau pelampung dan tekanan air. Pintu klep sederhana terbuka karena desakan aliran air dibantu oleh momen dari pemberat pintu, yaitu pada saat air di hilir naik (akibat pasang surut atau banjir), maka tekanan air di hilir lebih tinggi dari tekanan air di hulu, sehingga mendorong pintu untuk menutup.

Sedangkan rumus yang digunakan untuk pintu klep sederhana itu sendiri adalah sebagai berikut :

$$Q = \mu \left(H_w - \frac{\Delta H}{3} \right) B \sqrt{2gH}$$

(Ir Sugiyanto, M.Eng, 2001, Diklat kuliah Pengendali Banjir, UNDIP Semarang)

dimana :

Q = debit banjir (m³/detik)

μ = koefisien pengaliran

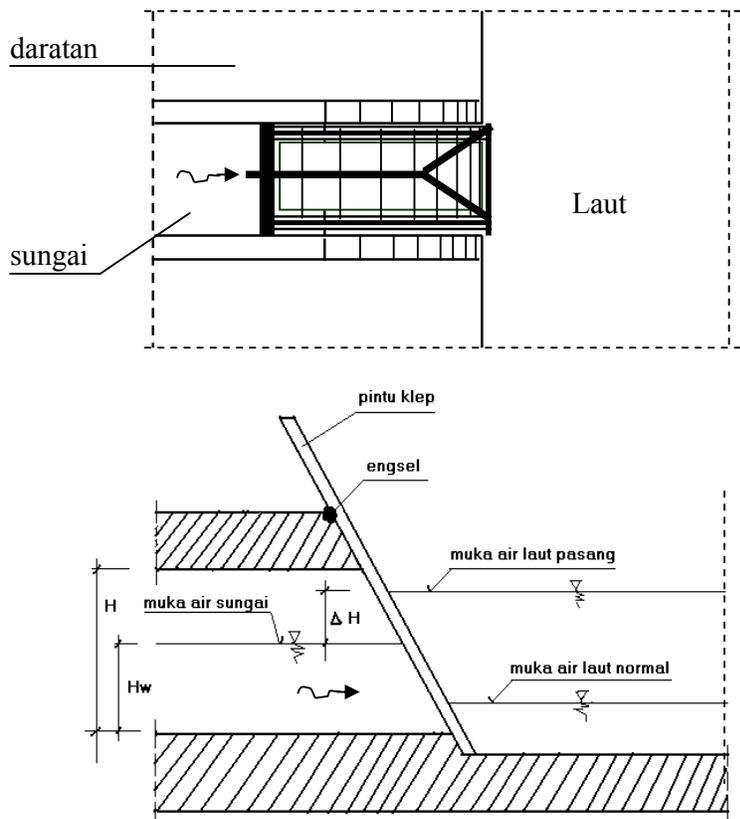
H_w = tinggi air sungai normal (m)

ΔH = perbedaan tinggi muka air hulu dan hilir (m)

g = gravitasi bumi (9,81 m/detik²)

B = lebar pintu (m)

H = tinggi pintu klep (m)



Gambar 2.2 Sketsa Pintu Klep

2. Normalisasi Saluran

Normalisasi alur saluran terutama dilakukan berkaitan dengan pengendalian banjir akibat air hujan, yang merupakan usaha untuk memperbesar kapasitas pengaliran saluran. Hal ini dimaksudkan untuk menampung debit banjir yang terjadi untuk selanjutnya dialirkan ke saluran yang lebih besar ataupun langsung menuju ke sungai, sehingga tidak terjadi limpasan dari saluran tersebut.

Pekerjaan normalisasi alur saluran pada dasarnya meliputi kegiatan seperti berikut :

- Normalisasi bentuk penampang melintang
- Mengatur penampang memanjang saluran
- Menstabilkan alur saluran
- Menentukan tinggi jagaan

❖ **Perencanaan Penampang Melintang Saluran**

Penampang melintang saluran perlu direncanakan untuk mendapatkan penampang yang ideal dan efisien dalam penggunaan lahan. Penampang ideal yang dimaksud merupakan penampang yang stabil terhadap perubahan dan akibat pengaruh erosi dan sedimentasi maupun pengaruh pola aliran yang terjadi. Sedangkan penggunaan lahan yang efisien dimaksudkan untuk memperhatikan lahan yang tersedia, sehingga tidak menimbulkan permasalahan terhadap pembebasan tanah.

Pada umumnya bentuk penampang yang biasa pada saluran-saluran pembuang kota adalah bentuk penampang tunggal mengingat pada banyak hal yang mendukung untuk digunakannya panampang ini, antara lain :

- Luas lahan yang tersedia untuk penampang melintang yang terbatas karena lebar jalan.
- Debit yang dialirkan melalui saluran-saluran yang ada tidak begitu besar.

Sedangkan rumus-rumus yang digunakan dalam mendimensi saluran dengan penampang tunggal adalah sebagai berikut :

1. Penampang saluran tunggal berbentuk persegi empat

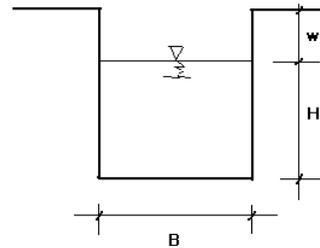
$$V = (1/n) \cdot R^{(2/3)} \cdot I^{(1/2)} \quad (\text{m/detik})$$

$$R = A/P \quad (\text{m})$$

$$P = B + 2H \quad (\text{m})$$

$$A = B \cdot H \quad (\text{m}^2)$$

$$A = Q/V \quad (\text{m}^2)$$



2. Penampang saluran tunggal berbentuk trapesium

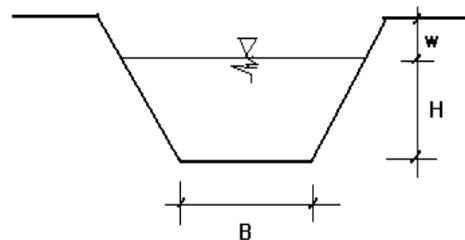
$$V = (1/n) \cdot R^{(2/3)} \cdot I^{(1/2)} \quad (\text{m/detik})$$

$$R = A/P \quad (\text{m})$$

$$P = B + 2H \sqrt{1 + m^2} \quad (\text{m})$$

$$A = H (B + m \cdot H) \quad (\text{m}^2)$$

$$A = Q/V \quad (\text{m}^2)$$



Dimana :

V = kecepatan aliran (m/detik)

A = luas penampang aliran (m²)

P = keliling basah aliran (m)

R = jari-jari hidrolis (m)

n = kekasaran manning

I = kemiringan dasar saluran

B = lebar dasar saluran (m)

H = tinggi air (m)

m = kemiringan talud (1 vertikal : m horisontal)

w = tinggi jagaan (m)

Sedangkan faktor-faktor lain yang perlu diperhatikan dalam penentuan bentuk penampang melintang saluran :

- Angkutan sedimen saluran
- Perbandingan debit dominan dan debit banjir

❖ **Tinggi Jagaan Saluran**

Hal-hal yang mempengaruhi besarnya nilai tinggi jagaan pada saluran pembuang adalah besarnya debit banjir, penimbunan sedimen di dasar saluran, berkurangnya penampang efisien hidrolis karena tumbuhnya tanaman, penurunan tebing dan kelebihan jumlah aliran selama terjadinya hujan. Sedangkan secara praktis besarnya tinggi jagaan yang diambil berdasarkan debit banjir, seperti pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Hubungan Debit dengan Tinggi Jagaan Saluran Pembuang

| Debit Banjir (m ³ /detik) | Tinggi Jagaan Tanggul (m) | Tinggi Jagaan Pasangan (m) |
|---|------------------------------|-------------------------------|
| < 0,50 | 0,40 | 0,20 |
| 0,50 - 1,50 | 0,50 | 0,20 |
| 1,50 - 5,00 | 0,60 | 0,25 |
| 5,00 - 10,00 | 0,75 | 0,30 |
| 10,00 – 15,00 | 0,85 | 0,40 |
| > 15,00 | 1,00 | 0,50 |

Sumber : Kriteria Perencanaan Bagian Saluran KP-03, Standar Perencanaan Irigasi Departemen Pekerjaan Umum, tahun 1986.

3. Stasiun Pompa Air

Banjir atau genangan yang terjadi di daerah perkotaan, khususnya daerah yang terletak di dataran rendah dekat pantai dapat berasal dari tiga sumber yaitu : air kiriman dari hulu yang meluap dari sungai utama, hujan setempat, dan genangan akibat air pasang. Begitu sungai utama diperbaiki maka genangan akibat meluapnya sungai tersebut dapat dicegah, namun karena durasi air tinggi di sungai utama tambah panjang di daerah rendah yang dikelilingi tanggul sungai utama susah untuk mengalirkan air masuk ke sungai dan lama genangan tambah panjang, maka kerusakanpun/kerugian tambah besar.

Daerah yang tidak dapat dilayani oleh drainase sistem gravitasi dinamakan daerah drainase interior, sistem drainase yang tidak dapat sepenuhnya mengandalkan gravitasi sebagai faktor pendorong maka perlu dilengkapi dengan stasiun pompa. Pompa ini berfungsi untuk membantu mengeluarkan air dari kolam penampung banjir maupun langsung dari saluran drainase pada saat air tidak dapat mengalir secara gravitasi karena air di muaranya/pengurasnya lebih tinggi baik akibat pasang surut maupun banjir.

Anggap bahwa kerusakan akibat air drainase interior adalah kecil dibandingkan dengan bencana akibat tanggul jebol, namun kondisi daerah drainase interior tetap perlu diperbaiki dalam hal ini diperlukan sistem drainase pompa.

Dalam perencanaan hidraulika sistem pompa, perlu diketahui hal-hal sebagai berikut :

- Aliran masuk (inflow) ke kolam penampung
- Tinggi muka air sungai pada titik keluar (outlet)
- Kolam penampung dan volume tampungan
- Ketinggian air maksimum dan kapasitas pompa yang diperlukan
- Dimensi pompa
- Pola operasi pompa

Stasiun pompa air berfungsi untuk pengaliran air genangan dari daerah yang mempunyai elevasi lebih rendah dari elevasi pembuangan air banjir dilakukan dengan menggunakan sistem pompanisasi. Untuk mencegah terjadinya genangan yang lama, maka pada daerah tersebut dibangun pompa air drainase sebagai pompa pengangkat air dari elevasi yang rendah ke elevasi yang lebih tinggi.

Pompa air drainase umumnya beroperasi pada saat banjir, dan tinggi tekanan serta debitnya berubah-ubah sepanjang waktu. Terdapat berbagai jenis pompa tergantung dari konstruksinya, kapasitas dan spesifikasinya. Untuk pompa drainase umumnya digunakan jenis pompa turbin seperti pompa aliran aksial (*axial flow*) dimana tinggi pompa terutama ditimbulkan oleh gaya sudu pada air, jenis pompa ini banyak digunakan untuk debit yang cukup besar dengan ketinggian rendah (*head kecil*). Selain pompa aliran aksial (*axial flow*) juga pompa aliran semi aksial (*mixed flow*) dimana tinggi pompa sebagian ditentukan oleh gaya dorong putaran sudu-sudu, pompa ini banyak digunakan untuk debit yang cukup besar dengan ketinggian sedang (*head sedang*), termasuk dalam tipe ini adalah pompa ulir (*screw pumps*). Untuk pompa dengan kapasitas debit yang cukup besar dengan ketinggian besar (*head besar*), tinggi pompa terutama ditimbulkan oleh gaya dorong sentrifugal putaran sudu-sudu (*impeller*) pompa ini termasuk tipe pompa centrifugal. Sedangkan rumus yang digunakan untuk menghitung daya pompa (*Dp*) tersebut adalah sebagai berikut :

$$Dp = \frac{Hp \cdot Q \cdot \gamma w}{\eta}$$

Dimana :

Dp = daya pompa (HP)

Hp = $H_s + \sum hf$

γw = berat jenis air (ton/m³)

η = efisiensi pompa (%)

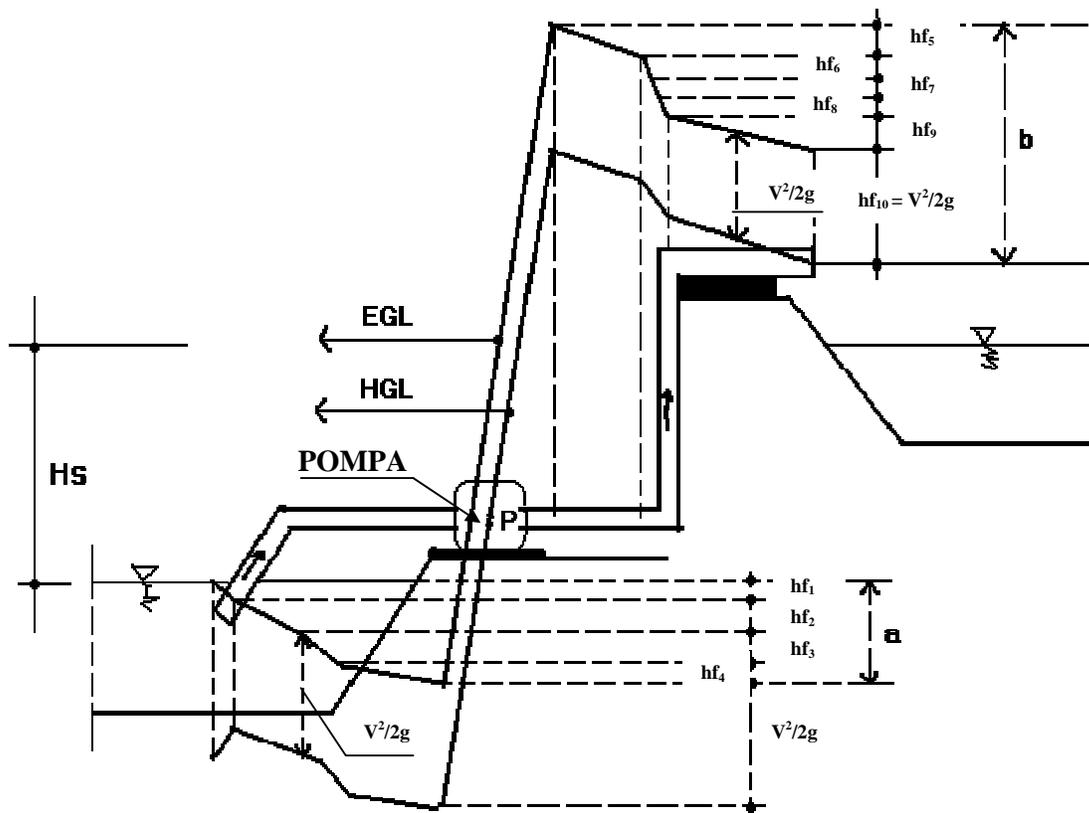
$\sum hf$ = kehilangan tinggi energi (m)

Hs = beda tinggi antara saluran yang ditinjau (m)

EGL = Energy Grade Line

HGL = Hydraulic Grade Line

- Untuk mencari *Hp* dihitung EGL dan HGL



Gambar 2.3 Sketsa EGL dan HGL Pada Pengaliran Lewat Pipa oleh Pompa

$$a = hf_1 + hf_2 + hf_3 + hf_4$$

$$b = hf_5 + hf_6 + hf_7 + hf_8 + hf_9 + hf_{10}$$

$$H_p = H_s + a + b$$

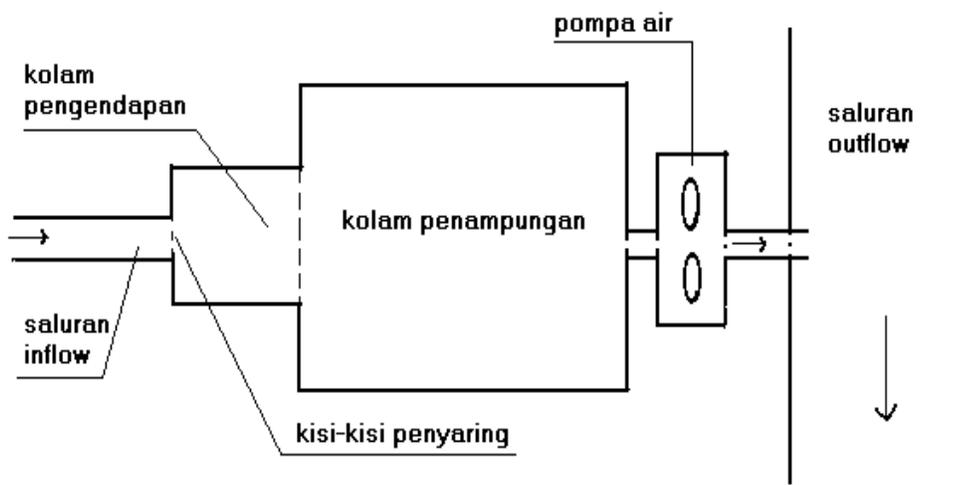
$$H_p = H_s + hf_1 + hf_2 + hf_3 + hf_4 + hf_5 + hf_6 + hf_7 + hf_8 + hf_9 + hf_{10}$$

$$H_p = H_s + \sum hf$$

4. Kolam Penampungan

Kolam penampungan adalah suatu bangunan/konstruksi yang berfungsi untuk menampung sementara air dari saluran atau kali pada saat pintu klep ditutup karena terjadi air pasang tertinggi dari hilir saluran yang bersamaan dengan hujan deras pada hulu saluran. Dimana air genangan tersebut masuk ke kolam penampung melalui saluran drainase (saluran *inflow*) dan keluar menuju laut melalui saluran pembuang (saluran *outflow*) dengan bantuan pompa.

Kolam penampungan ini mempunyai bangunan pelengkap yaitu berupa kolam pengendapan dan kisi-kisi penyaring, dimana fungsi dari kolam penampungan adalah untuk mengendapkan sedimen terbawa sehingga mengurangi endapan sedimen yang masuk ke dalam kolam penampungan, sedangkan fungsi dari kisi-kisi penyaring adalah mencegah masuknya benda-benda yang hanyut menuju kolam penampungan.



Gambar 2.4 Kolam Penampungan

Dimensi kolam penampungan didasarkan pada perhitungan debit rencana yang masuk kolam penampungan dari saluran drainase dan debit rencana yang keluar dari kolam penampungan melalui pompa.

Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung dimensi kolam penampungan ini adalah sebagai berikut :

$$V = L \cdot B \cdot H$$

Dimana :

V = volume kolam penampungan (m³)

L = panjang kolam penampungan (m)

B = lebar kolam penampungan (m)

H = tinggi kolam penampungan (m)

2.4 HIDROLOGI

Hidrologi merupakan salah satu dari ilmu pengetahuan bumi (*earth science*), yang mempelajari secara mendalam mengenai air di bumi atau bidang pengetahuan yang mempelajari/membahas kejadian-kejadian serta penyebab air alamiah di bumi.

Pembahasan itu meliputi terjadinya (*occurance*), peredaran atau sirkulasinya (*circulation*) dan penyebarannya (*distribution*) air di bumi. Perhitungan hidrologi disini adalah perhitungan debit banjir yang merupakan pegangan pokok dalam merencanakan/mendesain bangunan air.

Pekerjaan hidrologi meliputi :

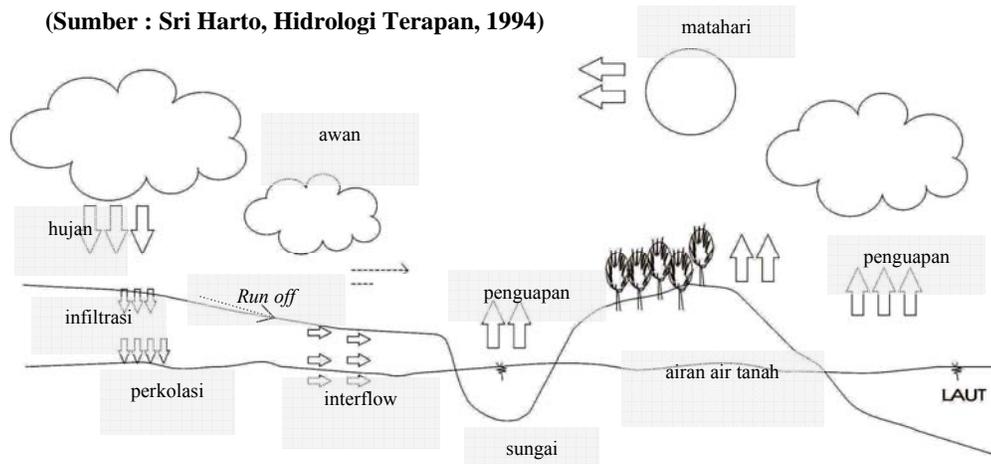
- Pengumpulan data
- Persyaratan data dan metode analisa
- Perhitungan debit banjir

2.4.1 Siklus Hidrologi

Konsep siklus hidrologi merupakan hal yang sangat penting, karena air (baik air permukaan maupun air tanah) bagian dari siklus hidrologi. Siklus hidrologi dimulai dengan terjadinya panas matahari yang sampai pada permukaan bumi, sehingga menyebabkan penguapan. Akibat penguapan ini terkumpul massa uap air, yang dalam kondisi atmosfer tertentu dapat membentuk awan. Akibat dari berbagai sebab klimatologis awan tersebut dapat menjadi awan yang potensial menimbulkan hujan.

Sebagian air hujan tersebut akan tertahan oleh butiran-butiran tanah, sebagian akan bergerak dengan arah horisontal sebagai limpasan (*run off*), sebagian akan bergerak vertikal ke bawah sebagai infiltrasi, sebagian kecil akan kembali ke atmosfer melalui penguapan.

Air yang terinfiltrasi ke tanah mula-mula akan mengisi pori-pori tanah sampai mencapai kadar air jenuh. Apabila kondisi tersebut telah tercapai, maka air tersebut akan bergerak dalam dua arah, arah horisontal sebagai *interflow* dan arah vertikal sebagai perkolasi.



Gambar 2.5 Siklus Hidrologi

2.4.2 Analisa Hujan

2.4.2.1 Hujan Kawasan (Daerah Tangkapan Air = DTA)

Data hujan yang diperoleh dari alat penakar hujan merupakan hujan yang terjadi hanya pada satu tempat atau titik saja (*point rainfall*). Mengingat hujan sangat bervariasi terhadap tempat (*space*), maka untuk kawasan yang luas, satu alat penakar hujan belum dapat menggambarkan hujan wilayah tersebut. Dalam hal ini diperlukan hujan kawasan yang diperoleh dari harga rata-rata curah hujan beberapa stasiun penakar hujan yang ada di dalam dan/atau di sekitar kawasan tersebut.

Ada tiga macam cara yang umum dipakai dalam menghitung hujan rata-rata kawasan, yaitu :

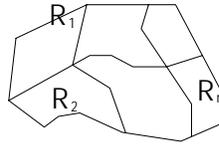
1. Metode Rata-Rata Aljabar

Merupakan metode yang paling sederhana dalam perhitungan hujan kawasan. Metode ini didasarkan pada asumsi bahwa semua penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara. Curah hujan didapatkan dengan mengambil rata-rata hitung (*arithematic mean*) dari penakaran pada penakar hujan areal tersebut. Cara ini cocok untuk kawasan dengan :

- Topografi kawasan rata atau datar
- Alat penakar hujan tersebar merata/hampir merata
- Data individual curah hujan tidak terlalu jauh dari harga rata-ratanya.

Hujan kawasan diperoleh dari persamaan :

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



Gambar 2.6 Metode Rata-Rata Aljabar

di mana :

R = curah hujan rata-rata (mm),

R_1, R_2, R_n = curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ..., n (mm),

n = banyaknya pos penakar hujan.

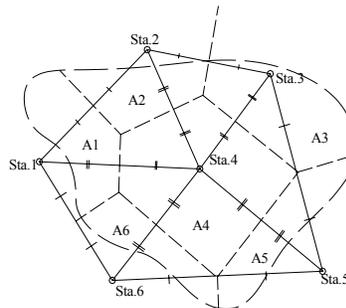
2. Metode Poligon Thiessen

Metode ini dikenal dengan metode rata-rata timbang (*weighted mean*). Cara ini memberikan proporsi luasan daerah pengaruh pos penakar hujan untuk mengakomodasi ketidakseragaman jarak. Daerah pengaruh dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua pos penakar terdekat. Diasumsikan bahwa variasi hujan antara pos yang satu dengan lainnya adalah linier dan bahwa sembarang pos dianggap dapat mewakili kawasan terdekat.

Hasil metode poligon Thiessen lebih akurat dibandingkan dengan metode rata-rata aljabar. Cara ini cocok untuk daerah datar dengan luas 500-5.000 km².

Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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



Gambar 2.7 Metode Poligon Thiessen

di mana :

R = curah hujan rata-rata (mm),

R₁, R₂, R_n = curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2,..., n (mm),

A₁, A₂, A_n = luas areal poligon 1, 2,..., n (km²),

n = banyaknya pos penakar hujan.

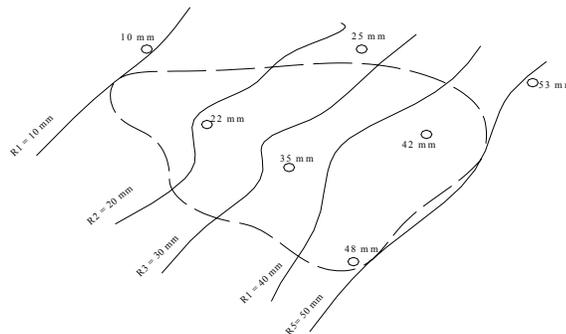
3. Metode Isohyet

Metode ini merupakan metode yang paling akurat untuk menentukan hujan rata-rata, namun diperlukan keahlian dan pengalaman. Cara ini memperhitungkan secara aktual pengaruh tiap-tiap pos penakar hujan. Dengan kata lain, asumsi metode *isohyet* yang menganggap bahwa tiap-tiap pos penakar mencatat kedalaman yang sama untuk daerah sekitarnya dapat dikoreksi.

Metode isohyet cocok untuk daerah berbukit dan tidak teratur dengan luas lebih dari 5.000 km².

Hujan rata-rata DAS dihitung dengan persamaan berikut :

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{A_i(R_i + R_{i+1})}{2}}{\sum_{i=1}^n A_i}$$



Gambar 2.8 Metode Isohyet

di mana :

R = curah hujan rata-rata (mm),

R₁, R₂, R_n = curah hujan yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2,..., n (mm),

A₁, A₂, A_n = luas areal poligon 1, 2,..., n (km²),

n = banyaknya pos penakar hujan.

2.4.2.2 Cara Memilih Metode

Lepas dari kelebihan dan kelemahan ketiga metode yang tersebut di atas, pemilihan metode mana yang cocok dipakai pada suatu DAS dapat ditentukan dengan mempertimbangkan tiga faktor berikut :

1. Jaring-jaring pos penakar hujan dalam DAS

| | |
|-----------------------------------|---|
| Jumlah pos penakar hujan cukup | Metode Isohyet, Poligon Thiessen atau Rata-rata Aljabar dapat dipakai |
| Jumlah pos penakar hujan terbatas | Metode Rata-rata Aljabar atau Poligon Thiesen |
| Pos penakar hujan tunggal | Metode hujan titik |

2. Luas DAS

| | |
|--|--------------------------|
| DAS besar (> 5000 km ²) | Metode Isohyet |
| DAS sedang (500 s/d 5000 km ²) | Metode Poligon Thiesen |
| DAS kecil (< 500 km ²) | Metode Rata-rata Aljabar |

3. Topografi DAS

| | |
|------------------------------|--------------------------|
| Pegunungan | Metode Rata-rata Aljabar |
| Dataran | Metode Poligon Thiesen |
| Berbukit dan tidak beraturan | Metode Isohyet |

Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan (Dr. Ir. Suripin, M. Eng)

2.4.3 Analisa Frekuensi dan Probabilitas

Sistem hidrologi kadang-kadang dipengaruhi oleh peristiwa-peristiwa yang luar biasa (ekstrim), seperti hujan lebat, banjir, dan kekeringan. Besaran peristiwa ekstrim berbanding terbalik dengan frekuensi kejadiannya, peristiwa yang luar biasa ekstrim kejadiannya sangat langka.

Tujuan analisis frekuensi data hidrologi adalah berkaitan dengan besaran peristiwa-peristiwa ekstrim yang berkaitan dengan frekuensi kejadiannya melalui distribusi kemungkinan. Data hidrologi yang dianalisis diasumsikan tidak bergantung (*independent*) dan terdistribusi secara acak dan bersifat stokastik.

Frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Sedangkan, kala ulang adalah waktu hipotetik dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. Sebaliknya, kala-ulang (*return period*) adalah waktu hipotetik dimana hujan dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui. Dalam hal ini tidak terkandung pengertian bahwa kejadian tersebut akan berulang secara teratur setiap kala ulang tersebut. Misalnya, hujan dengan kala ulang 10 tahunan, tidak berarti akan terjadi sekali setiap 10 tahun akan tetapi ada kemungkinan dalam jangka 1000 tahun akan terjadi 100 kali kejadian hujan 10 tahunan. Ada kemungkinan selama kurun waktu 10 tahun terjadi hujan 10 tahunan lebih dari satu kali, atau sebaliknya tidak terjadi sama sekali.

Analisis frekuensi diperlukan seri data hujan yang diperoleh dari pos penakar hujan, baik yang manual maupun yang otomatis. Analisis frekuensi ini didasarkan pada sifat statistik data kejadian yang telah lalu untuk memperoleh probabilitas besaran hujan di masa yang akan datang. Dengan anggapan bahwa sifat statistik kejadian hujan yang akan datang masih sama dengan sifat statistik kejadian hujan masa lalu.

Ada dua macam seri data yang dipergunakan dalam analisis frekuensi, yaitu :

1. Data Maksimum Tahunan

Data ini tiap tahun diambil hanya satu besaran maksimum yang dianggap berpengaruh pada analisis selanjutnya. Seri data seperti ini dikenal dengan seri data maksimum (*maximum annual series*). Jumlah data dalam seri akan sama dengan panjang data yang tersedia, dalam cara ini besaran data maksimum kedua dalam suatu tahun yang mungkin lebih besar dari besaran data maksimum dalam tahun yang lain tidak diperhitungkan pengaruhnya dalam analisis. Hal ini oleh beberapa pihak dianggap kurang realistis, apalagi jika diingat bahwa perhitungan permulaan tahun hidrologi tidak selalu seragam, ada yang berdasar musim ada pula yang mengikuti kalender masehi. Oleh karena itu, beberapa ahli menyarankan menggunakan cara seri parsial.

2. Seri Parsial

Dengan menetapkan suatu besaran tertentu sebagai batas bawah, selanjutnya semua besaran data yang lebih besar dari batas bawah tersebut diambil dan dijadikan bagian seri data untuk kemudian dianalisis seperti biasa.

Pengambilan batas bawah dapat dilakukan dengan sistem peringkat, dimana semua besaran data yang cukup besar diambil, kemudian diurutkan dari besar ke kecil. Data yang diambil untuk analisis selanjutnya adalah sesuai dengan panjang data dan diambil dari besaran data yang paling besar. Dalam hal ini dimungkinkan dalam satu tahun data yang diambil lebih dari satu data, sementara tahun yang lain tidak ada data yang diambil.

Dalam analisis frekuensi, hasil yang diperoleh tergantung pada kualitas dan panjang data. Makin pendek data yang tersedia, makin besar penyimpangan yang terjadi. Dalam ilmu statistik dikenal beberapa macam distribusi frekuensi dan empat jenis distribusi yang banyak digunakan dalam bidang hidrologi adalah :

- Distribusi Normal
- Distribusi Log Normal
- Distribusi Log-Person III
- Distribusi Gumbel

Dalam statistik dikenal beberapa parameter yang berkaitan dengan analisis data yang meliputi rata-rata, simpangan baku, koefisien variasi, dan koefisien *skewness* (kecondongan atau kemencengan).

Tabel 2.2 Parameter Statistik Yang Penting

| Parameter | Sampel |
|---------------------------|---|
| Rata-rata | $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ |
| Simpangan baku | $S = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$ |
| Koefisien variasi | $CV = \frac{S}{\bar{x}}$ |
| Koefisien <i>skewness</i> | $G = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{(n-1) \times (n-2) \times S^3}$ |

Sumber : *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan (Dr. Ir. Suripin, M.Eng)*

Pada kenyataannya bahwa tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat dari sebaran varian disekitar nilai rata-ratanya cara lain untuk analisis frekuensi dan probabilitas. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi, adapun cara pengukuran dispersi, antara lain :

1. Deviasi Standard (S)

$$\text{Rumus : } S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}}$$

(Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 30)

di mana :

- S = deviasi standard,
- X_i = nilai varian ke i,
- X = nilai rata-rata varian,
- n = jumlah data.

2. Koefesien *Skewness* (CS)

Kemencengan (*skewness*) adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi.

$$\text{Rumus : } CS = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - X)^2}{(n-1)(n-2)S^3}$$

(Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 30)

di mana :

- CS = koefesien *skewness*,
- X_i = nilai varian ke i,
- X = nilai rata-rata varian,
- n = jumlah data,
- S = deviasi standar.

3. Pengukuran Kurtosis

Pengukuran kurtosis dimaksudkan untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

$$\text{Rumus : } C_k = \frac{n^2 \times \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1) \times (n-2) \times (n \times 3) \times S^4}$$

(*Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 30*)

di mana :

- C_k = koefisien kurtosis,
- X_i = nilai varian ke i,
- X = nilai rata-rata varian,
- n = jumlah data,
- S = deviasi standar.

4. Koefisien Variasi (CV)

Koefisien Variasi adalah nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung suatu distribusi.

$$\text{Rumus : } C_v = \frac{S}{\bar{X}}$$

(*Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 30*)

di mana :

- C_v = koefisien variasi,
- \bar{X} = nilai rata-rata varian.

Dari nilai-nilai di atas, kemudian dilakukan pemilihan jenis sebaran, yaitu dengan membandingkan koefisien distribusi dari metode yang akan digunakan.

2.4.3.1 Distribusi Normal

Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan. Distribusi tipe normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau C_S = 0

2.4.3.2 Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X . Distribusi ini dapat diperoleh juga dari distribusi Log-Person III, apabila nilai koefisien kemencengan $C_S = 0$. Distribusi tipe Log Normal mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $C_S = 3 C_V + C_V^2$

2.4.3.3 Distribusi Log-Person III

Distribusi Log-Person III atau Distribusi Ekstrim Tipe III digunakan untuk analisis variable hidrologi dengan nilai varian minimum, misalnya analisis frekuensi distribusi dari debit minimum (*low flows*).

Distribusi ini mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $C_S \neq 0$.

2.4.3.4 Distribusi Gumbel

Distribusi Tipe I Gumbel atau Distribusi Ekstrim Tipe I digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekuensi banjir.

Distribusi Tipe I Gumbel, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefficient of skewness*) atau $C_S \leq 1,139$.

2.4.4 Uji Kecocokan

Uji keselarasan distribusi ini digunakan pengujian Chi-kuadrat yang dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi yang telah dipilih dapat mewakili distribusi statistik sample data yang dianalisis.

Rumus :

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$$

(*Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisis Data. Jilid I. Soewarno, hal : 30*)

di mana :

- X^2 = harga chi-kuadrat,
- G = jumlah sub kelompok,
- O_f = frekuensi yang terbaca pada kelas yang sama,
- E_f = frekuensi yang diharapkan sesuai pembagian kelasnya.

Adapun prosedur pengujian Chi-kuadrat adalah sebagai berikut :

1. Urutkan data pengamatan (dari yang terbesar ke yang terkecil atau sebaliknya),
2. Kelompokkan data menjadi G sub-grup yang masing-masing beranggotakan minimal 4 data pengamatan,
3. Jumlahkan data pengamatan sebesar O_f tiap-tiap sub-grup,
4. Jumlahkan data dari persamaan distribusi yang digunakan sebesar E_f ,
5. Pada tiap sub-grup hitung nilai $(O_f - E_f)^2$ dan $\frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$
6. Jumlah seluruh G sub-grup nilai $\frac{(O_f - E_f)^2}{E_f}$ untuk menentukan nilai chi-kuadrat
7. Tentukan derajat kebebasan $dk = G - R - 1$ (nilai $R = 2$ untuk distribusi normal dan binomial, nilai $R = 1$ untuk distribusi poisson dan gumbel).

Interpretasi hasil uji adalah sebagai berikut :

1. Apabila peluang lebih dari 5%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima,
2. Apabila peluang kurang dari 1%, maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan tidak dapat diterima,
3. Apabila peluang berada di antara 1 - 5%, maka tidak mungkin mengambil keputusan, misal perlu data tambahan.

2.4.5 Analisa Intensitas Hujan

Curah hujan jangka panjang biasanya dinyatakan dalam intensitas per jam yang disebut dengan intensitas curah hujan. Hujan dalam intensitas yang besar umumnya terjadi dalam waktu yang pendek. Hubungan intensitas hujan dengan waktu hujan banyak dirumuskan, yang pada umumnya tergantung pada parameter setempat. Besarnya intensitas curah hujan berbeda-beda biasanya disebabkan oleh lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Intensitas curah hujan rata-rata digunakan sebagai parameter perhitungan debit banjir dengan menggunakan cara Rasional dan *Storage Function*.

Ada banyak model untuk mengestimasi curah hujan rata-rata dari curah hujan harian. Beberapa rumus intensitas curah hujan yang berhubungan dengan hal ini disusun sebagai rumus-rumus empiris yang dapat dituliskan sebagai berikut :

- a. Untuk hujan dengan waktu < 2 jam, Prof. Talbot (1881), memberikan rumus :

$$I = \frac{a}{t + b}$$

di mana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam),

t = lamanya hujan (jam),

a, b = konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi di DAS.

- b. Untuk hujan dengan waktu > 2 jam, Prof. Sherman (1905), memberikan rumus :

$$I = \frac{a}{t^n}$$

di mana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam),

a = konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi di DAS,

t = lamanya hujan (jam),

n = konstanta.

- c. Rumus di atas dikembangkan oleh Dr. Ishiguro (1953) menjadi :

$$I = \frac{a}{\sqrt{t} + b}$$

di mana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam),

t = lamanya hujan (jam),

a, b = konstanta yang tergantung pada lamanya hujan yang terjadi di DAS.

- d. Rumus di atas dikembangkan lagi oleh Mononobe menjadi :

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

di mana :

I = intensitas curah hujan (mm/jam),

t = lamanya curah hujan (jam),

R₂₄ = curah hujan maksimum harian (selama 24 jam) (mm).

2.4.6 Metode Perhitungan Curah Hujan Rencana

Metode yang umumnya digunakan untuk perhitungan curah hujan rencana ini adalah Metode *Gumbel*, Metode *Log-Person Tipe III*, Metode *Weduwen*, dan Metode *Haspers*.

a. Metode *Gumbel*

$$X_t = \bar{X} + S \times K_r$$

di mana :

X_t = curah hujan rencana dengan periode ulang t tahun,

X = curah hujan rata-rata (mm),

S = standar deviasi (*deviation standard*),

$$K_r = \text{faktor frekuensi Gumbel} = \frac{1}{S_n} \times (Y_t - Y_n)$$

b. Metode Distribusi *Log-Person Tipe III*

Langkah-langkah dalam metode distribusi *log-person tipe III* yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1. Mengganti data $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi data dalam logaritma, yaitu :
 $\ln X_1, \ln X_2, \ln X_3, \dots, \ln X_n$.
2. Menghitung rata-rata dari logaritma data tersebut :

$$\ln \bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n \ln X_i}{n}$$

di mana :

X = curah hujan rata-rata (mm),

X_i = curah hujan rata-rata maksimum harian (mm),

n = jumlah data curah hujan.

3. Menghitung standar deviasi (*deviation standard*)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\ln X_i - \ln \bar{X})^2}{n - 1}}$$

4. Menghitung koefisien kemencengan (*skewness coefficient*)

$$C_s = \frac{n \times \sum_{i=1}^n (\ln X_i - \ln \bar{X})^3}{(n-1) \times (n-2) \times S^3}$$

di mana :

C_s = koefisien kemencengan (*skewness coefficient*),

S = standar deviasi (*deviation standard*),

n = jumlah data curah hujan,

X_i = hujan rata-rata maksimum harian (mm),

X = hujan rata-rata (mm).

5. Menghitung logaritma data pada interval pengulangan atau kemungkinan prosentase yang dipilih.

$$\ln R = (\ln X) + G_s$$

Harga G_s adalah harga untuk setiap nilai harga g dan interval pengulangan atau kemungkinan prosentase yang dipilih dan dapat diambil dari tabel. Sedangkan $\ln R$ adalah logaritma curah hujan rencana yang mempunyai interval pengulangan atau kemungkinan prosentase yang sama.

c. Metode Weduwen

Dalam menghitung curah hujan harian maksimum dengan Metode *Weduwen*, rumus yang digunakan adalah :

$$q_n = \frac{67,65}{t+1,45}$$

di mana :

q_n = curah hujan maksimum (mm),

t = waktu curah hujan (jam)

d. Metode Haspers

Rumus yang digunakan :

$$q = \frac{Rt}{3,6 t}$$

$$Rt = R + Sx U$$

di mana :

- q = curah hujan maksimum (mm),
- R_t = curah hujan dengan kala ulang T tahun (mm),
- t = waktu curah hujan (jam),
- R = curah hujan maksimum rata-rata (mm),
- S_x = standar deviasi (simpangan baku),
- U = variabel simpangan untuk kala ulang T tahun.

2.4.7 Analisa Debit Banjir Rencana

Perhitungan atau perkiraan besarnya debit banjir rencana yang akan terjadi dapat dilakukan dengan metode sebagai berikut :

- Metode *Weduwen*
- Metode FSR Jawa-Sumatera
- Metode Rasional

Metode perhitungan di atas adalah standar metode perhitungan debit banjir dari Departemen Pekerjaan Umum (SK SNI M - 18 - 1989 - F). Adapun uraian-uraian metode-metode di atas adalah sebagai berikut :

1. Metode *Weduwen*

Metode *Weduwen* biasa digunakan jika luas DAS kurang dari atau sama dengan 100 km² (≤ 100 km²). Rumusnya adalah sebagai berikut :

$$Q_t = \alpha \times \beta \times q_n \times f$$

di mana :

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta \times q_n + 7}$$

$$q_n = \frac{67,65}{t + 1,45}$$

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

$$t = \frac{0,476 \times f^{3/8}}{(\alpha \times \beta \times \frac{q}{n})^{1/8} \times 1^{1/4}}$$

keterangan :

- Q_t = debit banjir periode ulang tertentu (m³/detik),
- α = koefisien pengaliran,

- β = koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS,
 t = lamanya konsentrasi aliran (jam),
 f = luas daerah pengaliran (m^2),
 q_n = curah hujan maksimum (mm),

2. Metode FSR Jawa-Sumatera

Metode FSR Jawa-Sumatera adalah suatu cara yang sederhana untuk memperkirakan puncak debit banjir rencana yang telah dihasilkan oleh suatu studi selama 2 tahun dari tim gabungan yang terdiri dari Staf Direktorat Penyelidikan Masalah Air dan *Staff Insitute of Hidrologi* (DPMA/IOH), September 1983. Adapun rumusnya adalah sebagai berikut :

$$Q = GF_{(T, AREA)} * MAF$$

$$MAF = 8.10^{-6} * AREA^V * APBAR^{2,445} * SIMS^{-0,117} * (1 + LAKE)^{-0,85}$$

di mana :

- Q = debit banjir rencana ($m^3/detik$),
 GF = faktor pembesar regional,
 T = periode ulang tertentu,
 $AREA$ = luas DAS (km^2),
 $APBAR$ = rata-rata tahunan dari hujan tahunan terbesar di daerah aliran,
 $SIMS$ = indeks kemiringan (m/km) = H (m) / MSL (km),
 H = beda tinggi tempat pengamatan dengan batas terjauh DAS (m),
 MSL = panjang sungai (km),
 $LAKE$ = indeks danau, untuk Semarang = 0,
 V = $1,02 - 0,0275 \log * AREA$,
 MAF = puncak banjir rencana rata-rata ($m^3/detik$).

Tabel 2.3 Faktor Reduksi Area (ARF)

| Luas DAS (km ²) | Faktor Reduksi Area |
|-----------------------------|------------------------|
| 1 – 10 | 0,99 |
| 10 – 30 | 0,97 |
| 30 – 30.000 | 1,152 – 0,1233 * log A |

Sumber : IOH / DPMA, September 1983

Tabel 2.4 Faktor Pembesar Regional GF_(T,AREA)

| Periode ulang (tahun) | Luas Daerah Aliran Sungai (km ²) | | | | | |
|-----------------------|--|------|------|------|------|--------|
| | < 180 | 300 | 600 | 900 | 1200 | > 1500 |
| 5 | 1.28 | 1.27 | 1.24 | 1.22 | 1.19 | 1.17 |
| 10 | 1.56 | 1.54 | 1.48 | 1.44 | 1.41 | 1.37 |
| 25 | 1.88 | 1.84 | 1.75 | 1.70 | 1.64 | 1.59 |

Sumber : Banjir Rencana Untuk Bangunan Air, Ir. Joesron Loebis, M. Eng, BPPU

3. Metode Rasional

Metode rasional biasa digunakan untuk luas daerah aliran sungai sekitar kurang dari atau sama dengan 60 km² (≤ 60 km²).

$$Q = \frac{1}{3,6} \times C \times I \times A = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A$$

$$I = \frac{R}{24} \times \left[\frac{24}{t_c} \right]^{2/3}$$

$$t_c = t_o + t_d$$

(Ir Sugiyanto, M. Eng, 2001, Diklat kuliah Pengendali Banjir, UNDIP Semarang)

di mana :

Q = debit maksimum (m³/detik),

C = koefisien limpasan (*run off*) air hujan,

I = intensitas hujan (mm/jam),

A = luas daerah pengaliran (km²),

R = hujan maksimum (mm),

t_c = waktu konsentrasi (menit),

t_o = waktu yang diperlukan air untuk mengalir di permukaan lahan sampai saluran terdekat.

Besar t_0 didapatkan dari rumus Kirpich (1940), yaitu :

$$t_0 = \left[\frac{2}{3} \times 3,28 \times L \times \frac{n}{\sqrt{S}} \right] \text{ menit}$$

di mana :

L = panjang lintasan aliran di atas permukaan lahan (m),

S = kemiringan lahan.

t_d = waktu perjalanan air dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran.

$$\text{Rumus : } t_d = \frac{L_s}{60 \times V} \text{ menit}$$

di mana :

L_s = panjang lintasan aliran di dalam saluran/sungai (m),

V = kecepatan aliran di dalam saluran (m/detik).

Besar nilai V tergantung dari kemiringan dasar saluran (i), kekasaran permukaan saluran (n Manning) dan bentuk saluran.

❖ **Koefisien Limpasan (*Run Off*)**

Koefisien limpasan (*run off*) dipengaruhi oleh jenis lapis permukaan tanah, setelah melalui berbagai penelitian, didapatkan koefisien limpasan (*run off*) seperti yang tertulis dalam tabel 2.7 berikut :

Tabel 2.5 Harga Koefisien Limpasan (C)

| Jenis Lahan | Type Daerah Aliran | Harga C |
|--------------------|------------------------------|-----------|
| Perumputan | Tanah pasir, datar, 2% | 0,05-0,10 |
| | Tanah pasir, rata-rata 2-7% | 0,10-0,15 |
| | Tanah pasir, curam 7% | 0,15-0,20 |
| | Tanah gemuk, datar 2% | 0,13-0,17 |
| | Tanah gemuk rata-rata 2-7% | 0,18-0,22 |
| | Tanah gemuk, curam 7% | 0,25-0,35 |
| Business | Daerah kota lama | 0,75-0,95 |
| | Daerah pinggiran | 0,50-0,70 |
| Perumahan | Daerah “single family” | 0,30-0,50 |
| | “multi unit”terpisah-pisah | 0,40-0,60 |
| | “multi unit”tertutup | 0,60-0,75 |
| | “sub urban” | 0,25-0,40 |
| | daerah rumah-rumah apartemen | 0,50-0,70 |
| Industri | Daerah ringan | 0,50-0,80 |
| | Daerah berat | 0,60-0,90 |
| Pertamanan | | 0,10-0,25 |
| Tempat bermain | | 0,20-0,35 |
| Halaman kereta api | | 0,20-0,40 |

Sumber : Joesron Loebis,1987

Dari berbagai cara perhitungan debit banjir rencana, dipilih yang paling sesuai dengan standar desain saluran drainase berdasarkan “Pedoman Drainase Perkotaan dan Standar Desain Teknis” seperti pada tabel 2.6 berikut :

Tabel 2.6 Kriteria Desain Hidrologi Sistem Drainase Perkotaan

| Luas DAS (ha) | Periode Ulang (tahun) | Metode Perhitungan Debit Banjir |
|--------------------------|----------------------------------|--|
| < 10 | 2 | Rasional |
| 10 - 100 | 2 - 5 | Rasional |
| 101 - 500 | 5 - 20 | Rasional |
| > 500 | 10 - 25 | Hidrograf Satuan |

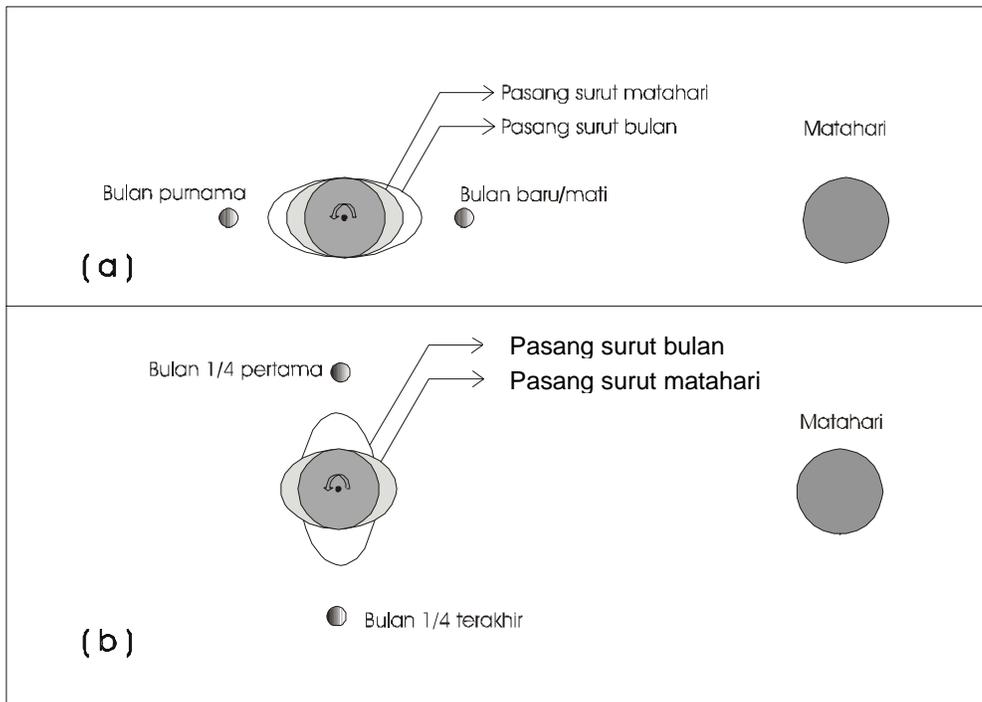
Sumber : Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan (Dr. Ir. Suripin, M.Eng)

2.4.8 Pasang Surut

Pasang surut adalah gerakan naik-turunnya muka air laut, di mana amplitudo dan fasenya berhubungan langsung terhadap gaya geofisika yang periodik, yakni gaya yang ditimbulkan oleh gerak reguler benda-benda angkasa, terutama bulan, bumi, dan matahari. Naik turunnya muka laut akibat gaya geofisika ini disebut pasang surut gravitasi.

Dari semua benda angkasa yang mempengaruhi proses pembentukan pasang surut air laut, hanya bumi dan bulan yang sangat berpengaruh melalui tiga gerakan utama, yaitu :

1. Revolusi bulan terhadap bumi,
2. Revolusi bumi terhadap matahari,
3. Perputaran bumi terhadap sumbunya sendiri (rotasi bumi).



Gambar 2.9 Diagram interaksi antara pasang surut matahari dan bulan : (a) bulan baru, bulan pada posisi syzygy (matahari dan bulan berkonjungsi), dan bulan purnama, posisi bulan syzygy (matahari dan bulan beroposisi), pasang purnama (*spring tides*); (b) seperempat pertama, dan seperempat terakhir, posisi bulan qudrature, pasang perbani (*neap tides*)

Pasang surut mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap sistem drainase di wilayah perkotaan yang terletak di kawasan pantai, khususnya untuk daerah yang datar dengan elevasi muka tanah yang tidak cukup tinggi. Permasalahan yang dihadapi, antara lain :

1. Terjadinya genangan pada kawasan-kawasan yang elevasinya berada dibawah muka air pasang.
2. Terhambatnya aliran air atau banjir pada saluran yang langsung berhubungan dengan laut atau sungai (yang terpengaruh pasang surut) akibat naiknya permukaan air pada saat terjadi pasang.
3. Drainase sistem gravitasi tidak dapat bekerja dengan penuh, sehingga perlu bantuan pompa dan perlu dilengkapi pintu air pada *outlet-outlet* yang berfungsi untuk mencegah masuknya air laut pada saat pasang, sehingga biaya konstruksi maupun operasi dan pemeliharaan sistem drainase menjadi mahal.

4. Bangunan-bangunan air, khususnya yang terbuat dari metal, mudah berkarat dan rusak akibat terkena air laut. Hal ini akan meningkatkan biaya pemeliharaan.

2.5 ANALISA HIDRAULIKA

2.5.1 Bentuk Saluran

Potongan melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewati debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar tertentu. Berdasarkan persamaan kontinuitas, tampak jelas bahwa untuk luas penampang melintang tetap, debit maksimum yang dicapai jika kecepatan aliran maksimum. Dari rumus Manning maupun Chezy dapat dilihat bahwa untuk kemiringan dasar dan kekasaran tetap, kecepatan maksimum dicapai jika jari-jari hidrolis (R) maksimum. Selanjutnya untuk luas penampang tetap, jari-jari hidrolis maksimum jika keliling basah (P) minimum. Kondisi tersebut memberi jalan untuk menentukan dimensi penampang melintang saluran yang ekonomis untuk berbagai macam bentuk. Rumus untuk hidraulika sebagai berikut :

$$A = (B + mH) \times H$$

$$P = B + (2H \times \sqrt{1 + m^2})$$

$$R = A/P$$

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

$$Q = V \times A$$

di mana :

A = luas penampang saluran (m²),

P = keliling basah saluran (m),

R = jari-jari hidrolis (m),

I = kemiringan dasar saluran,

n = kekasaran Manning,

V = kecepatan aliran (m/detik),

Q = debit (m³/detik).

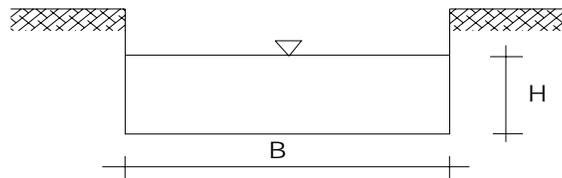
Berdasarkan karakteristik bentuk penampang sungai yang ada dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Penampang Tunggal

Bentuk penampang ini cukup ideal mengingat banyak hal yang mendukung antara lain :

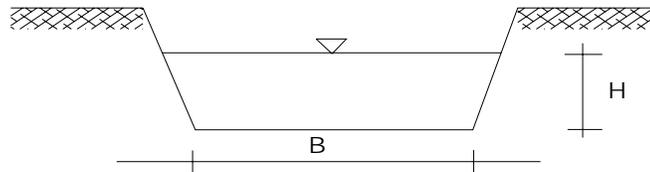
- Luas lahan yang tersedia untuk penampang melintang yang terbatas (dibatasi oleh lebar jalan).
- Debit yang dialirkan melalui saluran-saluran kota yang ada tidak begitu besar.

a. Penampang Tunggal Bentuk Persegi Empat (*rectangular channel*)



Gambar 2.10 Penampang Tunggal Berbentuk Segi Empat

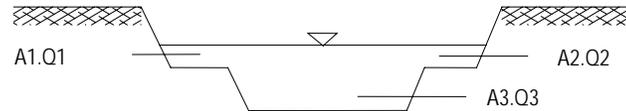
b. Penampang Tunggal Berbentuk Trapesium (*trapezoidal channel*)



Gambar 2.11 Penampang Tunggal Berbentuk Trapesium

2. Penampang Ganda

Jenis penampang ini digunakan untuk mendapatkan kapasitas saluran yang lebih besar, sehingga debit yang dialirkan melalui saluran tersebut dapat lebih besar. Penampang ini juga digunakan jika lahan yang tersedia cukup luas.



Gambar 2.12 Penampang Saluran Ganda

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$Q_1 = A_1 \times \left(\frac{1}{n_1}\right) \times \left(\frac{A_1}{P_1}\right)^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_2 = A_2 \times \left(\frac{1}{n_2}\right) \times \left(\frac{A_2}{P_2}\right)^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

$$Q_3 = A_3 \times \left(\frac{1}{n_3}\right) \times \left(\frac{A_3}{P_3}\right)^{\frac{2}{3}} \times I^{\frac{1}{2}}$$

$$n_{gab} = \left[n_1 \times \frac{P_1}{(P_1+P_2+P_3)} \right] + \left[n_2 \times \frac{P_2}{(P_1+P_2+P_3)} \right] + \left[n_3 \times \frac{P_3}{(P_1+P_2+P_3)} \right]$$

2.5.2 Perhitungan Profil Muka Air

Ada beberapa cara yang dapat dipakai untuk menghitung profil muka air pada aliran permanen tidak beraturan, di antaranya adalah metode Integrasi Grafis, Metode Bresse, Metode Deret, Metode Flamant, Metode Tahapan Langsung, dan Metode Tahapan Standard. Namun diantara metode-metode tersebut, yang banyak dipakai adalah metode tahapan langsung dan metode tahapan standard.

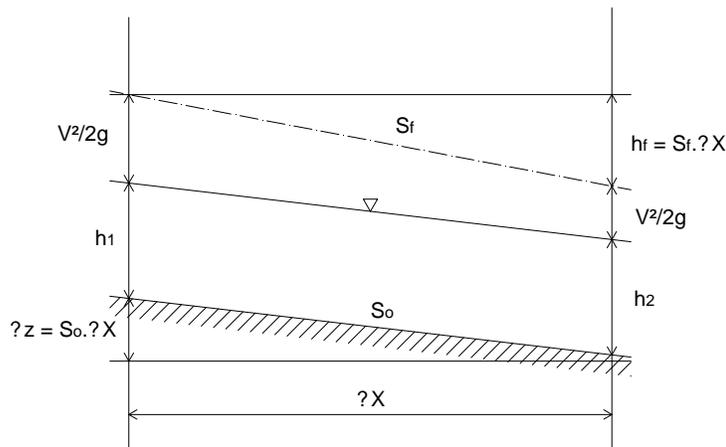
1. Metode Tahapan Langsung (*direct step method*)

Metode tahapan langsung adalah cara yang mudah dan simpel untuk menghitung profil muka air pada aliran tidak permanen. Metode ini dikembangkan dari persamaan sebagai berikut :

$$z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

di mana :

- z = ketinggian dasar saluran dari garis referensi,
- h = kedalaman air dari dasar saluran,
- V = kecepatan rata-rata,
- G = percepatan gravitasi,
- h_f = kehilangan energi karena gesekan dasar saluran.



Gambar 2.13 Metode Tahapan Langsung

Dari Gambar diperoleh persamaan berikut :

$$\underbrace{h_1 + \frac{V_1^2}{2g}}_{E_1} + \Delta z = \underbrace{h_2 + \frac{V_2^2}{2g}}_{E_2} + h_f$$

$$E_1 + S_o \Delta X = E_2 + S_f \Delta X$$

di mana :

$$\bar{S}_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2}$$

$$S_f = \frac{Q^2 n^2}{A^2 R^{\frac{4}{3}}} \quad \text{(Manning)}$$

$$S_f = \frac{Q^2}{C^2 A^2 R} \quad \text{(Chezy)}$$

2. Metode Tahapan Standard (*standard step method*)

Metode ini dikembangkan dari persamaan energi total dari aliran pada saluran terbuka. Dari persamaan tersebut, selanjutnya dapat dituliskan persamaan berikut :

$$\underbrace{z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g}}_{E_1} = \underbrace{z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g}}_{E_2} + h_f$$

$$E_1 = E_2 + h_f$$

Cara perhitungannya dimulai dengan mengetahui tinggi energi total di titik kontrol E_1 , dimana kedalaman air, h_1 , dan ketinggian dasar saluran dari titik referensi, z_1 , diketahui. Selanjutnya, tentukan jarak dari titik kontrol ke hulu atau ke hilir (tergantung letak titik kontrol) sepanjang ΔX . Parameter sebelah kanan yang dapat langsung dihitung adalah $z_2 = z_1 + \Delta z$, dimana Δz adalah perkalian antara kemiringan dasar saluran dan selisih jarak antara kedua titik yang akan dihitung ($\Delta z = S_0 \Delta X$). Tiga parameter lainnya merupakan fungsi kedalaman air h_2 , sehingga dengan mengasumsikan kedalaman air di titik (2), tinggi energi di titik (2) dapat dihitung.

2.5.3 Perhitungan Kekasaran Dinding Saluran

Koefisien kekasaran bergantung kepada faktor-faktor berikut :

- kekasaran permukaan saluran
- ketidakraturan permukaan saluran
- trase
- vegetasi (tetumbuhan), dan
- sedimen.

Bentuk dan besar/kecilnya partikel di permukaan saluran merupakan ukuran kekasaran, akan tetapi untuk saluran tanah ini hanya merupakan bagian kecil saja dari kekasaran total.

Pada saluran ketidakrataan permukaan yang menyebabkan perubahan dalam keliling basah dan potongan melintang mempunyai pengaruh yang lebih penting pada koefisien kekasaran saluran dari pada kekasaran permukaan.

Perubahan-perubahan mendadak pada permukaan saluran akan memperbesar koefisien kekasaran, perubahan-perubahan ini dapat disebabkan oleh penyelesaian konstruksi saluran yang jelek atau karena erosi pada talud saluran. Terjadinya riak-riak di dasar saluran akibat interaksi aliran di perbatasannya juga berpengaruh terhadap kekasaran saluran.

Pengaruh vegetasi terhadap resistensi sudah jelas, panjang dan kerapatan vegetasi adalah faktor-faktor yang menentukan, vegetasi diandaikan minimal untuk harga-harga koefisien kekasaran yang dipilih dan dipakai dalam perencanaan saluran.

Pengaruh trase saluran terhadap koefisien kekasaran dapat diabaikan, karena dalam perencanaan saluran tanpa pasangan akan dipakai tikungan berjari-jari besar.

Pengaruh faktor-faktor di atas terhadap koefisien kekasaran saluran akan bervariasi menurut ukuran saluran. Ketidakrataan pada permukaan akan menyebabkan perubahan kecil di daerah potongan melintang di saluran yang besar ketimbang di saluran yang kecil.

Apakah harga-harga itu akan merupakan harga-harga fisik yang sebenarnya selama kegiatan eksploitasi, hal ini sangat tergantung pada kondisi pemeliharaan saluran. Penghalusan permukaan saluran dan menjaga agar saluran bebas dari vegetasi lewat pemeliharaan rutin akan sangat berpengaruh pada koefisien kekasaran dan kapasitas debit saluran.

- **Rumus Manning**

Seorang ahli dari Islandia, Robert Manning mengusulkan rumus berikut ini :

$$V = \frac{1}{n} \times R^{1/6}$$

Dengan koefisien tersebut maka rumus kecepatan aliran menjadi :

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

di mana :

R = jari-jari hidrolis (m),

I = kemiringan dasar saluran,

n = kekasaran Manning,

V = kecepatan aliran (m/detik),

Koefisien kekasaran (n) dari rumus Manning merupakan fungsi dari bahan dinding saluran . Koefisien-koefisien kekasaran untuk perencanaan saluran dengan rumus Manning dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.7 Koefisien Kekasaran Permukaan Saluran (n Manning)

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

Sumber : Hidraulika II (Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, CES, DEA)

- **Rumus Strickler**

Strickler mencari hubungan antara nilai koefisien kekasaran (n) dari rumus Manning, sebagai fungsi dari dimensi material yang membentuk dinding saluran. Untuk dinding (dasar dan tebing) dari material yang tidak koheren, koefisien kekasaran (ks) dari Strickler diberikan oleh rumus berikut :

$$ks = \frac{1}{n} = 26 \left(\frac{R}{d_{35}} \right)^{1/6}$$

Dengan R adalah jari-jari hidraulis dan d_{35} adalah diameter (dalam meter) yang berhubungan dengan 35 % dari material dengan diameter yang lebih besar. Dengan menggunakan koefisien tersebut maka rumus kecepatan aliran menjadi :

$$V = k_s \times R^{2/3} \times I^{1/2}$$

di mana :

R = jari-jari hidrolis (m),

I = kemiringan dasar saluran,

n = kekasaran Manning,

k_s = kekasaran Strickler,

V = kecepatan aliran (m/detik),

Koefisien kekasaran Strickler k_s ($m^{1/3}/dt$) yang dianjurkan pemakaiannya adalah :

- pasangan batu 60
- pasangan beton 70
- pasangan tanah 35 - 45

Harga-harga untuk pasangan keras hanya akan dicapai jika pasangan itu dikonstruksi dengan baik. Harga-harga koefisien kekasaran Strickler (k_s) untuk pasangan saluran-saluran tanah dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.8 Koefisien Kekasaran Permukaan Saluran Tanah (k_s Strickler)

| Debit Rencana ($m^3/detik$) | Koefisien Kekasaran Strickler (k_s) |
|----------------------------------|--|
| $Q > 10$ | 45,00 |
| $5 < Q < 10$ | 42,50 |
| $1 < Q < 5$ | 40,00 |
| $Q < 1$ dan saluran tersier | 35,00 |

Sumber : Kriteria Perencanaan Bagian Saluran KP-03, Standar Perencanaan Irigasi Departemen Pekerjaan Umum, tahun 1986.

Untuk potongan melintang dengan kombinasi berbagai macam bahan pasangan, kekasaran masing-masing permukaan akan berbeda-beda (bervariasi). Koefisien kekasaran campuran dihitung dengan rumus berikut :

$$k_s = P^{2/3} \left(\sum_1^n \frac{P_i}{k_{s_i}^{1,6}} \right)^{-2/3}$$

dimana :

k_s = koefisien kekasaran Strickler untuk potongan melintang saluran ($m^{1/3}/dt$)

P = keliling basah (m)

P_i = keliling basah bagian i dari potongan melintang (m)

k_{s_i} = koefisien kekasaran bagian i dari potongan melintang ($m^{1/3}/dt$).

Diantara rumus-rumus empiris yang ada untuk rencana saluran, persamaan Manning dan Strickler yang paling umum dipakai karena rumus ini banyak digunakan karena mudah pemakaiannya.