



MANUAL

No : 01 - 1 /BM/2005

Hidrolika untuk pekerjaan jalan dan jembatan

BUKU 1

PRINSIP-PRINSIP HIDROLOGI DAN HIDROLIKA



DEPARTEMEN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL BINA MARGA

TERKENDALI

PRAKATA

Dalam rangka mendukung terwujudnya peningkatan kualitas pelaksanaan penyelenggaraan jalan, diperlukan norma, standar, pedoman dan manual agar diperoleh hasil yang tepat mutu, tepat waktu dan tepat biaya.

Manual Hidrolika untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan ini diperuntukkan bagi semua pihak yang terlibat dalam perencanaan dan pelaksanaan konstruksi jalan dan jembatan, seperti konsultan serta kontraktor, instansi pemerintah baik pusat maupun daerah serta kalangan universitas.

Manual Hidrolika untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan ini terdiri dari :

Buku 1 : **Prinsip-prinsip Hidrologi dan Hidrolika;**

Buku 2 : **Perencanaan Hidrolika ;**

Buku 3 : **Manajemen Pemeliharaan bangunan Hidrolika; dan**

Buku 4 : **Lampiran (Contoh Perhitungan),**

Semoga **Manual Hidrolika untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan** ini dapat dimanfaatkan dan masukan penyempurnaan dan pengembangan dari manual ini masih diharapkan.

Direktur Jenderal Bina Marga



Hendrianto.N

BUKU 1

1. Umum
2. Prinsip dasar hidrologi dan hidrolika
3. Prinsip umum perencanaan hidrolika untuk pekerjaan jalan & jembatan

Buku 1

1. UMUM
2. PRINSIP DASAR HIDROLOGI DAN HIDROLIKA
3. PRINSIP UMUM PERENCANAAN HIDROLIKA UNTUK PEKERJAAN JALAN DAN JEMBATAN

DAFTAR ISI

	Halaman
1. Umum	
1.1. Latar belakang	1-1
1.2. Tujuan	1-1
1.3. Ruang lingkup manual	1-1
1.4. Istilah dan definisi	1-2
2. Prinsip dasar hidrologi dan hidrolika	
2.1. Hidrologi	2-1
2.1.1. Siklus hidrologi	2-1
2.1.2. Karakteristik daerah pengaliran air hujan (catchment area)	2-2
2.1.3. Karakteristik meteorologi	2-6
2.1.4. Data hidrologi	2-8
2.1.5. Limpasan	2-14
2.1.6. Banjir	2-14
2.1.6.1. Probabilitas dan frekuensi banjir	2-14
2.1.6.2. Perkiraan debit banjir rencana	2-17
2.1.6.3. Tinggi jagaan (freeboard) banjir rencana	2-19
2.2. Hidrolika	2-20
2.2.1. Aliran bebas	2-20
2.2.2. Aliran tekan/aliran pipa	2-25
3 Prinsip umum perencanaan hidrolika untuk pekerjaan jalan dan jembatan	
3.1. Prinsip umum perencanaan hidrolika untuk pekerjaan jalan	3-1
3.1.1. Kepentingan hidrolika untuk pekerjaan jalan	3-1
3.1.2. Drainase jalan	3-1
3.1.2.1. Umum	3-1
3.1.2.2. Tujuan	3-1
3.1.2.3. Sistem drainase jalan	3-2
3.1.2.3.1 Drainase permukaan (surface drainage)	3-2
3.1.2.3.2 Potongan memanjang saluran pembuang samping jalan	3-7
3.1.2.3.3 Drainase bawah permukaan (sub surface drainage)	3-8

3.1.2.4.	Aspek geoteknik	3-11
3.1.2.5.	Aspek lingkungan dan lansekap	3-12
3.1.2.6.	Pertimbangan perencanaan	3-14
3.2.	Prinsip umum perencanaan hidrolika untuk pekerjaan jembatan ...	3-15
3.2.1.	Kepentingan hidrolika untuk pekerjaan jembatan	3-15
3.2.2.	Morfologi sungai	3-15
3.2.3.	Karakteristik aliran	3-16
3.2.3.1.	Lengkung debit sungai	3-16
3.2.3.2.	Kedalaman aliran rencana	3-19
3.2.3.3.	Kecepatan aliran rencana	3-19
3.2.4.	Panjang bukaan jembatan	3-20
3.2.5.	Arus balik (backwater)	3-24
3.2.6.	Jenis aliran yang terjadi	3-26
3.2.7.	Tinggi ruang bebas/jagaan (freeboard)	3-29

Daftar Tabel

Halaman

Tabel 2-1 :	Kemungkinan P dari satu atau lebih kejadian banjir yang lebih besar atau sama dengan banjir rencana selama usia guna bangunan.....	2-16
Tabel 2-2 :	Periode ulang banjir rencana untuk desain jembatan & bangunan perlintasan	2-16
Tabel 3-1 :	Kemiringan melintang perkerasan dan bahu jalan	3-3
Tabel 3-2 :	Koefesien kekasaran Manning (n).....	3-18

Daftar Gambar

Halaman

Gbr 2-1	: Siklus hidrologi	2-1
Gbr 2-2	: Batas daerah pengaliran yang ditentukan kondisi topografi.....	2-3
Gbr 2-3	: Batas daerah pengaliran yang ditentukan bangunan manusia.....	2-3
Gbr 2-4	: Batas daerah pengaliran saluran samping jalan.....	2-4
Gbr 2-5	: Corak/bentuk daerah pengaliran alami.....	2-4
Gbr 2-6	: Alat ukur hujan otomatis jenis sifon	2-6
Gbr 2-7	: Metode rata-rata hitung aritmatik	2-10
Gbr 2-8	: Metode poligon Thiessen	2-11
Gbr 2-9	: Metode garis isohiet.....	2-12
Gbr 2-10	: Karakteristik aliran bebas/aliran saluran terbuka.....	2-21
Gbr 2-11	: Berbagai tipe aliran saluran terbuka.....	2-23
Gbr 2-12	: Karakteristik aliran tekan/aliran pipa.....	2-26
Gbr 3-1	: Sistem drainase permukaan jalan.....	3-3
Gbr 3-2	: Kemiringan melintang normal di daerah datar & lurus.....	3-4
Gbr 3-3	: Arah limpasan air hujan di tanjakan/turunan.....	3-4
Gbr 3-4	: Drainase bahu jalan di tanjakan/turunan.....	3-5
Gbr 3-5	: Kemiringan melintang di daerah tikungan.....	3-5
Gbr 3-6	: Drainase bawah permukaan bila tekanan hidrostatik relatif kecil.....	3-10
Gbr 3-7	: Drainase bawah permukaan bila tekanan hidrostatik cukup besar.....	3-11
Gbr 3-8	: Contoh desain lansekap jalan berikut sistem drainasenya.....	3-14
Gbr 3-9	: Contoh lengkung debit sungai.....	3-19
Gbr 3-10	: Perlintasan normal, pangkal jembatan dengan tembok sayap.....	3-21
Gbr 3-11	: Perlintasan normal, pangkal jembatan dengan kolom terbuka.....	3-22
Gbr 3-12	: Perlintasan miring.....	3-23
Gbr 3-13	: Tipikal garis aliran pada perlintasan normal.....	3-25
Gbr 3-14	: Jenis aliran yang dapat terjadi di jembatan.....	3-28

1 Umum

1.1 Latar belakang

Jalan merupakan salah satu asset negara yang sangat berharga. Agar konstruksi jalan dapat tetap berfungsi dengan baik, diperlukan upaya-upaya pemeliharaan dan pengamanan terhadap konstruksi jalan tersebut.

Di Indonesia yang beriklim tropis dan curah hujan yang cukup besar, konstruksi jalan banyak yang mengalami kerusakan akibat gerusan air, baik aliran air permukaan maupun aliran air bawah permukaan / air tanah. Penanganan yang tepat, sangat penting untuk melindungi badan jalan dari bahaya pengaruh limpasan air banjir, genangan air hujan, dan air tanah.

Karena masih terbatasnya petunjuk penanganan konstruksi jalan akibat gerusan air, diperlukan adanya "Manual Hidrolika untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan".

1.2 Tujuan

Membakukan tata cara perencanaan bangunan pengaman bagi konstruksi jalan akibat air permukaan maupun air tanah, agar jalan tetap dapat berfungsi dengan baik.

1.3 Ruang lingkup manual

Manual memberikan penjelasan perihal :

- Prinsip dasar ilmu hidrologi dan hidrolika
- Prinsip umum perencanaan hidrolika untuk pekerjaan jalan dan jembatan
- Tata cara perencanaan hidrolika untuk pekerjaan jalan dan jembatan, meliputi :
 - prosedur perencanaan ;
 - parameter perencanaan ;
 - persyaratan teknis ; serta
 - metode perencanaan dan perhitungan.
- Pemeliharaan bangunan hidrolika
- Analisa hidrolika di dalam manual ini dikhususkan untuk menunjang pekerjaan **perencanaan drainase jalan antar kota (rural drainage)** dan analisa hidrolika alur sungai untuk menunjang **perencanaan bentang serta elevasi jembatan**.

1.4 Istilah dan Definisi

Yang dimaksud dengan :

- hidrologi adalah bidang ilmu yang mempelajari siklus pergerakan air yang berada di muka bumi ini, baik yang akhirnya mengalir sebagai limpasan permukaan (surface run off) maupun yang meresap masuk ke dalam tanah dan menjadi aliran air tanah ;
- hidrolika adalah bidang ilmu yang mempelajari dinamika aliran air, baik aliran di saluran terbuka yang merupakan aliran bebas (free flow) maupun aliran pipa/aliran tekan (pipe flow/pressure flow) ;
- analisa hidrologi adalah proses perhitungan yang dilakukan untuk memperoleh besar hujan rencana dan debit rencana ;
- analisa hidrolika adalah proses perhitungan yang dilakukan untuk memperoleh dimensi bangunan hidrolika yang diperlukan sesuai dengan kapasitas debit rencana yang diinginkan ;
- daerah pengaliran air hujan (catchment area) adalah suatu daerah dimana tempat curah hujan terkonsentrasi (mengumpul) untuk kemudian mengalir ke dalam suatu sistem jalan air / sungai ;
- debit air adalah volume air yang mengalir dalam satuan waktu melalui penampang melintang suatu alur yang diketahui, misalnya sungai, saluran, pipa, akuifer, pelimpah, dan sebagainya ;
- limpasan (run off) adalah semua aliran air yang keluar dari daerah tangkapan air menuju ke aliran permukaan (surface stream) atau tampungan permukaan (surface detention), tidak peduli lewat mana (permukaan atau bawah permukaan) sebelum mencapai aliran permukaan ;
- limpasan permukaan (surface run off) adalah limpasan yang sebelum mencapai aliran permukaan atau tampungan permukaan senantiasa mengalir di atas permukaan ;
- limpasan bawah permukaan (sub surface run off) adalah limpasan yang sebelum mencapai aliran permukaan atau tampungan permukaan senantiasa mengalir melalui rute bawah permukaan ;
- akuifer adalah lapisan tanah pengandung air, terdiri dari akuifer bebas dan akuifer terkekang ;

- akuifer bebas adalah lapisan tanah pengandung air terletak di antara lapisan tanah kedap air (impermeable) dan lapisan tanah lulus air (permeable) ;
- akuifer terkekang adalah lapisan tanah pengandung air terletak di antara dua lapisan tanah kedap air (impermeable), sehingga lapisan tanah tersebut tidak berhubungan langsung dengan zone aerasi ;
- drainase adalah usaha pengeringan/pembuangan kelebihan air di suatu daerah, baik air permukaan maupun air di bawah permukaan tanah, pembuangannya dapat ke badan air alami (sungai, danau) atau buatan (saluran, bangunan peresapan) dan dapat dilakukan dengan cara alami (sistem gravitasi), cara mekanis (dengan pompa) atau kombinasi keduanya ;
- drainase permukaan (surface drainage) adalah drainase yang berfungsi untuk mengalirkan kelebihan air permukaan ;
- drainase bawah permukaan (sub surface drainage) adalah drainase yang berfungsi untuk mengendalikan muka air tanah yang diperlukan untuk berbagai maksud dan tujuan, antara lain untuk menghindari terjadinya kenaikan kadar air tanah dasar suatu konstruksi jalan atau timbunan tanah ;
- sistem desain drainase adalah urutan dalam menyusun perencanaan detail suatu prasarana yang diperlukan untuk mengalirkan kelebihan air ;
- desain sistem drainase adalah rencana dalam rangka menyusun suatu jaringan prasarana yang diperlukan untuk mengalirkan kelebihan air ;
- drainase permukaan jalan adalah drainase yang berfungsi untuk mengalirkan air permukaan jalan dan mengalirkan kelebihan air permukaan dari lingkungan sekitarnya ;
- sistem drainase permukaan jalan adalah susunan komponen drainase yang terdiri dari profil melintang lapis perkerasan jalan, bahu jalan, saluran samping, saluran penangkap (catch drain) dan gotong-gorong ;
- tanah dasar adalah tanah yang mendukung konstruksi perkerasan jalan ;
- lapis permukaan tanah adalah lapis bagian atas jalan yang berfungsi sebagai perkerasan untuk menahan beban roda, sebagai lapisan rapat air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca dan sebagai lapisan aus ;
- lapis perkerasan adalah lapisan konstruksi jalan yang terletak di atas tanah dasar ;

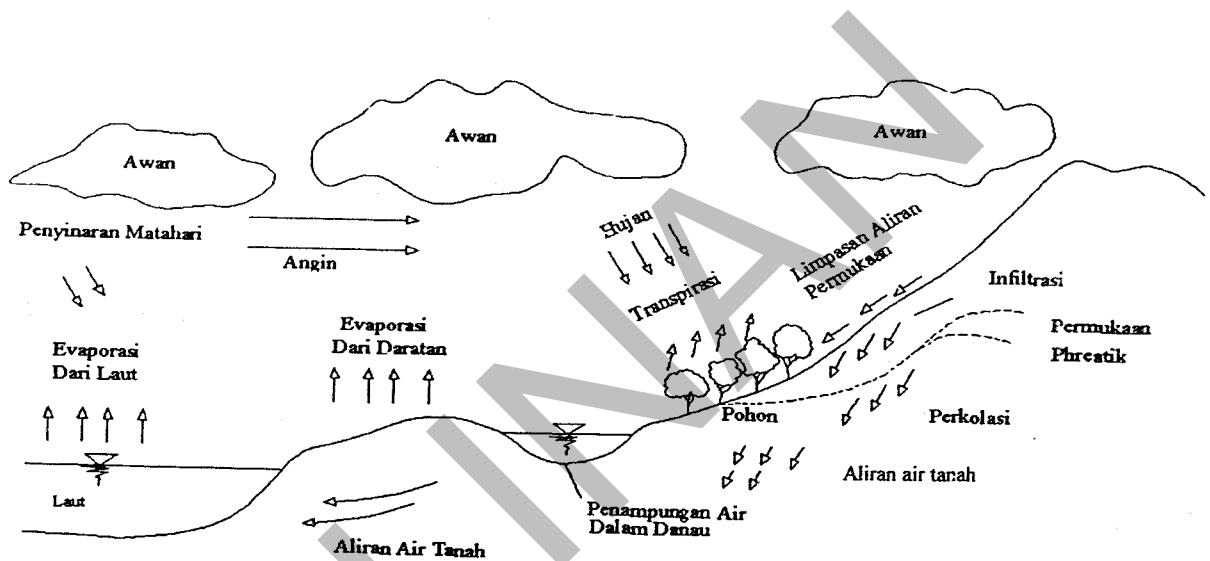
- lapis pondasi atas (LPA) adalah bagian dari lapisan suatu perkerasan yang berfungsi untuk menahan beban roda dan sebagai perletakan dari lapis permukaan tanah ;
- lapis pondasi bawah adalah bagian dari lapisan suatu perkerasan yang berfungsi untuk mendukung dan menyebarkan beban roda, dan untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi ;
- california bearing ratio (CBR) adalah perbandingan antara kekuatan tanah yang bersangkutan dengan kekuatan bahan agregat yang dianggap standar ;
- kadar air adalah perbandingan antara berat air dengan berat butir tanah ;
- indeks plastisitas adalah selisih antara batas cair dan batas plastis dimana tanah tersebut dalam keadaan plastis ;
- batas cair adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis ;
- batas plastis adalah kadar air pada batas bawah daerah plastis ;
- plastisitas adalah sifat yang memungkinkan bentuk bahan itu dirubah-rubah tanpa perubahan isi atau tanpa kembali ke bentuk asalnya, dan tanpa terjadi retakan-retakan atau terpecah-pecah.

2 Prinsip dasar hidrologi dan hidrolika

2.1 Hidrologi

2.1.1 Siklus hidrologi

Gerakan air dari permukaan laut dan daratan ke udara disusul oleh jatuhnya hujan atau bentuk presipitasi lain di atas bumi yang kemudian terkumpul dalam aliran di atas/di bawah permukaan tanah yang mengalir kembali ke laut atau cekungan lain di daratan dinamakan siklus hidrologi atau daur hidrologi (lihat Gambar 2-1).



Gambar 2-1 Siklus hidrologi

Air menguap (evaporasi) ke udara dari permukaan laut dan daratan karena adanya radiasi matahari, uap-uap air berubah menjadi awan sesudah melalui beberapa proses, awan yang terjadi bergerak di atas daratan karena desakan angin. Presipitasi dalam bentuk hujan, embun atau salju jatuh ke daratan membentuk aliran yang mengalir kembali ke laut.

Beberapa diantara air yang jatuh ke daratan akan masuk ke dalam tanah (infiltrasi) dan bergerak terus ke bawah (perkolasi) ke dalam daerah jenuh (saturated zone) di bawah muka air tanah atau permukaan phreatik. Air dalam daerah ini bergerak perlahan-lahan melewati akuifer masuk ke sungai atau kadang-kadang langsung mengalir ke laut.

Air yang berinfiltrasi memberi hidup bagi tumbuh-tumbuhan dan beberapa diantaranya naik ke atas lewat tumbuh-tumbuhan dan terjadilah transpirasi, yaitu evaporasi lewat tumbuh-tumbuhan melalui permukaan bawah dari daun.

Air yang tinggal di permukaan sebagian diuapkan (evaporasi) dan sebagian besar mengalir sebagai limpasan permukaan (surface run off) masuk ke dalam alur-alur sungai atau cekungan lainnya. Permukaan sungai dan danau juga mengalami penguapan sehingga masih ada lagi air yang dipindahkan menjadi uap (evaporasi). Air yang tidak mengalami infiltrasi dan evaporasi akan kembali ke laut melalui alur-alur sungai.

Aliran air tanah yang menuju ke alur sungai ataupun yang menuju ke pantai dan merembes ke laut, mengalir lebih lambat dibandingkan limpasan permukaan.

Demikianlah akhirnya siklus hidrologi atau daur hidrologi tersebut di atas akan senantiasa berulang kembali.

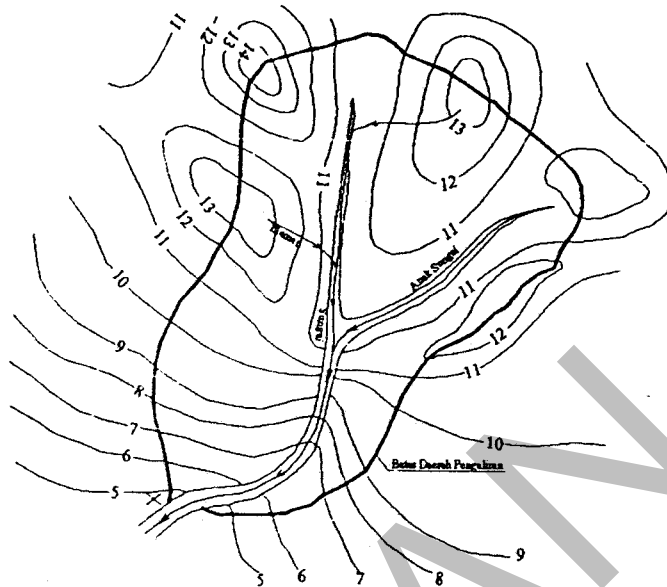
Seorang ahli hidrologi (hydrologist), akan selalu berkepentingan dengan empat macam proses dalam siklus hidrologi tersebut, yaitu : presipitasi, evaporasi/evapotranspirasi, limpasan permukaan/aliran permukaan, serta aliran air tanah.

Dia harus dapat melakukan interpretasi data-data yang dibutuhkan bagi analisa proses tersebut, dan dalam studinya harus dapat meramalkan suatu besaran ekstrim yaitu suatu debit maksimum (banjir) atau debit minimum (debit-debit kecil). Dia harus dapat memilih frekuensi mana yang paling mungkin terjadi agar dapat dipakai sebagai suatu banjir perencanaan untuk mendesain suatu bangunan air.

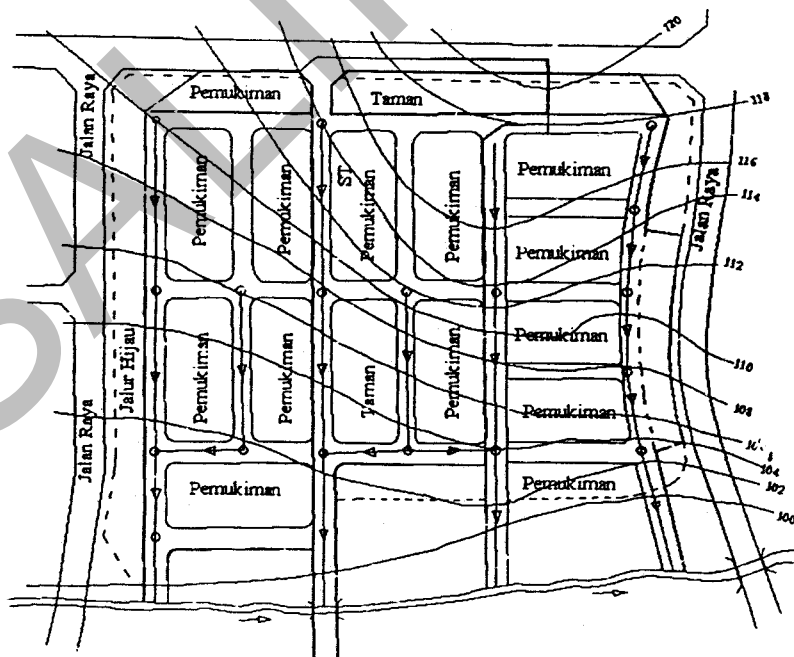
2.1.2 Karakteristik daerah pengaliran air hujan (catchment area)

Daerah pengaliran suatu sungai/saluran adalah daerah tempat presipitasi (hujan) mengkonsentrasi (mengumpul) ke sungai/saluran. Garis-garis batas daerah-daerah aliran yang berdampingan disebut batas daerah pengaliran (batas catchment area).

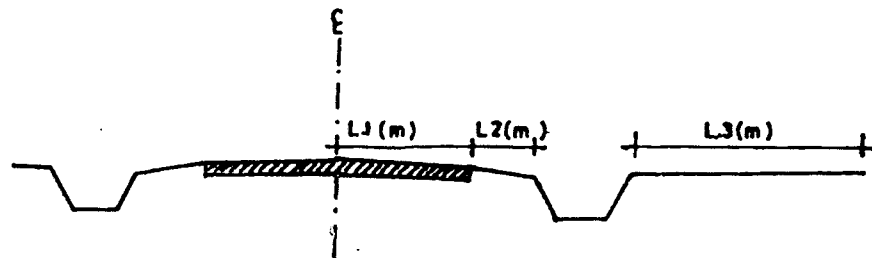
Batas daerah pengaliran yang diperlukan untuk mengetahui luas daerah pengaliran dapat ditentukan oleh dua hal, yaitu : kondisi topografi yang membentuk batas-batas alami (Gambar 2-2) atau ditentukan oleh bentuk bangunan-bangunan buatan manusia seperti misalnya tanggul, jalan, dan lain sebagainya (Gambar 2-3 dan Gambar 2-4).



Gambar 2-2 Batas daerah pengaliran yang ditentukan kondisi topografi



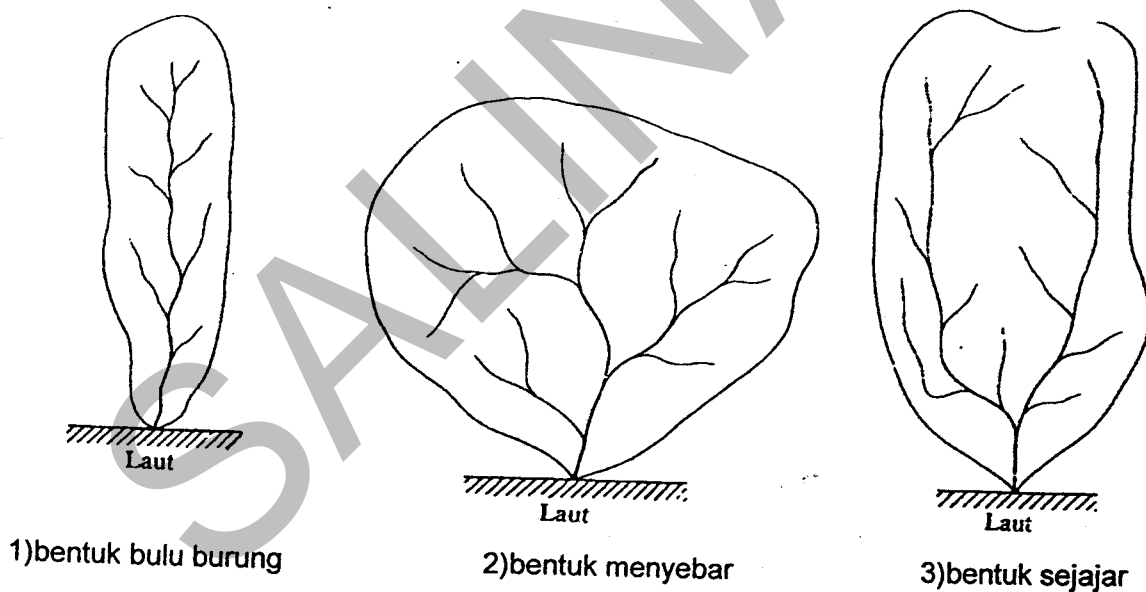
Gambar 2-3 Batas daerah pengaliran yang ditentukan bangunan manusia



Batas daerah pengaliran (L) = $L_1 + L_2 + L_3$
 L_3 tergantung dari keadaan daerah setempat, dengan panjang maksimum 100 m.

Gambar 2-4 Batas daerah pengaliran saluran samping jalan

Luas daerah pengaliran diperkirakan dengan pengukuran daerah itu pada peta topografi dengan menggunakan planimeter atau alat ukur lainnya. Daerah pengaliran yang dibatasi oleh kondisi topografi alami, umumnya terdiri dari tiga corak/bentuk, yaitu : bentuk bulu burung, bentuk menyebar dan bentuk sejajar (lihat Gambar 2-5).



Gambar 2-5 Corak/bentuk daerah pengaliran alami

(1) Daerah pengaliran berbentuk bulu burung

Jalur daerah di kanan kiri sungai utama dimana anak-anak sungai mengalir ke sungai utama disebut daerah pengaliran bulu burung. Daerah pengaliran yang berbentuk demikian mempunyai debit banjir yang kecil, karena waktu tiba banjir dari anak-anak sungainya berbeda-beda. Tetapi banjirnya berlangsung agak lama.

(2) Daerah pengaliran berbentuk menyebar (radial)

Daerah pengaliran yang berbentuk kipas atau lingkaran dimana anak-anak sungainya mengkonsentrasi ke suatu titik secara radial disebut daerah pengaliran radial. Daerah pengaliran yang berbentuk demikian mempunyai debit banjir yang besar di dekat titik pertemuan anak-anak sungai.

(3) Daerah pengaliran berbentuk sejajar (paralel)

Bentuk ini mempunyai corak dimana dua jalur daerah pengaliran bersatu di daerah pengaliran bagian hilir. Banjir yang cukup besar akan terjadi di sebelah hilir titik pertemuan sungai-sungai.

Faktor-faktor utama daerah pengaliran yang mempengaruhi koefisien run off, yaitu suatu angka pendekatan yang menunjukkan perbandingan antara jumlah air yang mengalir di atas permukaan tanah dengan curah hujannya yang mana hal itu berpengaruh besar terhadap besarnya volume aliran permukaan (surface run off) pada suatu kawasan, adalah : topografi, geologi, tata guna lahan.

(1) Topografi

Corak, elevasi dan kemiringan suatu daerah pengaliran sangat besar pengaruhnya terhadap waktu mengalirnya air permukaan, waktu konsentrasi dan besarnya debit banjir. Pada daerah pengaliran yang permukaan tanahnya miring akan terjadi aliran yang deras dan besar, terlebih kalau tanahnya keras dan rapat. Kemiringan rata-rata daerah pengaliran sangat besar pengaruhnya terhadap kecepatan meningkatnya banjir. Sedangkan banyaknya cekungan/danau di daerah pengaliran akan mengurangi besarnya banjir.

(2) Geologi

Sifat-sifat tanah di daerah pengaliran memiliki pengaruh yang besar terhadap infiltrasi. Makin besar permeabilitas tanah maka akan semakin besar pula infiltrasi, dan hal ini akan mengurangi besarnya aliran permukaan.

(3) Tata guna lahan

Aktivitas manusia pada suatu daerah pengaliran dapat merubah karakteristik limpasan air permukaan. Daerah hutan yang tertutup tumbuh-tumbuhan lebat akan mengakibatkan limpasan permukaan yang sangat kecil mengingat kapasitas infiltrasinya sangat besar. Tetapi jika di daerah tersebut dibangun suatu permukiman atau pembangunan lainnya atau terdapat penebangan hutan, maka kapasitas infiltrasinya akan turun karena terjadinya pemampatan permukaan tanah.

2.1.3 Karakteristik meteorologi

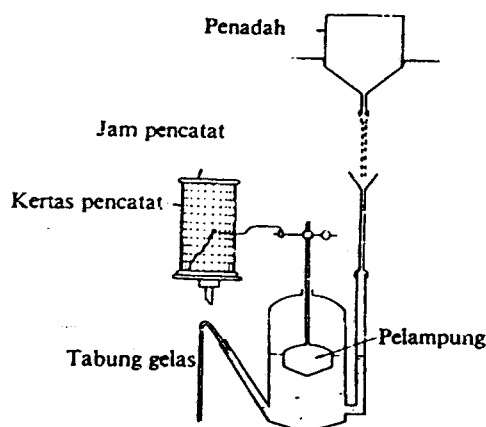
Elemen-elemen meteorologi yang erat kaitannya dengan siklus hidrologi adalah meliputi beberapa elemen sebagai berikut : presipitasi (hujan), evaporasi (penguapan), temperatur (suhu), kelembaban, angin, tekanan atmosfer, penyinaran matahari.

(1) Presipitasi

Presipitasi adalah nama umum dari uap yang mengondensasi dan jatuh ke tanah dalam rangkaian proses siklus hidrologi. Pada daerah tropis, presipitasi umumnya jatuh dalam bentuk curah hujan. Jumlah presipitasi dinyatakan dengan dalamnya presipitasi (milimeter atau disingkat mm).

Derajat curah hujan biasanya dinyatakan oleh jumlah curah hujan dalam suatu satuan waktu dan disebut intensitas curah hujan. Biasanya satuan yang digunakan adalah mm/jam. Jadi intensitas curah hujan berarti jumlah presipitasi/curah hujan dalam waktu yang relatif singkat (biasanya 2 jam).

Intensitas curah hujan dapat diketahui/dibaca dari kemiringan kurva (tangens kurva) yang dicatat oleh alat ukur hujan otomatis (lihat Gambar 2-6).



Gambar 2-6 Alat ukur hujan otomatis jenis sifon

(7) Penyinaran matahari

Jumlah jam selama matahari bersinar disebut jam penyinaran matahari yang dapat diukur dengan berbagai alat, antara lain alat ukur sinar matahari Jordan. Jumlah jam penyinaran yang dapat terjadi dalam sehari adalah tetap tergantung pada musim dan jarak lintang ke kutub. Perbandingan antara jumlah jam penyinaran yang terjadi dengan jumlah jam penyinaran yang dapat terjadi itu disebut laju radiasi matahari. Makin besar nilai laju radiasi matahari, maka semakin baik pula keadaan cuaca (cerah).

2.1.4 Data hidrologi

Pengumpulan dan pengolahan data hidrologi sangat penting artinya, mengingat keberhasilan suatu perencanaan bangunan air sangat tergantung kepada kelengkapan dan keakuratan datanya. Tujuan dilaksanakannya suatu studi hidrologi akan menentukan jenis dan jumlah data hidrologi yang diperlukan. Ketelitian yang diperlukan untuk studi pendahuluan (preliminary study) umumnya tidak seakurat yang diperlukan untuk analisa hidrologi pada tahap perencanaan detail (detail design).

Data-data hidrologi yang sangat diperlukan dalam suatu studi hidrologi untuk pekerjaan jalan dan jembatan, meliputi : data curah hujan, data debit dan tinggi muka air, data daerah pengaliran air hujan (catchment area).

(1) Data curah hujan

Analisa hidrologi untuk pekerjaan jalan dan jembatan umumnya paling membutuhkan data intensitas curah hujan. Data ini didapat dari hasil pengamatan. Bila tidak tersedia data hasil pengamatan, data intensitas curah hujan pada daerah pengaliran yang sesuai atau berdekatan yang merupakan hasil pengamatan/pengolahan data yang dilakukan oleh pihak lain, dapat dipertimbangkan untuk dipakai dalam analisa.

➤ **Data ideal**

Data ideal untuk analisa hidrologi pada pekerjaan jalan dan jembatan adalah data intensitas curah hujan dari hasil pengukuran dengan alat ukur hujan otomatis yang terietak di daerah pengaliran. Pada umumnya data tersebut dapat diperoleh dari bandara-bandara di kota-kota besar yang memiliki alat ukur hujan otomatis atau di daerah-daerah yang pernah dilakukan proyek-proyek pengembangan sumber daya air atau proyek-proyek pengendalian banjir skala besar. Instansi lain yang mungkin memiliki data ini adalah Dinas Pengairan atau Dinas Pertanian. Tetapi untuk daerah-daerah terpencil dan kecil umumnya data ini tidak tersedia.

➤ Data minimal

Apabila data intensitas curah hujan tidak tersedia, maka intensitas curah hujan dapat dihitung dengan menggunakan rumus empiris yang menyatakan hubungan antara intensitas hujan dan tinggi hujan maksimum 1 hari (R_{24}) dalam 1 tahun. Data Curah hujan minimal yang harus diperoleh adalah data curah hujan maksimum harian (R_{24}). Data ini yang paling umum yang tersedia untuk kota-kota di Indonesia dan dapat diperoleh dari Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Pusat di Jakarta.

Stasiun-stasiun hujan di Indonesia umumnya hanya dilengkapi alat ukur hujan non otomatis, sehingga pencatatan dilakukan secara manual dan curah hujan yang dicatat adalah jumlah curah hujan yang terjadi dalam 1 hari (data harian), data-data tersebut dikirimkan ke BMG Pusat.

Untuk perencanaan drainase jalan, data yang dibutuhkan adalah data curah hujan maksimum harian yang terjadi dalam 1 tahun, sehingga dari data harian yang masuk ke BMG Pusat kita ambil data maksimumnya pada tahun yang bersangkutan.

➤ Hujan rata-rata daerah

Besar hujan di setiap tempat pengukuran berubah-ubah dan saat hujannya berbeda-beda. Dengan demikian sulit untuk mengetahui besar banjir yang disebabkan oleh hujan-hujan tersebut.

Jika di suatu daerah pengaliran terdapat lebih dari satu stasiun hujan, maka untuk analisa hidrologi digunakan data rata-ratanya. Salah satu cara pendekatan adalah dengan mengambil hujan rata-rata di daerah pengaliran tersebut untuk suatu periode tertentu (1 hari, 1 bulan atau 1 tahun). Terdapat tiga metode yang umumnya dipakai untuk menentukan hujan rata-rata di suatu daerah, yaitu : metode rata-rata hitung aritmatik (arithmetic mean), metode poligon Thiessen, metode garis isohiet.

(a) Metode rata-rata hitung aritmatik (arithmetic mean)

Harga rata-rata hitung diperoleh dengan menjumlahkan curah hujan dari semua stasiun hujan selama suatu periode tertentu (1 hari, 1 bulan atau 1 tahun) dan membaginya dengan jumlah stasiun hujan. Metode ini umumnya dipakai di daerah yang datar dan memiliki banyak stasiun hujan, dengan anggapan bahwa di daerah tersebut distribusi curah hujannya adalah seragam (uniform distribution).

Rumus perhitungannya adalah sebagai berikut :

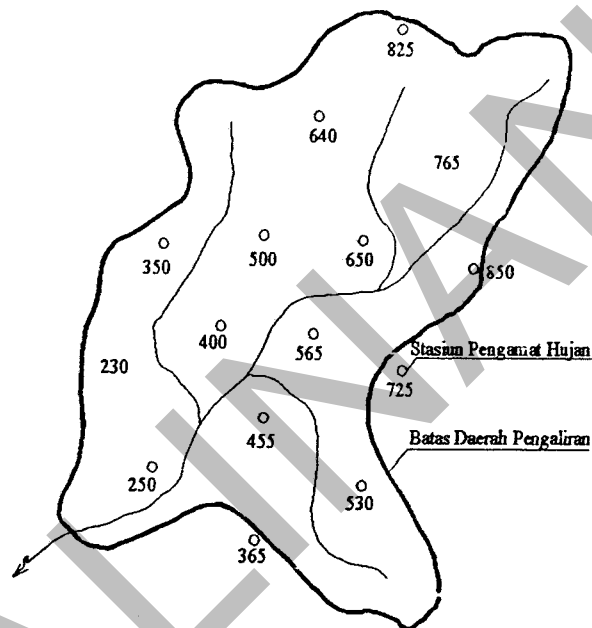
$$R_{ave} = \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n}$$

dimana :

R_{ave} = curah hujan rata-rata daerah

R_1, \dots, R_n = besarnya curah hujan di masing-masing stasiun

n = jumlah stasiun hujan.



Gambar 2-7 Metode rata-rata hitung aritmatik

(b) Metode poligon Thiessen

Pada metode ini dianggap bahwa data curah hujan dari suatu tempat pengamatan dapat digunakan untuk daerah pengaliran di sekitar tempat itu.

Cara ini diperoleh dengan membuat poligon yang memotong tegak lurus pada tengah-tengah garis penghubung dua stasiun hujan. Dengan demikian tiap stasiun hujan akan terletak pada suatu wilayah poligon tertutup (lihat Gambar 2-8). Pada gambar tersebut tampak bahwa daerah hujan yang diukur oleh suatu tempat pengamatan dibatasi oleh garis-garis putus. Luasnya diukur dengan planimeter, sehingga dapat diketahui luas setiap poligon dan total luas seluruh wilayah daerah pengaliran. Curah hujan rata-rata daerah adalah jumlah total dari hasil-hasil perkalian antara tinggi hujan di setiap stasiun dengan persentase luas masing-masing daerah hujan terhadap luas seluruh daerah pengaliran, yaitu :

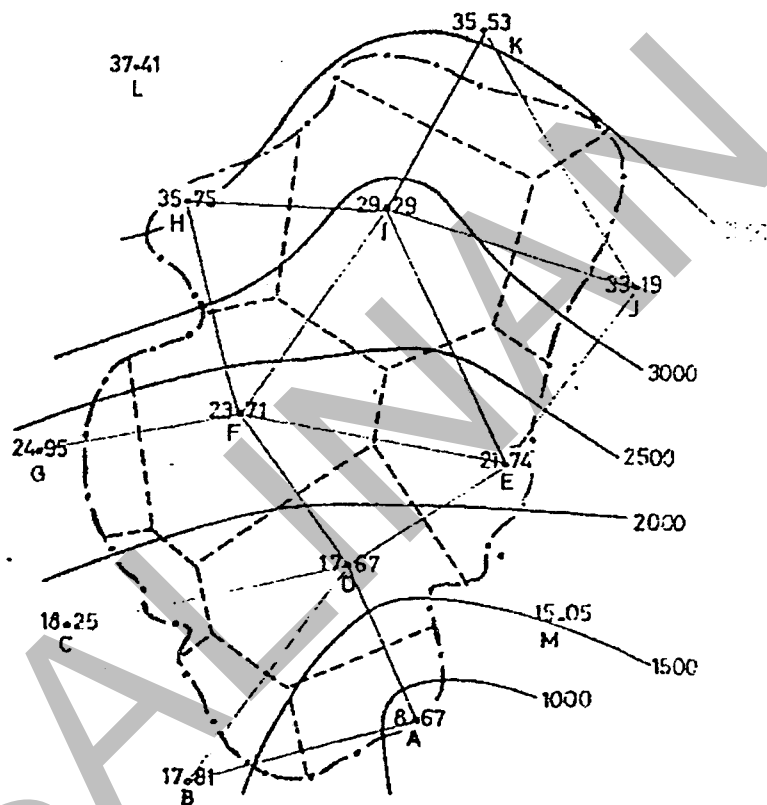
$$R_{ave} = a.A + b.B + c.C + d.D + \dots$$

dimana :

R_{ave} = curah hujan rata-rata daerah

A, B, C, D, = besarnya curah hujan di masing-masing stasiun

a, b, c, d, = persentase luas masing-masing daerah hujan terhadap luas seluruh daerah pengaliran.



Gambar 2-8 Metode poligon Thiessen

(c) Metode garis isohiet

Pada metode ini digunakan peta isohiet, yaitu peta dengan garis-garis kontour yang menghubungkan tempat-tempat dengan curah hujan yang sama besar. Peta isohiet digambar pada peta topografi dengan interval kontour 10 mm sampai 20 mm berdasarkan data curah hujan pada titik-titik pengamatan di dalam dan di sekitar daerah yang dimaksud. Luas bagian daerah antara dua garis isohiet yang berdekatan diukur dengan planimeter. Demikian pula harga rata-rata dari garis-garis isohiet yang berdekatan yang termasuk bagian-bagian daerah itu dapat dihitung.

Curah hujan daerah itu dihitung dengan persamaan berikut :

$$R_{ave} = \frac{A_1 R_1 + A_2 R_2 + A_3 R_3 + \dots + A_n R_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

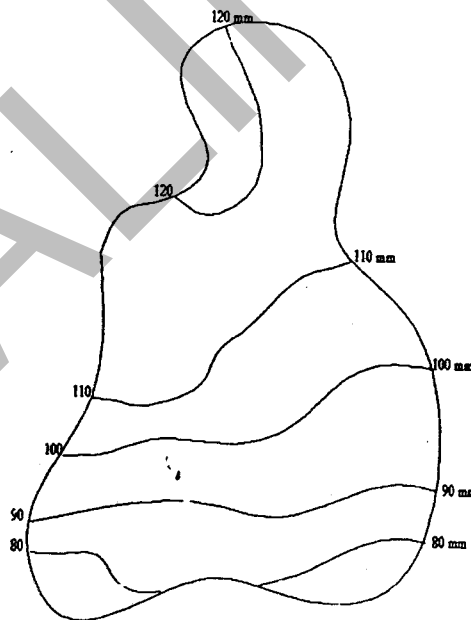
dimana :

R_{ave} = curah hujan rata-rata daerah

A_1, A_2, \dots, A_n = luas bagian-bagian antara garis-garis isohiet

R_1, R_2, \dots, R_n = curah hujan rata-rata pada bagian-bagian A_1, \dots, A_n .

Metode ini adalah cara yang terbaik jika garis-garis isohiet dapat digambar dengan teliti. Tapi jika titik-titik pengamatan itu banyak dan variasi curah hujan di daerah bersangkutan besar, maka kemungkinan terjadinya kesalahan selama proses pembuatan peta akan sangat besar. Perhitungan hujan rata-rata hanya berlaku untuk suatu waktu hujan tertentu, sedangkan untuk hujan-hujan pada saat yang lain harus dilakukan perhitungan lagi dan untuk setiap hujan tersebut harus digambarkan peta isohiet tersendiri, oleh karenanya metode ini banyak memerlukan waktu dan diperlukan ketelitian serta pengetahuan/keahlian yang cukup memadai dari si pembuat.



Gambar 2-9 Metode garis isohiet

(2) Data debit dan tinggi muka air

Data pengamatan debit dan tinggi muka air sungai merupakan data dasar yang sangat dibutuhkan untuk perencanaan bangunan air, tetapi di Indonesia umumnya tidak tersedia dengan lengkap.

Verifikasi lapangan untuk mencocokkan hasil hitungan debit rencana dari analisa hidrologi dan hasil hitungan tinggi muka air sungai dari analisa hidrolika, umumnya diperlukan dalam perencanaan. Beberapa metode yang biasa dilakukan adalah sebagai berikut :

- Wawancara dengan penduduk setempat mengenai tinggi muka air banjir maksimum yang pernah terjadi di lokasi tempat rencana bangunan air, elevasi ini harus ditandai pada pohon atau tempat-tempat lainnya untuk kemudian elevasinya diukur oleh surveyor topografi.
- Untuk menghitung debit aliran sesaat, dapat dilakukan dengan mengukur penampang melintang sungai/alur alam di daerah yang lurus dan cukup panjang serta yang kira-kira memiliki penampang melintang seragam. Kemudian dilakukan pengukuran tinggi muka air dan kecepatan arus air di lokasi tersebut, dan debit sesaat dapat dihitung dengan "persamaan kontinuitas" sebagai berikut :

$$Q = A \times V$$

dimana :

Q = debit sesaat (m^3/det)

A = luas penampang basah sungai/alur alam (m^2)

V = kecepatan arus air di sungai/alur alam (m/det).

(3) Data daerah pengaliran air hujan (catchment area)

Kondisi topografi (luas, corak, elevasi dan kemiringan lahan), kondisi permukaan tanah, kondisi geologi dan kondisi tata guna lahan di suatu daerah pengaliran sangat besar pengaruhnya terhadap besarnya limpasan permukaan.

Kondisi topografi daerah pengaliran dapat diperkirakan dengan melakukan pengukuran di atas peta topografi (skala 1 : 25.000 atau 1 : 50.000) menggunakan planimeter dan alat-alat ukur lainnya.

Kondisi permukaan tanah dan kondisi geologi dapat diketahui dari peta tanah, peta kesesuaian lahan dan peta geologi serta survai lapangan secara acak.

Sedangkan kondisi tata guna lahan dapat diketahui dengan melakukan survey lapangan secara acak dengan referensi peta tata guna lahan dan rencana tata ruang wilayah (RTRW) daerah setempat, dan untuk meramalkan kondisi tata guna lahan di masa mendatang dapat digunakan RTRW tersebut.

2.1.5 Limpasan

Limpasan (run off) adalah semua aliran air yang keluar dari catchment area menuju ke aliran permukaan/sungai (surface stream) atau tampungan permukaan/cekungan/danau (surface detention), tidak peduli lewat mana (permukaan tanah atau bawah permukaan tanah) sebelum mencapai aliran permukaan.

Untuk melakukan analisa limpasan (misalnya debit puncak banjir, debit air rendah, debit rata-rata, debit dominan), diperlukan penyelidikan yang cukup memadai dan perkiraan faktor-faktor/elemen yang mempengaruhi limpasan, yaitu :

- Elemen-elemen meteorologi, meliputi : jenis presipitasi, intensitas curah hujan, lamanya curah hujan, distribusi curah hujan di dalam daerah pengaliran, arah pergerakan curah hujan, serta curah hujan terdahulu dan kelembaban tanah.

Kondisi-kondisi meteorologi yang lain selain curah hujan, seperti suhu, kecepatan angin, kelembaban relatif, tekanan udara rata-rata dan sebagainya yang saling berhubungan satu sama lain, secara tidak langsung juga turut mempengaruhi iklim di suatu daerah dan berpengaruh terhadap limpasan.

- Elemen-elemen daerah pengaliran, meliputi : kondisi penggunaan tanah (land use), luas daerah pengaliran, kondisi topografi daerah pengaliran, jenis tanah serta geologi, dan faktor-faktor lainnya dalam daerah pengaliran seperti karakteristik jaringan sungai, drainase buatan dan lain sebagainya.

2.1.6 Banjir

Keamanan bangunan-bangunan air terhadap banjir, harus ditentukan dengan pengolahan data debit secara statistik dan penentuan periode ulangnya harus disesuaikan dengan tingkat kepentingan bangunan tersebut.

2.1.6.1 Probabilitas dan frekwensi banjir

Periode ulang (interval) banjir adalah interval waktu rata-rata dimana kejadian banjir yang direncanakan akan terjadi, dengan besar debit yang terjadi adalah sama dengan yang direncanakan atau lebih besar/terlampau. Kebalikan periode ulang adalah kemungkinan terlampauinya besar banjir yang direncanakan dalam tiap tahun.

Periode ulang banjir 100 tahun adalah banjir yang diperkirakan akan terjadi sekali dalam 100 tahun, atau dengan kata lain memiliki kemungkinan (probabilitas) kejadian sebesar 0.01 atau 1 persen.

Pemilihan banjir rencana untuk perencanaan bangunan hidrolika adalah suatu masalah yang sangat bergantung pada masalah analisa statistik dari urutan kejadian banjir, baik berupa debit banjir di sungai maupun curah hujan badai. Akibatnya pemecahan masalah tersebut menjadi begitu kompleks dan rumit, karena itu sukar untuk dirumuskan secara umum.

Untuk mempermudah pemecahan masalah, maka pertimbangan ekonomi diabaikan sehingga hanya ditentukan berdasarkan teori kemungkinan yang sering disebut "risk of failure" (risiko kegagalan), atau kemungkinan terjadinya banjir rencana sekali atau lebih selama "life time" (usia guna) suatu bangunan di sungai. Risiko kegagalan tersebut digambarkan dengan rumus :

$$P = 1 - \exp\left(\frac{-L}{T}\right) = 1 - e^{\frac{-L}{T}}$$

dimana :

P = risiko kegagalan

L = design "life time" (usia guna) bangunan

T = tahun berulangnya kejadian banjir (periode ulang)

e = 2,7182818128.

Hasil perhitungan probabilitas kejadian banjir yang lebih besar atau sama dengan banjir rencana selama usia guna (life time) bangunan untuk berbagai usia guna bangunan serta berbagai periode ulang debit banjir rencana dengan mempergunakan rumus tersebut di atas, diperlihatkan pada Tabel 2-1.

2.1.6.2 Perkiraan debit banjir rencana

Pemilihan suatu teknik analisa penentuan debit banjir rencana tergantung dari data-data yang tersedia dan jenis dari bangunan hidrolika yang akan direncanakan. Perkiraan debit banjir rencana untuk perencanaan sistem drainase jalan biasanya didasarkan pada rekaman curah hujan, sedangkan perkiraan debit banjir rencana untuk perencanaan alur sungai di lokasi jembatan dapat didasarkan pada rekaman debit banjir di sungai yang bersangkutan atau rekaman curah hujan.

Penggunaan data debit merupakan cara terbaik untuk analisis langsung. Permasalahan di banyak negara termasuk Indonesia, data curah hujan lebih mudah diperoleh daripada data debit, sehingga analisa banjir rencana menggunakan data curah hujan yang lebih sering digunakan, dan data debit aliran sungai yang ada digunakan sebagai pertimbangan (verifikasi) hasil analisa.

Cara untuk analisa perkiraan debit banjir rencana dapat dibagi dalam 2 (dua) kelompok, yaitu sebagai berikut :

(1) Cara berdasarkan debit aliran sungai

Untuk daerah aliran sungai yang debit aliran banjirnya terukur dengan periode pencatatan dalam jangka waktu cukup panjang (setidaknya minimal 10 tahun), maka rangkaian data tersebut dapat dianalisa secara statistik dan dibuat perkiraan debit banjir rencana dengan periode ulang tertentu.

Metode "analisa frekwensi banjir", adalah cara yang paling akurat untuk memperkirakan besaran dan frekwensi banjir rencana. Terdapat banyak metode analisa frekwensi, namun yang paling terkenal dan paling banyak digunakan karena keandalannya cukup baik adalah metode "Extrem Value" dari E.J Gumbel.

Bila terdapat daerah aliran sungai yang lain di sekitar daerah studi dengan data pencatatan debit yang lebih panjang dan lengkap, maka data tersebut dapat dianalisa, dan kemudian debit banjir rencana yang dihasilkan dihubungkan dengan karakteristik daerah alirannya (luas, panjang, penggunaan lahan, kerapatan vegetasi dsb). Hubungan tersebut kemudian dapat digunakan untuk memperkirakan debit banjir rencana dari daerah aliran sungai lain di sekitarnya yang data debit banjirnya tidak terukur atau periode pencatatannya kurang memenuhi. Pendekatan tersebut dikenal sebagai cara "frekwensi banjir regional".

b. **Metode hidrograf satuan (unit hydrograph)**

Hidrograf satuan adalah hidrograf limpasan permukaan yang diakibatkan oleh curah hujan dalam jangka waktu yang relatif singkat dengan intensitas tinggi, yang disebut hujan satuan. Metode ini paling diakui karena akurasinya paling memadai.

Konsep terpenting dalam teori hidrograf satuan adalah bahwa hujan satuan yang berbeda-beda besarnya itu akan menghasilkan suatu model grafik distribusi yang hampir sama. Jadi jika model grafik distribusi dari suatu daerah aliran telah didapat, maka hidrograf dari debit sungai yang disebabkan oleh suatu curah hujan yang lain akan dapat diperoleh dengan menyusun grafik-grafik distribusi dari setiap hujan satuan.

Pada daerah dimana data debit aliran sungai dan data curah hujan sangat terbatas, hubungan antara parameter model dan karakteristik daerah aliran yang diperoleh dari luar daerah yang ditinjau, dapat diuji dengan data yang ada di daerah tinjauan, dan yang paling mendekati biasanya dapat dijadikan sebagai model untuk daerah aliran sungai yang ditinjau.

Setelah debit banjir rencana ditentukan, selanjutnya dapat direncanakan dimensi bangunan hidrolika, seperti misalnya dimensi saluran drainase samping jalan, dimensi gorong – gorong, ataupun ketinggian muka air dan kecepatan aliran di alur sungai serta di rencana penyempitan bangunan jembatan dengan menggunakan tahapan-tahapan analisa hidrolika yang berlaku dan sesuai.

2.1.6.3 Tinggi jagaan (free board) banjir rencana

Tinggi jagaan adalah ruang bebas vertikal antara titik terendah dari tepi jalan dan muka air banjir rencana. Untuk saluran drainase jalan, tinggi jagaan biasanya diambil 0.30 - 0.50 m. Sedangkan untuk jembatan, tinggi jagaan adalah ruang bebas vertikal antara titik terendah dari tepi bawah plat jembatan dan muka air banjir rencana. Tinggi jagaan untuk jembatan, biasanya direncanakan minimal 1,0 meter dan harus dipertimbangkan untuk ditambah bilamana ada kemungkinan sungai membawa benda-benda hanyutan yang berukuran besar saat terjadi banjir rencana.

2.2 Hidrolika

Terdapat dua jenis aliran air dalam suatu saluran alam maupun buatan, yaitu aliran bebas/aliran saluran terbuka (free flow/open channel flow) dan aliran tekan/aliran pipa (pressure flow/pipe flow), dengan deskripsi masing-masing jenis aliran adalah sebagaimana dijelaskan di bawah ini.

2.2.1 Aliran bebas

Aliran bebas/aliran saluran terbuka adalah tipe aliran yang memiliki permukaan bebas (free surface), dimana permukaan bebas tersebut dipengaruhi oleh tekanan udara. Keadaan atau sifat aliran bebas/aliran saluran terbuka pada dasarnya ditentukan oleh pengaruh kekentalan (viscosity) dan gravitasi sehubungan dengan adanya gaya-gaya inersia aliran.

Aliran dapat bersifat laminar, turbulen atau peralihan tergantung pada pengaruh kekentalan terhadap kelebamannya (inersia), yang dapat dinyatakan dengan Bilangan Reynolds (R) sebagai berikut :

$$R = \frac{VL}{\nu}$$

dimana :

V = kecepatan aliran (m/detik)

L = panjang karakteristik aliran (m)

ν = kekentalan kinematik air (m²/detik),

untuk air pada 68°F (20°C) nilai $\nu = 1,08 \times 10^{-5} \text{ ft}^2/\text{sec} = 1,003 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{detik}$.

Akibat gaya tarik bumi (gravitasi) terhadap aliran dinyatakan dengan perbandingan antara gaya inersia dengan gaya tarik bumi. Perbandingan tersebut ditetapkan sebagai Bilangan Froude (F) dan didefinisikan sebagai berikut :

$$F = \frac{V}{\sqrt{gd}}$$

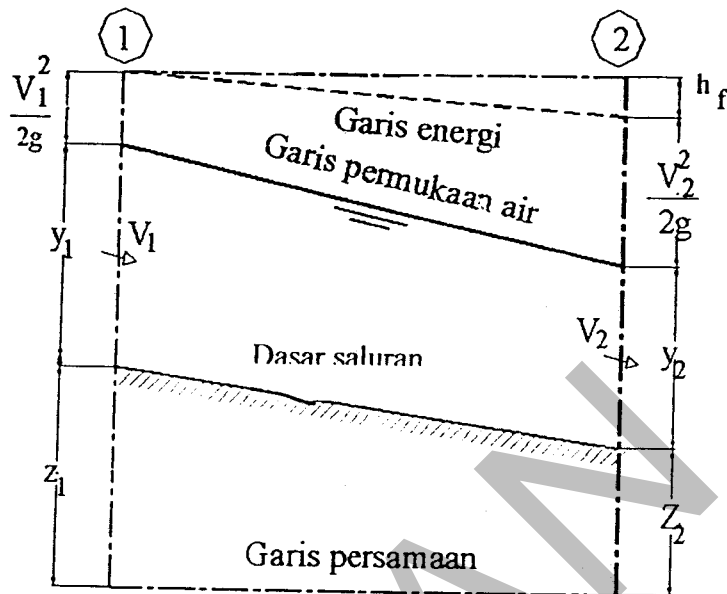
dimana :

V = kecepatan aliran rata-rata (m/detik)

g = percepatan gravitasi (m/detik²)

d = kedalaman hidraulik (m), yang ditentukan sebagai luas penampang melintang air tegak lurus pada aliran dalam saluran yang dibagi oleh lebar permukaan bebas. Untuk saluran persegi empat, nilai ini adalah sama dengan kedalaman air di penampang aliran.

Karakteristik aliran bebas/aliran saluran terbuka ditunjukkan pada Gambar 2-10.



Gambar 2-10 Karakteristik aliran bebas/aliran saluran terbuka

Energi potensial pada suatu titik tertentu diwakili oleh kedalaman air (y) ditambah ketinggian dasar saluran di atas suatu datum tertentu (z). Sedangkan energi kinetik (dalam meter) diwakili oleh tinggi tekan kecepatan $\frac{V^2}{2g}$.

Jumlah energi di atas dasar saluran disebut energi spesifik atau tinggi tekan spesifik, yaitu $He = y + \frac{V^2}{2g}$.

Energi total (tinggi tekan total), merupakan tinggi tekan spesifik (He) ditambah ketinggian dasar saluran di atas suatu datum tertentu (z).

Tinggi tekan total digunakan dalam rumus energi "Bernoulli", yang menyatakan bahwa tinggi tekan total pada suatu titik dalam saluran yang mengangkut aliran air adalah sama dengan tinggi tekan total pada tiap titik di sebelah hilirnya ditambah kehilangan energi (kehilangan tinggi tekan atau h_f) yang terjadi di antara dua titik tersebut.

Rumus umum energi Bernoulli adalah sebagai berikut :

$$z_1 + y_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + y_2 + \frac{V_2^2}{2g} + h_f$$

dimana :

z_1, z_2 = ketinggian dasar saluran di titik 1 dan 2 di atas suatu datum tertentu (m)

y_1, y_2 = kedalaman air pada titik 1 dan titik 2 (m)

v_1, v_2 = kecepatan aliran pada titik 1 dan titik 2 (m/det)

g = percepatan gravitasi (m/det²)

h_f = kehilangan energi atau kehilangan tinggi tekan antara titik 1 dan titik 2 (m)

$\frac{V^2}{2g}$ = energi kinetik atau tinggi tekan kecepatan (m).

Aliran bebas/aliran saluran terbuka dapat digolongkan menjadi berbagai tipe aliran berdasarkan terjadinya perubahan kedalaman aliran sesuai dengan waktu dan ruang, yaitu sebagai berikut :

- **Waktu sebagai tolok ukur :**

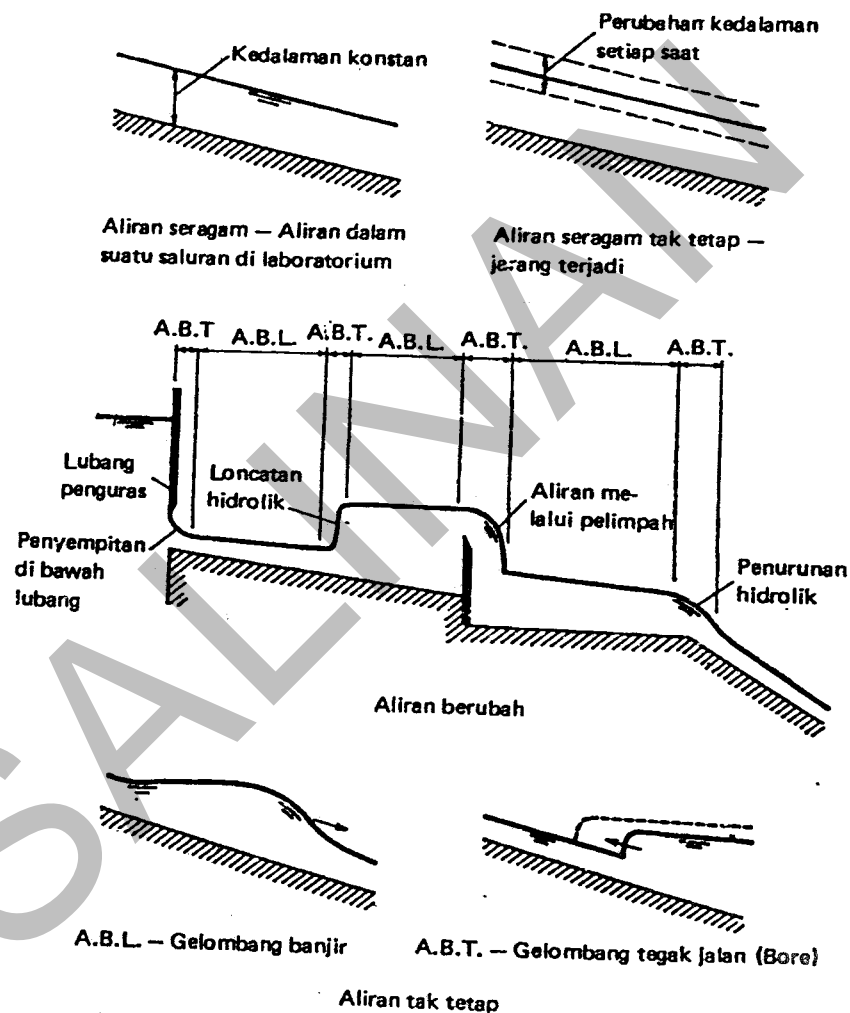
- Aliran tetap/aliran langgeng (steady flow) : bila kedalaman aliran tidak berubah atau dapat dianggap konstan selama suatu jangka waktu tertentu.
- Aliran tidak tetap/aliran aliran tidak langgeng (unsteady flow) : bila kedalaman aliran senantiasa berubah sesuai dengan waktu.

Sebagian besar pembahasan mengenai aliran saluran terbuka umumnya mencakup sifat-sifat aliran tetap/aliran langgeng (steady flow).

- **Ruang sebagai tolok ukur :**

- Aliran seragam (uniform flow) : bila kedalaman aliran sama pada setiap penampang saluran. Suatu aliran seragam dapat bersifat tetap atau tidak tetap, tergantung apakah kedalamannya berubah sesuai dengan perubahan waktu :
 - Aliran seragam yang tetap (steady uniform flow) bilamana kedalaman aliran tidak berubah selama suatu jangka waktu tertentu. Tipe aliran ini yang umumnya dibahas dalam hidrolika saluran terbuka.
 - Aliran seragam yang tidak tetap (unsteady uniform flow) bilamana permukaan air senantiasa berfluktuasi setiap waktu dan tetap sejajar dengan dasar saluran. Tipe ini pada dasarnya praktis tidak pernah terjadi, oleh karenanya jarang/tidak pernah dibahas dalam permasalahan hidrolika saluran terbuka.
- Aliran tidak seragam/aliran berubah (non uniform flow / varied flow): bila kedalaman aliran berubah di sepanjang saluransesuai dengan waktu. Aliran berubah dapat dibagi menjadi berubah tiba-tiba dan berubah lambat laun :

- Aliran berubah tiba-tiba (rapidly varied flow) terjadi bilamana kedalamannya mendadak berubah pada jarak yang cukup pendek. Aliran berubah tiba-tiba juga disebut sebagai gejala setempat (local phenomenon), contohnya adalah loncatan hidrolik dan penurunan hidrolik.
- Aliran berubah lambat laun (gradually varied flow) adalah kebalikan dari aliran berubah tiba-tiba, yaitu terjadinya perubahan kedalaman aliran adalah pada jarak yang cukup panjang dan terjadi secara lambat laun.



Gambar 2-11 Berbagai tipe aliran saluran terbuka

Aliran dalam suatu saluran tertutup tidak selalu bersifat aliran tekan/aliran pipa. Bila dalam saluran tertutup itu terdapat suatu permukaan bebas, maka harus digolongkan sebagai aliran bebas/aliran saluran terbuka. Misalnya, saluran drainase yang merupakan saluran tertutup atau gorong-gorong pembuang yang biasanya direncanakan untuk aliran saluran terbuka yang setiap saat memiliki permukaan bebas dengan tujuan untuk mencegah terjadinya penyumbatan akibat benda-benda hanyut.

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

dimana :

V = kecepatan aliran rata-rata (m/det)

R = jari-jari hidrolis (m) = A/P

A = luas penampang basah (m²)

P = keliling penampang basah (m)

S = kemiringan energi (untuk aliran seragam, S = kemiringan dasar saluran)

n = koefisien kekasaran Manning.

Akibat sederhananya rumus itu dan hasilnya yang memuaskan dalam pemakaian praktis, rumus Manning menjadi sangat banyak dipakai dibandingkan dengan rumus aliran seragam lainnya untuk menghitung aliran saluran terbuka.

Hal paling penting dalam mengaplikasikan rumus Manning adalah kemampuan untuk mengevaluasi secara tepat nilai koefisien kekasaran Manning (n) yang sangat tergantung pada banyak faktor, seperti : kekasaran permukaan saluran, vegetasi yang tumbuh di saluran, ketidak teraturan saluran, trase saluran, pengendapan dan penggerusan, hambatan aliran, ukuran dan bentuk saluran, tinggi muka air dan debit, serta endapan dasar dan endapan layang. Sebagai pedoman, nilai "n" yang umumnya dipakai dalam praktek, diringkas untuk berbagai keadaan saluran sebagaimana dijelaskan pada manual bagian 3.2.3.1 (Tabel 3-2).

2.2.2 Aliran tekan/aliran pipa

Aliran tekan/aliran pipa (pressure flow/pipe flow) adalah tipe aliran yang tidak memiliki permukaan bebas, karena air harus mengisi seluruh ruang pada saluran. Aliran tekan/aliran pipa, yang terkurung dalam saluran tertutup, tidak terpengaruh langsung oleh tekanan udara, kecuali oleh tekanan hidrolik.

Karakteristik aliran tekan/aliran pipa adalah ditunjukkan pada Gambar 2-12. Dua tabung piezometer dipasang ke pipa di penampang 1 dan penampang 2. Permukaan air dalam tabung diatur dengan tekanan dalam pipa pada ketinggian yang disebut garis derajat hidrolik (hydraulic grade line). Tekanan yang ditimbulkan oleh air pada setiap penampang pipa ditunjukkan dalam tabung yang bersangkutan oleh kolom air setinggi y di atas garis tengah pipa. Jumlah energi dalam aliran di penampang berdasarkan suatu garis persamaan adalah jumlah tinggi tempat z diukur dari garis tengah pipa, tinggi tekan

y dan tinggi kecepatan $\frac{V^2}{2g}$ dimana V adalah kecepatan aliran rata-rata.

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

dimana :

V = kecepatan aliran rata-rata (m/det)

R = jari-jari hidrolis (m) = A/P

A = luas penampang basah (m²)

P = keliling penampang basah (m)

S = kemiringan energi (untuk aliran seragam, S = kemiringan dasar saluran)

n = koefisien kekasaran Manning.

Akibat sederhananya rumus itu dan hasilnya yang memuaskan dalam pemakaian praktis, rumus Manning menjadi sangat banyak dipakai dibandingkan dengan rumus aliran seragam lainnya untuk menghitung aliran saluran terbuka.

Hal paling penting dalam mengaplikasikan rumus Manning adalah kemampuan untuk mengevaluasi secara tepat nilai koefisien kekasaran Manning (n) yang sangat tergantung pada banyak faktor, seperti : kekasaran permukaan saluran, vegetasi yang tumbuh di saluran, ketidak teraturan saluran, trase saluran, pengendapan dan penggerusan, hambatan aliran, ukuran dan bentuk saluran, tinggi muka air dan debit, serta endapan dasar dan endapan layang. Sebagai pedoman, nilai "n" yang umumnya dipakai dalam praktek, diringkas untuk berbagai keadaan saluran sebagaimana dijelaskan pada manual bagian 3.2.3.1 (Tabel 3-2).

2.2.2 Aliran tekan/aliran pipa

Aliran tekan/aliran pipa (pressure flow/pipe flow) adalah tipe aliran yang tidak memiliki permukaan bebas, karena air harus mengisi seluruh ruang pada saluran. Aliran tekan/aliran pipa, yang terkurung dalam saluran tertutup, tidak terpengaruh langsung oleh tekanan udara, kecuali oleh tekanan hidrolik.

Karakteristik aliran tekan/aliran pipa adalah ditunjukkan pada Gambar 2-12. Dua tabung piezometer dipasang ke pipa di penampang 1 dan penampang 2. Permukaan air dalam tabung diatur dengan tekanan dalam pipa pada ketinggian yang disebut garis derajat hidrolik (hydraulic grade line). Tekanan yang ditimbulkan oleh air pada setiap penampang pipa ditunjukkan dalam tabung yang bersangkutan oleh kolom air setinggi y di atas garis tengah pipa. Jumlah energi dalam aliran di penampang berdasarkan suatu garis persamaan adalah jumlah tinggi tempat z diukur dari garis tengah pipa, tinggi tekan

y dan tinggi kecepatan $\frac{V^2}{2g}$ dimana V adalah kecepatan aliran rata-rata.

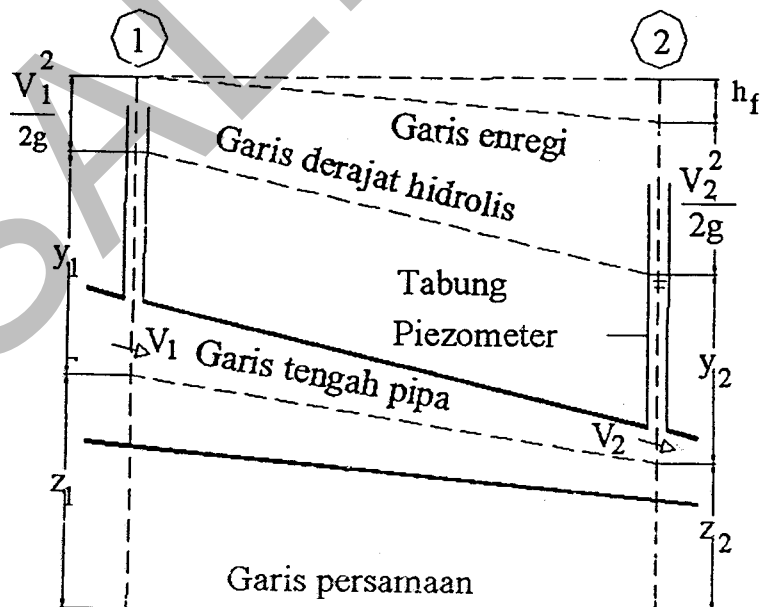
Energi ini dinyatakan dalam gambar dengan suatu garis derajat energi (energy grade line) atau disingkat garis energi (energy line). Energi yang hilang ketika air mengalir dari penampang 1 ke penampang 2 dinyatakan dengan h_f . Secara skematis, karakteristik aliran dalam pipa seperti digambarkan tersebut menyerupai karakteristik aliran saluran terbuka sebagaimana digambarkan pada Gambar 2-10. Hanya saja, permasalahan aliran saluran terbuka adalah lebih kompleks daripada aliran pipa sebagaimana telah dijelaskan di atas, karena dipengaruhi banyak faktor yang saling terkait satu sama lain.

Berbagai rumus untuk menyelesaikan permasalahan kehilangan energi aliran di dalam pipa telah dibuat dan dipublikasikan, dimana salah satu rumus yang paling terkenal dan banyak digunakan adalah rumus yang dikembangkan oleh Darcy-Weisbach, yaitu sebagai berikut :

$$h_f = f \frac{L}{d_o} \frac{V^2}{2g}$$

dimana :

- | | |
|--------------------------------|---|
| h_f = kehilangan energi (m) | f = faktor geseran |
| L = panjang pipa (m) | d_o = garis tengah pipa (m) |
| V = kecepatan aliran (m/det) | g = percepatan gravitasi (m/det ²). |



Gambar 2-12 Karakteristik aliran tekan/aliran pipa

3 Prinsip umum perencanaan hidrolika untuk pekerjaan jalan dan jembatan

3.1 Prinsip umum perencanaan hidrolika untuk pekerjaan jalan

3.1.1 Kepentingan hidrolika untuk pekerjaan jalan

Kurang memadainya drainase jalan dapat menjadi salah satu penyebab kerusakan konstruksi jalan. Oleh karenanya perencanaan sistem drainase jalan harus dilaksanakan dengan baik. Air hujan atau air limbah dari daerah-daerah di sekitar jalan harus dialirkan ke sungai atau ke tempat-tempat pembuangan lainnya dengan melalui saluran tepi jalan dan bangunan-bangunan air yang melintasi jalan, seperti misalnya gorong-gorong.

Saluran dan bangunan air tersebut, dimensinya harus diperhitungkan cukup untuk mengalirkan sejumlah volume air dalam kurun waktu tertentu, atau disebut debit aliran air dan dinyatakan dengan satuan m^3/detik . Masalahnya adalah seberapa besar debit yang harus disalurkan melalui saluran dan bangunan air tersebut, serta berapa dimensi saluran serta bangunan air yang diperlukan untuk mengalirkan debit tersebut.

Analisa hidrologi dimaksudkan untuk menetapkan besarnya debit (Q) yang harus disalurkan. Sedangkan analisa hidrolika diperlukan untuk menetapkan dimensi saluran dan bangunan drainase yang diperlukan untuk mengalirkan debit tersebut.

3.1.2 Drainase jalan

3.1.2.1 Umum

Secara umum, pengertian drainase adalah setiap usaha pengeringan/ pembuangan kelebihan air di suatu daerah, baik air permukaan maupun air di bawah permukaan tanah, pembuangannya dapat ke badan air alami (sungai, danau) atau buatan (saluran, bangunan peresapan) dan dapat dilakukan dengan cara alami (sistem gravitasi), cara mekanis (dengan pompa) atau kombinasi keduanya. Sedangkan bangunan drainase jalan adalah prasarana yang berfungsi melindungi konstruksi jalan dari bahaya limpasan air permukaan atau air tanah yang akan merembes ke dalam badan jalan, dengan mengalirkannya ke badan air atau ke sumur resapan.

3.1.2.2 Tujuan

Tujuan drainase jalan adalah mengelola kelebihan air permukaan dan bawah permukaan tanah yang dapat menjadi salah satu penyebab kerusakan konstruksi jalan dengan cara mempertahankan kadar air pada badan jalan agar tidak berlebihan. Hal itu umumnya menyangkut upaya-upaya sebagai berikut :

- (1) Pengumpulan dan pembuangan air permukaan dari perkerasan jalan dan daerah sekitarnya dengan cara membangun saluran samping (side ditch) ;
- (2) Pengumpulan dan pembuangan air tanah dari bagian bawah (pondasi jalan) dan pertemuan antara bagian pondasi dengan tanah dasar, dengan cara membuat saluran drainase bawah tanah (sub drain) ;
- (3) Melindungi atau memperlambat terjadinya erosi pada badan jalan ;
- (4) Pengumpulan dan pembuangan air pada jalur jalan yang berpotongan dengan saluran alam, saluran irigasi dan aliran air lainnya dari satu sisi jalan keluar daerah penguasaan jalan tanpa merusak konstruksi jalan, dengan cara membuat gorong-gorong, jembatan atau bangunan perlintasan lainnya ; serta
- (5) Pengumpulan dan pembuangan air perbukitan (dataran tinggi) yang mengalir melalui permukaan jalan dengan cara membuat saluran penangkap (catch ditch).

3.1.2.3 Sistem drainase jalan

Ditinjau dari fungsi dan tujuannya, sistem drainase jalan dibagi menjadi 2 (dua), yaitu :

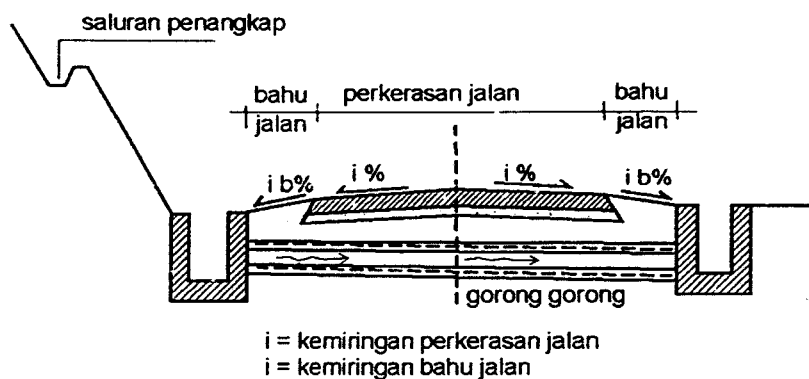
- (1) Drainase permukaan (surface drainage) ; serta
- (2) Drainase bawah permukaan (sub surface drainage).

3.1.2.3.1 Drainase permukaan (surface drainage)

Sistem drainase permukaan berfungsi untuk mengendalikan limpasan air hujan di permukaan jalan dan dari daerah di sekitarnya agar tidak merusak konstruksi jalan, seperti misalnya kerusakan karena air banjir yang melimpas di atas perkerasan jalan atau kerusakan pada badan jalan akibat erosi.

Pada prinsipnya, sistem drainase permukaan jalan terdiri dari komponen-komponen sebagai berikut (lihat Gambar 3-1) :

- (1) Kemiringan melintang perkerasan dan bahu jalan ;
- (2) Saluran samping (side ditch) ;
- (3) Gorong-gorong (culvert) ; serta
- (4) Saluran penangkap (catch ditch).



Gambar 3-1 Sistem drainase permukaan jalan

(1) Kemiringan melintang perkerasan dan bahu jalan

Agar supaya air hujan yang jatuh di atas permukaan jalan dapat segera dibuang ke saluran samping jalan, maka kemiringan melintang perkerasan dan bahu jalan harus memenuhi ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

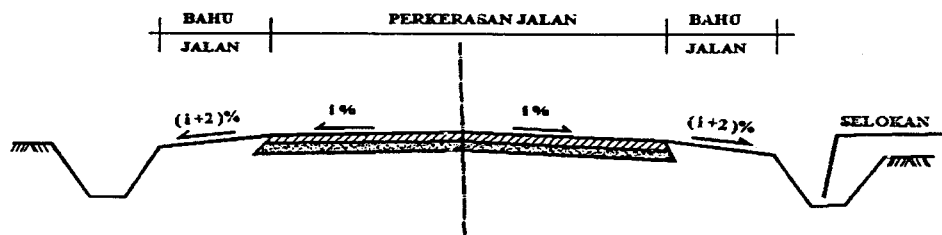
a. Pada daerah jalan yang datar dan lurus :

- Kemiringan perkerasan dan bahu jalan mulai dari tengah perkerasan dibuat menurun/melandai ke arah selokan samping (Gambar 3-2).
- Besarnya kemiringan bahu jalan diambil 2% lebih besar dari pada kemiringan permukaan jalan (Gambar 3-2).
- Besarnya kemiringan melintang normal pada perkerasan jalan dapat dilihat seperti tercantum pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Kemiringan melintang perkerasan dan bahu jalan

No	Jenis Lapisan Permukaan Jalan	Kemiringan Melintang Normal i (%)
1	Aspal, Beton	2 – 3
2	Japat	4 – 6
3	Kerikil	3 – 6
4	Tanah	4 – 6

Sumber : SNI 03-3424-1994 (Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan)

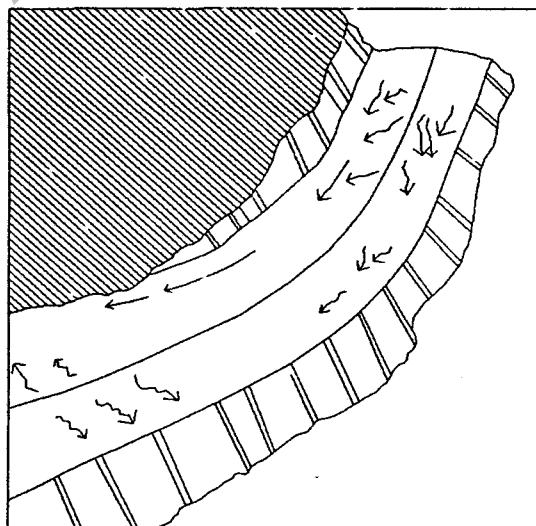


Gambar 3-2 Kemiringan melintang normal di daerah datar & lurus

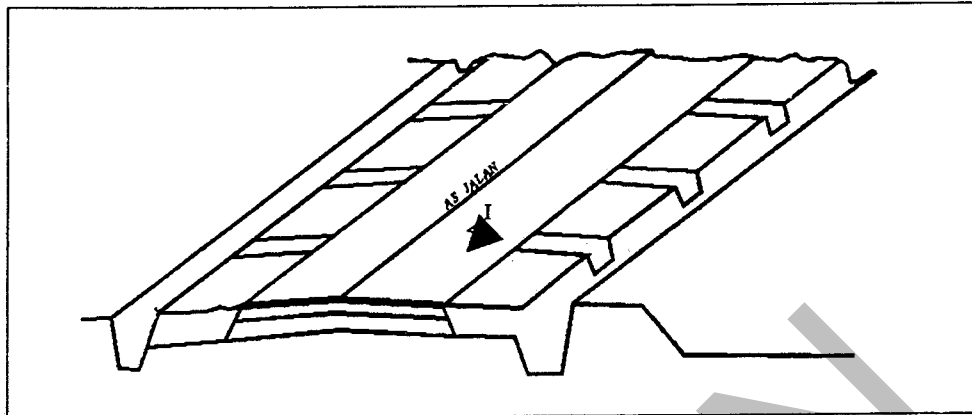
b. Pada daerah jalan yang lurus di tanjakan / turunan :

- Perlu mempertimbangkan besarnya kemiringan alignment vertikal jalan yang berupa tanjakan dan turunan, agar aliran air secepatnya bisa mengalir ke saluran samping.
- Besarnya kemiringan perkerasan jalan dapat diambil nilai-nilai maksimum pada Tabel 3-1.

Pada daerah tanjakan atau turunan dengan landai jalan lebih curam dari pada lereng jalan, maka umumnya limpasan air hujan akan mengalir mengikuti arah pengaruh gaya tarik bumi di sepanjang tepi perkerasan jalan (lihat Gambar 3-3). Untuk mempercepat keluarnya aliran tersebut dari daerah perkerasan jalan dan meminimalkan kemungkinan rusaknya perkerasan jalan akibat aliran ini, maka pada badan jalan dapat dipertimbangkan pembuatan selokan-selokan kecil melintang bahu jalan dengan jarak tertentu (lihat Gambar 3-4).



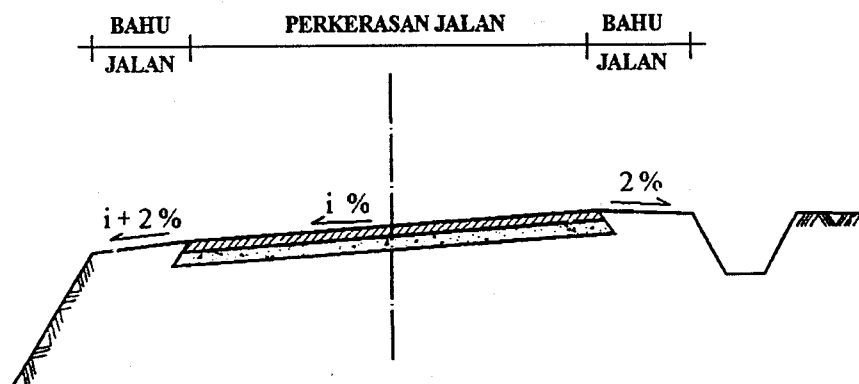
Gambar 3-3 Arah limpasan air hujan di tanjakan/turunan



Gambar 3-4 Drainase bahu jalan di tanjakan/turunan

c. Pada daerah tikungan :

- Harus mempertimbangkan kebutuhan kemiringan jalan menurut persyaratan alignment horisontal jalan (menurut ketentuan yang berlaku).
- Kemiringan perkerasan jalan harus dimulai dari sisi luar tikungan dan menurun/melandai ke arah sisi dalam tikungan.
- Besarnya kemiringan daerah ini ditentukan oleh nilai maksimum kebutuhan kemiringan alignment horisontal atau kebutuhan kemiringan menurut keperluan drainase.
- Besarnya kemiringan bahu jalan ditentukan dengan kaidah-kaidah seperti pada butir 1) tersebut di atas (lihat Gambar 3-5).



Gambar 3-5 Kemiringan melintang di daerah tikungan

(2) Saluran samping (side ditch)

Saluran samping jalan adalah saluran yang dibuat di sisi kanan dan kiri badan jalan dan berfungsi serta harus diperhitungkan mampu untuk :

- menampung dan mengalirkan air hujan yang berasal dari permukaan perkerasan jalan ;
- menampung dan mengalirkan air hujan yang berasal dari daerah penguasaan jalan dan atau dari daerah pengaliran (catchment area) di sekitar saluran samping jalan..

Bentuk saluran samping dipilih antara lain berdasarkan pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

- kondisi tanah dasar ;
- kecepatan aliran ; serta
- dalam atau dangkalnya kedudukan air tanah.

(3) Gorong-gorong (culvert)

Gorong-gorong adalah bangunan drainase yang berfungsi untuk :

- memberi jalan kepada air dari alur alam (parit, sungai kecil) yang mengalir melintasi jalan ; dan atau
- mengalirkan air dari saluran samping di satu sisi jalan ke sisi jalan yang lainnya untuk dibuang keluar, misalnya ke lembah-lembah atau sungai-sungai di sekitar jalan.

Material untuk gorong-gorong ada 2 (dua) macam, yaitu beton bertulang dan baja. Beton bertulang bisa berpenampang lingkaran atau kotak (box culvert) dengan berbagai macam ukuran. Gorong-gorong baja umumnya lebih praktis dan dapat memiliki dimensi yang lebih besar dari pada gorong-gorong beton. Bentuk-bentuk penampang yang biasa dikenal adalah lingkaran dan ellips.

(4) Saluran penangkap (catch ditch)

Kadang-kadang air yang harus ditampung oleh saluran samping jalan (side ditch) yang berasal dari daerah pengaliran (catchment area) di sebelah luar saluran samping jalan, adalah terlalu besar. Hal itu dapat terjadi pada jalan yang berada di daerah-daerah perbukitan/pegunungan.

Pada kondisi demikian, untuk memperoleh dimensi saluran samping jalan yang masih cukup tepat dan atau tidak terlampaui besar serta untuk menghindari terjadinya erosi pada lereng tebing di samping jalan, maka tidak seluruh aliran air ditampung ke dalam saluran samping jalan, tapi ditangkap/dicegat dulu oleh saluran penangkap/pencegat yang dibuat di sebelah atas saluran samping/di bagian atas lereng galian. Air pada saluran ini selanjutnya dibuang ke tempat lain.

Dengan dibangunnya saluran penangkap, tidak seluruh aliran air dari daerah pengaliran di bagian atas lereng galian akan menuju ke saluran samping jalan, dan selain itu saluran penangkap juga dapat berfungsi untuk mengamankan stabilitas lereng tebing.

3.1.2.3.2 Potongan memanjang saluran pembuang samping jalan

Beberapa hal yang sangat berpengaruh dan harus diperhatikan dengan baik dalam merencanakan potongan memanjang saluran pembuang samping jalan adalah :

- (1) tinggi muka air di outlet rencana saluran ;
- (2) kemiringan topografi lokasi rencana saluran ;
- (3) lengkung/belokan rencana saluran.

(1) Tinggi muka air di outlet rencana saluran

Supaya air di saluran pembuang samping jalan dapat mengalir dengan baik, maka perencanaan tinggi muka air di saluran harus dilaksanakan dengan mengacu kepada tinggi muka rencana di outlet saluran tersebut. Perencanaan tinggi muka air di saluran pembuang harus dilakukan dari arah paling hilir (outlet) ke arah hulu. Dalam perencanaan tersebut harus diperhatikan juga tinggi muka air di bagian pertemuan dengan saluran-saluran lain yang direncanakan mengalir masuk ke saluran pembuang samping jalan.

Muka air rencana pada outlet saluran pembuang samping jalan sebaiknya diambil acuan sebagai berikut :

- bila rencana outlet adalah sungai maka elevasi muka air sungai yang sesuai dengan banjir dengan periode ulang 5 kali per tahun ;
- bila rencana outlet adalah saluran pembuang lain yang tingkatannya lebih tinggi maka elevasi muka air rencana untuk saluran pembuang tersebut ;
- bila rencana outlet adalah lokasi yang terpengaruh pasang surut air laut maka elevasi muka air laut rata-rata (mean sea level/MSL).

(2) Kemiringan topografi rencana lokasi saluran

Kemiringan memanjang saluran pembuang idealnya mengikuti kemiringan medan topografi setempat. Tetapi agar tujuan pembuatannya tercapai, saluran pembuang samping jalan semaksimal mungkin harus mengikuti alignment vertikal jalan dan tinggi muka air di outlet rencana saluran. Karena itu maka ada kemungkinan kemiringan memanjang saluran pembuang direncanakan lebih landai atau lebih curam dari pada kemiringan medan topografi aslinya.

Dalam hal kemiringan memanjang saluran pembuang terpaksa harus direncanakan curam/terjal, maka akan menyebabkan terjadinya kecepatan aliran air yang tinggi di saluran yang mungkin dapat menyebabkan terjadinya erosi pada saluran tersebut. Untuk mengatasi hal itu maka diperlukan adanya pengendalian/pembatasan kecepatan aliran dengan cara membuat bangunan-bangunan peredam energi/pematah arus pada jarak-jarak tertentu di saluran tersebut.

(3) Lengkung/belokan rencana saluran

Ketentuan tentang lengkung/belokan rencana saluran diperlukan untuk meminimalkan dampak negatif kemungkinan terjadinya erosi tebing saluran. Lengkung yang diijinkan untuk saluran tanah tergantung kepada :

- ukuran dan kapasitas saluran ;
- jenis tanah ;
- kecepatan aliran.

Jari-jari minimum lengkung saluran pembuang buatan dengan debit rencana $Q \leq 5 \text{ m}^3/\text{det}$ yang diukur dari as (titik tengah) saluran harus diambil sekurang-kurangnya 3 (tiga) kali lebar dasar saluran tersebut.

Tetapi kadangkala ketentuan tersebut tidak dapat tercapai karena keadaan topografi setempat yang terbatas. Selain itu, untuk mencapai tujuan pembuatannya maka saluran pembuang jalan semaksimal mungkin harus mengikuti alignment horisontal jalan. Jika terpaksa diperlukan jari-jari lengkung yang lebih kecil, maka dapat dilakukan dengan cara memberi pasangan pada bagian luar lengkung saluran setidaknya sepanjang 4 (empat) kali kedalaman air pada tikungan saluran tersebut.

3.1.2.3.3 Drainase bawah permukaan (sub surface drainage)

Sistem drainase bawah permukaan adalah sistem drainase yang berkaitan dengan pengendalian air di bawah permukaan tanah (air tanah).

Sama halnya dengan drainase permukaan, tujuan utama drainase bawah permukaan adalah untuk melindungi konstruksi jalan dari kerusakan akibat pengaruh-pengaruh buruk air, hanya saja kalau drainase permukaan adalah untuk mengendalikan air di atas permukaan tanah sedangkan drainase bawah permukaan adalah untuk mengendalikan air di bawah permukaan tanah (air tanah).

Aliran air bebas yang merembes masuk ke dalam tanah atau tertahan di bawah permukaan bumi disebut air tanah. Air tanah terjadi akibat air hujan (air permukaan) yang menggenangi dan masuk ke dalam tanah sampai mencapai lapisan kedap air. Di lapisan ini, juga terdapat air yang bisa berasal dari kolam bawah tanah yang berada di rongga-rongga antara lapisan-lapisan batu. Air itu disebut air tanah dan permukaannya disebut muka air tanah.

Air tanah yang berkumpul di bawah dan atau di badan jalan dapat disebabkan oleh beberapa faktor, dengan faktor-faktor yang terpenting adalah :

- tingginya muka air tanah di sekitar jalan ;
- adanya mata air atau rembesan air yang tersembul di bawah perkerasan jalan ;
- adanya air tanah yang merembes ke badan jalan dari saluran samping jalan ;
- air dari permukaan jalan masuk ke dalam badan jalan melalui retak-retak/ lubang-lubang di permukaan jalan atau dari rembesan air dari bahu jalan yang tidak diperkeras.

Drainase bawah permukaan tanah hanya diperlukan jika diperkirakan tinggi muka air tanah/ mata air/rembesan akan menyebabkan tanah pondasi dan atau timbunan konstruksi jalan mengalami kenaikan kadar air sampai mencapai batas tertentu yang akan berakibat tidak stabilnya daya dukung tanah dan menyebabkan keruntuhan. Terutama bagi tanah yang memiliki kadar lempung atau lanau yang tinggi, serta bagian jalan yang rendah seperti misalnya cekungan jalan atau bagian yang rendah dari peninggian tikungan (super elevasi).

Jika air tanah yang merembes ke dalam badan jalan tidak ditangani dengan baik, maka dapat menyebabkan kerusakan pada perkerasan jalan. Daerah perbatasan antara bahu jalan dan perkerasan jalan juga dapat mengalami kerusakan akibat pengendalian air hujan pada bahu jalan tidak tertangani dengan baik, sehingga genangan air pada bahu jalan meresap ke dalam badan jalan.

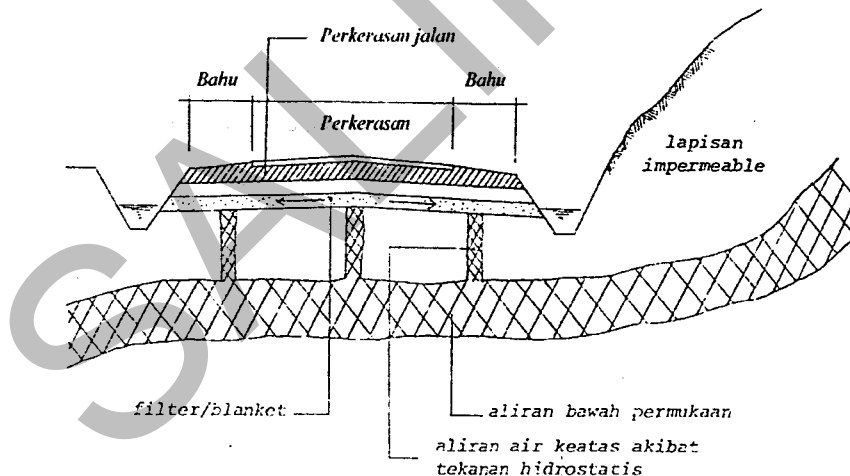
Muka air tanah yang berada di bawah lapisan pondasi jalan dapat meningkatkan kadar air sub grade yang berada di atasnya karena adanya gerakan air kapiler (tekanan hidrostatik).

Prinsip kerja sistem drainase bawah permukaan adalah bagaimana mengendalikan/menurunkan muka air tanah tersebut agar tidak sampai mengganggu stabilitas sub grade. Berdasarkan prinsip tersebut, maka cara pengendalian air tanah dengan sistem drainase bawah permukaan dapat dibedakan sebagai berikut :

- (1) Bila tekanan hidrostatik relatif kecil ;
- (2) Bila tekanan hidrostatik cukup besar.

(1) Bila tekanan hidrostatik relatif kecil

Dari sketsa seperti Gambar 3-6 terlihat bahwa apabila aliran air ke atas tidak dihalang-halangi oleh filter/blanket, maka perkerasan jalan akan dirembesi air. Untuk menghindari hal itu, maka di bawah lapisan perkerasan dipasang filter/blanket agar aliran air bawah permukaan tanah yang naik ke atas akibat tekanan hidrostatik dapat dibelokkan ke saluran samping (side ditch).

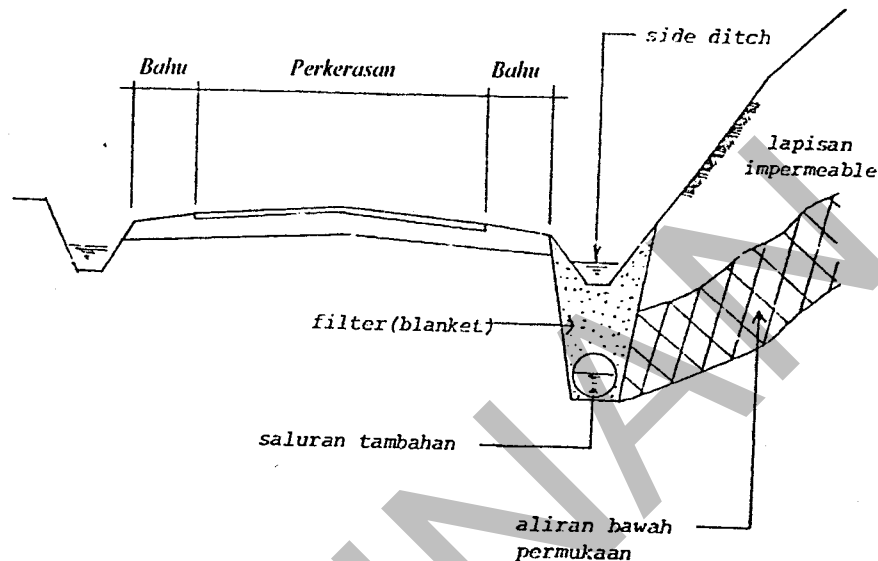


Gambar 3-6 Drainase bawah permukaan bila tekanan hidrostatik relatif kecil

(2) Bila tekanan hidrostatik cukup besar

Pada kasus ini, aliran air bawah permukaan tanah harus segera dicegat sebelum mencapai daerah bahu jalan dengan konstruksi seperti diilustrasikan pada Gambar 3-7.

Terlihat bahwa filter/blanket dipasang di bawah saluran samping, dan kemudian di dasar lapisan filter tersebut dipasang selokan tambahan berbentuk lingkaran yang berlubang-lubang di bagian atasnya untuk memberikan kemungkinan-kemungkinan masuknya air dari lapisan filter. Air pada saluran tambahan itu kemudian dibuang ke luar daerah penguasaan jalan.



Gambar 3-7 Drainase bawah permukaan bila tekanan hidrostatik cukup besar

3.1.2.4 Aspek geoteknik

Data dan analisa aspek geoteknik diperlukan untuk mengetahui karakteristik dan kondisi tanah daerah proyek. Dalam perencanaan drainase, data dan hasil analisa geoteknik yang diperoleh antara lain dipergunakan untuk memperkirakan : koefisien run off; koefisien permiabilitas tanah/rembesan air tanah; menentukan jenis pondasi yang sesuai untuk suatu bangunan drainase; menentukan kecepatan aliran ijin di saluran; menentukan kemiringan talud/lereng saluran.

Data-data geoteknik yang diperlukan untuk perencanaan drainase, dapat diperoleh dari penyelidikan lapangan dan penyelidikan laboratorium, meliputi :

- Bor tangan (hand bore) untuk mengetahui stratifikasi lapisan tanah, tinggi muka air tanah serta pengambilan contoh tanah untuk dianalisa di laboratorium.

Data stratifikasi lapisan tanah dan tinggi muka air tanah biasanya dituliskan pada laporan lembar pengeboran (drill log).

Contoh tanah dianalisa di laboratorium untuk mendapatkan data sifat-sifat fisik contoh tanah (index properties) dan data sifat-sifat teknis contoh tanah (engineering properties).

Uji laboratorium yang diperlukan untuk memperoleh data-data engineering properties biasanya meliputi triaxial test, direct shear test dan consolidation test.

Dari hasil uji laboratorium dapat diperkirakan kekuatan/daya dukung tanah di sekitar lokasi pengambilan contoh tanah dengan menggunakan rumus-rumus empiris, seperti misalnya yang paling terkenal adalah rumus Terzaghi.

- **Sondir** untuk mengetahui daya dukung tanah bagi keperluan perencanaan bangunan drainase yang cukup besar.
- **Tes lapangan** untuk pengujian permeabilitas tanah. Data permeabilitas tanah diperlukan untuk perencanaan kapasitas drainase bawah permukaan. Terdapat berbagai metode pengujian permeabilitas tanah di lapangan, namun yang umumnya banyak digunakan adalah metode sumur pengujian dan metode pengujian dalam lubang bor.

3.1.2.5 Aspek lingkungan dan lansekap

Kondisi kelestarian lingkungan sebelum ada peningkatan atau pembangunan jalan dan sistem drainase jalan harus tetap dipertahankan, agar tidak terjadi keresahan masyarakat dan menyebabkan kerusakan lingkungan.

Oleh karena itu, perlu dilakukan kajian terhadap kondisi lingkungan sebelum pembangunan dan perkiraan dampak yang mungkin timbul setelah dilaksanakannya pembangunan, sehingga dapat dipersiapkan sedini mungkin langkah-langkah yang diperlukan untuk mencegah atau meminimalkan terjadinya dampak negatif yang tidak diinginkan.

Hal-hal yang perlu dikaji dalam peningkatan dan pembangunan jalan dan sistem drainasenya, antara lain adalah : dampak langsung dan tidak langsung, penilaian lapangan, rencana pengelolaan pengurangan dampak, serta studi lingkungan yang lebih rinci sebagaimana dipersyaratkan di dalam "Pedoman Perencanaan Pengelolaan Lingkungan Hidup Bidang Jalan", Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, November 2002.

Jika di lokasi yang direncanakan tersebut sudah pernah dilaksanakan studi lingkungan dan telah direkomendasikan tentang suatu hal yang harus dilakukan jika melaksanakan peningkatan dan pembangunan jalan serta sistem drainasenya, maka sebaiknya Perencana mengikuti prosedur yang disarankan dalam studi tersebut.

Hal lain yang penting diperhatikan oleh Perencana adalah bahwa sistem drainase yang direncanakan harus sesuai dengan rencana garis besar (master plan) yang biasanya sudah tertuang di dalam "Rencana Umum Tata Ruang (RUTR)" daerah bersangkutan.

Untuk meningkatkan kualitas lingkungan jalan berikut sistem drainasinya, dapat dipertimbangkan perencanaan lansekap jalan yang baik. Lansekap jalan adalah pemandangan sejauh mata memandang dari dan ke jalan, serta sepanjang koridor jalan. Sebagai suatu jaringan koridor visual maka lansekap jalan akan memberikan pemandangan kepada para pemakai jalan dan warga masyarakat penghuni di sekitarnya, dan sangat mungkin dapat mempengaruhi gaya hidup mereka.

Pada dasarnya lansekap terbentuk dari campuran tiga faktor sebagai berikut :

(1) Faktor-faktor ekologis

Faktor-faktor ini meliputi flora, fauna, hidrologi, kondisi tanah, dan topografi. Interaksi ekologis antara elemen-elemen tersebut, demikian juga interaksinya dengan faktor sosial budaya, dapat membentuk ekologi setempat.

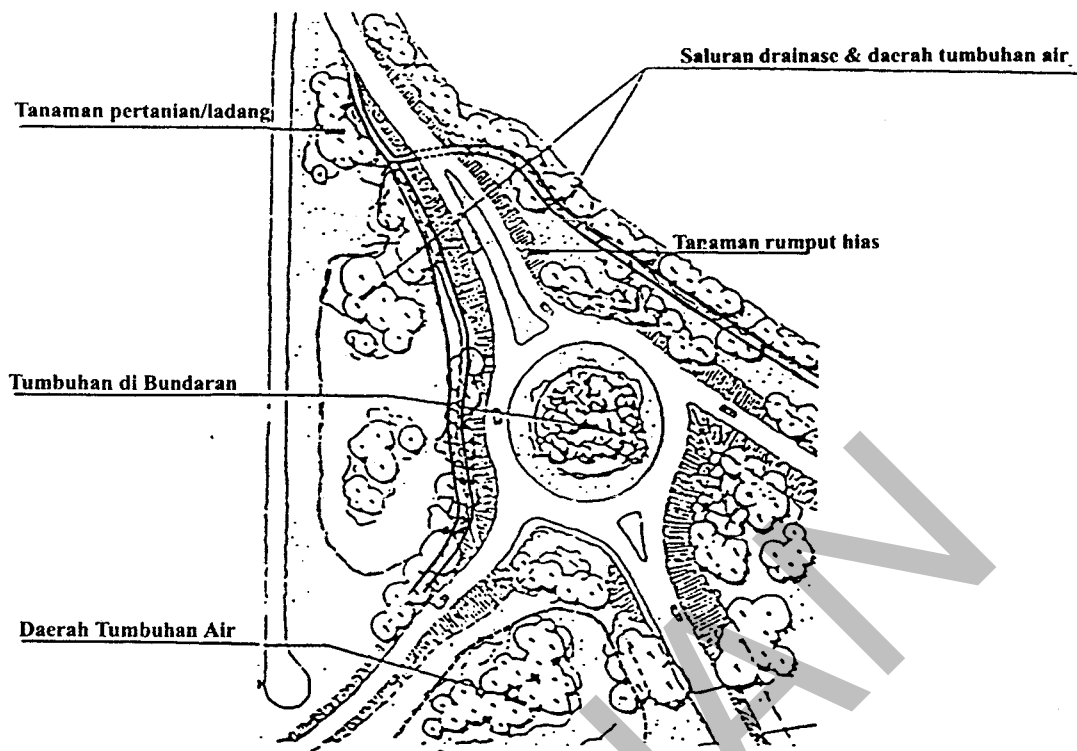
(2) Faktor-faktor sosial budaya

Faktor-faktor ini merupakan elemen-elemen lansekap binaan manusia meliputi elemen penggunaan lahan, termasuk modifikasi lingkungan alami, gedung, serta bangunan sarana dan prasarana lainnya. Elemen-elemen sosial budaya ini membentuk berbagai lingkungan yang merupakan bagian lingkungan alam, perkotaan dan pedesaan.

(3) Faktor visual

Karakter visual elemen-elemen alami dan sosial budaya secara terpisah dan/atau bersama-sama membentuk ekspresi pemandangan lansekap. Pemandangan ini dapat berupa pemandangan alami, pedesaan atau perkotaan dengan berbagai mutu visual.

Perencanaan lansekap jalan berikut sistem drainasinya dalam penerapannya perlu mempertimbangan berbagai aspek berikut : tema arsitektur lansekap, keselamatan dan efisiensi, dampak visual pada lansekap sekarang, keindahan dan konteks budaya, konservasi warisan budaya dan keanekaragaman hayati, koridor dan struktur utilitas/jasa, rambu lalu lintas dan papan reklame, kontrol akustik, erosi dan kebutuhan sistem drainase sendiri, pemandangan sepanjang koridor, pemandangan dan penggunaan lahan pribadi di sekitar jalan, serta lalu lintas sinar. Contoh desain suatu lansekap jalan yang lengkap dengan sistem drainasinya diperlihatkan di Gambar 3-8.



Gambar 3-8 Contoh desain lansekap jalan berikut sistem drainasenya

3.1.2.6 Pertimbangan perencanaan

Karena sistem drainase jalan sangat terkait erat dengan sistem drainase lain yang lebih besar yang menjadi outlet dari sistem drainase jalan tersebut, maka beberapa hal di bawah ini perlu diperhatikan oleh para Perencana agar supaya sistem drainase jalan berdaya guna dan berhasil guna secara optimal, hal-hal tersebut adalah :

- a. Perencanaan sistem drainase harus dilakukan sedemikian rupa sehingga fungsi fasilitas drainase sebagai penampung, pembagi dan pembuang air dapat sepenuhnya dipertanggung jawabkan, baik dari segi teknis maupun ekonomisnya.
- b. Dalam hal pemilihan dimensi dari fasilitas drainase, maka harus mempertimbangkan faktor ekonomi dan faktor keamanan, untuk itu dalam perencanaannya harus mempertimbangkan secara matang beberapa hal sebagai berikut :
 1. luas daerah pengaliran yang akan direncanakan, termasuk kemungkinan perubahan tata guna lahan di daerah pengaliran ;
 2. intensitas hujan yang direncanakan ;
 3. kemiringan lahan di daerah pengaliran dan kemungkinan besarnya aliran permukaan yang akan terjadi ;
 4. karakteristik tanah untuk badan jalan, termasuk permeabilitasnya dan kecenderungan untuk terjadinya erosi.

- c. Perencanaan sistem drainase juga harus mempertimbangkan segi kemudahan dan nilai ekonomis terhadap aspek pemeliharaan sistem drainase tersebut.
- d. Sebagai sub sistem dari suatu sistem drainase yang lebih besar, maka dalam perencanaan harus ditinjau juga sistem-sistem drainase yang terkait.

3.2 Prinsip Umum Perencanaan Hidrolika Untuk Pekerjaan Jembatan

3.2.1 Kepentingan hidrolika untuk pekerjaan jembatan

Kepentingan analisa hidrologi dan hidrolika yang akurat dalam suatu pekerjaan jembatan terutama adalah untuk menentukan :

- lokasi jembatan yang paling layak dan menguntungkan ditinjau dari aspek teknik dan ekonomis ;
- debit banjir rencana sungai di lokasi jembatan ;
- lengkung debit sungai di lokasi jembatan, yaitu suatu lengkung yang menggambarkan hubungan antara kedalaman air sungai (H) dan debit (Q) ;
- kedalaman air rencana berdasarkan debit banjir rencana dan lengkung debit, kecepatan aliran maksimum di sungai pada lokasi jembatan serta kecepatan aliran rata-rata maksimum yang melalui bukaan jembatan ;
- panjang bukaan jembatan (b) yang diperlukan untuk melewatkan debit banjir rencana secara aman ;
- jenis aliran yang terjadi ;
- ketinggian arus balik air banjir (back water) akibat adanya bukaan jembatan dan pengaruh pilar jembatan ; serta
- ketinggian lantai jembatan dan puncak tanggul sungai di hulu jembatan, setelah ditambahkan tinggi ruang bebas/jagaan (free board).

3.2.2 Morfologi sungai

Pemahaman yang baik terhadap perilaku morfologi sungai dengan memeriksa batas-batas aliran sungai (aliran rendah dan aliran tinggi/banjir) akan sangat berguna untuk memperkirakan perilaku sungai akibat perubahan keadaan yang terdapat sekarang dan masa sebelumnya serta identifikasi karakteristik hidrolis sungai lainnya, yang akan mempunyai pengaruh pada pilihan rencana umum jembatan serta pekerjaan pengendalian sungai dan perlindungan tebing sungai yang diperlukan. Pemahaman yang diperlukan itu, paling tidak mencakup hal-hal sebagai berikut :

- jenis material dasar sungai dan kelandaian dasar sungai ;
- bahan pembentuk tebing dan bantaran sungai ;
- vegetasi yang tumbuh di tebing dan bantaran sungai ;
- kemiringan tebing sungai dan gejala erosi tebing ;
- gejala-gejala erosi dan sedimentasi sungai ;
- terdapatnya batuan masif yang tidak mungkin tererosi ;
- tanda-tanda bekas hanyutan pada semak-semak, pohon atau tebing yang dapat menunjukkan ketinggian air banjir yang baru terjadi ; serta
- tanda bekas air pada tembok, dermaga dan pilar yang menunjukkan ketinggian air banjir yang pernah terjadi pada masa-masa sebelumnya.

Bila pendekatan dengan cara pengenalan dan pemahaman kondisi morfologi sungai yang baik itu telah selesai dilaksanakan, maka tahap berikutnya dapat dipilih beberapa lokasi yang cukup memadai dan lokasi yang paling memadai untuk perlintasan jembatan ditinjau dari aspek morfologi sungai.

3.2.3 Karakteristik aliran

3.2.3.1 Lengkung debit sungai

Lengkung debit sungai (H-Q Curve) adalah suatu metode untuk menggambarkan hubungan antara berbagai nilai debit (Q) dan kedalaman aliran (H) yang dapat terjadi pada suatu penampang sungai.

Lengkung debit pada penampang sungai di rencana lokasi jembatan sangat diperlukan dalam tahap awal suatu perencanaan jembatan, karena dengan menggunakan lengkung ini maka tinggi muka air rencana untuk berbagai debit rencana dapat diketahui dengan mudah, cepat dan akurat sesuai dengan karakteristik hidrolis penampang sungai tersebut.

Lengkung debit sungai dapat dibuat dengan berbagai metode, yang umumnya memberikan hasil cukup memuaskan adalah :

- (1) metode pengamatan langsung kedalaman/tinggi muka air sungai ;
- (2) metode empiris, yaitu metode luas dan kemiringan.

(1) Metode pengamatan langsung

Metode ini memerlukan rangkaian data hasil pengamatan kedalaman/tinggi muka air pada berbagai kondisi debit aliran, yaitu aliran rendah, aliran rata-rata dan aliran tinggi. Pengukuran kedalaman/tinggi muka air untuk suatu kondisi debit harus ditentukan setepat mungkin, biasanya dilakukan pada lokasi-lokasi bangunan yang melintasi sungai (jembatan, bendung, atau perlintasan sungai lainnya). Masalahnya, di banyak sungai di Indonesia seringkali data-data tersebut belum tersedia/tidak lengkap, sehingga lebih banyak Perencana yang akhirnya menggunakan metode empiris dan melakukan pengecekan hasil analisisnya dengan data tinggi muka air yang ada.

(2) Metode luas dan kemiringan

Cara luas dan kemiringan dilaksanakan dengan menggunakan data penampang melintang ruas sungai pada lokasi yang relatif lurus, atau di antara dua tikungan sungai yang relatif stabil.

Bila penampang melintang sungai tidak teratur, maka terlebih dahulu perlu dilakukan pembagian luas penampang basah untuk tinggi muka air tertentu menjadi sub-sub penampang yang lebih kecil dan kurang lebih teratur, dengan memberi angka kekasaran yang sesuai pada tiap sub penampang dan menghitung debit untuk tiap sub penampang (q) secara terpisah, menggunakan rumus Manning.

Kemudian, debit total (Q) dapat diperoleh dengan menjumlahkan debit dari tiap-tiap sub penampang (q). Langkah ini diulang untuk berbagai tinggi muka air yang berbeda, sehingga dari hasilnya dapat digambarkan suatu lengkung debit yang menggambarkan hubungan debit (Q) dan kedalaman aliran (H) seperti diilustrasikan pada Gambar 3-9.

Proses, pengumpulan dan pemilihan data lapangan yang akan dipakai dalam analisa harus benar-benar mendapat perhatian, untuk menghindari kesalahan dalam hasil akhir.

Hal paling penting dalam metode perhitungan luas dan kemiringan adalah kemampuan untuk mengevaluasi secara tepat nilai kekasaran saluran utama (palung sungai) dan dataran banjir (bantaran sungai), dimana keduanya bervariasi secara ekstrim akibat adanya tumbuh-tumbuhan dan kedalaman aliran yang berbeda. Sebagai pedoman, nilai koefisien kekasaran Manning (n), yang umumnya dipakai dalam praktek, diringkas untuk berbagai keadaan saluran sebagaimana disajikan di Tabel 3-2.

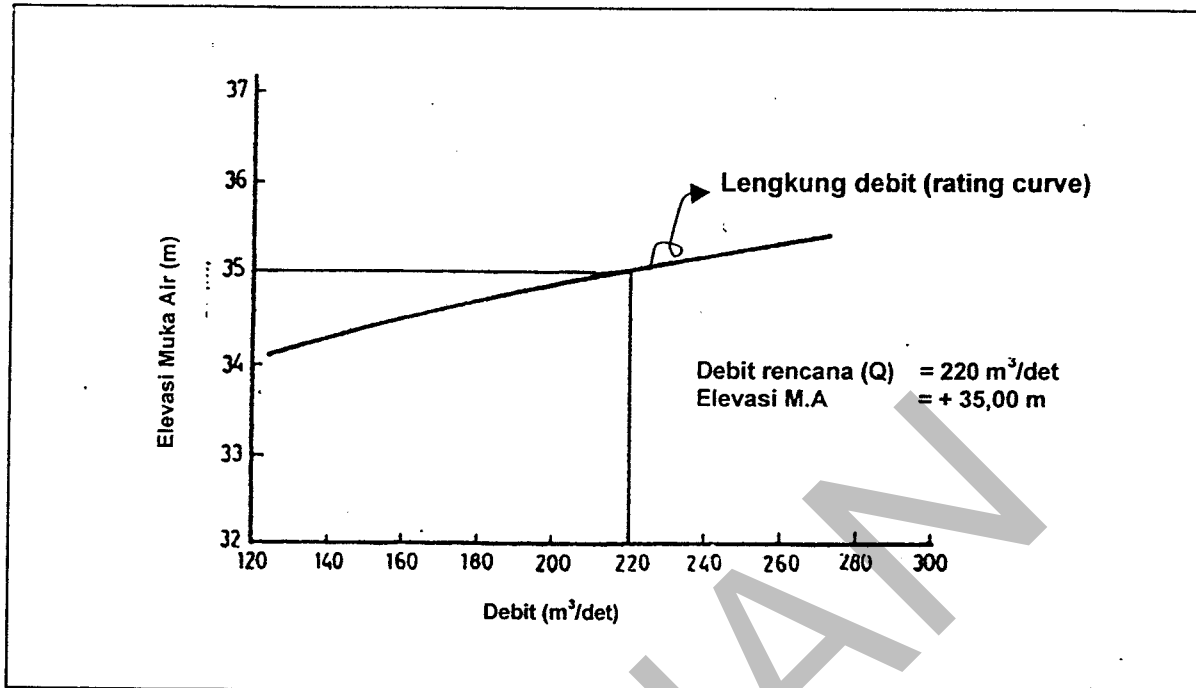
Dalam memilih koefisien kekasaran Manning, perlu diingat bahwa nilai "n" untuk aliran dengan kedalaman yang rendah (terutama pada bantaran sungai yang ditumbuhi oleh rumput dan semak belukar) dapat menjadi lebih besar dibandingkan untuk kedalaman air yang lebih tinggi pada kondisi yang sama.

Tabel 3-2 Koefisien kekasaran Manning (n)

		Kondisi Saluran			
No.	Tipe Saluran	Baik Sekali	Baik	Sedang	Jelek
SALURAN BUATAN					
1.	Saluran tanah, lurus teratur	0.017	0.020	0.023	0.023
2.	Saluran tanah yang dibuat dengan excavator.	0.023	0.028	0.030	0.040
3.	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, teratur.	0.020	0.030	0.033	0.035
4.	Saluran pada dinding batuan, tidak lurus, tidak teratur.	0.035	0.040	0.045	0.045
5.	Saluran batuan yang diedakkan, ada tumbuh-tumbuhan.	0.025	0.030	0.035	0.040
6.	Dasar saluran dari tanah, sisi saluran berbatu.	0.028	0.030	0.033	0.035
7.	Saluran lengkung dengan kecepatan aliran rendah.	0.020	0.025	0.028	0.030
SALURAN ALAM					
8.	Bersih, lurus tidak berpasir, tidak berlubang.	0.025	0.028	0.030	0.033
9.	Seperti No. 8, tetapi ada timbunan atau kerikil.	0.030	0.033	0.035	0.040
10.	Melengkung, bersih, berlubang dan berdinding pasir.	0.033	0.035	0.040	0.045
11.	Seperti no.10, dangkal, tidak teratur.	0.040	0.045	0.050	0.055
12.	Seperti no.11, sebagian berbatu dan ada tumbuh-tumbuhan.	0.035	0.040	0.045	0.050
13.	Seperti no.11, sebagian berbatu.	0.045	0.050	0.055	0.060
14.	Aliran pelan, banyak tumbuh-tumbuhan dan berlubang.	0.050	0.060	0.070	0.080
15.	Banyak tumbuh-tumbuhan	0.075	0.100	0.125	0.150
SALURAN BUATAN, BETON ATAU BATU KALI					
16.	Saluran pasangan batu, tanpa penyelesaian.	0.025	0.030	0.033	0.035
17.	Seperti no.16, tapi dengan penyelesaian.	0.017	0.020	0.025	0.030
18.	Saluran beton.	0.014	0.016	0.019	0.021
19.	Saluran beton halus dan rata.	0.010	0.011	0.012	0.013
20.	Saluran beton pracetak dengan acuan bata.	0.013	0.014	0.014	0.015
21.	Saluran beton pracetak dengan acuan kayu.	0.015	0.016	0.016	0.018

Sumber : Tata cara perencanaan drainase permukaan jalan, SNI 03- 3424-1994

Gambar 3-9 Contoh Lengkung Debit Sungai



3.2.3.2 Kedalaman aliran rencana

Kedalaman aliran rencana adalah kedalaman yang terjadi saat debit banjir rencana mengalir di sungai pada lokasi jembatan.

Dengan diketahuinya debit banjir rencana dan lengkung debit sungai di lokasi rencana jembatan, maka estimasi kedalaman aliran rencana dapat dilakukan. Nilai debit banjir rencana diplot pada bagian absis lengkung debit, dan selanjutnya ditarik ke arah ordinat sehingga diperoleh kedalaman aliran rencana (lihat Gambar 3-9). Dengan demikian maka akurasi pembuatan lengkung debit sangat berpengaruh terhadap penentuan kedalaman aliran rencana di sungai pada lokasi rencana jembatan.

Dalam perencanaan hidrolika alur sungai untuk pekerjaan jembatan, kedalaman aliran rencana diperlukan untuk menentukan panjang bukaan jembatan (panjang bentang) dan elevasi lantai jembatan serta elevasi puncak tanggul banjir di sebelah hulu jembatan.

3.2.3.3 Kecepatan aliran rencana

Pada suatu perencanaan hidrolika alur sungai untuk pekerjaan jembatan, penentuan parameter kecepatan aliran rencana ($V_{rencana}$) yang dapat ditolerir umumnya didasarkan pada pertimbangan untuk membatasi terjadinya gerusan atau mengijinkan gerusan sesuai batasan yang dikehendaki.

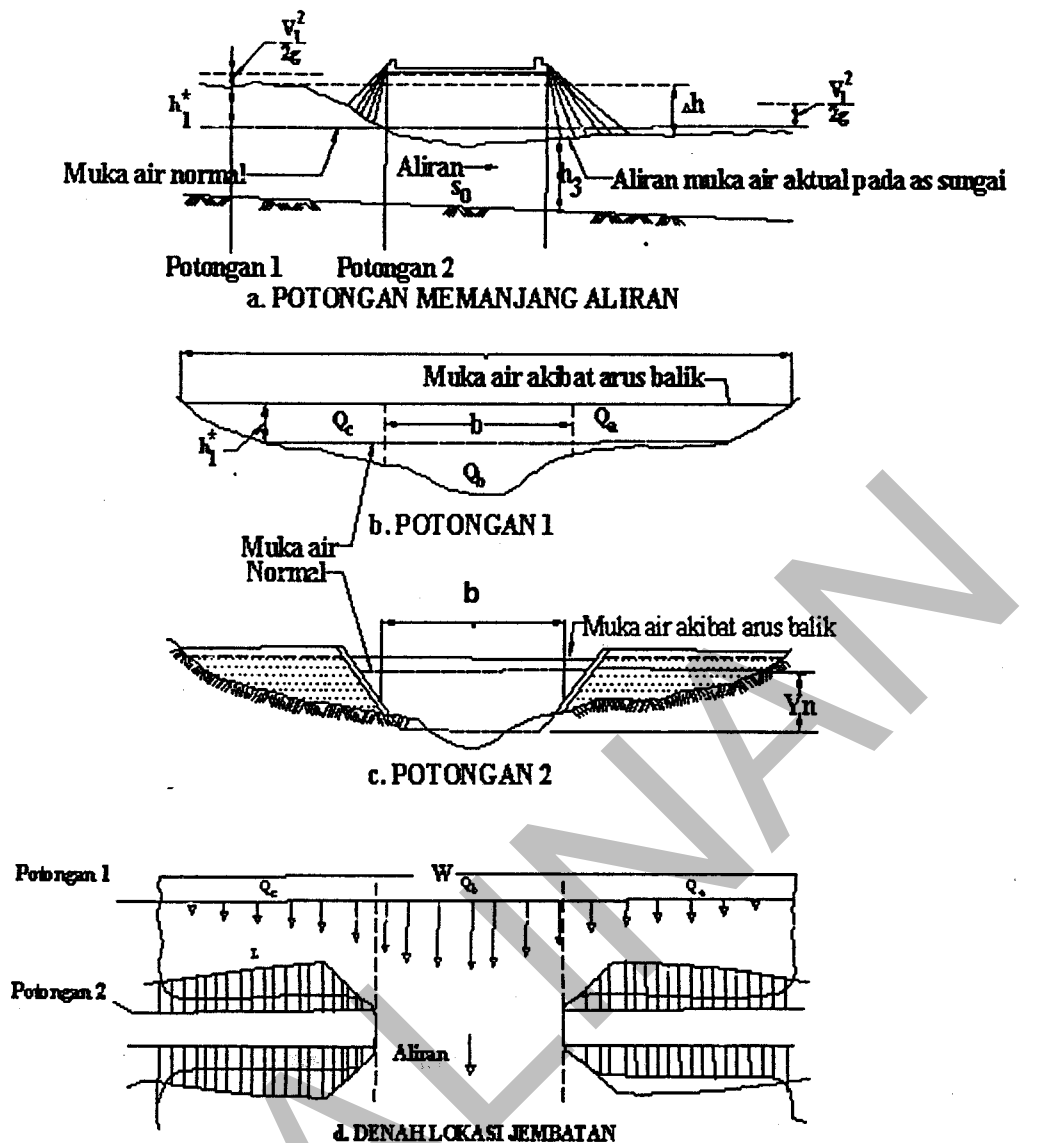
Dengan anggapan bahwa pergerakan dasar sungai (gerusan) disebabkan oleh kecepatan aliran yang besar, maka pembatasan besarnya kecepatan aliran untuk suatu debit rencana dan ketinggian muka air banjir tertentu yang melewati suatu luas penampang basah perlu dilaksanakan. Penentuan kecepatan aliran rencana ($V_{rencana}$) tersebut, membutuhkan pengetahuan mengenai kecepatan-kecepatan aliran yang akan menyebabkan mulai Bergeraknya berbagai macam jenis material butiran dasar sungai.

Bersama-sama dengan nilai debit banjir rencana dan kedalaman air rencana, maka kecepatan aliran rencana ini akan digunakan untuk membuat estimasi awal panjang bukaan rencana jembatan (panjang bentang) yang diperlukan.

3.2.4 Panjang Bukaan Jembatan

Panjang bukaan adalah jarak total antara satu pangkal ke pangkal lainnya dari suatu bangunan perlintasan sungai/jembatan, seperti diilustrasikan pada Gambar 3- 10 s/d Gambar 3-12.

Selain oleh aspek geologi, ekonomis dan ketersediaan tipe struktur, maka ditinjau dari aspek hidrolika, panjang bukaan jembatan ditentukan oleh debit banjir rencana, kedalaman aliran rencana dan kecepatan aliran rencana.



Gambar 3-10 Perlintasan normal, pangkal jembatan dengan tembok sayap

Keterangan :

h_1^* : Pengaruh arus balik

$\frac{V_1^2}{2g}$: Tinggi tekan kecepatan di alur sungai di hulu bukan jembatan

$\frac{V_2^2}{2g}$: Tinggi tekan kecepatan di alur sungai di hilir bukan jembatan

h_3 : Kedalaman muka air aktual di bukan jembatan bukan hilir

Δh : Perbedaan kedalaman muka air aktual di alur sungai sebelah hulu dan hilir jembatan

s_0 : Kemiringan dasar alur sungai

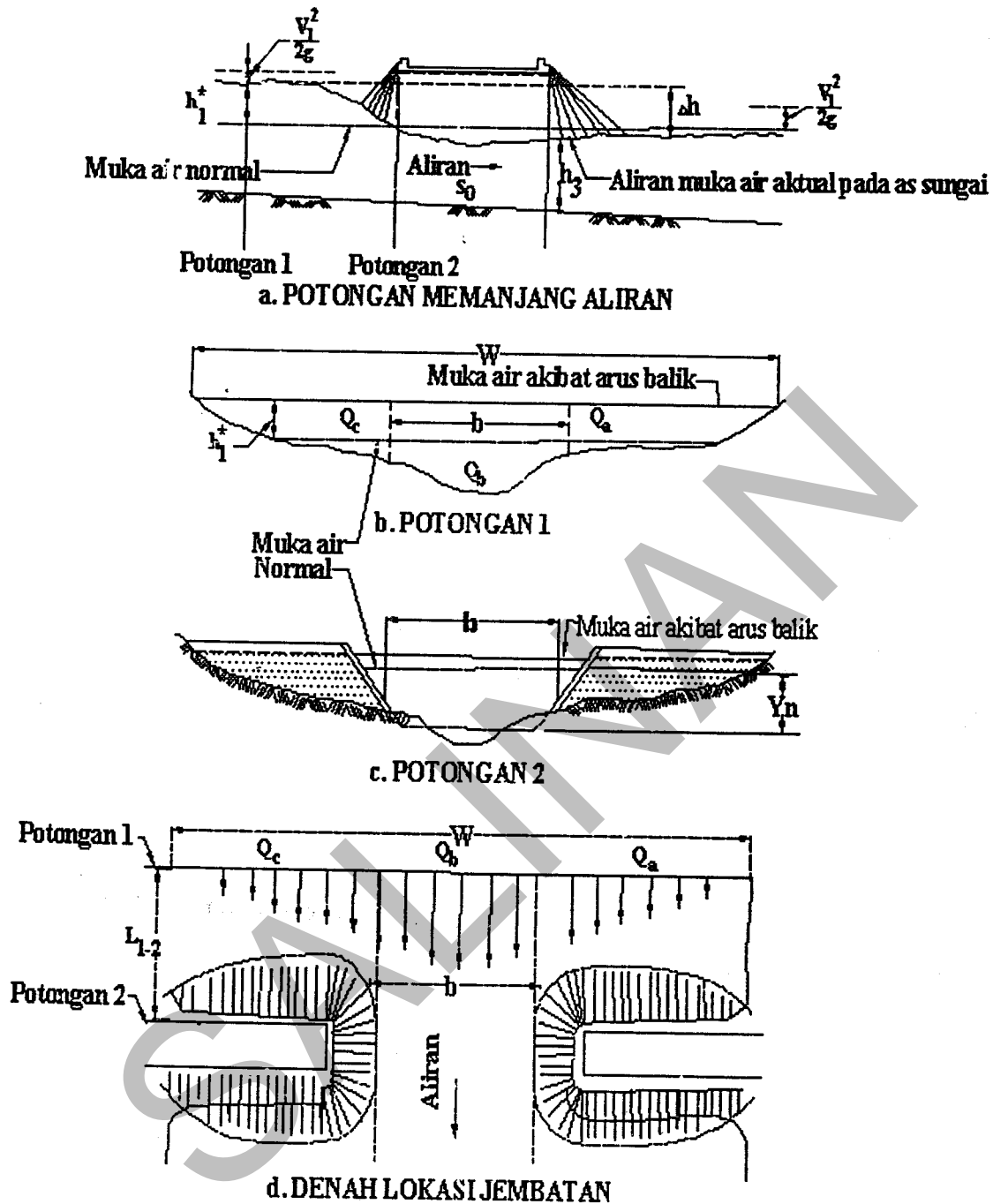
b : Lebar bukaan jembatan

W : Lebar muka air di alur sungai

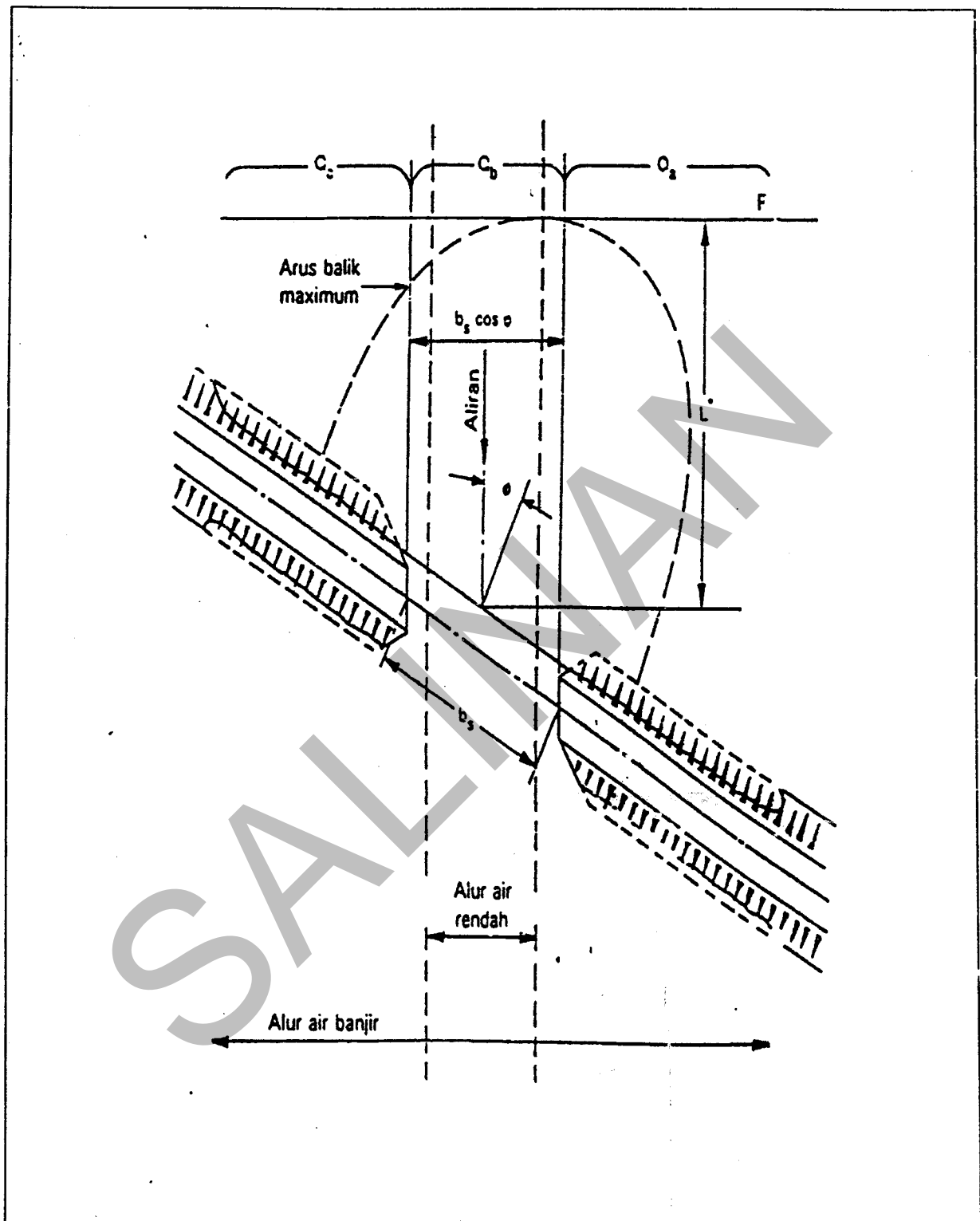
Q_a : Debit aliran dibagian penampang "a" pada penampang melintang sungai

Q_b : Debit aliran dibagian penampang "b" pada penampang melintang sungai

Q_c : Debit aliran dibagian penampang "c" pada penampang melintang sungai.



Gambar 3-11 Perlintasan normal, pangkal jembatan dengan kolom terbuka



Gambar 3-12 Perlintasan mirir.g

3.2.5 Arus balik (backwater)

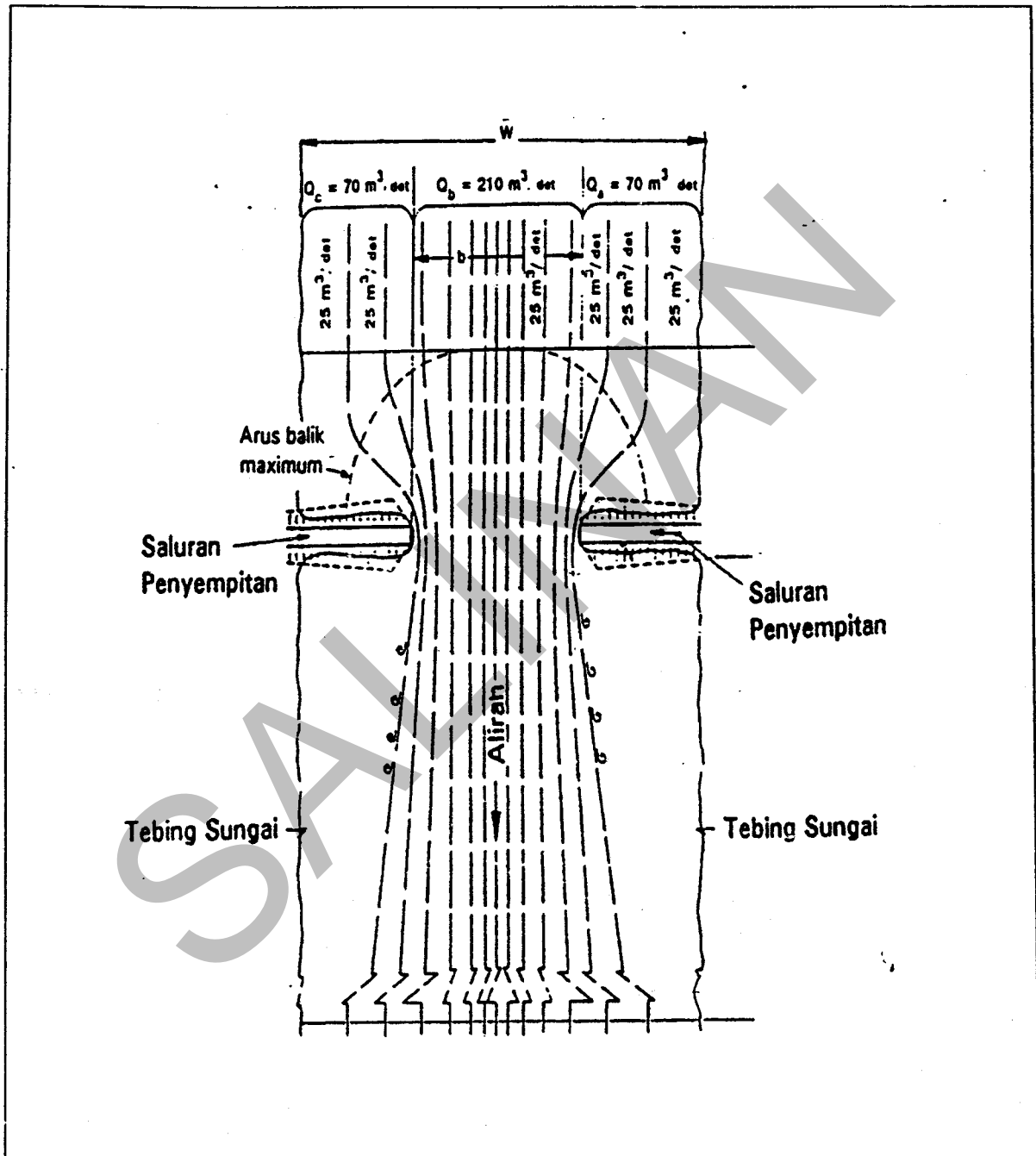
Kadangkala, lebar bentang sungai yang ada, kita pertimbangkan untuk diperpendek dengan membuat oprit yang diperpanjang sampai pada dataran banjir (bantaran sungai). Hal itu mungkin akan mengurangi biaya, tetapi permasalahan lain akan timbul, yaitu timbunan tersebut akan mempersempit aliran sungai pada waktu banjir. Bila tidak dipertimbangkan secara hati-hati dan dilaksanakan sampai melewati batas, maka penyempitan aliran dapat menyebabkan kerusakan jembatan dan dapat menimbulkan biaya pemeliharaan yang mahal.

Pola aliran pada penyempitan sungai dijelaskan pada Gambar 3-13. Besarnya debit yang dibatasi oleh setiap garis aliran yang berdekatan adalah sama ($25 \text{ m}^3/\text{det}$). Perhatikan bahwa penyempitan sungai rupanya praktis tidak menghasilkan perubahan pada bentuk garis aliran di sekitar as sungai. Perubahan garis aliran yang sangat besar terdapat di dekat pangkal penyempitan, karena momentum aliran dari bagian sungai yang menyempit harus mendorong bagian tengah aliran agar dapat masuk kedalam penyempitan. Di bagian hilir, aliran berangsur-angsur melebar (5° sampai 7° tiap sisi) sampai kondisi normal di dalam sungai pulih kembali.

Penyempitan aliran akan menghasilkan kehilangan energi, dimana yang terbesar akan terjadi di daerah pelebaran di sebelah hilir sungai. Kehilangan energi dicerminkan oleh kenaikan permukaan air dan garis energi di sebelah hulu penyempitan. Hal itu, dijelaskan dengan gambar profil aliran di sepanjang as sungai seperti ditunjukkan pada Gambar 3-10 dan Gambar 3-11 (bagian a : potongan memanjang aliran). Dalam gambar itu, tinggi muka air normal untuk debit tertentu sebelum memasuki penyempitan sungai ditunjukkan dengan garis putus-putus. Kondisi muka air setelah penyempitan sungai diwakili oleh garis penuh atau disebut muka air aktual. Perhatikan bahwa muka air berada di atas tingkat normal pada bagian hulu jembatan, turun melewati tingkat normal dekat inlet jembatan, mencapai kedalaman minimum di sekitar outlet jembatan, dan kemudian kembali ke tingkat normal pada jarak yang cukup jauh di sebelah hilir penyempitan sungai, yaitu di hilir outlet jembatan.

Kenaikan muka air di atas muka air normal pada bagian hulu jembatan, dinyatakan dengan simbol h_1^* , disebut sebagai **pengaruh arus balik (backwater effect)** dari adanya penyempitan/bukaan jembatan.

Selain terutama dipengaruhi oleh adanya penyempitan, arus balik juga dipengaruhi oleh beberapa hal lainnya, yaitu : bentuk pangkal jembatan; bentuk, jumlah dan posisi pilar; eksentrisitas jembatan; serta kemiringan posisi jembatan.



Gambar 3-13 Tipikal garis aliran pada perlintasan normal

3.2.6 Jenis aliran yang terjadi

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya, bahwa akibat gaya tarik bumi terhadap aliran dinyatakan dengan perbandingan antara gaya inersia dengan gaya tarik bumi. Perbandingan tersebut ditetapkan sebagai "Bilangan Froude (Froude Number)" dan didefinisikan sebagai berikut :

$$F = \frac{V}{\sqrt{gd}}$$

dimana :

V = kecepatan aliran rata-rata (m/det)

g = percepatan gravitasi (m/det²)

d = kedalaman hidraulik (m), yang ditentukan sebagai luas penampang melintang air tegak lurus pada aliran dalam saluran yang dibagi oleh lebar permukaan bebas. Untuk saluran mendekati bentuk persegi empat, nilai ini dapat dianggap sama dengan nilai kedalaman air di penampang aliran.

Bila $F = 1$, maka :

$$V_c = \sqrt{g \cdot d_c}$$

dan aliran pada kondisi tersebut disebut dalam keadaan **kritis**.

Bila $F < 1$, atau $V < \sqrt{g \cdot d_c}$, aliran adalah **sub kritis**.

Bila $F > 1$, atau $V > \sqrt{g \cdot d_c}$, aliran adalah **super kritis**.

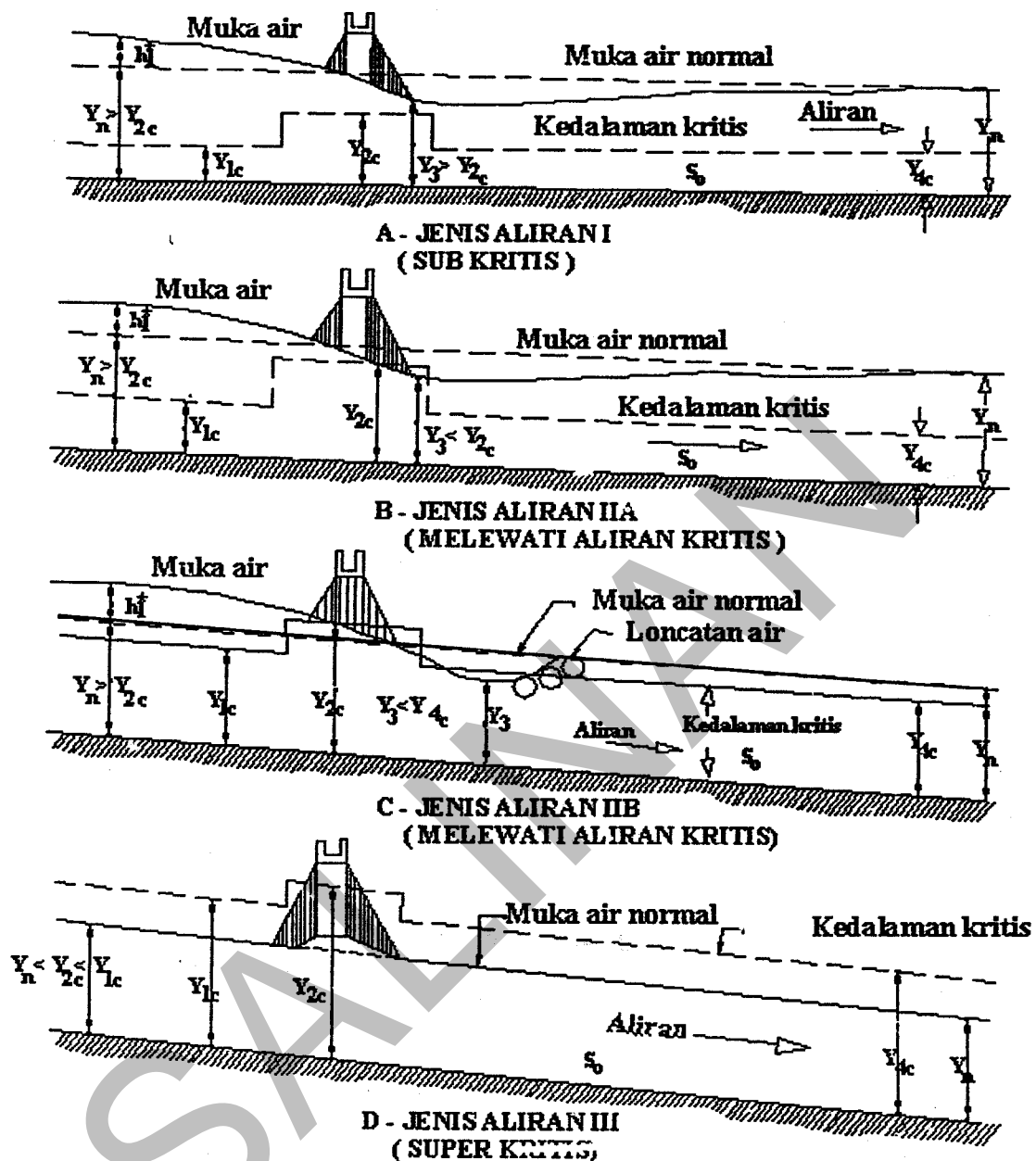
Pada keadaan sub kritis, peranan gaya tarik bumi lebih menonjol sehingga aliran mempunyai kecepatan rendah dan seringkali dikatakan tenang. Sedangkan pada keadaan super kritis, gaya-gaya inersia sangat menonjol sehingga aliran mempunyai kecepatan tinggi dan biasanya disebut cepat atau menjeram.

Kedalaman kritis merupakan nilai yang penting dalam analisa hidrolika dan merupakan parameter hidrolika yang utama dalam aliran tidak seragam. Perubahan kondisi aliran dari sub kritis ke super kritis dapat terjadi akibat adanya hambatan atau gangguan di saluran, sebagai contoh : pada penyempitan di bukaan jembatan, pemasukan gorong-gorong, pada perubahan kelandaian dasar saluran, pada arus balik (backwater) ; pada aliran di puncak bendung ; pada keluaran gorong-gorong dengan aliran debit bebas.

Suatu gelombang aliran dapat disebarkan ke hulu untuk aliran sub kritis, tapi tidak demikian halnya dengan aliran super kritis. Oleh karenanya, dapat atau tidaknya gelombang disebarkan ke hulu dapat dipakai sebagai patokan untuk membedakan aliran yang terjadi, apakah aliran sub kritis atau super kritis.

Pada perencanaan hidrolika sungai di lokasi jembatan, terdapat 3 (tiga) jenis aliran yang mungkin terjadi, yaitu biasa disebut sebagai aliran jenis I, II dan III seperti terlihat pada Gambar 3-14. Garis terputus panjang yang ditunjukkan pada tiap profil mewakili muka air normal, atau tinggi air rencana sebelum adanya as penyempitan di dalam sungai. Garis penuh mewakili konfigurasi muka air pada garis pusat sungai dalam tiap kasus, setelah jembatan terpasang. Garis terputus pendek mewakili kedalaman kritis, atau muka air kritis di dalam alur sungai utama (Y_{1c} dan Y_{4c}) dan kedalaman kritis dalam penyempitan Y_{2c} untuk debit rencana dalam setiap kasus.

SALINAN



Gambar 3-14 Jenis aliran yang dapat terjadi di jembatan

Keterangan :

- Y_n : Kedalaman muka air normal
- Y_{1c} : Kedalaman kritis di alur sungai di hulu bukaan jembatan
- Y_{2c} : Kedalaman kritis di bukaan jembatan
- Y_{4c} : Kedalaman kritis di alur sungai di hilir bukaan jembatan
- Y_3 : Kedalaman muka air aktual di bukaan jembatan bagian hilir
- h_1^* : Pengaruh arus balik
- S_0 : Kemiringan dasar alur sungai

Aliran Jenis I

Gambar 3-14 bagian A menunjukkan bahwa muka air normal dimanapun berada di atas kedalaman kritis. Ini disebut "Aliran Jenis I" atau "Aliran Sub Kritis", jenis yang umum terjadi dalam praktek.

Aliran Jenis II A

Terdapat dua variasi "Aliran Jenis II" yang diuraikan disini, yaitu "Aliran Jenis IIA" dan "Aliran Jenis IIB". Untuk "Aliran Jenis IIA" (Gambar 3-13 bagian B), muka air normal saat belum memasuki penyempitan berada di atas kedalaman kritis, dan akan berada di bawah kedalaman kritis pada penyempitan. Sekali kedalaman kritis dicapai, maka muka air di sebelah hulu penyempitan dan juga muka air akibat arus balik, menjadi tidak tergantung pada kondisi aliran di sebelah hilir (walaupun muka air kembali ke tingkat normal pada ruas sungai di hilir jembatan).

Aliran Jenis II B

Untuk "Aliran Jenis IIB" (Gambar 3-13 bagian C), muka air normal di atas kedalaman kritis terjadi di sebelah hulu, mencapai kedalaman kritis pada penyempitan, kemudian turun di bawah kedalaman kritis di sebelah hilir dari penyempitan dan kemudian kembali ke normal. Kembalinya muka air ke kedalaman normal akan membentuk loncatan hidraulik yang berdampak kurang baik terhadap kestabilan dasar dan tebing sungai.

Aliran Jenis III

Pada "Aliran Jenis III" (Gambar 3-13 bagian D), di bagian manapun muka air normal selalu berada di bawah kedalaman kritis, artinya aliran adalah berada pada keadaan super kritis. Kasus ini umumnya terjadi di daerah pegunungan yang terjal. Secara teoritis, pengaruh arus balik (backwater effect) tidak akan terjadi pada jenis aliran super kritis ini, yang lebih mungkin terjadi adalah adanya ketidakrataan muka air di sekitar bagian penyempitan, seperti ditunjukkan pada Gambar 3-13 bagian D di atas.

3.2.7 Tinggi ruang bebas/jagaan (freeboard)

Tinggi jagaan adalah tinggi ruang bebas vertikal antara titik terendah dari tepi bawah plat jembatan dan muka air banjir rencana. Tinggi jagaan tersebut sebaiknya direncanakan minimal 1,0 meter, dan harus dipertimbangkan untuk ditambah bilamana ada kemungkinan sungai di rencana lokasi jembatan membawa benda-benda hanyutan yang berukuran besar pada saat terjadi banjir rencana.

DAFTAR PUSTAKA

SALINAN

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Agus Iqbal Manu Ir, Dipl.H, Eng.MIHT, **"Dasar-Dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang"**, PT. Mediatama Saptakarya, 1995.
- 2) **"Cara Menghitung Design Flood"**, Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Pengairan – Direktorat Sungai, Cetakan ke-3, November 1992.
- 3) Chow - Ven Te, Suyatman, Kristanto Sugiharto, Nensi Rosalina, **"Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)"**, Penerbit Erlangga, 1985.
- 4) **"Draft Bridge Design Code"**, Ministry of Public Works, Directorate General of Highways, Directorate of Planning, 1991.
- 5) **"Drainage and Subsoil Drainage"**, JICA, Text Book Series No. 54, 1977.
- 6) **"Hydraulics Manual"**, Washington State Department of Transportation, M 23-03, March 2004.
- 7) **"Highway Drainage Guidelines"**, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Washington D.C., 1975.
- 8) Iman Subarkah, Ir., **"Hidrologi untuk Perencanaan Bangunan Air"**, Penerbit Idea Dharma, Bandung, 1978.
- 9) Joesron Loebis, M.Eng., Ir., **"Banjir Rencana untuk Bangunan Air"**, Departemen PU, Yayasan Badan Penerbit PU, Jakarta, Cetakan Kedua, 1992.
- 10) Kraatz, D.B & Mahajan, I.K, **"Small Hydraulic Structures"**, Water Resources Development and Management Service, Land and Water Development Division, FAO-UN, Rome, 1975.
- 11) Lim, Y.C & Kim, D.S, **"Hydraulic Design Practise of Canal Structures"**, Korea Rural Environmental Development Institute, Republic of Korea, 1981.
- 12) Linsley, Kohler & Paulhus, **"Applied Hydrology"**, Tata Mc Graw – Hill, New Delhi, 1979.
- 13) **"Manual for Bridge Technical Design"**, Ministry of Public Works, Directorate General of Highways, Directorate of Planning, 1990.
- 14) **"Metode Perhitungan Debit Banjir"**, SK SNI M-18-1989-F, 1989.
- 15) Nemec, J., **"Engineering Hydrology"**, Tata Mc Graw – Hill, New Delhi, 1973.
- 16) **"Pedoman Perencanaan Hidrologi dan Hidraulik untuk Bangunan di Sungai"**, SKBI – 1.3.10.1987, SNI. No. 1924 – 1989 - F, 1987.
- 17) **"Pedoman Perencanaan Pengelolaan Lingkungan Hidup Bidang Jalan"**, Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Direktorat Jenderal Prasarana Wilayah, November 2002.

- 18) **"Penulisan Standar Nasional Indonesia"**, Badan Standardisasi Nasional (BSN), Pedoman 8-2000, Mei 2000.
- 19) Peterka A.J., **"Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators"**, Engineering Monograph No. 25, United States Department of the Interior, Bureau of Reclamation, 1978.
- 20) Shirley L. Hendarsin, **"Penuntun Praktis Perencanaan Teknik Jalan Raya"**, Politeknik Negeri Bandung – Jurusan Teknik Sipil, Cetakan Pertama, 2000.
- 21) **"Petunjuk Desain Drainase Permukaan Jalan"**, Direktorat Pembinaan Jalan Kota, Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum, No.009/T/BNKT/1990.
- 22) **"Standar Perencanaan Irigasi : KP.03, KP.04, KP.06"**, Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Pengairan, 1986.
- 23) **"Standar Perencanaan Irigasi : PT.02 & PT.03"**, Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Pengairan, 1986.
- 24) Soemarto, C.D., Ir., **"Hidrologi Teknik"**, Bagian Penerbitan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Maret, 1979.
- 25) Steel, Ernest W., **"Water Supply and Sewerage"**, Mc Graw Hill Book Company, Fourth Edition, 1960.
- 26) Sunggono KH, Ir., **"Buku Teknik Sipil"**, Penerbit Nova, Bandung, 1995.
- 27) Sunggono KH, Ir., **"Mekanika Tanah"**, Penerbit Nova, Bandung, 1984.
- 28) Suyono Sosrodarsono, Ir. & Kensaku Takeda, **"Bendungan Type Urugan"**, PT. Pradnya Paramita, Cetakan Kedua, 1977.
- 29) Suyono Sosrodarsono, Ir. & Kensaku Takeda, **"Bendungan Type Urugan"**, PT. Pradnya Paramita, Cetakan Kedua, 1977.
- 30) Suyono Sosrodarsono, Ir. & Kensaku Takeda, **"Hidrologi untuk Pengairan"**, PT. Pradnya Paramita, Cetakan Kedua, 1978.
- 31) Suyono Sosrodarsono, Ir. & Nakazama K., **"Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi"**, PT. Pradnya Paramita, 1987.
- 32) Suyono Sosrodarsono, Ir., **"Teknik Perbaikan Sungai"**, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
- 33) **"Tata Cara Perencanaan Drainase Permukaan Jalan"**, Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan PU, SNI 03-3424-1994 / SK SNI T-22-1991-03, 1994.
- 34) Wesley LD, **"Mekanika Tanah"** Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Cetakan ke VI, 1977.