

BAB II

KRITERIA PERENCANAAN

2.1. Uraian Umum

Dalam pekerjaan perencanaan suatu sistem jaringan irigasi tambak pasang surut diperlukan berbagai bidang ilmu pengetahuan yang saling mendukung demi kesempurnaan hasil dari perencanaan. Bidang ilmu pengetahuan itu antara lain ilmu irigasi, ilmu tentang pasang surut, rekayasa tambak, hidrologi, hidrolika, bangunan air, dan rekayasa lingkungan untuk menganalisis dampak lingkungan akibat pembangunan jaringan irigasi tersebut.

Untuk menunjang proses perencanaan jaringan irigasi tambak pasang surut ini perlu adanya kajian pustaka untuk menentukan spesifikasi-spesifikasi yang akan menjadi acuan dalam perencanaan tersebut. Berbagai teori dan rumus-rumus dari berbagai studi pustaka sangat diperlukan, terutama untuk pengolahan data dan untuk membuat desain rencana.

2.2. Irigasi

Secara umum pengertian irigasi adalah pemberian air kepada tanah dengan maksud untuk memasok lengas esensial bagi pertumbuhan tanaman (*Hansen, dkk, 1990*).

Dalam Peraturan Pemerintah (PP) No. 23/1982 Ps. 1, pengertian irigasi, bangunan irigasi, dan petak irigasi telah dibakukan yaitu sebagai berikut :

- **Irigasi** adalah usaha penyediaan dan penyediaan dan pengaturan air untuk menunjang pertanian.
- **Jaringan irigasi** adalah saluran dan bangunan yang merupakan satu kesatuan dan diperlukan untuk pengaturan air irigasi mulai dari penyediaan, pengambilan, pembagian pemberian dan penggunaannya.
- **Daerah irigasi** adalah kesatuan wilayah yang mendapat air dari satu jaringan irigasi.
- **Petak irigasi** adalah petak tanah yang memperoleh air irigasi.

Dari butir-butir pengertian tentang irigasi dan jaringan irigasi tersebut di atas kemudian dapat disusun rumusan pengertian irigasi sebagai berikut :

“Irigasi merupakan bentuk kegiatan penyediaan, pengambilan, pembagian, pemberian dan penggunaan air untuk pertanian dengan menggunakan satu kesatuan saluran dan bangunan berupa jaringan irigasi”.

Dalam cakupan pengertian pengembangan irigasi berkelanjutan (*sustainable irrigation development*), pengertian pertanian harus diartikan bukan hanya pertanian tumbuhan dan tanaman pangan, tetapi mencakup pertanian ternak dan ikan (perikanan).

2.2.1. Sistem Irigasi dan Klasifikasi Jaringan Irigasi

Dalam perkembangannya, irigasi dibagi menjadi tiga tipe, yaitu :

➤ **Irigasi sistem gravitasi**

Dalam sistem irigasi ini, sumber air diambil dari air yang ada dipermukaan bumi yaitu dari sungai, waduk dan danau di dataran tinggi. Pengaturan dan pembagian air irigasi menuju ke petak-petak yang membutuhkan, dilakukan secara gravitatif.

➤ **Irigasi sistem pompa**

Sumber air yang dapat dipompa untuk keperluan irigasi dapat diambil dari sungai, atau dari air tanah. Pengaturan dan pembagian air irigasi menuju ke petak-petak yang membutuhkan, dilakukan dengan menggunakan bantuan pompa.

➤ **Irigasi pasang surut**

Irigasi pasang surut merupakan suatu tipe irigasi yang memanfaatkan pengempangan air sungai akibat peristiwa pasang surut air laut. Areal yang dimanfaatkan untuk tipe irigasi ini adalah areal yang mendapat pengaruh langsung dari peristiwa pasang surut air laut. Air genangan yang berupa air tawar dari sungai akan menekan dan mencuci kandungan tanah sulfat masam dan akan dibuang pada saat air laut surut.

Adapun klasifikasi jaringan irigasi bila ditinjau dari cara pengaturan, cara pengukuran aliran air dan fasilitasnya, dibedakan atas tiga tingkatan, yaitu :

a. Jaringan irigasi sederhana / tradisional

Pada jaringan irigasi sederhana, pembagian air tidak diukur atau diatur sehingga air lebih akan mengalir ke saluran pembuang. Persediaan air berlimpah dan kemiringan saluran berkisar antara sedang dan curam.

b. Jaringan irigasi semi teknis / semi intensif

Pada jaringan irigasi semi teknis, bangunan bendungannya terletak di sungai lengkap dengan pintu pengambilan tanpa bangunan pengukur di bagian hilirnya. Beberapa bangunan permanen sudah dibangun di jaringan saluran. Sistem pembagian air serupa dengan jaringan irigasi sederhana. Bangunan pengambilan dipakai untuk melayani/mengairi daerah yang lebih luas dari pada daerah layanan jaringan irigasi sederhana.

c. Jaringan irigasi teknis / intensif

Salah satu prinsip jaringan irigasi teknis adalah pemisahan antara saluran irigasi/pembawa dengan saluran pembuang/pematus. Saluran pembawa mengalirkan air irigasi ke petak-petak irigasi dan saluran pembuang mengalirkan kelebihan air dari petak-petak irigasi.

Jaringan irigasi teknis memungkinkan dilakukannya pengukuran aliran, pembagian air irigasi dan pembuangan air lebih efisien.

Secara singkat, klasifikasi jaringan irigasi dapat dilihat pada **Tabel 2.1.** berikut :

Tabel 2.1. Klasifikasi Jaringan Irigasi

		Klasifikasi Jaringan Irigasi		
		Teknis	Semi Teknis	Sederhana
1.	Bangunan Utama	Bangunan permanen	Bangunan permanen atau semi permanen	Bangunan sederhana
2.	Kemampuan bangunan Dalam mengukur dan Mengatur debit	Baik	Sedang	Jelek
3.	Jaringan saluran	Saluran Irigasi dan pembuang terpisah	Saluran irigasi dan pembuang tidak sepenuhnya terpisah	Saluran irigasi dan pembuang jadi satu
4.	Petak tersier	Dikembangkan seluruhnya	Belum dikembangkan atau densitas bangunan tersier jarang	Belum ada jaringan terpisah yang dikembangkan

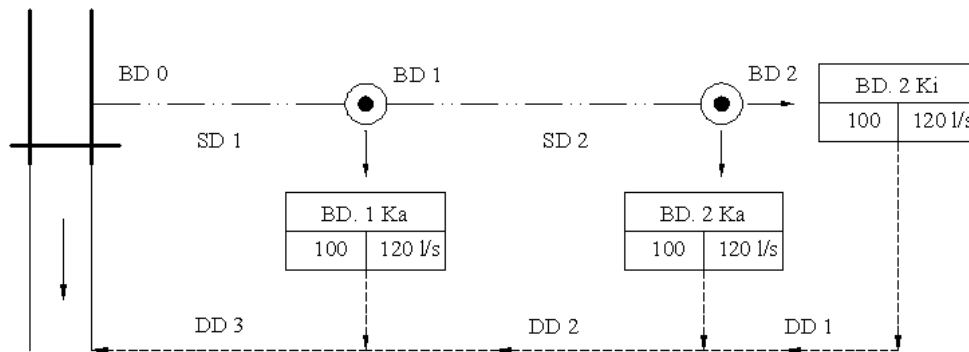
5.	Efisiensi secara keseluruhan	50 – 60 %	40 – 50 %	< 40 %
6.	Ukuran	Tak ada batasan	Sampai 2000 ha	< 500 ha

(Standar Perencanaan Irigasi KP-01, Dept. PU Dirjen Pengairan, 1986)

2.2.2. Sistem Jaringan Irigasi

Dalam suatu jaringan irigasi dapat dibedakan adanya empat unsur fungsional pokok yaitu :

- Bangunan-bangunan utama (*head works*) dimana air diambil dari sumbernya, umumnya sungai atau waduk.
- Jaringan pembawa berupa saluran yang mengalirkan air ke petak-petak tersier.
- Petak-petak tersier dengan sistem pembagian air dan sistem pembuangan kolektif; air irigasi dibagi-bagi dan dialirkan ke petak-petak irigasi dan kelebihan air ditampung di dalam suatu sistem pembuangan dalam petak tersier.
- Sistem pembuangan yang ada diluar daerah irigasi untuk membuang kelebihan air ke sungai atau saluran-saluran alam.



Ket :
 BD 0 : Bendung
 BD : Bangunan Bagi Sadap / Bangunan Utama
 SD : Saluran Sekunder / Saluran Pembawa
 DD : Saluran Drainase / Saluran Pembuangan
 Petak Irigasi :

--	--

 Nama Petak
 Kebutuhan Air Irigasi
 Luas Areal Irigasi

Gambar 2.1. Sket Jaringan Irigasi

1. Petak Irigasi

Umumnya petak irigasi dibagi atas tiga bagian yaitu :

a. Petak Tersier

Perencanaan dasar yang berkenaan dengan unit tanah adalah petak tersier. Petak ini menerima air irigasi yang dialirkan dan diukur dari bangunan sadap tersier. Bangunan sadap tersier mengalirkan airnya ke saluran tersier.

b. Petak Sekunder

Petak sekunder terdiri dari beberapa petak tersier yang kesemuanya dilayani oleh satu saluran sekunder.

c. Petak Primer

Petak primer terdiri dari beberapa petak sekunder yang mengambil air langsung dari saluran primer.

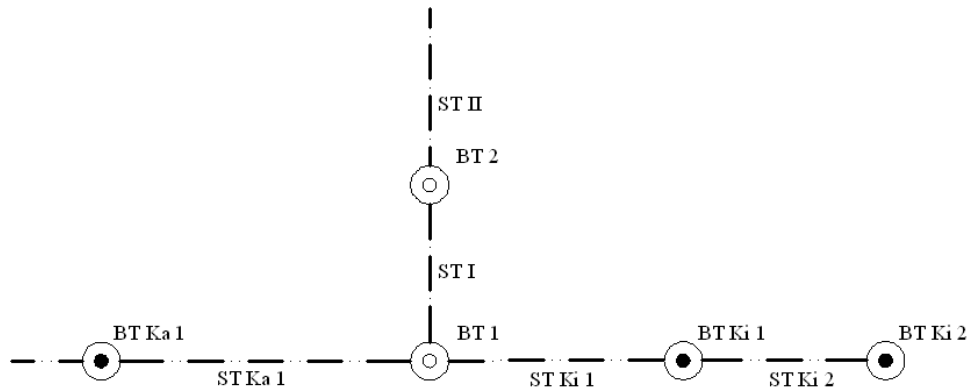
Petak primer dilayani oleh satu saluran primer yang mengambil airnya langsung dari sumber air, biasanya sungai.

2. Saluran Irigasi

a. Jaringan saluran irigasi utama

Saluran primer membawa air dari jaringan utama ke saluran sekunder dan ke petak-petak tersier yang diairi. Batas ujung saluran primer adalah pada bangunan bagi yang terakhir.

Saluran sekunder membawa air dari saluran primer ke petak-petak tersier yang dilayani oleh saluran sekunder tersebut. Batas saluran sekunder adalah pada bangunan sadap terakhir.



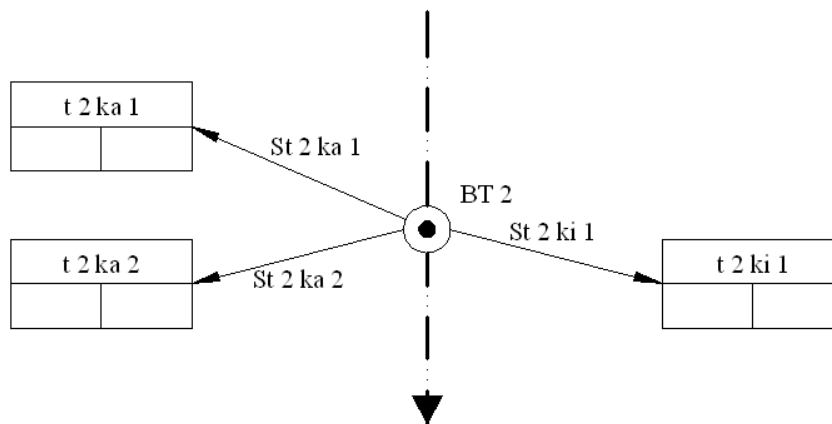
Keterangan :
 ST I = Saluran Utama Ruas 1
 ST II = Saluran Utama Ruas 2
 ST Ka 1 = Saluran Sekunder Kanan Ruas 1
 ST Ki 1 = Saluran Sekunder Kiri Ruas 1
 ST Ki 2 = Saluran Sekunder Kiri Ruas 2

Gambar 2.2. Sket Jaringan Saluran Utama dan Saluran Sekunder

b. Jaringan saluran irigasi tersier

Saluran irigasi tersier membawa air dari bangunan sadap tersier di jaringan utama ke dalam petak tersier lalu di saluran kuarter. Batas ujung saluran ini adalah box bagi kuarter yang terakhir.

Saluran kuarter membawa air dari box bagi kuarter melalui bangunan sadap tersier.



Keterangan :
 St 2 ki 1 = Saluran Tersier Kiri 1
 St 2 ka 1 = Saluran Tersier Kanan 1
 St 2 ka 2 = Saluran Tersier Kanan 2

Gambar 2.3. Sket Jaringan Saluran Irigasi Tersier

c. Jaringan saluran pembuang utama

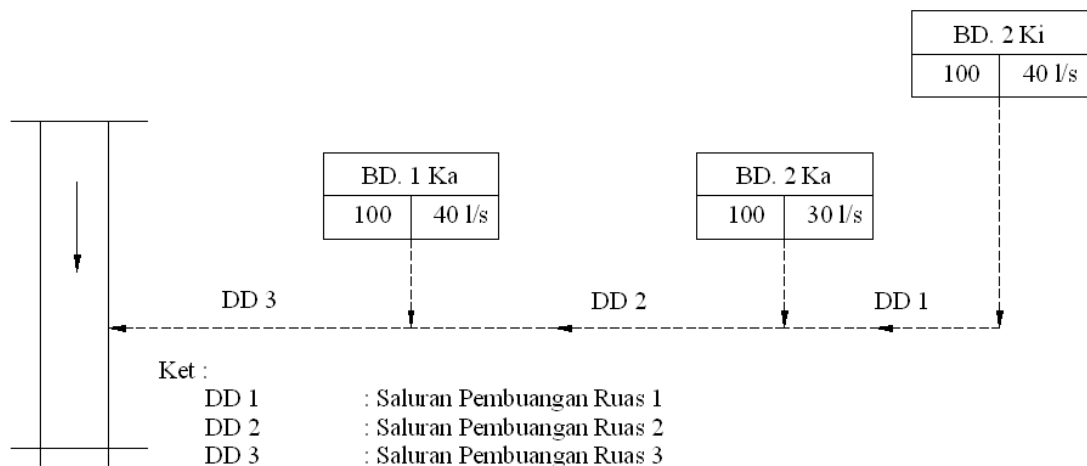
Saluran pembuang primer mengalirkan air lebih dari saluran pembuang sekunder keluar daerah irigasi. Saluran pembuang primer sering berupa saluran pembuang alam yang mengalirkan kelebihan air ke sungai, anak sungai, atau ke laut.

Saluran pembuang sekunder menampung air dari jaringan pembuang tersier dan membuang air tersebut ke pembuang primer atau langsung ke pembuang alam dan keluar daerah irigasi.

d. Jaringan saluran pembuang tersier

Saluran pembuang tersier terletak di dan antara petak-petak tersier yang termasuk dalam unit irigasi sekunder yang sama dan menampung air, baik dari pembuangan kuarter maupun sawah-sawah. Air tersebut dibuang ke dalam jaringan pembuang sekunder.

Saluran pembuang sekunder menerima buangan air dari saluran pembuang kuarter yang menampung air langsung dari sawah.



Gambar 2.4. Sket Jaringan Saluran Pembuang

3. Bangunan Irigasi

a. Bangunan bagi dan sadap

- Bangunan bagi terletak di saluran primer dan sekunder pada suatu titik cabang dan berfungsi untuk membagi aliran antara dua saluran atau lebih.

- Bangunan sadap tersier mengalirkan air dari saluran primer atau sekunder ke saluran tersier penerima.
- Bangunan bagi dan sadap mungkin digabung menjadi satu rangkaian bangunan.
- Boks-boks bagi di saluran tersier membagi aliran untuk dua saluran atau lebih (tersier, subtersier dan/atau kuarter).

b. Bangunan-bangunan pengukur dan pengatur

Aliran akan diukur di hulu (udik) saluran primer, di cabang saluran jaringan primer dan di bangunan sadap sekunder maupun tersier. Peralatan ukur dapat dibedakan menjadi alat ukur aliran atas bebas (*free overflow*) dan alat ukur aliran bawah (*underflow*). Beberapa dari alat-alat pengukur dapat juga dipakai untuk mengatur aliran air.

Alat-alat ukur yang dapat dipakai ditunjukkan pada **Tabel 2.2** berikut :

Tabel 2.2. Alat-alat ukur

Tipe	Mengukur dengan	Mengatur
Alat ukur ambang lebar	Aliran atas	Tidak
Alat ukur <i>Parshall</i>	Aliran atas	Tidak
Alat ukur <i>Cipoletti</i>	Aliran atas	Tidak
Alat ukur <i>Romijn</i>	Aliran atas	Ya
Alat ukur <i>Crump-de Gruyter</i>	Aliran bawah	Ya
Bangunan sadap pipa sederhana	Aliran bawah	Ya
<i>Constant-Head Orifice</i> (CHO)	Aliran bawah	Ya

(Standar Perencanaan Irigasi KP-01, Dept. PU Dirjen Pengairan, 1986)

c. Bangunan pelengkap

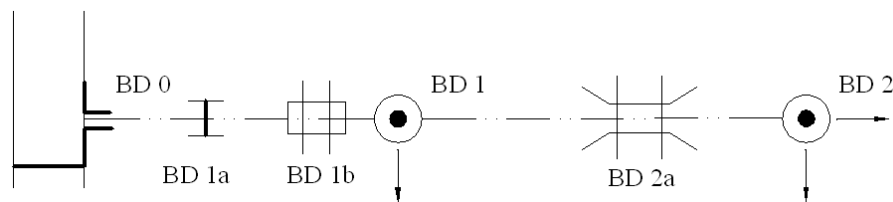
- Tanggul-tanggul diperlukan untuk melindungi daerah irigasi terhadap banjir yang berasal dari sungai, saluran pembuang yang besar atau laut. Pada umumnya tanggul diperlukan di sepanjang sungai di sebelah hulu bendung atau di sepanjang saluran primer.
- Pintu bangunan di saluran biasanya dibuat dari baja. Dalam standar bangunan irigasi diberikan detail-detail lengkap mengenai ukuran dan

tipe standar pintu. Adapun tipe-tipe pintu standar adalah sebagai berikut :

1. Pintu Gerak *Romijn*
2. Pintu *Crump-de Gruyter*
3. Pintu Sorong

Pintu sorong dengan bukaan lebar biasanya dibuat dari kayu yang lebih murah untuk ukuran.

- Fasilitas-fasilitas eksploitasi, diperlukan untuk eksploitasi jaringan irigasi secara efektif dan aman. Fasilitas-fasilitas tersebut antara lain meliputi : kantor-kantor di lapangan, bengkel, perumahan untuk staf irigasi, jaringan komunikasi, papan eksploitasi, papan duga, dan sebagainya.
- Bangunan-bangunan pelengkap yang dibuat di dan sepanjang saluran, meliputi :
 1. Pagar, rel pengaman dan sebagainya, guna memberikan pengaman sewaktu-waktu terjadi keadaan darurat:
 2. Kisi-kisi penyaring untuk mencegah tersumbatnya bangunan (sipon dan gorong-gorong panjang) oleh benda-benda yang hanyut:
 3. Jembatan-jembatan untuk keperluan penyeberangan bagi petani atau penduduk.



Ket :

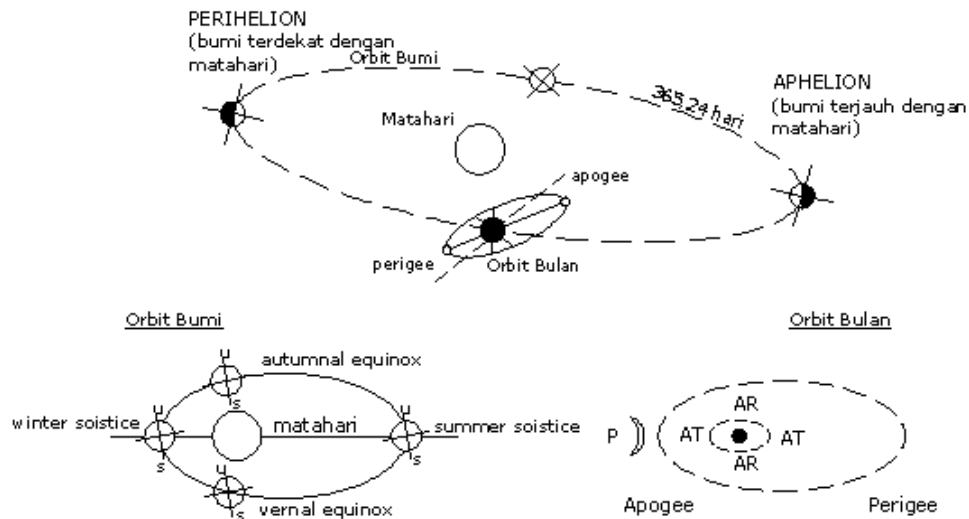
BD 0	: Bendung
BD 1	: Bangunan Sadap
BD 2	: Bangunan Bagi
BD 1 a	: Bangunan Terjun
BD 1 b	: Bangunan Gorong-gorong
BD 2 a	: Bangunan Jembatan

Gambar 2.5. Sket Bangunan Irigasi

(Sumber : *Kriteria Perencanaan Jaringan Irigasi KP-01, Dept. PU Dirjen Pengairan, 1986*)

2.3. Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu karena adanya gaya tarik benda-benda langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi, (Triatmojo, B, 1996). Massa bulan jauh lebih kecil dari massa matahari, tetapi pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada pengaruh gaya tarik matahari, karena jarak bulan terhadap bumi jauh lebih dekat.



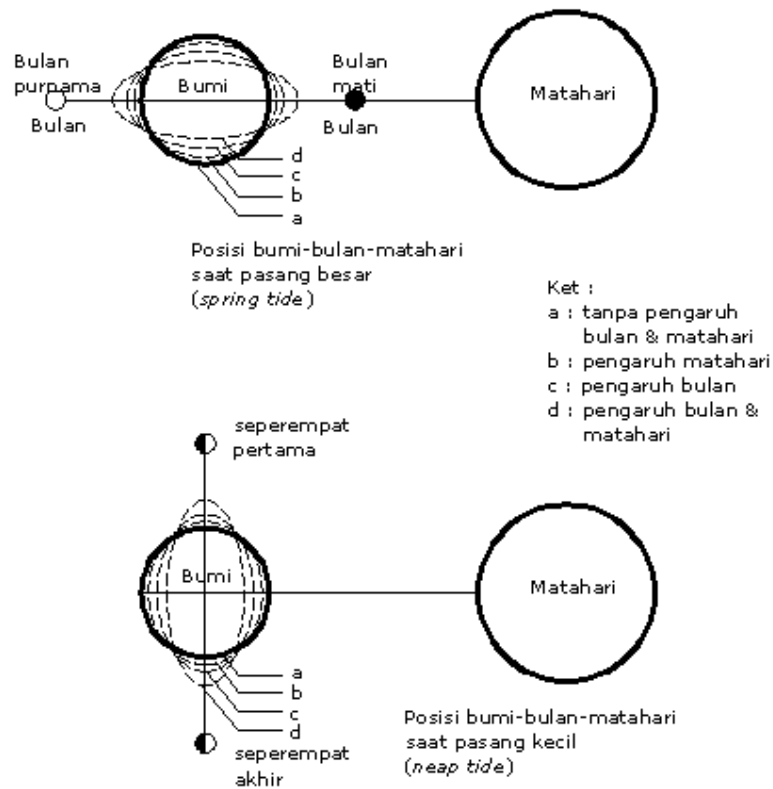
Gambar 2.6. Sistem Bumi – Bulan – Matahari

(Sumber : Pelabuhan, B. Triadmodjo, 1996)

Bulan dan matahari mengorbit mengelilingi bumi dengan bentuk lintasan ellips, sehingga gaya gravitasi akan mencapai maksimum dan minimum pada masing-masing orbit. Komponen gaya tarik terbesar ditimbulkan oleh bulan dimana mempunyai periode kira-kira sebesar 12 jam 25 menit. Gaya yang diakibatkan oleh bulan (*lunar force*) mencapai maksimum sekali dalam 28 hari yaitu ketika bulan berada pada jarak terdekat dengan bumi (*perigee*), sedang pada saat posisi bulan pada jarak terjauh dari bumi (*apogee*) besar gaya adalah 2/3 dari gaya maksimum.

Total gaya pasang surut merupakan kombinasi dari gaya yang ditimbulkan oleh bulan dan matahari (*solar force*) dan akan mencapai nilai terbesar jika keduanya bekerja bersama-sama. Kondisi ini terjadi pada saat kedudukan

matahari dan bulan pada satu garis pada jarak terdekat dengan bumi. Pada saat kedudukan bulan dan matahari pada satu sisi (*new moon*) maupun pada posisi yang berlawanan (*full moon*), akan terjadi keadaan *spring tide* (**Gambar 2.7**), suatu keadaan di mana fluktuasi pasang surut lebih besar daripada pasang surut rata-rata, hal ini terjadi dua kali dalam satu bulan pada posisi kuadratur, akan terjadi keadaan *neap tide*, suatu keadaan dimana fluktuasi pasang surut lebih kecil daripada pasang surut rata-rata, hal ini juga terjadi dua kali dalam satu bulan.



Gambar 2.7. Spring Tide dan Neap Tide

(Sumber : Pelabuhan, B. Triadmodjo, 1996)

Tinggi pasang surut adalah amplitudo total dari variasi muka air antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air terendah (lembah air surut). Periode di mana muka air naik tersebut disebut pasang, sedang pada saat air turun disebut surut. Variasi muka air menimbulkan arus yang disebut dengan arus pasang surut, yang menyangkut pasang dan arus surut terjadi pada periode air surut.

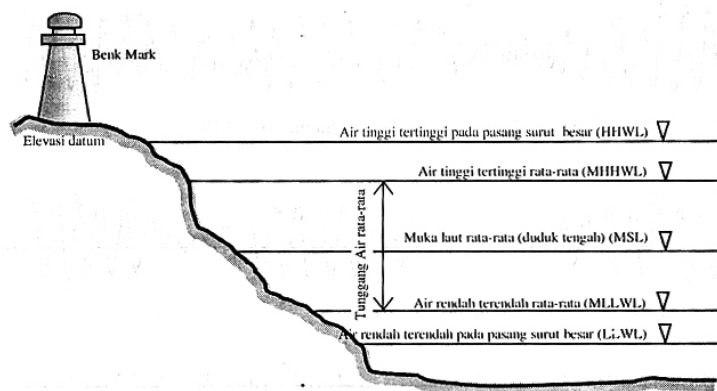
(Sumber : Tugas Akhir Perancangan Saluran Irigasi Pasang Surut, Teknik Sipil UGM Yogyakarta, 1996)

2.3.1. Pasang Surut Air Laut

Permukaan air laut bukanlah merupakan suatu permukaan yang tetap (tenang), akan tetapi senantiasa berubah-ubah setiap saat. Perubahan kedudukan permukaan air laut yang berupa naik dan turunnya permukaan air laut disebut pasang surut air laut, disingkat pasut laut. Gerakan vertikal permukaan air laut mengakibatkan pula gerakan mendatar, yang dirasakan terutama pada tempat-tempat yang sempit, seperti selat dan danau, dan gerakan ini dikenal sebagai arus pasut (*tidal current*). Perubahan permukaan air laut disebabkan oleh suatu gaya pasut.

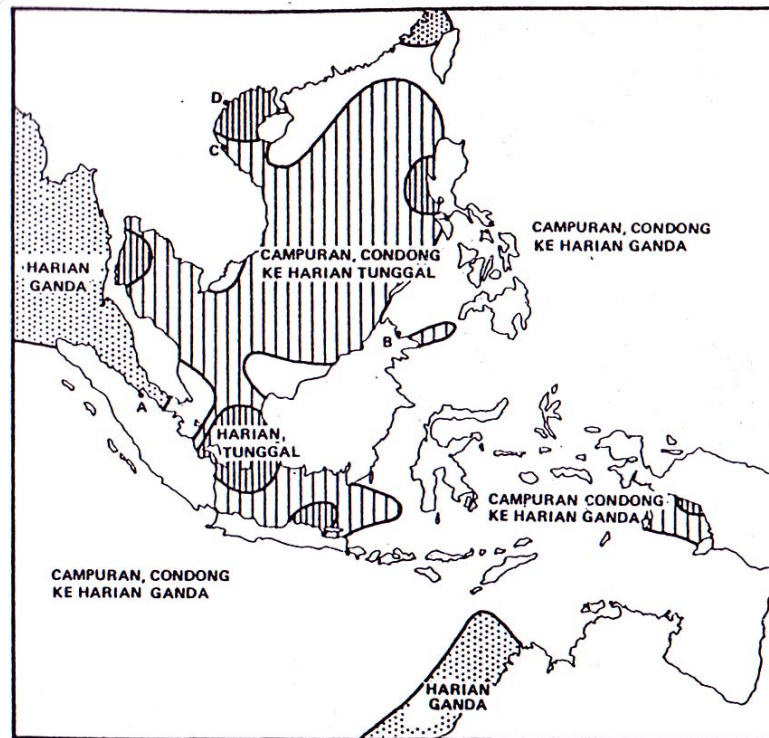
Periode selama permukaan air laut naik akibat pengaruh gaya pasut disebut *flood tide*, dan kedudukan pada waktu permukaan air laut mencapai puncaknya disebut *high water* atau air tinggi (A.T.). Keadaan saat permukaan air laut menurun akibat gaya pasut, disebut *ebb tide* dan kedudukan rendah permukaan air laut disebut *low water* atau air rendah (A.R.). Perbedaan antara kedudukan air tinggi dengan air rendah (**Gambar 2.8**) disebut tunggang air (*range of tide*) yang besarnya tergantung pada tempat dan waktu serta karakteristik setempat.

Kedudukan permukaan air laut tertinggi disebut air tinggi tertinggi (*highest high water*) dan kedudukan permukaan air laut terendah disebut air rendah terendah (*lowest low water*). Keadaan tersebut terjadi pada saat bulan baru / bulan purnama (*spring tides*) dan memiliki tunggang air yang besar. Sebaliknya, tunggang air yang kecil terjadi pada saat bulan quarter (*neap tides*).



Gambar 2.8. Kedudukan Permukaan Air Laut

(Sumber : rangkuman kursus PASANG-SURUT, LIPI Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi Jakarta, 1989)



Gambar 2.9. Peta sifat-sifat pasut perairan ASEAN (Pariwono 1985)

(Sumber : rangkuman kursus PASANG-SURUT, LIPI Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi Jakarta, 1989)

2.3.3. Beberapa Tipe Pasang Surut

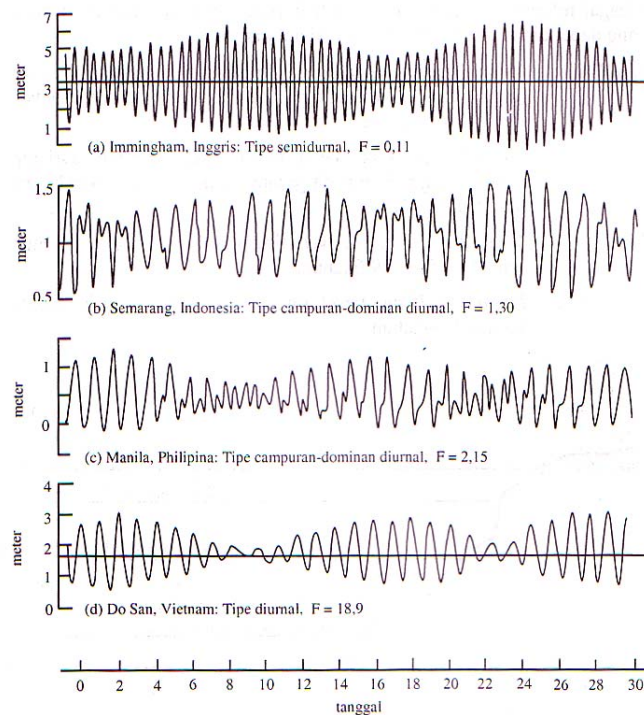
Bentuk pasang surut di berbagai daerah tidak sama. Di suatu daerah dalam satu hari dapat terjadi satu kali atau dua kali pasang surut. Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan dalam empat tipe yaitu (*Triatmojo, B, 1996*) :

1. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*)
 Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur. Periode pasang surut rata-rata adalah 12 jam 25 menit.
2. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)
 Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut. Periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit.
3. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semi diurnal*)

Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda.

4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal*)

Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda.



Gambar 2.10. Tipe Pasang Surut di beberapa tempat

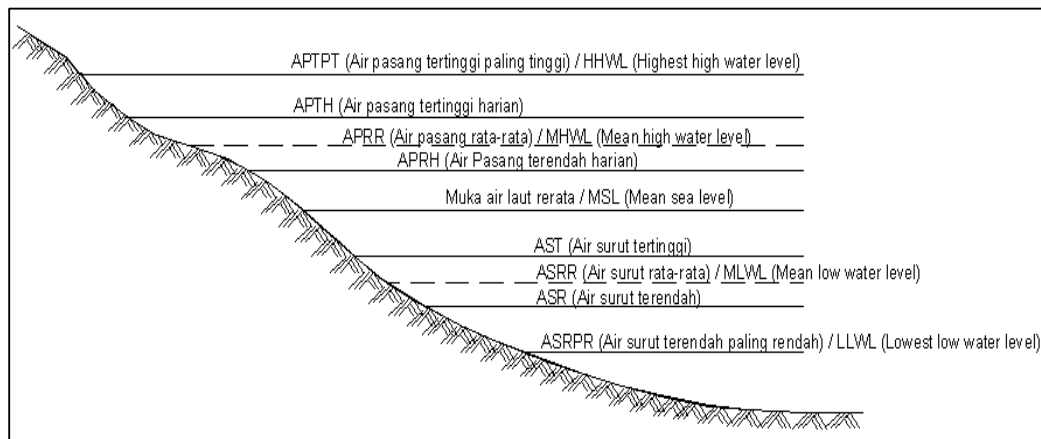
(Sumber : Tugas Akhir Perancangan Saluran Irigasi Pasang Surut, Teknik Sipil UGM Yogyakarta, 1996)

2.3.4. Pola Pasang Surut Air Laut

Pergerakan pasang-surut air laut pada suatu tempat dimuka bumi adalah sebagai berikut, (Slamet Suseno, 1983) :

1. Air Pasang Tertinggi Paling Tinggi (APTPT), yang bersifat temporer terjadi dua kali sebulan, yakni setiap bulan purnama yang dikenal sebagai "air pasang purnama" dan 15 hari kemudian yang dikenal sebagai "air pasang perbani".

2. Air Pasang Tertinggi Harian (APTH), terjadi dua kali setiap hari (setiap 12 jam 25 menit), bergantian dengan air pasang terendah harian.
3. Air Pasang Rata-Rata (APRR), terjadi sebagai hasil campuran antara pengaruh yang menimbulkan air pasang tertinggi dan air pasang terendah.
4. Air Pasang Terendah Harian (APRH), terjadi dua kali setiap hari, bergantian dengan air pasang tertinggi harian.
5. Air Surut Tertinggi (AST), yang terjadi satu kali saja setiap hari oleh pengaruh matahari, bergantian dengan permukaan air surut terendah.
6. Air Surut Rata-Rata (ASRR), sebagai hasil campuran pengaruh yang menyebabkan air surut tertinggi dan air surut terendah.
7. Air Surut Terendah (ASR), yang terjadi satu kali saja setiap hari, bergantian dengan air surut tertinggi.
8. Air Surut Terendah Paling Rendah (ASRPR), yang bersifat temporer yang terjadi dua kali dalam sebulan, yakni ketika bulan sedang terlihat sebagai "bulan sabit" (tanggal 5 dan 25, menurut penanggalan berdasarkan jalannya bulan).



Gambar 2.11. Bagan pasang surut air laut (Slamet Suseno,1983)

(Sumber : *Budidaya Ikan dan Udang dalam Tambak*, PT Gramedia Jakarta, 1983)

2.3.5. Permukaan Air Laut Rata-Rata

Permukaan air laut rata-rata (*mean sea level*), yang disini disingkat sebagai MLR atau dalam bahasa Inggris dengan MSL, merupakan permukaan air laut yang dianggap tidak dipengaruhi oleh keadaan pasang surut. Permukaan tersebut

umumnya digunakan sebagai referensi ketinggian titik-titik di atas permukaan bumi. Kedudukan permukaan air laut rata-rata setiap saat berubah sesuai dengan perubahan dari posisi benda-benda langit, serta kerapatan (*density*) air laut di tempat tersebut sebagai akibat perubahan suhu air, salinitas, dan tekanan atmosfer.

Permukaan air laut rata-rata biasanya ditentukan melalui pengamatan terus-menerus kedudukan air laut dalam setiap jam, hari bulan, dan tahun. Macam kedudukan muka laut rata-rata (MLR) disesuaikan dengan lamanya pengamatan yang dipakai untuk menghitung kedudukannya, seperti muka laut rata-rata harian, bulanan dan tahunan. Dalam survey hidrografi, dikenal istilah MLR sementara dan sejati. MLR sementara dibagi atas MLR sementara harian dan MLR sementara bulanan.

MLR sementara harian pada umumnya ditentukan melalui pengamatan kedudukan permukaan air laut setiap jam selama satu hari, dari jam 00.00 sampai dengan 23.00 waktu setempat sehingga diperoleh 24 harga hasil pengamatan. MLR bulanan ditentukan melalui nilai rata-rata MLR harian untuk waktu satu bulan.

Sedangkan MLR sejati yang dikenal sebagai MLR tahunan, dan besarnya ditentukan dari MLR untuk satu tahun. MLR tahunan juga berubah-ubah dari tahun ke tahun, walaupun perubahannya tidak begitu besar. Perubahan MLR tahunan antara lain disebabkan oleh perubahan ketinggian dasar laut, sehingga secara tidak langsung perubahan dasar laut dapat diketahui melalui MLR tahunan. Untuk mendapatkan MLR sejati harus diadakan pengamatan kedudukan permukaan laut selama 18,6 tahun.

(Sumber : rangkuman kursus PASANG-SURUT, LIPI Pusat Penelitian dan Pengembangan Oseanologi Jakarta, 1989)

2.4. Analisis Hidrologi

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi (*hydrologic phenomena*), seperti besarnya : curah hujan, temperatur, penguapan, lamanya penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai akan selalu berubah terhadap waktu.

Data hidrologi dianalisis untuk membuat keputusan dan menarik kesimpulan mengenai fenomena hidrologi berdasarkan sebagian data hidrologi yang dikumpulkan. Untuk perencanaan irigasi, analisis hidrologi yang terpenting yaitu dalam menentukan debit andalan yaitu debit minimum sungai yang diperlukan untuk mengairi lahan.

2.4.1. Perhitungan Curah Hujan Areal

Curah hujan yang diperlukan untuk pemanfaatan air adalah curah hujan rata-rata diseluruh daerah yang bersangkutan. Jika di suatu areal terdapat beberapa stasiun pencatat curah hujan, maka dapat diambil nilai rata-rata untuk mendapatkan nilai curah hujan areal.

Ada tiga cara dalam menentukan curah hujan rata-rata pada areal tertentu dari data curah hujan di beberapa stasiun pencatat curah hujan, yaitu sebagai berikut :

2.4.1.1 Metode Rata-Rata Aljabar (Metode *Arithmetic*)

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana, yaitu dengan mengambil nilai rata-rata hitung (*arithmetic mean*) dari pengukuran hujan di pos penakar-penakar hujan di dalam areal tersebut selama satu periode tertentu. Cara ini akan menghasilkan nilai rata-rata curah hujan yang baik, apabila daerah pengamatannya datar, penempatan alat ukur tersebar merata dan hasil penakaran masing-masing pos penakar tidak menyimpang jauh dari nilai rata-rata seluruh pos di seluruh areal.

Rumus :

$$\begin{aligned} \bar{R} &= \frac{R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n}{n} \\ &= \sum_{i=1}^n \frac{R_i}{n} \dots\dots\dots (2.4.1.1) \end{aligned}$$

dimana :

\bar{R} = tinggi curah hujan rata-rata (mm)

$R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ = tinggi curah hujan pada pos penakar 1, 2, 3, ..., n (mm)

n = banyaknya pos penakar

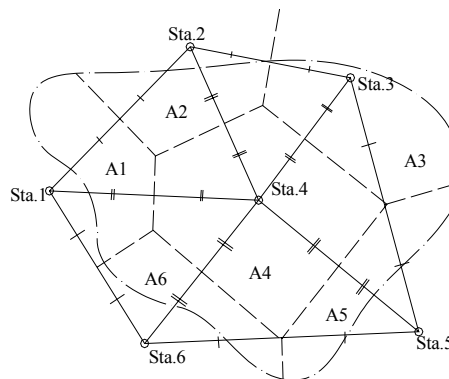
(*Hidrologi untuk Pengairan, Ir. Suyono Sosrodarsono & Kensaku Takeda, 1993*)

2.4.1.2 Metode Poligon Thiessen

Metode Poligon *Thiessen* memiliki ketelitian yang lebih baik dari pada metode rata-rata Aljabar. Metode ini berdasarkan rata-rata timbang (*weighted average*), dimana masing-masing penakar mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan menggambarkan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung di antara dua buah pos penakar.

Syarat-syarat penggunaan Metode Poligon Thiessen, yaitu :

- Stasiun hujan / pos penakar minimal tiga buah dan letak stasiun dapat tidak merata.
- Daerah yang diperhitungkan dibagi menjadi poligon-poligon, dengan stasiun hujan sebagai pusatnya.



Gambar 2.12. Pembagian daerah pengaruh Metode Poligon Thiessen

Cara perhitungan :

Misalnya A_1 adalah luas daerah pengaruh pos penakar 1, A_2 luas daerah pengaruh pos penakar 2, dan seterusnya. Jumlah $A_1 + A_2 + \dots + A_n = A$ adalah jumlah luas seluruh areal yang dicari nilai curah hujan rata-ratanya. Jika pos penakar 1

menakar tinggi hujan R_1 , pos penakar 2 menakar tinggi hujan R_2 , dan pos penakar n menakar R_n , maka :

Rumus :

$$\bar{R} = \frac{A_1R_1 + A_2R_2 + A_3R_3 + \dots + A_nR_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n}$$

$$= \sum_{i=1}^n \frac{A_iR_i}{A} \dots\dots\dots (2.4.1.2)$$

Jika $\frac{A_i}{A} = C_i$ (koefisien *Thiessen*) merupakan persentase luas pada pos i

yang jumlahnya untuk seluruh luas adalah 100 %, maka :

$$\bar{R} = \sum_{i=1}^n C_iR_i$$

dimana :

- \bar{R} = tinggi curah hujan rata-rata areal (mm)
- $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$ = tinggi curah hujan pada pos penakar 1,2,3, ..., n (mm)
- A = luas total areal (km²)
- A_i = luas pengaruh dari stasiun pengamatan i (km²)

(*Hidrologi untuk Pengairan, Ir. Suyono Sosrodarsono & Kensaku Takeda, 1993*)

2.4.1.3 Metode Isohyet

Pada metode ini, dengan data curah hujan yang ada dibuat garis-garis yang merupakan daerah yang mempunyai curah hujan yang sama (*isohyet*). Kemudian luas bagian di antara isohyet-isohyet yang berdekatan diukur dan nilai rata-ratanya dihitung sebagai nilai rata-rata timbang dari nilai kontur, kemudian dikalikan dengan masing-masing luasnya. Hasilnya dijumlahkan dan dibagi dengan luas total daerah maka akan didapat curah hujan areal yang dicari.

Syarat-syarat penggunaan Metode Isohyet, yaitu :

- Dapat digunakan di daerah datar maupun pegunungan.
- Stasiun hujan / pos penakar harus banyak dan tersebar merata.
- Bermanfaat untuk hujan yang sangat singkat.
- Perlu ketelitian tinggi dan diperlukan analisis yang berpengalaman.

Rumus :

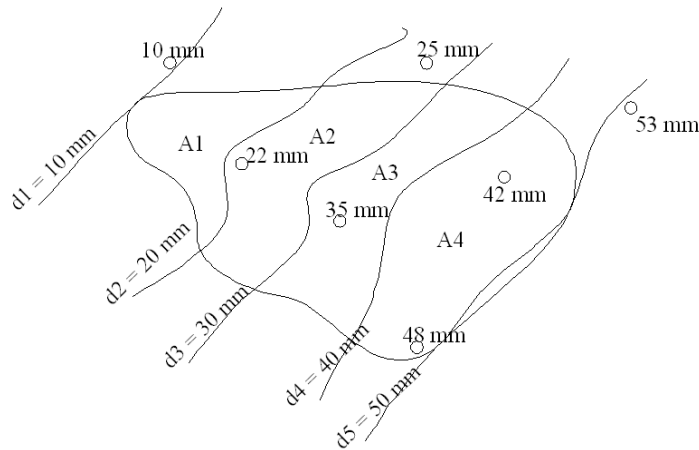
$$\bar{R} = \frac{\frac{R_0 + R_1}{2} A_1 + \frac{R_1 + R_2}{2} A_2 + \dots + \frac{R_{n-1} + R_n}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

$$= \frac{\sum_{i=1}^n \frac{R_{i-1} + R_i}{2} A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{R_{i-1} + R_i}{2} A_i}{A} \dots\dots\dots(2.4.1.3)$$

dimana :

- $A = A_1 + A_2 + \dots + A_n =$ luas areal total (km²)
- \bar{R} = tinggi curah hujan rata-rata areal (mm)
- $R_0, R_1, R_2, \dots, R_n$ = curah hujan pada *isohyet* 0,1,2,...,n (mm)
- A_1, A_2, \dots, A_n = luas bagian areal yang dibatasi oleh *isohyet-isohyet* yang bersangkutan (km²)

(Hidrologi Teknik, C.D. Soemarto, 1995)



Gambar 2.13. Daerah pengaruh pada Metode Isohyet

2.4.1.4 Analisis Data Curah Hujan Yang Hilang

Untuk melengkapi data yang hilang atau rusak diperlukan data dari stasiun lain yang memiliki data yang lengkap dan diusahakan letak stasiunnya paling dekat dengan stasiun yang hilang datanya. Untuk perhitungan data yang hilang

dapat digunakan diantaranya dengan Metode *Ratio Normal*, Metode *Reciprocal* (kebalikan kuadrat jarak) dan dengan Metode Rata-Rata Aljabar

Pada metode *ratio normal*, syarat untuk menggunakan metode ini adalah rata-rata curah hujan tahunan stasiun yang datanya hilang harus diketahui, disamping dibantu dengan data curah hujan rata-rata tahunan dan data pada stasiun pengamatan sekitarnya.

Rumus :

$$P_x = \frac{1}{n} \left(\frac{R_x}{R_A} r_A + \frac{R_x}{R_B} r_B + \dots + \frac{R_x}{R_n} r_n \right) \dots \dots \dots (2.4.1.4)$$

dimana :

- P_x = Data hujan yang hilang (mm)
- R_x = Rata-rata curah hujan tahunan pada stasiun dimana data yang hilang dihitung (mm)
- n = banyaknya stasiun yang datanya tidak hilang pada tahun tersebut
- R_A, R_B, \dots dan R_n = Curah hujan tahunan rata-rata pada stasiun A, stasiun B, ... dan stasiun n (mm)
- r_A, r_B, \dots dan r_n = curah hujan harian pada stasiun A, stasiun B, ... dan stasiun n pada tahun yang hilang (mm)

Pada metode *Reciprocal*, persamaan ini menggunakan data curah hujan referensi dengan mempertimbangkan jarak stasiun yang dilengkapi datanya dengan referensi tersebut atau dengan persamaan sebagai berikut:

$$H_h = \frac{\left(\frac{H_{r1}}{L_1^2} \right) + \left(\frac{H_{r2}}{L_2^2} \right) + \left(\frac{H_{r3}}{L_3^2} \right) + \dots + \left(\frac{H_m}{L_n^2} \right)}{\left(\frac{1}{L_1^2} \right) + \left(\frac{1}{L_2^2} \right) + \left(\frac{1}{L_3^2} \right) + \dots + \left(\frac{1}{L_n^2} \right)} \dots \dots \dots (2.4.1.5)$$

dimana :

- H_h = Hujan di stasiun yang akan dilengkapi (mm)
- $H_1 \dots H_n$ = Hujan di stasiun referensi (mm)
- $L_1 \dots L_n$ = Jarak referensi dengan data stasiun yang dimaksud (km)

Pada metode rata-rata aljabar, persamaan ini digunakan apabila perbedaan curah hujan tahunan normal di stasiun pengamat terdekat <10% dari stasiun yang kehilangan data tersebut.

$$P_x = \frac{1}{n}(P_A + P_B + P_C + \dots + P_n) \dots\dots\dots (2.4.1.6)$$

dimana :

P_x = curah hujan stasiun x (yang hilang)

n = jumlah stasiun hujan yang diamati

P_A, P_B, P_C, P_n = curah hujan tahunan normal pada stasiun hujan (yaitu hujan pada saat yang sama dengan hujan yang hilang)

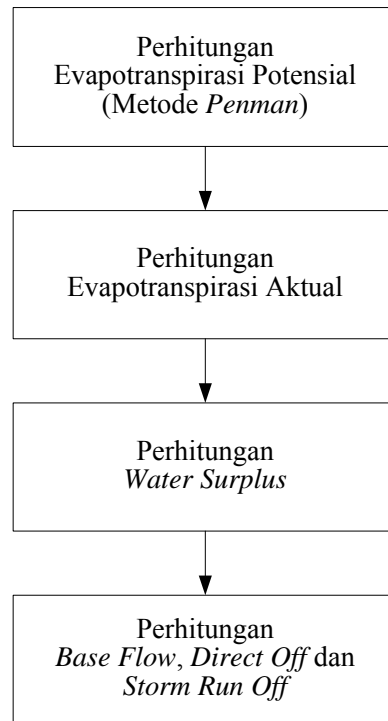
(Sumber : Tugas Akhir Perencanaan Fasilitas PLTA Embung Godo di Kabupaten Pati, Teknik Sipil Undip Semarang, 2006)

2.4.2. Analisis Debit Andalan

Perhitungan debit andalan bertujuan untuk menentukan areal daerah irigasi yang dapat diairi. Perhitungan ini menggunakan cara analisis *water balance* dari Dr.F.J. Mock (Mock, 1973) berdasarkan atas daur hidrologi. Metoda Mock dikembangkan untuk menghitung debit bulanan rata-rata. Data-data yang dibutuhkan dibutuhkan dalam perhitungan debit dengan metoda Mock ini adalah data klimatologi, luas dan penggunaan lahan dari *Catchment Area*.

Pada prinsipnya, metoda Mock memperhitungkan volume air yang masuk, keluar, dan yang disimpan dalam tanah (*soil storage*). Volume air yang masuk adalah hujan. Air yang keluar adalah infiltrasi, perkolasi dan yang dominan adalah akibat evapotranspirasi. Perhitungan evapotranspirasi menggunakan metode *Pennmann*. Sementara *soil storage* adalah volume air yang disimpan dalam pori-pori tanah, sehingga kondisi tanah menjadi jenuh. Secara keseluruhan, perhitungan debit dengan metoda Mock ini mengacu pada *water balance*, dimana volume air total yang ada di bumi adalah tetap, hanya sirkulasi dan distribusinya yang bervariasi.

Proses perhitungan yang dilakukan dalam metode Mock dijelaskan dalam gambar berikut ini :



Gambar 2.14. Bagan alir perhitungan debit dalam metoda *Mock*

2.4.2.1 Perhitungan Evapotranspirasi Potensial

Evapotranspirasi potensial adalah evapotranspirasi yang mungkin terjadi pada kondisi air yang tersedia berlebihan. Faktor penting yang mempengaruhi evapotranspirasi potensial adalah tersedianya air yang cukup banyak. Jika jumlah air selalu tersedia secara berlebihan dari yang diperlukan oleh tanaman selama proses transpirasi, maka jumlah air yang ditranpirasikan akan relatif lebih besar dibandingkan apabila tersedianya air di bawah keperluan.

Metode *Mock* menggunakan rumus empiris dari *Penman* untuk menghitung evapotranspirasi potensial. Rumus empiris *Penman* memperhitungkan banyak data klimatologi yaitu temperatur, radiasi matahari, kelembaban, dan kecepatan angin sehingga hasilnya relatif lebih akurat. Perhitungan evaporasi potensial *Penman* didasarkan pada keadaan bahwa keadaan bahwa agar terjadi evaporasi diperlukan panas.

Menurut *Penman*, besarnya evapotranspirasi potensial diformulasikan sebagai berikut :

$$E = \frac{AH + 0,27D}{A + 0,27} \dots\dots\dots (2.4.2.1)$$

dengan :

H = energi budget,

$$H = R (1-r) (0,18 + 0,55 S) - B (0,56 - 0,092 \sqrt{e_a}) (0,10 + 0,9 S),$$

D = panas yang diperlukan untuk evapotranspirasi, dan

$$D = 0,35 (e_a - e_d) (k + 0,01w)$$

dimana :

A = *slope vapour pressure curve* pada temperatur rata-rata, dalam mmHg/⁰F

B = radiasi benda hitam pada temperatur rata-rata, dalam mm H₂O/hari

e_a = tekanan uap air jenuh (*saturated vapour pressure*) pada temperatur rata-rata, dalam mmHg

Besarnya A,B, e_a tergantung pada temperatur rata-rata. Hubungan temperatur rata-rata dengan parameter evapotranspirasi ini ditabelkan pada **Tabel 2.3** berikut ini.

Tabel 2.3. Hubungan Temperatur Rata-Rata dengan parameter Evapotranspirasi A,B, e_a

Temperatur (⁰ C)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30
A (mmHg/ ⁰ F)	0.304	0.342	0.385	0.432	0.484	0.541	0.603	0.671	0.746	0.828	0.917	1.013
B (mm H ₂ O/hari)	12.60	12.90	13.30	13.70	14.80	14.50	14.90	15.40	15.80	16.20	16.70	17.10
e_a (mmHg)	8.05	9.21	10.50	12.00	13.60	15.50	17.50	19.80	22.40	25.20	28.30	31.80

(Sumber : Mock, 1973)

R = radiasi matahari, dalam mm/hari. Besarnya tergantung letak lintang dan nilainya berubah-ubah menurut bulan, seperti **Tabel 2.4** berikut ini

Tabel. 2.4. Nilai Radiasi Matahari pada permukaan Horizontal di luar Atmosfir, dalam mm/hari

Bulan	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Tahun
5 ⁰ LU	13.7	14.5	15.0	15.0	14.5	14.1	14.2	14.6	14.9	14.6	13.9	13.4	14.39
0 ⁰ LU	14.5	15.0	15.2	14.7	13.9	13.4	13.5	14.2	14.9	15.0	14.6	14.3	14.45
5 ⁰ LS	15.2	15.4	15.2	14.3	13.2	12.5	12.7	13.6	14.7	15.2	15.2	15.1	14.33
10 ⁰ LS	15.8	15.7	15.1	13.8	12.4	11.6	11.9	13.0	14.4	15.3	15.7	15.8	14.21

Hendri Setiawan L2A001076

Jahiel R. Sidabutar L2A001084

r = koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara radiasi elektromagnetik (dalam sembarang rentang nilai panjang gelombang yang ditentukan) yang dipantulkan oleh suatu benda dengan jumlah radiasi yang terjadi, dan dinyatakan dalam persentasi.

$$r = \frac{\text{Radiasi elektromagnetik yang dipantulkan}}{\text{Jumlah radiasi yang terjadi}} \times 100\%$$

S = rata-rata persentasi penyinaran matahari bulanan, dalam persen (%)

e_d = tekanan uap air sebenarnya (*actual vapour pressure*), dalam mmHg.

$$= e_a \times h$$

h = kelembaban relatif rata-rata bulanan, dalam persen (%)

k = koefisien kekasaran permukaan evaporasi (*evaporating surface*). untuk permukaan air nilai $k = 0,50$ dan untuk permukaan vegetasi nilai $k = 1,0$

w = kecepatan angin rata-rata bulanan, dalam km/jam

Setelah disubstitusi ke dalam persamaan-persamaan diatas, maka menghasilkan rumus empiris sedbagai berikut :

$$E = F_1 \times R(1-r) - F_2 \times (0,1 + 0,9S) + F_3 \times (k + 0,01w)$$

Dan jika :

$$E_1 = F_1 \times R(1-r)$$

$$E_2 = F_2 \times (0,1 + 0,9S)$$

$$E_3 = F_3 \times (k + 0,01w)$$

Maka bentuk yang sederhana dari persamaan evapotranspirasi potensial menurut Penman adalah :

$$E = E_1 - E_2 + E_3 \quad \dots\dots\dots (2.4.2.2)$$

Formulasi inilah yang dipakai dalam metoda *Mock* untuk menghitung besarnya evapotranspirasi potensial dari data-data klimatologi yang lengkap (temperatur, lama penyinaran matahari, kelembaban relatif dan kecepatan angin). Besarnya evapotranspirasi potensial ini dinyatakan dalam mm/hari. Untuk menghitung besarnya evapotranspirasi potensial dalam 1 bulan maka dikalikan dengan jumlah hari dalam bulan itu.

2.4.2.2 Perhitungan Evapotranspirasi Aktual

Jika dalam evapotranspirasi potensial air yang tersedia dari yang diperlukan oleh tanaman selama proses transpirasi berlebihan, maka dalam evapotranspirasi aktual ini jumlah air tidak berlebihan atau terbatas. Evapotranspirasi aktual dipengaruhi oleh proporsi permukaan luar yang tertutupi tumbuhan hijau (*exposed surface*) pada musim kemarau. Besarnya *exposed surface* (m) untuk tiap daerah berbeda. *F.J. Mock* mengklasifikasikan menjadi tiga daerah dengan masing-masing nilai *exposed surface* seperti pada **Tabel 2.5** berikut.

Tabel 2.5. Exposed Surface, m

No.	m	Daerah
1.	0 %	Hutan Primer, sekunder
2.	10 – 40 %	Daerah tererosi
3.	30 – 50 %	Daerah lading pertanian

Selain *exposed surface* evapotranspirasi aktual juga dipengaruhi oleh jumlah hari hujan (n) dalam bulan yang bersangkutan.

Menurut *Mock*, rasio antara selisih evapotranspirasi potensial dan evapotranspirasi aktual dipengaruhi oleh *exposed surface* (m) dan jumlah hari hujan, seperti ditunjukkan dalam formulasi berikut :

$$\frac{\Delta E}{E_p} = \left(\frac{m}{20} \right) (18 - n)$$

$$\Delta E = E_p \left(\frac{m}{20} \right) (18 - n) \quad \dots\dots\dots (2.4.2.3)$$

Dari formulasi di atas dapat dianalisis bahwa evapotranspirasi potensial akan sama dengan evapotranspirasi aktual (atau $\Delta E = 0$) jika:

- Evapotranspirasi terjadi pada hutan primer atau hutan sekunder. Dimana daerah ini memiliki harga *exposed surface* (m) sama dengan 0
- Banyaknya hari hujan dalam bulan yang diamati pada daerah itu sama dengan 18 hari

Jadi evapotranspirasi aktual adalah evapotranspirasi potensial yang memperhitungkan faktor *exposed surface* dan jumlah hari dalam bulan yang

bersangkutan. Sehingga evapotranspirasi aktual adalah evapotranspirasi yang sebenarnya terjadi atau actual evapotranspiration, dihitung sebagai berikut :

$$E_{actual} = E_p - \Delta E \quad \dots\dots\dots (2.4.2.4)$$

2.4.2.3 Perhitungan *Water Surplus*

Water surplus didefinisikan sebagai air hujan (presipitasi) yang telah mengalami evapotranspirasi dan mengisi tampungan tanah (*soil storage*, disingkat SS). *Water surplus* ini berpengaruh langsung pada infiltrasi atau perlokasi dan *total run off* yang merupakan komponen debit. Persamaan *water surplus* (SS) adalah sebagai berikut:

$$WS = (P - E_a) + SS \quad \dots\dots\dots (2.4.2.5)$$

Tampungan kelembaban tanah (*soil moisture storage*, disingkat SMS) terdiri dari kapasitas kelembaban tanah (*soil moisture capacity*, disingkat SMC), zona infiltrasi, limpasan permukaan tanah dan tampungan tanah (*soil storage*, disingkat SS). Besarnya *soil storage capacity* (SMC) tiap daerah tergantung dari tipe tanaman penutup lahan (*land cover*) dan tipe tanahnya.

Dalam metoda *Mock*, tampungan kelembaban tanah dihitung sebagai berikut :

$$SMS = ISMS + (P - E_a) \quad \dots\dots\dots (2.4.2.6)$$

dimana :

ISMS = *initial soil moisture storage* (tampungan kelembaban tanah awal), merupakan *soil moisture capacity* (SMC) bulan sebelumnya

P - E_a = presipitasi yang telah mengalami evapotranspirasi

Asumsi yang dipakai oleh *F.J.Mock* adalah air akan memenuhi SMC terlebih dahulu sebelum *water surplus* tersedia untuk infiltrasi dan perlokasi yang lebih dalam atau melimpas langsung (*direct run off*). Ada dua keadaan untuk menentukan SMC, yaitu:

1. SMC = 200 mm/bulan, jika P - E_a ≥ 0

Artinya *soil moisture storage* (tampungan tanah lembab) sudah mencapai kapasitas maksimumnya atau terlampaui sehingga air tidak disimpan dalam tanah lembab. Ini berarti *soil storage* (SS) sama dengan nol dan besarnya *water surplus* sama dengan P - E_a

2. $SMC = SMC \text{ bulan sebelumnya} + (P - E_a)$, jika $P - E_a < 0$

Untuk keadaan ini, tampungan tanah lembab (*soil moisture storage*) belum mencapai kapasitas maksimum, sehingga ada air yang disimpan dalam tanah lembab. Besarnya air yang disimpan ini adalah $P - E_a$. Karena air berusaha untuk mengisi kapasitas maksimumnya, maka untuk keadaan ini tidak ada *water surplus*.

Selanjutnya WS ini akan mengalami infiltrasi dan melimpas di permukaan (*run off*). Besarnya infiltrasi tergantung pada koefisien infiltrasi.

2.4.2.4 Perhitungan Base Flow, Direct Off dan Storm Run Off

Air hujan yang mengalami evapotranspirasi dan disimpan dalam tanah lembab selanjutnya akan melimpas di permukaan (*surface run off*) dan mengalami perkolasi. Berikutnya menurut *Mock*, besarnya infiltrasi adalah *water surplus* (WS) dikalikan dengan koefisien infiltrasi (*if*), atau

$$\text{Infiltrasi (i)} = \text{WS} \times \text{if} \quad \dots\dots\dots (2.4.2.7)$$

Koefisien infiltrasi ditentukan oleh kondisi porositas dan kemiringan daerah pengaliran. Lahan yang bersifat poros umumnya memiliki koefisien yang cenderung besar. Namun jika kemiringan tanahnya terjal, dimana air tidak sempat mengalami infiltrasi dan perkolasi ke dalam tanah, maka koefisien infiltrasinya bernilai kecil.

Infiltrasi terus terjadi sampai mencapai zona tampungan air tanah (*groundwater storage*, disingkat GS)

- a. Infiltrasi (**i**), makin besar infiltrasi maka *groundwater storage* makin besar pula, begitu pula sebaliknya
- d. Konstanta resesi aliran bulanan.

Konstanta resesi aliran bulanan (*monthly flow recession constant*) disimbolkan dengan **K** adalah proporsi dari air tanah bulan lalu yang masih ada bulan sekarang. Nilai K ini cenderung lebih besar pada bulan basah.

- e. *Groundwater storage* bulan sebelumnya (**GSom**)

Nilai ini diasumsikan sebagai konstanta awal, dengan anggapan bahwa *water balance* merupakan siklus tertutup yang ditinjau selama rentang waktu menerus tahunan tertentu. Dengan demikian maka nilai asumsi awal bulan

pertama tahun pertama harus dibuat sama dengan nilai bulan terakhir tahun terakhir.

Dari ketiga faktor diatas, Mock merumuskan sebagai berikut :

$$GS = \{0,5x(1 + K)xi\} + \{KxGSom\} \dots\dots\dots (2.4.2.8)$$

Seperti telah dijelaskan, metoda Mock adalah metoda untuk memprediksi debit yang didasarkan pada *water balance*. Oleh sebab itu, batasan-batasan *water balance* ini harus dipenuhi. Salah satunya adalah bahwa perubahan *groundwater storage* (ΔGS) selama rentang waktu tahunan tertentu adalah nol, atau (misalnya untuk 1 tahun) :

$$\sum_{i = \text{bulan ke-1}}^{\text{bulan ke-12}} \Delta = 0$$

Perubahan *groundwater storage* (ΔGS) adalah selisih antara *groundwater storage* bulan yang ditinjau dengan *groundwater storage* bulan sebelumnya. Perubahan *groundwater storage* ini penting bagi terbentuknya aliran dasar sungai (*base flow*, disingkat BF). Dalam hal ini merupakan selisih antara Infiltrasi dengan perubahan *groundwater storage*, dalam bentuk persamaan :

$$BF = i - \Delta GS \dots\dots\dots (2.4.2.9)$$

Jika pada suatu bulan ΔGS bernilai negatif (terjadi karena GS bulan yang ditinjau lebih kecil dari bulan sebelumnya), maka *base flow* akan lebih besar dari nilai infiltrasinya. Karena *water balance* merupakan siklus tertutup dengan perioda tahunan tertentu (misalnya 1 tahun) maka perubahan *groundwater storage* (ΔGS) selama 1 tahun adalah nol. Dari persamaan di atas maka dalam 1 tahun jumlah *base flow* akan sama dengan jumlah infiltrasi.

Selain *base flow*, komponen debit yang lain adalah *direct run off* (limpasan langsung) atau *surface run off* (limpasan permukaan). Limpasan permukaan berasal dari *water surplus* yang telah mengalami infiltrasi. Jadi *direct run off* dihitung dengan persamaan :

$$DRO = WS - i \dots\dots\dots (2.4.2.10)$$

Setelah *base flow* dan *direct run off*, komponen pembentuk debit yang lain adalah *storm run off*, yaitu limpasan langsung ke sungai yang terjadi selama hujan deras. *Storm run off* ini hanya beberapa persen saja dari hujan. *Storm run off* hanya dimasukkan ke dalam *total run off*, bila presipitasi kurang dari nilai

maksimum *soil moisture capacity*. Menurut Mock, *storm run off* dipengaruhi oleh *percentage factor*, disimbolkan dengan PF. *Percentage factor* adalah persen hujan yang menjadi limpasan. Besarnya PF oleh Mock disarankan 5 % - 10 %, namun tidak menutup kemungkinan untuk meningkat secara tidak beraturan hingga mencapai 37,3 %.

Dalam perhitungan debit ini, Mock menetapkan bahwa:

- a. Jika presipitasi (P) > *maksimum soil moisture capacity* maka nilai *storm run off* = 0
- b. Jika P < *maksimum soil moisture capacity* maka *storm run off* adalah jumlah curah hujan dalam satu bulan yang bersangkutan dikali *percentage factor*, atau:

$$\text{SRO} = \text{P} \times \text{PF} \quad \dots\dots\dots (2.4.2.11)$$

Dengan demikian maka *total run off* (TRO) yang merupakan komponen-komponen pembentuk debit sungai (*stream flow*) adalah jumlah antara *base flow*, *direct run off* dan *storm run off*, atau :

$$\text{TRO} = \text{BF} + \text{DRO} + \text{SRO} \quad \dots\dots\dots (2.4.2.12)$$

Total run off ini dinyatakan dalam mm/bulan. Maka jika TRO ini dikalikan dengan *catchment area* (luas daerah tangkapan air) dalam km^2 dengan suatu angka konversi tertentu akan didapatkan besaran debit dalam m^3 / det .

(Sumber : Modul perhitungan Debit Andalan Sungai, Teknik Kelautan ITB Bandung, 1996)

2.4.3. Analisis Keseimbangan Air

Dari hasil perhitungan keseimbangan air, kebutuhan air yang dibutuhkan untuk mengairi tambak yang dipakai akan dibandingkan dengan debit dari saluran karena pasang surut dan debit sungai.. Apabila debit saluran sekunder melimpah, maka luas daerah irigasi adalah tetap karena luas maksimum daerah layanan dan proyek yang akan direncanakan sesuai dengan perencanaan yang dipakai. Jika debit saluran sekunder kurang maka terjadi kekurangan debit, maka ada tiga pilihan yang perlu dipertimbangkan sebagai berikut :

- Luas daerah irigasi dikurangi
- Melakukan modifikasi pola tanam
- Rotasi teknis/golongan.

2.5. Analisis Hidrolika

Hidrolika adalah ilmu yang mempelajari tentang sifat-sifat zat cair. Analisis hidrolika dimaksud untuk mengetahui kapasitas alur sungai dan saluran pada kondisi sekarang, yang selanjutnya digunakan untuk mendesain alur sungai dan saluran.

Adapun langkah-langkah dalam analisis hidrolika adalah sebagai berikut :

- Perencanaan Saluran
- Perencanaan Kapasitas Saluran dengan program HEC-RAS
- Perencanaan Pintu Air

2.5.1. Aliran Pada Saluran

Saluran terbuka (*open channel*) adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas yang terbuka terhadap tekanan atmosfer (*Triatmojo, B, 1993*). Masalah aliran saluran terbuka banyak dijumpai dalam aliran sungai, aliran saluran-saluran irigasi, aliran saluran pembuangan dan saluran-saluran lain yang bentuk dan kondisi geometrinya bermacam-macam.

2.5.1.1 Klasifikasi Aliran

Aliran saluran terbuka dapat diklasifikasikan ke dalam jenis-jenis yang berbeda berdasarkan kriteria yang berbeda sebagai berikut :

1. Aliran Laminer dan Turbulen

Gaya-gaya yang disebabkan inersia, gravitasi dari kekentalan memerlukan pertimbangan dalam masalah praktek mengenai aliran saluran terbuka ini. Perbandingan dari gaya inersia terhadap gaya kental (*viscous forces*) per satuan waktu dikenal sebagai bilangan *Reynolds (Re)*.

$$Re = \frac{UL}{\mu} \dots\dots\dots (2.5.1.1)$$

dimana :

U = kecepatan karakteristik (m/s)

L = panjang karakteristik (m)

μ = kekentalan kinematis cairan (m²/s)

Aliran Laminer yaitu aliran yang memiliki harga Re yang rendah mengikuti garis edar tertentu yang dapat diamati dan ditandai dengan meluncurnya satu

lapisan di atas lapisan yang lain. Percobaan-percobaan pada saluran terbuka menunjukkan bahwa aliran Laminer apabila nilai $Re \leq 500$.

Pada aliran Turbulen hampir tidak terdapat garis edar tertentu yang dapat dilihat, karena gaya kental yang terlalu kecil untuk meredam gangguan pada bilangan *Reynolds* yang tinggi. Aliran Turbulen memiliki harga Re yang lebih tinggi yaitu $Re \geq 2000$.

Aliran yang memiliki harga bilangan *Reynolds* $500 \leq Re \leq 2000$ merupakan aliran dalam kondisi peralihan.

2. Aliran Subkritis dan Superkritis

Perbandingan gaya-gaya inersia dengan gaya-gaya gravitasi per satuan volume dikenal sebagai bilangan *Froude* (F).

$$F = \frac{U}{\sqrt{gD}} \dots\dots\dots (2.5.1.2)$$

dimana :

$$g = \text{percepatan gravitasi} \quad (\text{m/s}^2)$$

$$D = \text{Kedalaman hidraulis} \quad (\text{m})$$

Aliran dikatakan kritis apabila bilangan *Froudenya* sama dengan satu ($F = 1,0$), aliran dikatakan Subkritis apabila $F < 1,0$ dan Superkritis apabila $F > 1,0$.

Aliran pada sebagian besar saluran dan sungai adalah subkritis. Aliran superkritis kebanyakan terjadi dengan cepat di bawah pelimpah (*spillway*), pada kaki saluran terjun dan tepat di hilir pintu pengambilan.

3. Aliran Permanen dan Tidak Permanen

Aliran pada saluran terbuka dapat diklasifikasikan ke dalam jenis-jenis yang berbeda, tergantung pada perbedaan kedalaman dan kecepatan rata-rata dengan ruang dan waktu. Aliran disebut permanen (*steady*) apabila kedalaman, debit Q , dan kecepatan rata-rata pada setiap penampang tidak berubah menurut waktu; apabila kuantitas ini berubah menurut waktu, aliran itu adalah tidak permanen (*unsteady*). Menurut matematik, untuk aliran tetap :

$$\frac{\partial h}{\partial t} = 0 \qquad \frac{\partial U}{\partial t} = 0 \qquad \frac{\partial Q}{\partial t} = 0$$

Sedangkan aliran pada saluran irigasi adalah tetap untuk periode yang panjang, aliran dalam sungai selama banjir dengan perbedaan debit yang besar menurut waktu adalah suatu contoh dari aliran tidak tetap

4. Aliran Seragam dan Tidak Seragam

Aliran seragam (*uniform flow*) adalah sesuatu dimana kedalaman, debit dan kecepatan rata-rata sepanjang saluran tidak berubah pada setiap waktu yang dinyatakan; kuantitas ini berubah sepanjang saluran dalam hal aliran tidak seragam (*non uniform flow*).

Apabila x adalah jarak, panjang saluran adalah :

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 0 \qquad \frac{\partial U}{\partial x} = 0 \qquad \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

Untuk aliran seragam. Aliran tak seragam kadang-kadang juga disebut sebagai aliran berubah (*varied flow*). Aliran tak seragam lebih lanjut dibagi lagi menjadi aliran berubah berangsur (*gradually varied flow*) dan aliran aliran berubah dengan cepat (*rapidly varied flow*) tergantung pada apakah perbedaan aliran ini berangsur atau cepat. Kedua aliran seragam dan tak seragam tersebut tetap dan tidak tetap, dan sesuai dengan hal itu, terdapat empat jenis aliran yang berbeda.

5. Aliran Satu dimensi, Dua dimensi, Tiga dimensi

Pada umumnya kecepatan fluida adalah fungsi dari koordinatnya dalam ruang, yaitu x, y , dan z terlepas dari t . jelasnya hal itu terpisah dari t apabila aliran adalah tetap. Suatu aliran dimana kecepatan tergantung pada letak menurut aliran air dan juga jarak titik itu dari dasar dan sisi adalah suatu aliran tiga dimensi (*three-dimensional flow*). Apabila saluran itu sangat lebar dalam hubungannya dengan kedalaman, kecepatan pada setiap ketinggian dalam penampang secara praktis adalah konstan atau kecepatan akan terpisah dari jarak sisi dinding, terkecuali jaraknya dekat dengan dinding dimana pengaruh kekentalan adalah penting maka aliran ini dinamakan aliran dua dimensi (*two-dimensional flow*). Suatu analisis mengenai garis besar ciri-ciri aliran itu dipermudah dengan mengabaikan perbedaan kecepatan dalam penampang dan mengerjakannya dengan kecepatan penampang rata-rata dimana variasi kecepatan rata-rata yang

dipertimbangkan secara efektif dinamakan aliran satu dimensi (*one-dimensional flow*)

(Sumber : *Hidraulika Saluran Terbuka, Erlangga Jakarta, 1992*)

2.5.1.2 Fenomena Aliran

Hasil pengamatan ketinggian muka air pada suatu titik di muara sungai dalam periode tertentu akan memperoleh suatu grafik dimana kurva ketinggian muka air selalu berubah terhadap waktu. Hal ini disebabkan oleh adanya gerakan pasang surut air laut. Pada saat pasang, air laut mengalir kearah hulu sampai pada jarak tertentu, sebaliknya pada saat surut aliran menuju kearah hilir. Pada jarak yang cukup jauh, pengaruh aliran debit sungai cukup besar, sehingga aliran selalu menuju kearah hilir. Fluktuasi elevasi muka air semakin kecil kearah hulu sungai, hal ini disebabkan adanya gesekan dengan dasar maupun dinding sungai serta pengaruh debit sungai menuju ke laut.

Dengan adanya pengaruh gerakan pasang surut, kondisi aliran yang terjadi di saluran yang akan direncanakan merupakan suatu keadaan dimana variabel aliran (ketinggian muka air, kecepatan dan debit) selalu berubah terhadap waktu sepanjang jarak yang ditinjau. Kondisi demikian ini merupakan suatu fenomena aliran tidak permanen dimana dalam menghitung besarnya variabel aliran dibutuhkan suatu persamaan dengan tinjauan setiap langkah waktu dan pada jarak tertentu, maka tipe aliran sejenis itu lebih dikenal dengan nama aliran tidak permanen (*Unsteady flow*).

(Sumber : *Tugas Akhir Perancangan Jaringan Saluran Irigasi Pasang Surut, Teknik Sipil UGM Yogyakarta, 1996*)

2.5.2. Perencanaan Saluran

2.5.2.1 Alinyemen Saluran

Pada ruas saluran yang belok-belokannya sangat tajam atau *meander*-nya sangat kritis, maka tanggul yang akan dibangun biasanya akan menjadi lebih panjang. Selain itu pada ruas saluran yang demikian, gerusan pada belokan luar sangat meningkat dan terjadi kerusakan tebing yang akhirnya mengancam kaki tanggul. Sebaliknya pada belokan dalamnya terjadi pengendapan yang intensif

pula. Jadi alur saluran menjadi lebih panjang dan dapat mengganggu kelancaran aliran banjir. (Sosrodarsono dan Tominaga, 1985).

2.5.2.2 Bentuk Penampang Melintang Saluran

Ada beberapa bentuk penampang melintang saluran yang umum dilaksanakan, yaitu penampang berganda, penampang tunggal trapesium, dan penampang tunggal persegi. Potongan melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewatkan debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran dan kemiringan dasar tertentu. Faktor yang terpenting dalam menentukan pilihan bentuk penampang saluran adalah pertimbangan ekonomi (Suripin, 2004).

(Sumber : Tugas Akhir Penanganan Drainase Semarang Wilayah Timur, Teknik Sipil Undip Semarang, 2007)

2.5.2.3 Merencanakan Saluran Terbuka

Untuk merencanakan saluran terbuka harus mempertimbangkan faktor-faktor sebagai berikut:

1. Koefisien kekasaran saluran

Zat cair yang melalui saluran terbuka akan menimbulkan tegangan (tahanan) geser pada dinding saluran akibat kekasaran dinding saluran. Tahanan ini akan diimbangi oleh komponen gaya berat yang bekerja pada zat cair dalam aliran. Pada aliran seragam, komponen gaya berat dalam arah aliran adalah seimbang dengan tahanan geser yang bergantung pada kecepatan aliran.

Pada tahun 1769, berdasarkan anggapan di atas, seorang insinyur Prancis, *Antoine Chezy* berhasil membuat formula yang menggambarkan hubungan antara kecepatan, tampang basah aliran, kemiringan energi dan faktor tahanan aliran yang dirumuskan sebagai berikut :

$$V = C\sqrt{RI} \dots\dots\dots (2.5.2.1)$$

dimana :

V = Kecepatan aliran air

C = Koefisien *Chezy* yang tergantung pada dinding saluran

R = Jari-jari hidrolis yang besarnya sama dengan (A/P)

A = luas basah tampang saluran

P = keliling tampang basah saluran

I = Kemiringan energi

Banyak ahli telah mengusulkan beberapa bentuk koefisien *Chezy* dari rumus umum $V = C\sqrt{RI}$. koefisien tersebut tergantung pada bentuk dinding saluran dan kecepatan saluran dan kecepatan aliran. Salah satu ahli yang mengusulkan besarnya koefisien *Chezy* tersebut adalah seorang ahli dari Islandia bernama *Robert Manning* dengan rumus berikut ini (*Triatmojo, B, 1993*) :

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \dots\dots\dots (2.5.2.2)$$

Dengan koefisien tersebut maka rumus kecepatan aliran menjadi :

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \dots\dots\dots (2.5.2.3)$$

Koefisien *Manning* merupakan fungsi dari bahan dinding saluran yang dilihat pada **Tabel 2.6.** berikut :

Tabel 2.6. Koefisien *Manning* untuk berbagai bahan dinding saluran

Bahan	Koefisien Manning
Besi tuang lapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapis mortar	0,015
Pasangan batu yang disemen	0,025
Saluran tanah yang bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

(*Triatmojo, 1993*)

2. Kemiringan dinding saluran

Bahan tanah, kedalaman saluran dan terjadinya rembesan akan menentukan kemiringan maksimum untuk dinding saluran yang stabil. Kemiringan talud untuk

berbagai jenis bahan disajikan pada **Tabel 2.7** dan kemiringan dinding minimum untuk saluran yang dipadatkan diberikan pada **Tabel 2.8**.

Tabel 2.7. Kemiringan dinding saluran untuk berbagai bahan

Bahan	Kemiringan
Batu	Hampir tegak lurus
Tanah gambut, rawa	$\frac{1}{4} : 1$
Tanah berlapis beton	$\frac{1}{2} : 1$ sampai $1 : 1$
Tanah berlapis batu	$1 : 1$
Lempung kaku	$1 \frac{1}{2} : 1$
Tanah berlapis lepas	$2 : 1$
Lempung berpasir	$3 : 1$

(Triatmojo, 1993)

Tabel 2.8. Kemiringan talud minimum untuk saluran tanah dipadatkan

Tinggi Jagaan (m)	Kemiringan minimum
≤ 1.0	$1 : 1$
$1.0 - 2.0$	$1 : 1.5$
≥ 2.0	$1 : 2$

(Sumber : kriteria perencanaan saluran, departemen pekerjaan umum, 1983)

3. Tinggi jagaan

Tinggi jagaan suatu saluran adalah jarak dari puncak saluran ke permukaan air pada kondisi rencana. Jarak ini harus cukup untuk mencegah kenaikan muka air ke tepi saluran. Tinggi jagaan minimum pada saluran primer dan sekunder dikaitkan dengan debit rencana saluran diperlihatkan pada **Tabel 2.9**. berikut :

Tabel 2.9. Tinggi jagaan minimum untuk saluran tanah

Debit aliran (m ³ / detik)	Tinggi jagaan (m)
< 0.5	0,40
0.5 – 1.5	0,50
1.5 – 5	0,60
5.0 – 10.0	0,75
10.0 – 15.0	0,85
> 15.0	1,00

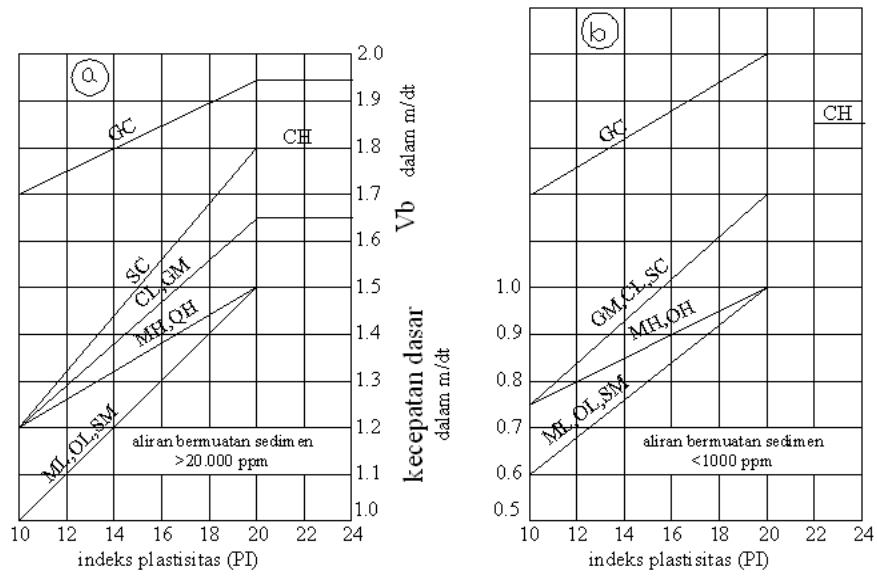
(Sumber : kriteria perencanaan saluran, departemen pekerjaan umum, 1983)

4. Kecepatan maksimum

Kecepatan maksimum yang diijinkan atau kecepatan tahan erosi, yaitu kecepatan rata-rata terbesar yang tidak menimbulkan erosi. Untuk menentukan kecepatan maksimum yang diijinkan ditempuh langkah sebagai berikut :

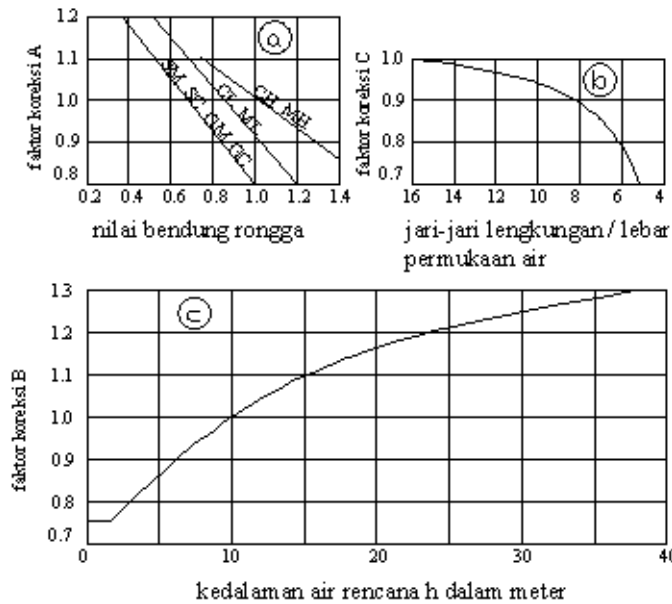
- a. Menentukan kecepatan dasar (V_b)

Untuk saluran lurus dengan muka air setinggi 1 m dan harga indeks plastisitas (IP) lebih rendah dari 10, nilai V_b adalah 1,6 m/detik. **Gambar 2.15.** menunjukkan kecepatan dasar untuk tanah koheren.



Gambar 2.15. Grafik kecepatan dasar untuk tanah koheren

- b. Penentuan faktor pada Vb untuk lengkung saluran, berbagai ketinggian air dan angka pori seperti tampak pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16. Faktor-faktor koreksi terhadap kecepatan dasar

Kecepatan dasar dipengaruhi oleh konsentrasi bahan layang di dalam air. Pada grafik tersebut, dibedakan menjadi 2 keadaan yaitu :

1. Air bebas sedimen dengan konsentrasi kurang dari 1000 ppm sedimen layang. Konsentrasi bahan-bahan yang melayang dianggap sangat rendah sehingga tidak terpengaruh terhadap stabilitas saluran.
2. Air bersedimen dengan konsentrasi lebih dari 20.000 ppm sedimen layang. Konsentrasi yang tinggi ini akan menambah kemantapan batas akibat tergantungnya bahan yang terkikis.

Pada umumnya air untuk irigasi maupun drainase dikelompokkan dalam kategori aliran bebas sedimen. Besarnya kecepatan maksimum dirumuskan sebagai berikut :

$$V_{maks} = V_b \times A \times B \times C \dots\dots\dots (2.5.2.4)$$

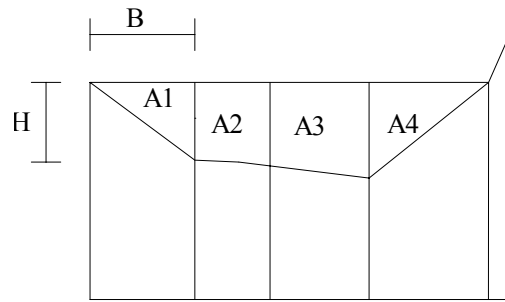
dimana :

- V_{maks} : kecepatan maksimum yang diijinkan (m/det)
 V_b : kecepatan dasar (m/det)
 A : faktor koreksi untuk angka pori permukaan saluran
 B : faktor koreksi lengkung
 C : faktor koreksi untuk kedalaman air

(Sumber : Tugas Akhir Tinjauan Hidraulika Tata Saluran Irigasi Tambak Studi Kasus di Kab. Purworejo, Teknik Sipil UGM Yogyakarta, 2004)

2.5.2.4 Menghitung Debit Pada Saluran Terbuka

Untuk menghitung debit yang mengalir pada saluran terbuka, digunakan metode *passing capacity* yang didapatkan dari perhitungan debit suatu penampang pada saat kondisi *bank full* (kondisi muka air penuh) dan dihitung dari penampang sungai yang lurus. Pada kondisi tanah asli tiap penampang dibagi menjadi beberapa bagian sehingga didapat luas penampang basah rata-rata dan keliling basah rata-rata.



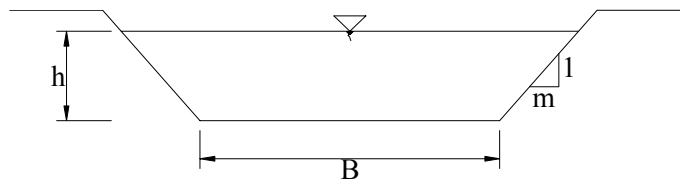
Gambar 2.17. Penampang melintang sungai dibagi menjadi beberapa bagian

$$A_1 = 0,5 \times (B \times H) \dots\dots\dots (2.5.2.5)$$

$$P_1 = \sqrt{(B^2 + H^2)} \dots\dots\dots (2.5.2.6)$$

$$A_{\text{total}} = A_1 + A_2 + \dots + A_n$$

$$P_{\text{total}} = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$



Gambar 2.18. Penampang Melintang Sungai

Sedangkan untuk penampang trapesium rumus-rumus yang digunakan adalah :

$$A = (B + mh)h \dots\dots\dots (2.5.2.7)$$

$$P = B + 2h \dots\dots\dots (2.5.2.8)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (2.5.2.9)$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \dots\dots\dots (2.5.2.10)$$

Berdasarkan rumus di atas, maka debit yang mengalir melalui suatu penampang dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Q = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot I^{1/2} \cdot A \dots\dots\dots (2.5.2.11)$$

di mana :

- Q = Debit banjir yang mengalir (m³/det)
- A = Luas Penampang Basah (m²)
- B = Lebar dasar saluran (m)
- h = Tinggi muka air (m)
- P = Keliling Basah (m)
- m = Kemiringan dinding saluran dengan perbandingan terkecil
- n = Koefisien *mannig*
- R = Jari-jari hidrolis (m)
- V = Kecepatan aliran (m/det)
- I = Kemiringan Lereng (V:H)

(Sumber : Aliran Melalui Saluran Terbuka, Erlangga, 1986)

2.5.3. Aliran Tak Langgeng di Saluran

Aliran tak langgeng adalah aliran dengan kondisi berubah-ubah terhadap waktu dan ruang ($\partial U / \partial t \neq 0, \partial U / \partial x \neq 0, \partial U / \partial y \neq 0, \partial U / \partial z \neq 0$). Aliran ini dapat diklasifikasikan menjadi aliran tiga dimensi, dua dimensi dan satu dimensi.

Aliran tak langgeng tiga dimensi dapat dilihat keberadaannya pada kondisi aliran di lautan. Aliran tiga dimensi diekspresikan dalam bentuk persamaan kontinuitas, yang merupakan persamaan keseimbangan momentum dari *Euler* untuk fluida tidak berviskositas, persamaan keseimbangan momentum dari *Navier-Stokes*, untuk fluida berviskositas, dan persamaan keseimbangan momentum dari *Reynold* untuk aliran turbulen. Persamaan di atas dapat dikembangkan untuk menurunkan persamaan gelombang.

Aliran tak langgeng dua dimensi dapat diketemukan pada aliran di muara sungai. Aliran ini diekspresikan dalam bentuk persamaan kontinuitas dan persamaan momentum. Persamaan ini dapat diselesaikan secara numerik dengan memberikan kondisi batas yang tepat.

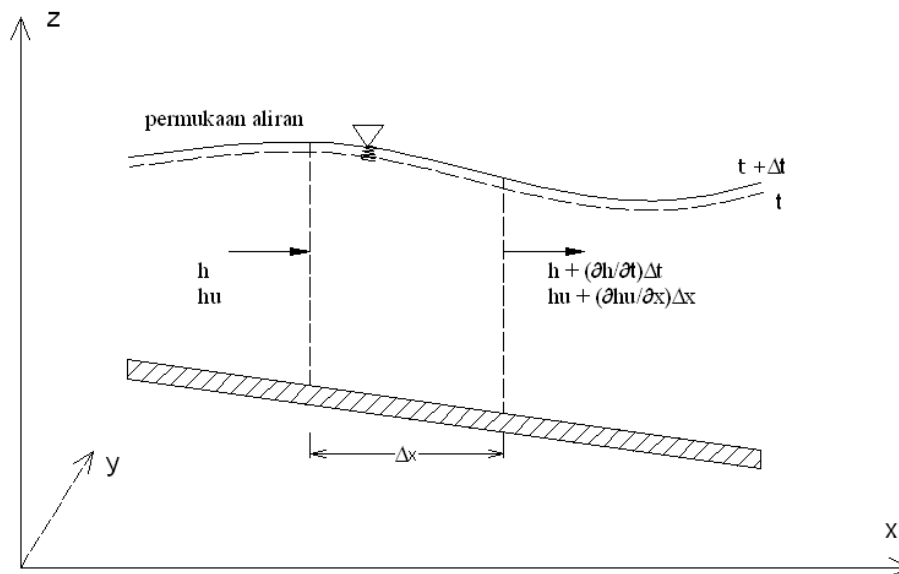
Aliran di sungai dan saluran dianggap searah dengan alur sungai ataupun saluran. Oleh karena itu, aliran tak langgeng di sungai atau saluran diasumsikan sebagai aliran tak langgeng satu dimensi. Aliran ini diekspresikan dengan persamaan kontinuitas dan persamaan keseimbangan momentum.

2.5.3.1 Persamaan Dasar

Persamaan dasar untuk aliran tak langgeng satu dimensi adalah persamaan kontinuitas dan persamaan keseimbangan momentum. Persamaan kontinuitas dan persamaan keseimbangan momentum berlaku untuk sungai dengan lebar relatif besar ($B \gg h$). Untuk sungai dengan lebar tertentu (luas tampang basah tertentu) dapat diberlakukan dengan dilakukan integrasi terhadap kedua persamaan tersebut dalam arah lebar.

1. Persamaan kontinuitas

Persamaan kontinuitas dapat juga diturunkan melalui bentuk sketsa keseimbangan aliran massa fluida berikut (lihat **Gambar 2.19**)



Gambar 2.19. Keseimbangan Aliran Massa Fluida

Perubahan masaa fluida yang masuk ke dalam penggal Δx dengan lebar Δy pada waktu Δt mengakibatkan perubahan elevasi permukaan fluida.

Bentuk perubahan massa fluida yang dimaksud adalah :

$$\rho \left(h + \frac{\partial h}{\partial t} \Delta t \right) \Delta y \Delta x - \rho h \Delta y \Delta x = \frac{\partial h}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta t \dots\dots\dots (2.5.3.1)$$

Perubahan massa fluida yang masuk dalam waktu Δt merupakan nilai netto dari aliran massa yang masuk dan keluar pada penggal Δx dengan lebar Δy .
Perubahan massa fluida yang dimaksud adalah :

$$\rho \left(hu + \frac{\partial hu}{\partial x} \Delta x \right) \Delta y \Delta t - \rho hu \Delta y \Delta t = \frac{\partial hu}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta t \dots (2.5.3.2)$$

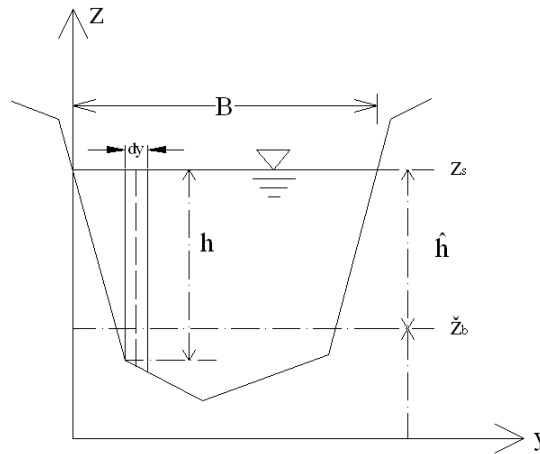
Bila perubahan massa yang masuk dan keluar pada elemen fluida dalam kondisi seimbang maka akan diperoleh :

$$\rho \frac{\partial h}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta t + \rho \frac{\partial hu}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta t = 0 \dots\dots\dots (2.5.3.3)$$

Apabila persamaan (2.5.3.3) dibagi dengan $\Delta x \Delta y \Delta t$ akan diperoleh persamaan

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (2.5.3.4)$$

Ditinjau sketsa tampang lintang aliran dalam sebuah sungai seperti pada **Gambar 2.20**



Gambar 2.20. Tampang Lintang Sungai

Luas tampang basah aliran (lihat pias selebar dy **Gambar 2.20**) dapat ditentukan dengan menggunakan bentuk persamaan integral berikut :

$$A = \int_0^B h dy \dots\dots\dots (2.5.3.5)$$

Kedalaman air rata-rata terhadap lebar permukaan aliran B adalah :

$$\bar{h} = \frac{A}{B} = \frac{1}{B} \int_0^B h dy \dots\dots\dots (2.5.3.6)$$

dengan :

A = luas tampang basah

B = lebar permukaan aliran

h = kedalaman air pada suatu titik dan suatu waktu sepanjang B

\bar{h} = kedalaman rata-rata arah lebar sungai

Jika pada persamaan (2.5.3.4) kedalaman aliran h diganti dengan kedalaman aliran rata-rata \bar{h} , kemudian dilakukan integrasi pada arah lebar sungai (lihat **Gambar 2.20**) maka akan didapat bentuk persamaan integral berikut :

$$\int_0^B \left(\frac{\partial \bar{h}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{h}u}{\partial x} \right) dy = \frac{\partial}{\partial t} \left(\bar{h} \int_0^B dy \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left(\bar{h} \int_0^B u dy \right) = 0 \dots (2.5.3.7)$$

Hasil integral persamaan (2.5.3.7) adalah :

$$\frac{\partial B\bar{h}}{\partial t} + \frac{\partial B\bar{h}u}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (2.5.3.8)$$

dengan :

$$\bar{u} = \frac{1}{B} \int_0^B u dy \dots\dots\dots (2.5.3.9)$$

Bentuk lain persamaan (2.5.3.8) adalah :

$$B \frac{\partial \bar{h}}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (2.5.3.10)$$

Karena $z_s = \bar{h} + z_b$ dan $\frac{\partial z_b}{\partial t} = 0$, maka apabila diambil $z_s = z$, persamaan

(2.5.3.9) akan menjadi :

$$B \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots (2.5.3.11)$$

dengan :

B = lebar permukaan aliran

z = ketinggian (elevasi) permukaan aliran

\bar{u} = kecepatan rata-rata aliran dalam satu tampang lintang sungai

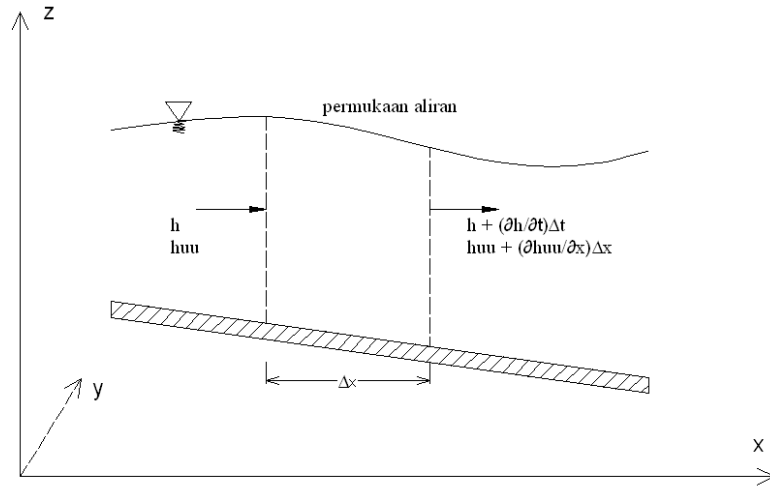
Q = debit aliran

Jika tampang lintang sungai berbentuk segi-empat dengan lebar B_0 maka persamaan (2.5.3.11) dapat ditulis kembali seperti berikut ini :

$$B_0 \frac{\partial \bar{h}}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (2.5.3.12)$$

2. Persamaan Keseimbangan Momentum

Persamaan keseimbangan momentum dapat juga diturunkan dengan memandang sketsa aliran berikut (lihat **Gambar 2.21**) :



Gambar 2.21. Perubahan Momentum

Perubahan gaya momentum fluida yang masuk ke dalam penggal Δx dengan lebar Δy pada waktu Δt adalah :

$$F_1 = \rho \left(hu + \frac{\partial hu}{\partial t} \Delta t \right) \Delta y \Delta x - \rho hu \Delta y \Delta x = \rho \frac{\partial hu}{\partial t} \Delta x \Delta y \Delta t \quad (2.5.3.13)$$

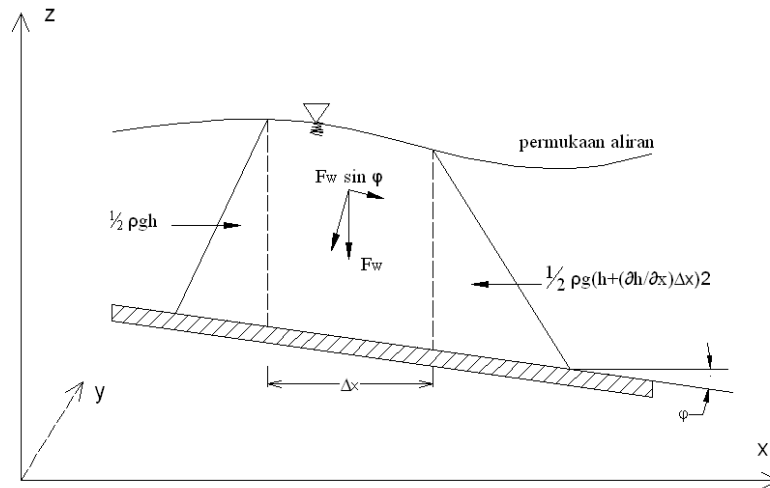
Perubahan gaya momentum fluida dalam waktu Δt merupakan nilai netto dari momentum yang masuk dan keluar pada penggal Δx dengan lebar Δy .

Besarnya perubahan yang dimaksud adalah :

$$F_2 = \rho \left(huu + \frac{\partial huu}{\partial x} \Delta x \right) \Delta y \Delta t - \rho huu \Delta y \Delta t = \rho \frac{\partial huu}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta t \quad (2.5.3.14)$$

Perubahan gaya momentum akibat adanya tekanan hidrostastik pada penggal Δx dengan lebar Δy dalam waktu Δt adalah (lihat **Gambar 2.22**) :

$$F_p = \frac{1}{2} \rho g \left(h + \frac{\partial h}{\partial x} \Delta x \right)^2 \Delta y \Delta t - \frac{1}{2} \rho g h^2 \Delta y \Delta t \quad (2.5.3.15)$$



Gambar 2.22. Gaya Tekanan Hidrostatik

Jika dianggap $\left(\frac{\partial h}{\partial x} \Delta x\right)^2$ kecil sekali atau $\left(\frac{\partial h}{\partial x} \Delta x\right)^2 \approx 0$ maka hasil penyederhanaan persamaan (2.5.3.15) menjadi :

$$F_p = \rho g h \frac{\partial h}{\partial x} \Delta x \Delta y \Delta t \tag{2.5.3.16}$$

Keseimbangan gaya momentum yang bekerja pada elemen fluida sepanjang Δx dan selebar Δy adalah

$$\left(\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + gh \frac{\partial h}{\partial x}\right) \rho \Delta x \Delta y \Delta t = 0 \tag{2.5.3.17}$$

atau:

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + gh \frac{\partial h}{\partial x} = 0 \tag{2.5.3.18}$$

Persamaan (2.5.3.18) tidak lain adalah persamaan keseimbangan momentum. Gaya akibat gesekan aliran di dasar saluran sepanjang Δx selebar Δy yang mengalir dalam waktu Δt adalah :

$$F_g = \rho g h_i \Delta x \Delta y \Delta t \tag{2.5.3.19}$$

Gaya berat elemen fluida sepanjang Δx dan selebar Δy yang mengalir selama waktu Δt adalah :

$$F_w = \rho g h \Delta x \Delta y \Delta t \sin \varphi = \rho g h \Delta x \Delta y \Delta t i_b$$

Keseimbangan dari kedua gaya ini adalah :

$$F_w - F_g = 0$$

$$(gh i_b - gh i_s) \rho \Delta x \Delta y \Delta t = 0 \quad (2.5.3.20)$$

Bila persamaan (2.5.3.17) digabung dengan persamaan (2.5.3.20) akan diperoleh persamaan :

$$\left(\rho \frac{\partial hu}{\partial t} + \rho \frac{\partial hu^2}{\partial x} + \rho gh \frac{\partial h}{\partial x} - \rho ghi_b + \rho ghi_s \right) \Delta x \Delta y \Delta t = 0 \quad (2.5.3.21)$$

Persamaan (2.5.3.21) dapat disederhanakan menjadi:

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + gh \frac{\partial h}{\partial x} - ghi_b + ghi_s = 0 \quad (2.5.3.22)$$

atau :

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + gh \frac{\partial h}{\partial x} = gh(S_0 - S_f) \quad (2.5.3.23)$$

Persamaan (2.5.3.23) adalah persamaan keseimbangan momentum dengan $S_0 = i_b =$ kemiringan dasar sungai $S_f = i_x =$ kemiringan permukaan aliran.

Jika $i_b = \partial z_b / \partial x$ dan $h = z_s - z_b$ maka persamaan (2.5.3.22) dapat disusun kembali menjadi :

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu^2}{\partial x} + gh \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \tau_s = 0 \quad (2.5.3.24)$$

Jika persamaan (2.5.3.24) kedalaman aliran h diganti dengan \bar{h} dan kemudian dilakukan integrasi pada arah lebar sungai (lihat **Gambar 2.20**) maka akan didapat bentuk persamaan integral berikut :

$$\int_0^B \left(\frac{\partial \bar{h}u}{\partial t} + \frac{\partial \bar{h}u^2}{\partial x} + g\bar{h} \frac{\partial(z_s)}{\partial x} + \frac{1}{\rho} \tau_s \right) dy = 0 \quad (2.5.3.25)$$

Hasil integral persamaan (2.5.3.25) adalah :

$$\frac{\partial(B\bar{h}u)}{\partial t} + \frac{\partial(\beta B\bar{h}u^2)}{\partial x} + gB\bar{h} \frac{\partial(z_s)}{\partial x} + \frac{O}{\rho} \tau_s = 0 \quad (2.5.3.26)$$

atau :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial z_s}{\partial x} + \frac{O}{\rho} \tau_s = 0 \quad (2.5.3.27)$$

Persamaan (2.5.3.27) dapat ditulis kembali seperti berikut :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\beta Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial z}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{AC^2R} = 0 \quad (2.5.3.28)$$

dengan ;

$$\beta = \frac{1}{Bu} \int_0^B u^2 dy$$

$z_s = z$ = ketinggian permukaan aliran

O = keliling basah

A = luas tampang basah sungai (saluran)

R = jari-jari hidraulik

C = koefisien *Chezy*

Pasangan persamaan kontinuitas (2.5.3.11) dan persamaan keseimbangan momentum (2.5.3.28) dikenal dengan nama persamaan *Saint-Venant*. Persamaan *Saint-Venant* dapat diselesaikan secara numerik dengan memberi kondisi awal dan kondisi batas.

(Sumber : *Dasar-Dasar Analisis Aliran di Sungai dan Muara, UII Press, 1997*)

2.5.3.2 Persamaan *Saint-Venant*

Persamaan *Saint Venant* merupakan sepasang persamaan yang terdiri dari persamaan keseimbangan massa dan persamaan keseimbangan momentum.

Pada persamaan tersebut, dipakai beberapa anggapan sebagai berikut:

1. Aliran adalah satu dimensi, maksudnya bahwa kecepatan aliran adalah seragam (*uniform*) dalam suatu tampang, dan kemiringan muka air arah transversalnya horizontal
2. Kurva garis aliran sangat lemah dan akselerasi vertikalnya dapat diabaikan, sehingga distribusi tekanan merupakan tekanan hidrostatis
3. Bahwa pengaruh kekasaran dinding dan turbulensi dapat diformulasikan sebagai persamaan kekasaran seperti yang dipakai pada aliran permanen
4. Bahwa kemiringan dasar saluran cukup kecil sehingga kosinus sudut sama dengan “*unity*”
5. Bahwa kerapatan massa dari air selalu konstan

Persamaan aliran menunjukkan kondisi aliran yang dinyatakan oleh dua variabel tak bebas Y (tinggi air) dan Q (debit) untuk setiap titik di saluran. Variabel tak bebas ini menunjukkan kondisi aliran sepanjang saluran / sungai untuk

setiap waktu 't'. Untuk mengetahui dua variabel tak bebas tersebut diperlukan dua persamaan untuk menyelesaikannya.

Seperti diketahui, bahwa aliran dapat dipakai 3 persamaan :

1. konsevasi massa
2. konservasi momentum
3. konservasi energi

Persamaan konservasi momentum akan ekuivalen dengan persamaan konservasi energi apabila variabel-variabel tidak bebasnya kontinu sepanjang aliran, apabila tidak (misalnya loncat air), maka persamaan konservasi momentum lebih layak dipakai. Karena pasangan konservasi massa dan momentum lebih layak dipakai unruk aliran kontinu dan tidak kontinu maka persamaan aliran ini didasarkan pada kedua persamaan tersebut (*Wignyosukarto, B, 1986*)

Persamaan differensial dari konservasi massa dan momentum menurut *Wignyosukarto, B, 1986* dalam hidraulika numerik adalah:

Persamaan kontinuitas :

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \dots\dots\dots(2.5.3.29)$$

Persamaan momentum :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} + g.I_1 \right) = g.A.(S_0 - S_f) + g.I_2 \dots\dots\dots (2.5.3.30)$$

Kedua persamaan tersebut ditulis dalam bentuk persamaan “*divergent*” dari persamaan differensial parsial. Apabila ruas kanannya sama dengan nol, maka persamaan tersebut disebut sebagai persamaan “*divergent nul*” dari vektor massa dan momentum dalam suatu contour tertutup pada bidang (x,t), atau dapat diartikan bahwa massa dan momentum telah terkonservasi. Apabila ruas kananya tidak sama dengan nol, maka komponen bebas tersebut akan merupakan sumber baru momentum atau momentum yang akan terserap/hilang.

(*Sumber : Tugas Akhir Perancangan Jaringan Saluran Irigasi Pasang Surut, Teknik Sipil UGM Yogyakarta, 1996*)

2.5.4. Pengaruh Pasang Surut Di Sungai Terhadap Muka Air Di Saluran

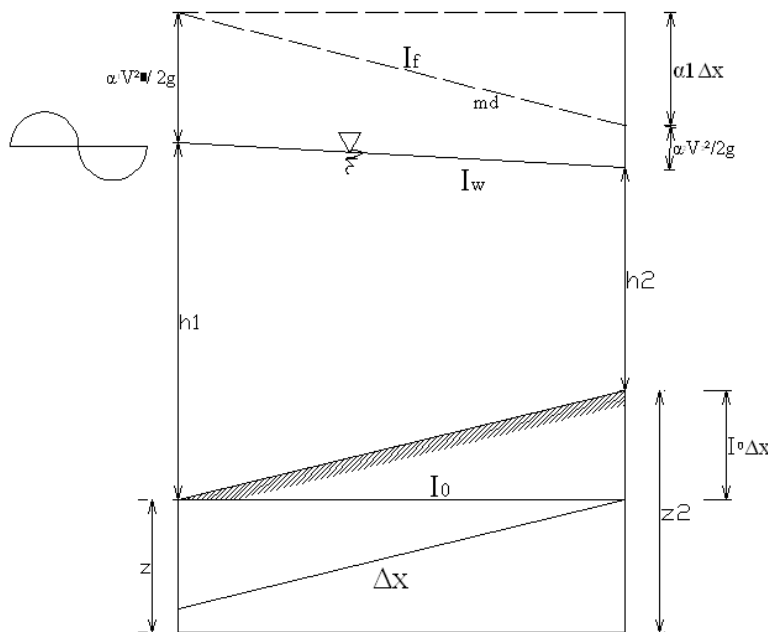
Apabila suatu saluran masuk ke sungai (muara) yang mengalami pasang surut, maka perlu diadakan analisa pengempangan (*back water*) di saluran tersebut.

Ada 2 (dua) metode yang digunakan untuk mendapatkan tinggi muka air di sepanjang saluran.

- (1). Cara persamaan energi (*direct step method*)
- (2). Cara persamaan gerak (cara rambatan gelombang panjang)

2.5.4.1 Cara Tahapan Langsung (*Direct Step Method*)

Prinsip cara ini adalah membagi saluran menjadi ruas-ruas yang pendek dan melakukan perhitungan tahap demi tahap dari ujung ruas yang satu ke ujung ruas yang lain.



Gambar 2.23. Ilustrasi ruas saluran pendek dengan panjang ΔX

Persamaan energi pada 2 (dua) ujung ruas 1 dan 2, sebagai berikut :

$$I_0\Delta X + h_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = h_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + I_f\Delta X \quad (2.5.4.1)$$

Penyelesaian untuk ΔX adalah :

$$\Delta X = \frac{\Delta_1 - E_2}{(I_0 + I_f)} = \frac{\Delta E}{I_0 + I_f} \quad (2.5.4.2)$$

dimana E adalah energi khas yang dapat didekati (dengan $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha$) sebagai berikut :

$$E = h + \alpha \frac{V^2}{2g} \quad (2.5.4.3)$$

dimana : V = kecepatan rata-rata (m/dt)

h = kedalaman aliran (m)

α = koefisien energi

I_0 = kemiringan dasar saluran

g = percepatan gravitasi (9,81 m/dt)

I_f = kemiringan garis energi

Jika persamaan aliran dipakai persamaan *Manning* :

$$I_f = \frac{n^2 v^2}{R^{4/3}} \quad (2.5.4.4)$$

atau *Strickler*

$$I_f = \frac{V^2}{k^2 R^{4/3}} \quad (2.5.4.5)$$

Dengan menentukan ΔX dari ujung saluran yang tinggi muka airnya diketahui dapat dicari tinggi muka air ujung berikutnya; demikian seterusnya sampai ke ujung saluran yang ditinjau.

2.5.4.2 Rambatan Gelombang Panjang

Muka air di setiap potongan saluran (ΔX) dan setiap langkah waktu (Δt) dapat dihitung dengan persamaan gerak (*unsteady flow*).

Persamaan yang diperlukan adalah :

Persamaan gerak:

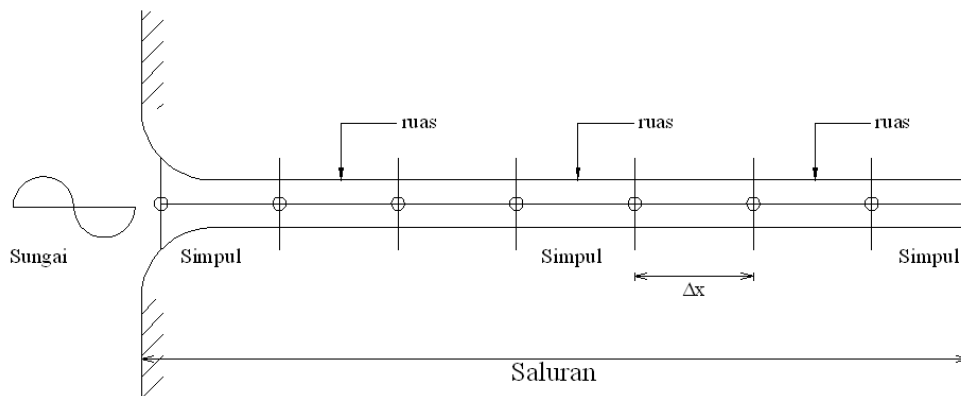
$$\frac{\partial v}{\partial t} + V \frac{\partial v}{\partial x} + gI + g \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{V|V|}{C^2 R} = 0 \quad (2.5.4.6)$$

Persamaan kontinuitas :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = 0 \quad (2.5.4.7)$$

Pemecahan kedua persamaan diatas bisa dilakukan secara numerik (*finite-difference*). Cara ini memerlukan skematisasi terhadap saluran dan diskritisasi waktu.

Saluran dibagi menjadi ruas (*branch*) dan simpul (*node*). Jarak antar simpul sama dengan ΔX .

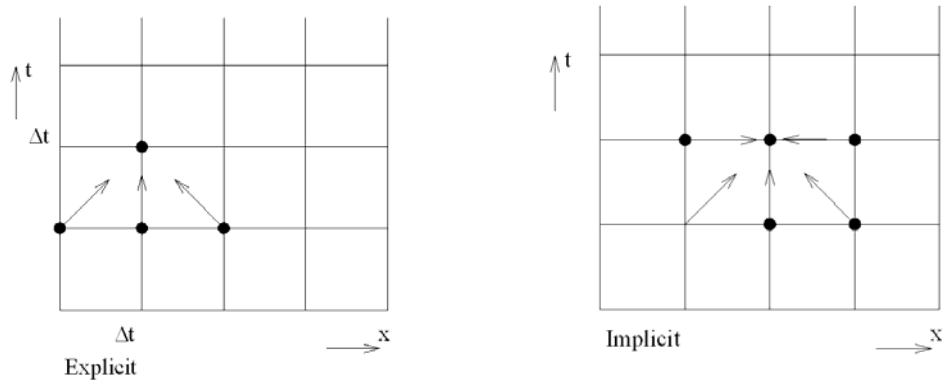


Gambar 2.24. Pembagian ruas dan simpul pada saluran

Diskritisasi terhadap waktu dilakukan dengan membagi-bagi waktu periode pasang surut. Selang pembagian waktu adalah Δt (dari t_1 ke t_2).

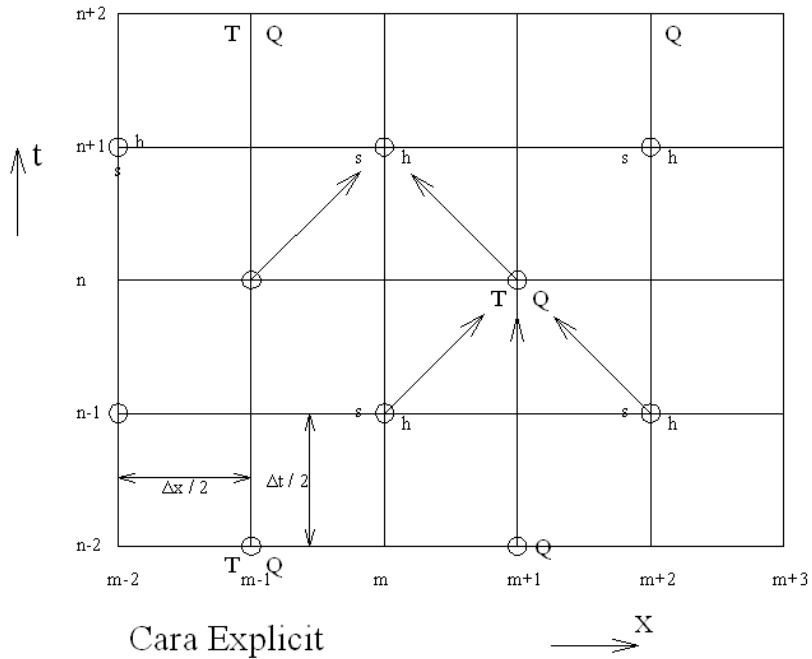
Pada simpul dihitung tinggi air (*water level*), dengan persamaan kontinuitas, sedang pada tengah ruas (*Middle of Branch*), dihitung kecepatan dan debit dengan persamaan gerak. Persamaan beda hingga (*finite-difference*) tersebut dapat diselesaikan dalam beberapa cara, yang dapat dibagi ke dalam 2 (dua) group: *explicit* dan *implicit method*.

Di dalam cara *explicit*, semua harga pada langkah waktu baru (*new time level*) dihitung dari harga pada langkah waktu lama, yang sudah diketahui harganya. Di dalam cara *implicit*, semua harga pada langkah waktu baru dihitung dari harga pada langkah waktu lama, yang belum diketahui harganya. Secara skematis diberikan pada Gambar berikut :



Gambar 2.25. Metode Eksplisit dan Implisit

Di dalam jaringan kerja (*network*) muka air dan debit dihitung pada lokasi dan waktu yang berbeda. Kisi perhitungan ditampilkan di dalam tempat dan waktu (Lihat **Gambar 2.26**)



Gambar 2.26. Kisi Perhitungan dalam metode beda hingga (*explicit*)

- S = Simpul (*node*)
- T = ruas (*branch*)
- h = muka air
- Q = debit

Program *software* yang digunakan untuk menghitung perambatan pasang surut untuk tugas akhir ini adalah Program HEC-RAS versi 3.1.1 dari (*US Army Corps of Engineers, USA*)

(*Sumber : Konsep Laporan Akhir Penelitian dan Pengembangan Drainase di Daerah Pasang Surut, Lembaga Penelitian ITB Bandung, 1994*)

2.5.5. Konsep Model Matematik Menggunakan Program HEC-RAS

Untuk menyelesaikan persamaan matematis aliran, persamaan perambatan gelombang yang terjadi pada suatu bangunan sipil, perancangan dan perencanaan bangunan sipil hidro sangat memerlukan alat hitung yang cepat dan tepat agar dapat diketahui dengan tepat pengaruh bangunan tersebut pada aliran di jaringan saluran. Persamaan-persamaan tersebut biasanya berbentuk persamaan differensial parsial maupun integral. Pemakaian persamaan matematis yang diolah oleh komputer sering dinamakan model matematik. Model ini dimaksudkan untuk mempresentasikan fenomena fisik dalam bentuk numeris .

Simulasi aliran sangat diperlukan untuk melakukan evaluasi tata saluran yang ada saat ini dan melakukan perencanaan perbaikan tata saluran. Perhitungan Model Matematik dilakukan dengan bantuan komputer dengan program HEC-RAS (*Hidrologic Engineering Center – River Analysis System*). Hitungan dimaksudkan untuk mendapatkan parameter hidraulik desain saluran sehingga bisa melakukan pemodelan sebagai upaya penanganan masalah yang terjadi.

HEC-RAS (*Hidrologic Engineering Center – River Analysis System*) adalah sebuah paket program analisis hidrolika yang terintegrasi, dimana pengguna akan dimudahkan dengan adanya sistem *Graphical User Interface (GUI)*. HEC-RAS memiliki kemampuan untuk melakukan perhitungan profil permukaan air pada aliran steady dan unsteady serta dilengkapi dengan analisis transportasi sedimen dan desain bangunan air. Dalam penelitian kali ini analisis yang digunakan adalah analisis aliran satu dimensi untuk aliran unsteady dimana kedalaman dan kecepatan aliran dari satu tempat ke tempat lainnya berubah menurut waktu. Analisis ini banyak digunakan dalam perencanaan perbaikan sungai dan penanggulangan banjir terutama dalam menentukan elevasi puncak tanggul dan daerah genangan, elevasi jembatan dan sebagainya.

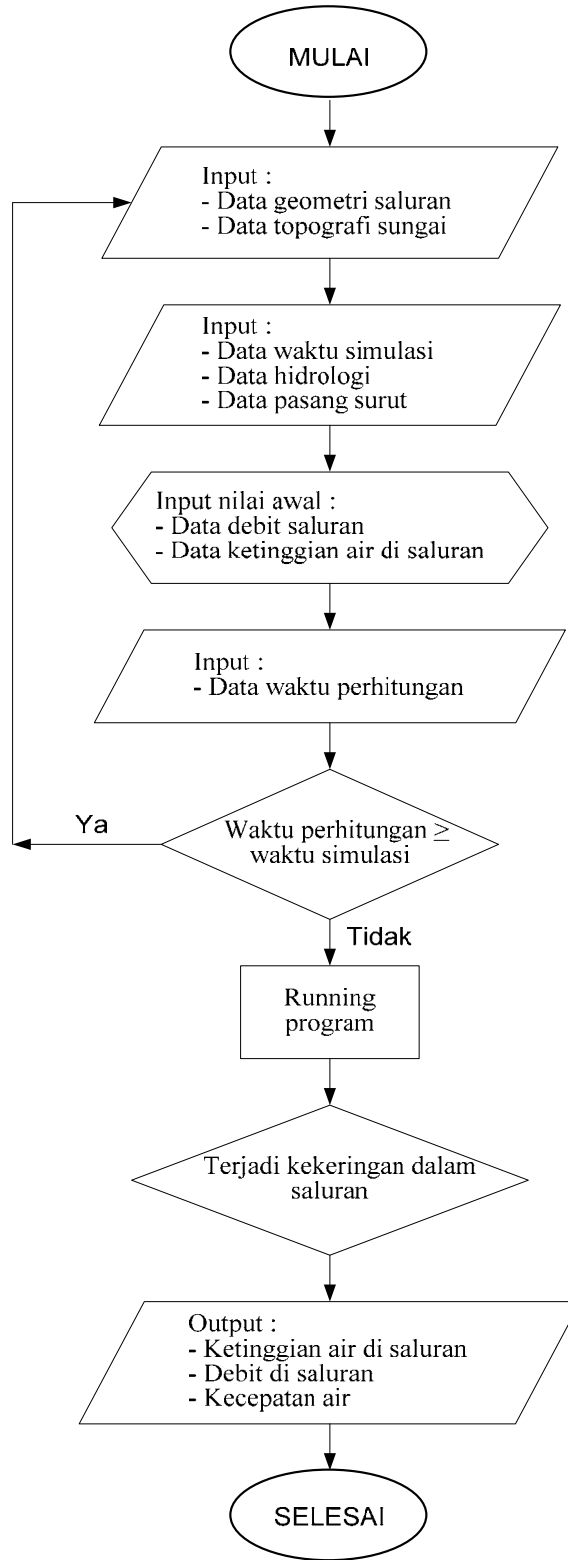
HEC-RAS berisi tiga komponen analisis hidrolika satu dimensi (1-D), yaitu

1. Perhitungan profil permukaan aliran steady.
2. Simulasi aliran unsteady.
3. Perhitungan transport sedimen.

Dasar kuncinya adalah ketiga komponen tersebut menggunakan data geometri umum yang mewakili, serta perhitungan hidraulika dan geometri pada umumnya.

Analisa hidrolika ini menggunakan perhitungan profil muka air *unsteady*. Simulasi aliran unsteady mampu menghitung aliran tak tetap 1D melalui suatu jaringan saluran terbuka. Aliran unsteady dikembangkan terutama untuk perhitungan keadaan aliran sub-kritis. Dengan HEC-RAS versi 3.1.1, model tersebut dapat menampilkan bermacam-macam hitungan dari berbagai keadaan aliran (sub-kritis, super-kritis, serta loncatan hidolis) pada perhitungan aliran tak tetap.

Metode yang digunakan untuk analisis hidrolika dan upaya pengendaliannya pada sungai pasang surut dengan menggunakan *Software* HEC-RAS versi 3.1 mengikuti prosedur yang ditunjukkan bagan alir pada **Gambar 2.27** berikut :



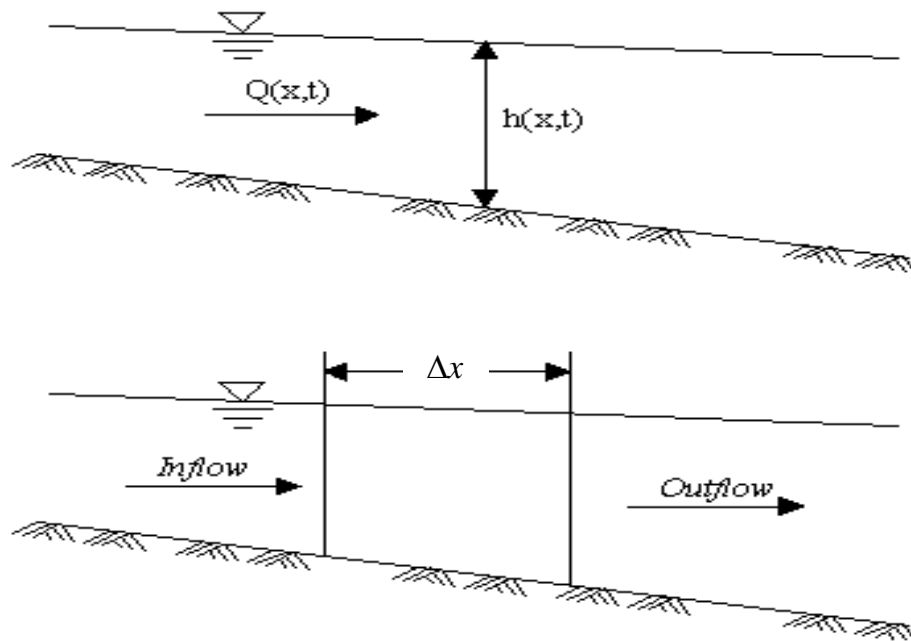
Gambar 2.27. Bagan alir simulasi perhitungan program HEC-RAS

Program HEC-RAS merupakan penyelesaian numeris dari persamaan aliran tak permanen satu dimensi untuk saluran terbuka yang diturunkan dari persamaan kekekalan energi dan massa.

Persamaan dasar yang dipakai adalah persamaan aliran tidak permanen satu dimensi *Barre de St. Venant* yang terdiri dari dua persamaan pokok, yaitu :

a. Persamaan Kontinuitas

Persamaan Kontinuitas dapat dijabarkan :



Gambar 2.28. Keseimbangan aliran massa fluida

(US Army Corps of Engineers, 2002)

Hukum kekekalan massa pada suatu pias tertentu menyatakan bahwa ‘aliran bersih pada suatu pias akan sama dengan perubahan tampungan yang terjadi di dalam pias tersebut’.

Berdasarkan **Gambar 2.28**, aliran yang masuk kedalam pias (Q_{inflow}) akan dinyatakan sebagai :

$$Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{2} \dots\dots\dots (2.5.5.1)$$

sedangkan aliran yang keluar pias ($Q_{outflow}$) akan dinyatakan sebagai :

$$Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \cdot \frac{\Delta x}{2} \dots\dots\dots (2.5.5.2)$$

dan perubahan tumpungannya adalah :

$$\frac{\partial A_1}{\partial t} \Delta x \dots\dots\dots (2.5.5.3)$$

Dengan mengasumsikan bahwa Δx kecil, perubahan massa yang terjadi pada pias adalah :

$$\rho \frac{\partial A_r}{\partial t} \Delta x = \rho \left[\left(Q - \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) - \left(Q + \frac{\partial Q}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right) + Q_1 \right] \dots\dots\dots (2.5.5.4)$$

dimana Q_1 adalah aliran air dalam arah lateral yang masuk kedalam pias dan ρ adalah rapat massa air. Dengan menyederhanakan dan membagi semua ruas dengan $\rho \Delta x$, maka akan diperoleh persamaan kontinuitas :

$$\frac{\partial A_r}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_1 = 0 \dots\dots\dots (2.5.5.5)$$

dimana q_1 adalah aliran lateral per unit panjang.

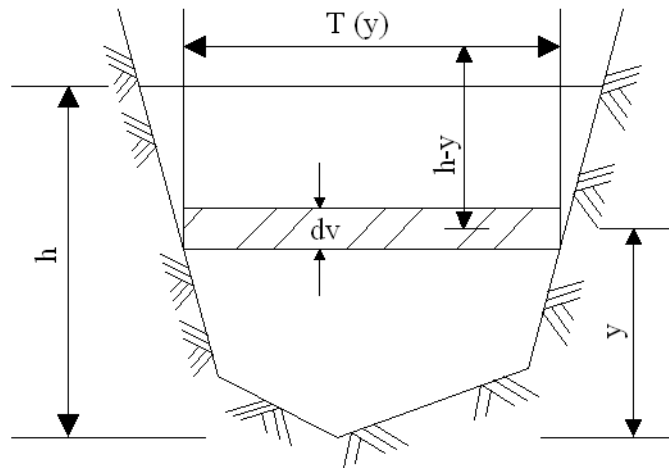
b. Persamaan Momentum

Hukum Kekekalan Momentum diturunkan dari *Hukum Newton II*, yaitu :

$$\sum F_x = \frac{d\bar{M}}{dt} \dots\dots\dots (2.5.5.6)$$

Hukum kekekalan momentum dalam pias menyatakan bahwa ‘perubahan momentum per satuan waktu dalam suatu pias air yang mengalir dalam suatu saluran adalah sama dengan resultante semua gaya luar yang bekerja pada pias tersebut’. Terdapat 3 buah gaya yang bekerja pada suatu pias, yaitu : gaya tekanan, gaya gravitasi, dan gaya gesekan.

2.5.5.1 Gaya Tekanan



Gambar 2.29. Distribusi Tekanan pada Penampang Tidak Teratur
(US Army Corps of Engineers, 2002)

Gambar 2.29. mengilustrasikan kondisi umum dari penampang yang tidak beraturan. Distribusi tekanan diwakili tekanan hidrostatik dan tekanan total adalah integral dari tekanan hidrostatik yang bekerja pada seluruh penampang saluran. Shame (1962) menulis bahwa gaya tekan pada suatu penampang dinyatakan sebagai :

$$F_p = \int_0^h \rho g (h - y) T(y) dy \dots\dots\dots (2.5.5.7)$$

dimana :

- h = kedalaman
- y = jarak pias dari dasar sungai
- $T(y)$ = lebar penampang pias yang ditinjau

Jika F_p gaya tekan arah x untuk suatu titik dalam suatu pias, maka tekanan pada daerah hulu dapat ditulis :

$$F_p - \frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \dots\dots\dots (2.5.5.8)$$

dan di hilir sungai dinyatakan sebagai :

$$F_p + \frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \dots\dots\dots (2.5.5.9)$$

Sehingga gaya tekanan yang terjadi pada suatu pias dapat dituliskan sebagai :

$$F_{Pn} = \left| F_p - \frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right| - \left| F_p + \frac{\partial F_p}{\partial x} \frac{\Delta x}{2} \right| + F_B \dots\dots\dots (2.5.5.10)$$

dimana :

F_{Pn} = gaya tekanan netto pada pias

F_B = tekanan arah x pada tepi sungai

Rumusan diatas dapat disederhanakan menjadi :

$$F_{Pn} = -\frac{\partial F_p}{\partial x} \Delta x + F_B \dots\dots\dots (2.5.5.11)$$

Dengan menurunkan Persamaan (2.5.5.7) dan kemudian mensubstitusikannya dengan Persamaan (2.5.5.11), akan didapatkan hasil :

$$F_{Pn} = -\rho g \Delta x \left[\frac{\partial h}{\partial x} \int_0^h T(y) dy + \int_0^h (h-y) \frac{\partial T(y)}{\partial x} dy \right] + F_B \dots\dots\dots (2.5.5.12)$$

Integral pertama dari Persamaan (2.5.5.12) adalah luas penampang A. Integral kedua (dikalikan dengan $-\rho g \Delta x$) adalah gaya tekanan yang ada pada tepi sungai dan besarnya sama, tapi berlawanan tanda dengan F_B . Oleh karena itu dapat dituliskan :

$$F_{Pn} = -\rho g A \frac{\partial h}{\partial x} \Delta x \dots\dots\dots (2.5.5.13)$$

2.5.5.2 Gaya Gravitasi

Gaya pada fluida yang terjadi akibat gravitasi di suatu pias pada arah x adalah :

$$F_g = \rho g A \sin \theta \Delta x \dots\dots\dots (2.5.5.14)$$

dimana θ adalah sudut yang dibuat oleh dasar saluran dengan bidang horizontal. Untuk sungai alam, nilai θ sangat kecil, sehingga $\sin \theta \approx \tan \theta \approx -\partial Z_0 / \partial x$

dimana Z_0 adalah elevasi dasar sungai. Sehingga gaya gravitasi sungai dapat ditulis sebagai :

$$F_g = -\rho g A \frac{\partial Z_0}{\partial x} \Delta x \dots\dots\dots (2.5.5.15)$$

2.5.5.3 Gaya Gesekan

Gaya gesek yang terjadi antara aliran dengan fluida dapat dituliskan sebagai :

$$F_f = -\tau_0 P \Delta x \dots\dots\dots (2.5.5.16)$$

dimana : τ_0 = tegangan geser rata-rata (tekanan/unit luasan)

P = keliling basah.

tanda negatif mengindikasikan bahwa, dengan aliran searah x , gaya berlaku pada arah x negatif.

Dengan mensubstitusikan persamaan yang ada, akan diperoleh persamaan *Saint Venant*, yaitu :

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0 \dots\dots\dots (2.5.5.17)$$

Dalam simulasi model matematik, diperlukan kondisi batas yang merupakan keadaan batas (debit, elevasi muka air) yang mempengaruhi sistem yang dipelajari. Pemakaian kondisi batas ini dimaksudkan untuk melokalisir permasalahan, yaitu pengaruh dari luar sistem dapat diwakilkan pada besaran dititik batasnya. Kondisi batas pada HEC-RAS dapat berupa debit dan elevasi muka air fungsi waktu atau hubungan debit dan elevasi muka air. Untuk perhitungan, digunakan kondisi batas dari elevasi muka air pasang surut.

(Sumber : *Tugas Akhir Analisa Hidraulika Jaringan Irigasi Pasang Surut unit Tabunganen berdasarkan aliran unsteady menggunakan Software HEC-RAS, Teknik Sipil UGM Yogyakarta, 2005*)

2.5.6. Perencanaan kapasitas Saluran dengan program HEC-RAS

Dalam perencanaan kapasitas saluran digunakan program HEC-RAS (*Hydrologic Engineering System-River Analysis System*). HEC-RAS adalah sebuah sistem yang didesain untuk penggunaan yang interaktif dalam lingkungan yang bermacam-macam. Ruang lingkup HEC-RAS adalah menghitung profil muka air dengan pemodelan aliran *steady* dan *unsteady*, serta penghitungan pengangkutan sedimen. Elemen yang paling penting dalam HEC-RAS adalah tersedianya geometri saluran, baik memanjang maupun melintang.

2.5.6.1 Profil Muka Air Pada Aliran *Steady*

Dalam bagian ini HEC-RAS memodelkan suatu saluran dengan aliran *steady* berubah lambat laun. Sistem ini dapat mensimulasikan aliran pada seluruh jaringan saluran ataupun pada saluran tunggal tanpa percabangan, baik itu aliran kritis, subkritis, superkritis ataupun campuran sehingga didapat profil muka air yang diinginkan.

Konsep dasar dari perhitungan adalah menggunakan persamaan energi dan persamaan momentum. Kehilangan energi juga di perhitungkan dalam simulasi ini dengan menggunakan prinsip gesekan pada saluran, belokan serta perubahan penampang, baik akibat adanya jembatan, gorong-gorong ataupun bendung pada saluran atau sungai yang ditinjau.

2.5.6.2 Profil Muka Air Pada Aliran *Unsteady*

Pada sistem pemodelan ini, HEC-RAS mensimulasikan aliran *unsteady* pada jaringan saluran terbuka. Konsep dasarnya adalah persamaan aliran *unsteady* yang dikembangkan oleh *Dr. Robert L. Barkau's UNET model* (Barkau, 1992 dan HEC, 1999).

Pada awalnya aliran *unsteady* hanya di disain untuk memodelkan aliran subkritis, tetapi versi terbaru dari HEC-RAS yaitu versi 3.1 dapat juga untuk memodelkan aliran superkritis, kritis, subkritis ataupun campuran serta loncatan hidrolis. Selain itu penghitungan kehilangan energi pada gesekan saluran, belokan serta perubahan penampang juga diperhitungkan.

2.5.6.3 Konsep Perhitungan Muka Air dalam HEC-RAS

Dalam HEC-RAS penampang sungai atau saluran ditentukan terlebih dahulu, kemudian luas penampang akan dihitung. Untuk mendukung fungsi saluran sebagai penghantar aliran maka penampang saluran di bagi atas beberapa bagian. Pendekatan yang dilakukan HEC-RAS adalah membagi area penampang berdasarkan dari nilai n (koefisien kekasaran manning) sebagai dasar bagi pembagian penampang. setiap aliran yang terjadi pada bagian dihitung dengan menggunakan persamaan Manning :

$$Q = K.S_f^{1/2} \quad \text{dan} \quad K = \frac{1.486}{n} A.R^{2/3} \quad (2.5.6.1)$$

Dimana :

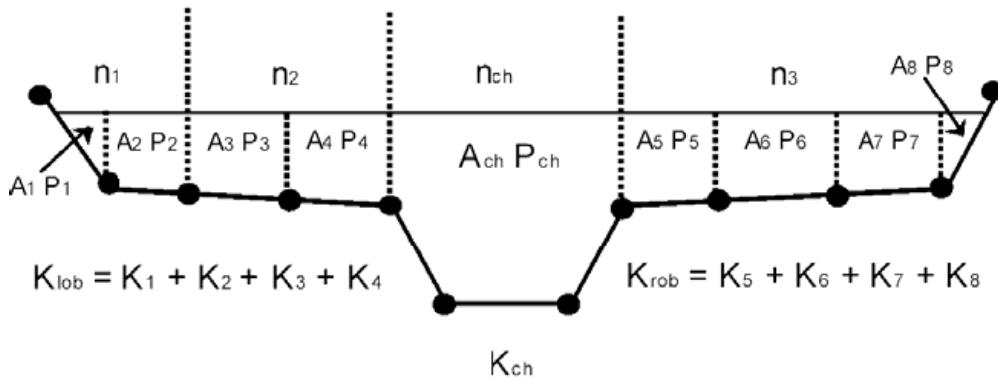
K = nilai pengantar aliran pada unit

n = koefisien kekasaran manning

A = luas bagian penampang

R = jari-jari hidrolis

Perhitungan nilai K dapat dihitung berdasarkan kekasaran manning yang dimiliki oleh bagian penampang tersebut seperti terlihat pada **Gambar 2.30**.



Gambar 2.30. Contoh Penampang Saluran dalam HEC-RAS

Setelah penampang ditentukan maka HEC-RAS akan menghitung profil muka air. Konsep dasar penghitungan profil permukaan air berdasarkan persamaan energi yaitu:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (2.5.6.2)$$

dimana :

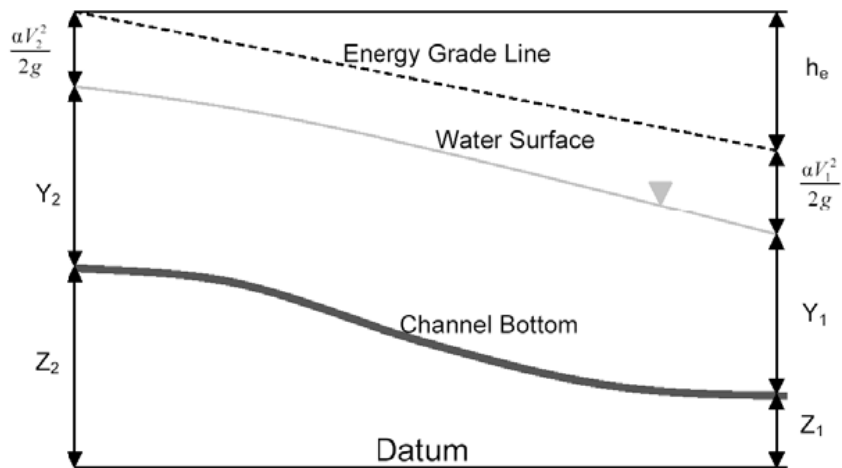
Z = fungsi titik diatas garis referensi

Y = fungsi tekanan di suatu titik

V = kecepatan aliran

α = koefisien kecepatan

h_e = energi *head loss*



Gambar 2.31. Penggambaran Persamaan Energi pada Saluran Terbuka

Nilai h_e didapat dengan persamaan :

$$h_e = L\overline{S_f} + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2.5.6.3)$$

dimana :

L = jarak antara dua penampang

S_f = kemiringan aliran

C = koefisien kehilangan energi (penyempitan, pelebaran atau belokan)

Langkah berikutnya dalam perhitungan HEC-RAS adalah dengan mengasumsikan nilai muka air (*water surface*) pada penampang awal saluran (dalam hal ini penampang di hilir). Kemudian dengan menggunakan persamaan energi diatas maka profil muka air untuk semua penampang di saluran dapat di ketahui.

(Sumber : Tugas Akhir Penanganan Drainase Semarang Wilayah Timur, Teknik Sipil Undip Semarang, 2007)

2.5.7. Perencanaan Pintu Air

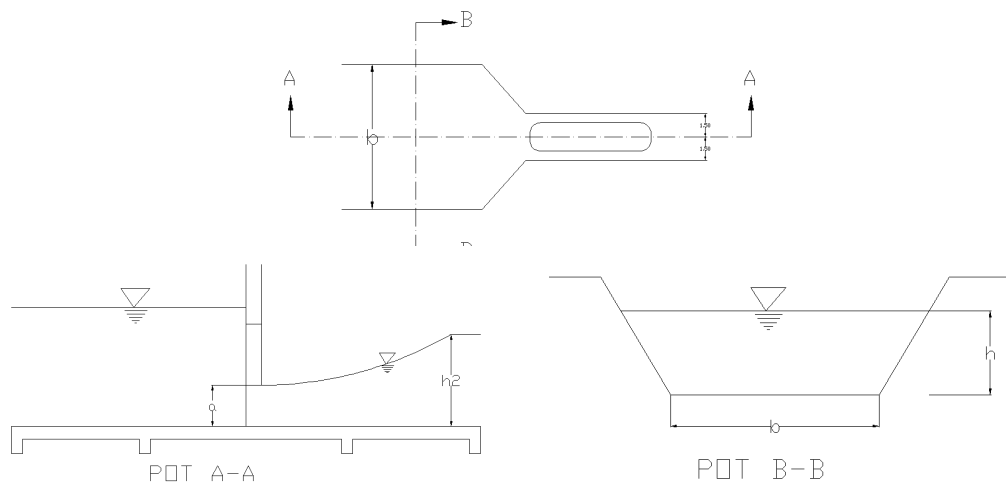
Untuk menunjang fungsi saluran yang optimal, maka diperlukan bangunan pengendali air berupa pintu-pintu air. Pintu air dibangun di ujung saluran tersier dan sekunder. Pintu air tersebut berfungsi antara lain untuk :

- ❖ Menahan air di dalam unit untuk menjamin elevasi muka air di saluran pada ketinggian tertentu.
- ❖ Menahan air saat pasang tinggi agar lahan petani dapat terlindungi dari bahaya banjir
- ❖ Memasukkan air pasang saat dibutuhkan untuk irigasi
- ❖ Membantu proses sirkulasi air di saluran.

Bangunan pintu air yang biasa digunakan adalah pintu pengendali (*klep-klep*) pada *outlet* saluran tersier atau saluran sekunder. Pintu air tersebut dipergunakan untuk mengatur masuk dan keluarnya air dan mempertahankan muka air di dalam saluran pada level jenis tertentu. Pintu yang dipakai adalah pintu sorong , atau pintu otomatis (*klep otomatis*) yang dilengkapi dengan sekat balok.

2.5.7.1. Pintu Klep

Konstruksi pintu klep dimaksudkan untuk menahan air dalam tambak saat pasang dan surut. Analisa hidraulik bangunan pintu klep akan ditinjau untuk kondisi paling kritis yaitu pada saat pintu menerima debit paling besar yaitu pada saat banjir. Perhitungan pintu klep menggunakan pendekatan pintu sorong dengan keadaan sebagai berikut :



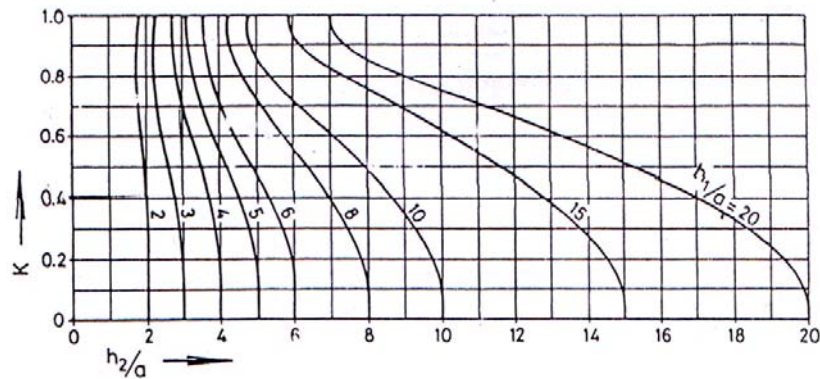
Gambar 2.32. Potongan melintang dan memanjang pintu klep

Rumus debit yang dapat dipakai adalah

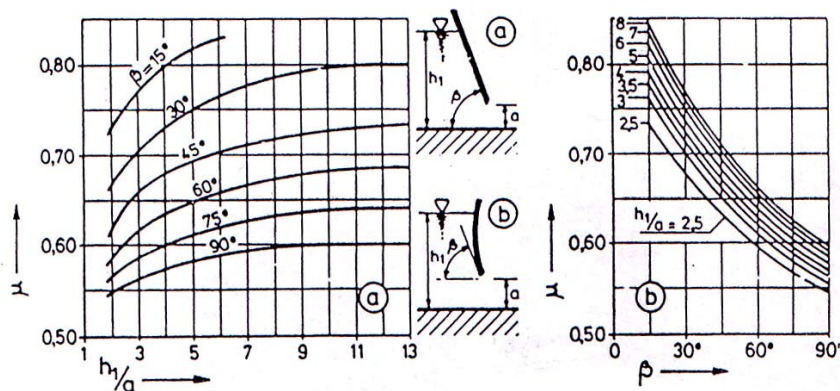
$$Q = K \cdot \mu \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2gh_1} \tag{2.5.7.1}$$

dimana :

- Q = debit aliran , m
- K = faktor aliran tenggelam (Gambar 2.33)
- μ = koefisien debit (Gambar 2.34)
- a = koefisien pintu , m
- b = lebar pintu , m
- g = percepatan gravitasi = 9,80 m/det²
- h_1 = kedalaman air di depan pintu di atas ambang , m



Gambar 2.33. Koefisien K untuk debit tenggelam (Schmidt)



Gambar 2.34. Koefisien debit μ untuk permukaan pintu datar atau lengkung (Sumber : Konsep Laporan Akhir Penelitian dan Pengembangan Drainase di Daerah Pasang Surut, Lembaga Penelitian ITB Bandung, 1994)

2.6. Perencanaan Tambak

2.6.1. Tambak dan bagiannya.

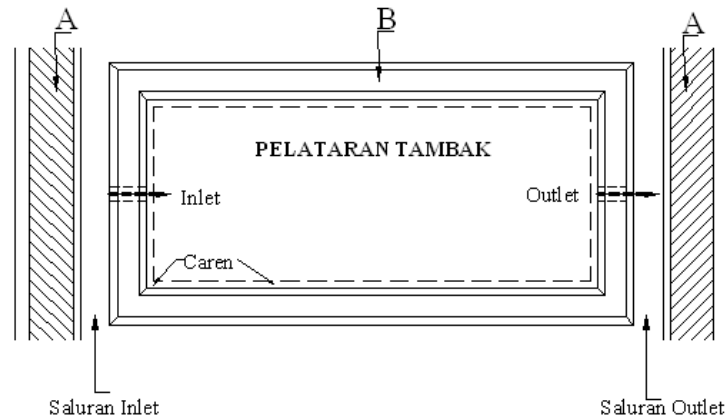
Satu unit tambak terdiri dari petakan, pematang, pintu air, dan saluran atau kanal. Keempat komponen ini merupakan satu kesatuan yang tidak dapat dipisahkan dalam fungsinya untuk memelihara ikan dan udang. Petakan tambak dapat berfungsi dengan baik bila pematangnya kuat menahan air dan tidak bocor, salurannya mampu memasok air sesuai kebutuhan dan pintu airnya memungkinkan untuk memanfaatkan pasang air laut semaksimal mungkin. Oleh karena itu, keempat komponen tersebut harus direncanakan dengan saling memperhitungkan antara komponen satu dengan yang lain terutama dalam kaitannya dengan ketinggian.

2.6.1.1 Petakan Tambak

Petakan tambak merupakan tempat tinggal ikan atau udang yang dipelihara. Di dalam petakan tambak terdapat bagian yang disebut pelataran (bagian datar yang merupakan dasar tambak) dan caren (berupa saluran di tengah dan di keliling petakan tambak).

Caren berfungsi sebagai tempat berlindung ikan atau udang yang dipelihara, terutama pada waktu siang dan saat air tambak berkurang. Caren biasanya dibangun pada tambak-tambak tradisional yang airnya tidak terlalu dalam sehingga ikan yang dipelihara memerlukan tempat yang lebih dalam untuk berlindung pada siang hari. Selain itu caren juga berfungsi untuk mempermudah penangkapan ikan atau udang pada saat panen.

Petakan tambak ada beberapa macam. Luas dan kedalamannya berbeda tergantung pada fungsinya. Ada petakan untuk benih, pembesaran, penangkapan atau panen, pencampuran air laut dengan air tawar dan sebagainya. Petakan-petakan tersebut mempunyai kaitan fungsi satu sama lain. Oleh karena itu, letaknya disesuaikan dengan fungsinya mudah pengelolaannya.



Gambar 2.35. Satu Petakan Tambak terdiri dari Pelataran dan Caren

2.6.1.2 Pematang

Daya guna petakan tambak sangat tergantung pada kekuatan dan umur pematang. Pada prinsipnya pematang merupakan pembatas air yang berada di antara saluran dan tambak atau tambak satu dengan yang lainnya. Pematang yang baik harus dapat mempertahankan ketinggian air dalam tambak dan saluran.

Pada umumnya pematang tambak berbentuk trapesium dan dibangun dengan cara *cut and fill* (menggali tanah dari petakan tambak atau saluran di saluran di sekitarnya kemudian ditimbun menjadi pematang) dari tanah sekitarnya. Tekstur tanah untuk pematang dipilih yang kompak agar dapat menahan air dan tidak rembes atau bocor. Menurut fungsinya pematang tambak dapat dibedakan menjadi tiga, masing-masing sebagai berikut :

- **Pematang keliling atau pematang utama**

Pematang keliling berfungsi untuk melindungi seluruh hamparan tambak dari luapan air pasang tertinggi. Selain itu, juga berfungsi menahan air yang ada di seluruh petakan tambak. Pematang ini dibangun di sepanjang tepi pantai atau sungai dengan jarak beberapa puluh meter dari tepi tersebut. Pematang keliling juga merupakan batas pemilikan unit tambak seseorang. Pematang yang membatasi saluran utama dikatakan sebagai pematang utama dan konstruksinya tidak jauh berbeda dengan pematang keliling.

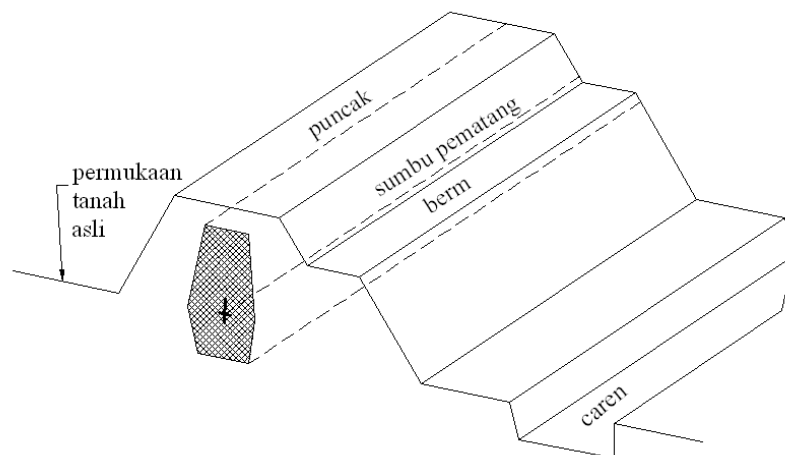
- **Pematang sekunder**

Pematang sekunder ini berbatasan langsung dengan saluran sekunder yang mengairi satu kelompok tambak. Pematang ini harus mampu menahan air pasang tertinggi.

- **Pematang tersier**

Pematang tersier merupakan pematang yang berbatasan langsung dengan petakan tambak.

Di tempat-tempat yang berangin kencang, pematang perlu diberi *berm*. *Berm* merupakan konstruksi tanah yang dibangun di sepanjang kaki pematang. Fungsinya sebagai pelindung pematang dan erosi yang ditimbulkan oleh gerakan air yang terus-menerus dalam tambak. Pembuatan berm merupakan hal yang mutlak untuk lahan tambak yang tanahnya banyak mengandung pasir.



Gambar 2.36. Pematang Tambak dan Bagian-Bagiannya

2.6.1.3 Pintu air

Pintu air berfungsi untuk mengatur kebutuhan air dalam tambak, dengan cara memasukkan atau mengeluarkan air ke atau dari tambak yang diairi. Dari segi peranannya dalam mengatur kebutuhan air, pintu air dibedakan menjadi tiga, yaitu pintu utama, pintu sekunder dan pintu tersier.

- **Pintu utama**

Pintu utama merupakan pintu yang menghubungkan sumber air dengan saluran utama. Pintu ini biasanya berukuran cukup lebar untuk mengatur debit air

ke seluruh hamparan tambak. Sebagai sarana pembagi air, pintu air utama harus mampu mengalirkan air secara merata ke seluruh hamparan tambak maupun ke kelompok-kelompok tambak yang dilayani. Agar air bisa merata ke seluruh hamparan tambak, sejauh kondisi lahan memungkinkan, pintu utama sebaiknya ditempatkan di bagian tengah hamparan tambak dengan saluran utama membentang di tengahnya

- **Pintu sekunder**

Pintu sekunder merupakan pintu yang mengatur aliran air dari saluran utama ke saluran sekunder yang melayani satu kelompok tambak yang terdiri dari beberapa petakan tambak. Dengan mengatur pintu sekunder, kebutuhan satu kelompok tambak menjadi tidak tergantung pada kelompok tambak lainnya.

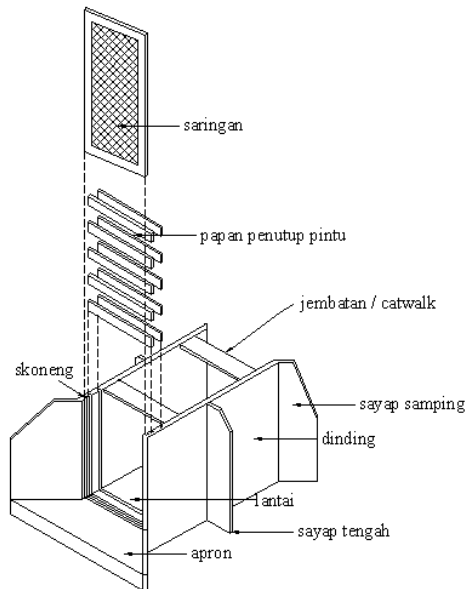
- **Pintu tersier**

Pintu tersier merupakan pintu air yang langsung melayani petakan tambak dan dapat pula dipakai untuk mengatur air dalam saluran tersier bila ada (bila jaringan irigasi tambak cukup luas). Sebagai sarana untuk memasukkan air dari saluran ke petakan tambak, pintu ini harus mampu memasukkan air sebanyak-banyaknya pada saat air laut pasang. Sebaliknya, sebagai sarana untuk membuang air dari tambak ke saluran, maka pintu ini juga harus mampu mengeluarkan air dalam waktu yang relatif singkat. Dalam hal ini ukuran pintu sangat berperan terhadap volume air yang masuk dan keluar. Di samping itu, volume air yang masuk dan keluar juga ditentukan oleh perbedaan elevasi antara permukaan dasar tambak dengan permukaan dasar saluran. Agar pergantian air dalam tambak dapat diciptakan secara merata, pintu air tersier harus ditempatkan dibagian tengah pematang yang pendek.

Selain untuk mengatur debit air dalam petakan tambak, pintu air tersier juga berfungsi untuk menahan air pada saat pintu tertutup. Oleh karena itu, pintu air ini harus benar-benar rapat (tidak bocor) baik pada pintu itu sendiri maupun pada bidang kontak antara konstruksi pintu dengan tanah pematang. Untuk melindungi pintu air dari kebocoran, pada bidang kontak tersebut diperlukan sarana pelengkap berupa sayap yang dibangun di kiri kanan pintu.

Dari segi konstruksi, pintu air dapat dibedakan menjadi dua tipe, yaitu tipe terbuka dan tipe tertutup. Tipe terbuka pada umumnya dibangun pada saluran air

yang lebar misalnya pintu air utama pada saluran utama pemasukan air. Sedangkan pintu air tipe tertutup biasanya dibangun pada pematang tambak yang langsung melayani petakan tambak atau bisa juga dibangun pada pematang yang berfungsi pula sebagai jalan yang dapat dilalui kendaraan roda empat.



Gambar 2.37. Konstruksi Pintu Tambak dan Bagian-Bagiannya

2.6.1.4 Saluran air

Saluran air atau kanal berfungsi mengalirkan air ke dalam tambak atau mengeluarkannya. Saluran air pada tambak yang lazim di Indonesia dan sudah lama dibangun mempunyai fungsi ganda : untuk mengisi air pada waktu air laut pasang dan membuang air pada waktu surut. Dengan makin majunya teknologi budidaya, saluran pemasukan dan pengeluaran kemudian dibuat terpisah untuk menghindari kemungkinan masuknya kembali air buangan ke dalam tambak. Hal ini sangat penting terutama pada budidaya tambak yang dilakukan secara intensif.

Tambak yang diusahakan secara intensif biasanya padat penebaran benihnya tinggi dan diikuti dengan pemberian pakan tambahan untuk menunjang pertumbuhan ikan atau udang yang dipelihara. Konsekuensi dari padat penebaran benih yang tinggi dan pemakaian pakan tambahan adalah air tambak cepat menjadi kotor karena sisa pakan dan kotoran dari ikan atau udang yang dipelihara. Oleh karena itu, tambak yang diusahakan secara intensif harus sering diganti airnya.

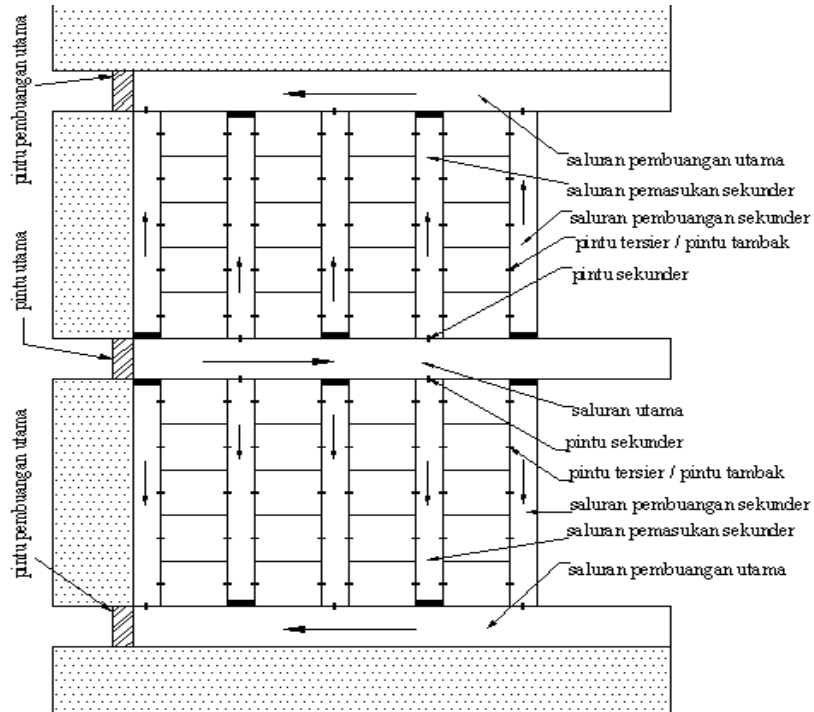
Frekuensi penggantian air yang sering mengharuskan untuk menggunakan saluran pemasukan dan pembuangan secara terpisah. Dalam sistem saluran terpisah, air masuk melalui saluran pemasukan yang meliputi saluran utama, sekunder dan tersier. Sedangkan air kotor dari dalam tambak dibuang melalui saluran pembuangan yang juga terdiri dari saluran tersier, sekunder dan utama.

Seiring ditemui saluran pemasukan utama digunakan pula sebagai saluran pembuangan, namun dengan saluran tersier dan sekunder yang terpisah. Hal ini masih memungkinkan bila kompleks tambak intensif tidak terlalu luas, misalnya hanya beberapa puluh hektar. Dalam hal ini harus diusahakan agar bagian saluran pembuangan sekunder yang menyambung ke saluran utama terletak di depan dan dekat dengan pintu utama sehingga air buangan bisa lebih cepat terbuang ke laut.

Saluran pemasukan primer atau saluran utama berfungsi mengalirkan air dari sumber air ke saluran-saluran sekunder. Antara saluran primer dan sekunder biasanya dibangun pintu air sekunder untuk mengatur air yang berada di dalam tambak-tambak yang dilayani oleh saluran sekunder. Saluran pemasukan sekunder berfungsi mengalirkan air dari pintu sekunder ke saluran tersier atau langsung ke pintu-pintu tambak bila areal tambaknya tidak terlalu luas.

Jika areal tambaknya luas, sampai beberapa ratus hektar, maka untuk memudahkan pengelolaannya areal tersebut perlu dibagi mejadi beberapa kelompok tambak. Masing-masing kelompok tambak dilayani oleh saluran sekunder tersendiri sehingga kelompok-kelompok tambak tersebut dapat beroperasi tanpa tergantung pada kelompok tambak lainnya.

Dalam tiap-tiap kelompok tambak tersebut dapat dibuat saluran-saluran yang lebih kecil atau saluran tersier yang melayani beberapa petakan tambak. Terkadang antara saluran sekunder dan saluran tersier dibangun pula pintu air tersier untuk menghindari ketergantungan operasional tambak yang dilayani oleh saluran tersier dari tambak-tambak yang lain.



Gambar 2.38. Skema Tambak dengan Saluran Pemasukan dan Pembuangan Terpisah

(Sumber : *Budidaya Ikan dan Udang dalam Tambak*, PT. Gramedia Jakarta, 1983)

2.6.2. Kebutuhan Air Tambak

Kebutuhan air tambak secara umum dipengaruhi oleh tingkat teknologi yang diharapkan, umur ikan dan udang yang dipelihara dan tingkat kehilangan air melalui penguapan dan perembesan. Dimensi saluran direncanakan berdasar pergantian air sebesar 10 % dari volume air tambak, yang dianggap dilakukan dalam waktu bersamaan. Dalam prakteknya, mengingat bahwa saluran selalu terisi baik pada saat pasang maupun surut, pergantian air dapat dilakukan setiap saat.

2.6.3. Pengaturan Pola Tanam

Pola tanam dimaksudkan sebagai pengaturan pengelolaan tambak untuk luas tertentu dalam suatu hamparan tambak, dengan tujuan agar tidak terjadi penumpukan kegiatan dan kebutuhan sarana produksi secara bersamaan. Dalam kaitan ini pola tanam tambak tidak hanya mengatur waktu tebar, tetapi juga

penggiliran pemeliharaan ikan dan udang untuk masing-masing blok tambak. Pembagian blok tambak adalah sama dengan pembagian unit. Beberapa manfaat dari pola tanam ini antara lain sebagai berikut ini :

- a) Karena pemberian air diberikan secara bergiliran, maka kebutuhan air pada suatu saat lebih kecil. Dengan demikian dimensi saluran lebih kecil.
- b) Pemenuhan kebutuhan sarana produksi dapat dijadwalkan secara bertahap.
- c) Pembuangan limbah tambak tidak menumpuk dalam waktu yang bersamaan, sehingga pencemaran perairan dapat ditekan.

2.6.4. Perencanaan saluran

2.6.4.1 Saluran pasok

Saluran pasok berfungsi untuk memberikan air pasok ke tambak. Saluran pasok terdiri atas saluran primer dan saluran sekunder. Dasar saluran pasok adalah horizontal, untuk dapat melewati debit aliran. Saluran pasok dibagi sesuai dengan pembagian golongan pola tanam. Dimensi saluran pasok sekunder didasarkan pada debit kebutuhan masing-masing saluran dan kebutuhan bahan galian untuk tanggul di kanan kirinya. Perencanaan saluran pasok dilakukan dengan memperhatikan beberapa hal berikut ini:

- Kecepatan aliran tidak terlalu besar yang dapat menyebabkan terjadinya erosi, tetapi juga tidak terlalu kecil sehingga memungkinkan adanya sedimentasi. Batas kecepatan maksimum adalah 0,30 m/det
- Peredaman pasang surut tidak terlalu besar sehingga muka air pasang di titik terjauh tidak berbeda dengan muaranya.
- Dasar saluran pasok primer lebih rendah daripada elevasi LLWL sehingga memungkinkan ketersediaan air di saluran. Kurva pasang surut desain digunakan sebagai data untuk mengetahui kemampuan aliran di saluran.

2.6.4.2 Saluran buang

Saluran buang berfungsi untuk melewati air buangan dari tambak yang berasal dari pergantian air harian maupun akibat dari luapan air hujan.

Luapan akibat hujan maksimum yang terjadi pada pertambakan akan dialirkan melalui jaringan tata saluran buang yang ada pada areal tersebut. Dalam analisis perhitungan drainase pada areal pertambakan digunakan sistem gravitasi. Hal tersebut dapat dilakukan mengingat elevasi tambak cukup tinggi dibandingkan elevasi saluran drainasenya. Pelaksanaan drainase dengan sistem pompa hanya dilakukan pada saat pengeringan tambak di areal yang mempunyai elevasi dasar tambak lebih rendah dari muka air minimum saluran drainase.

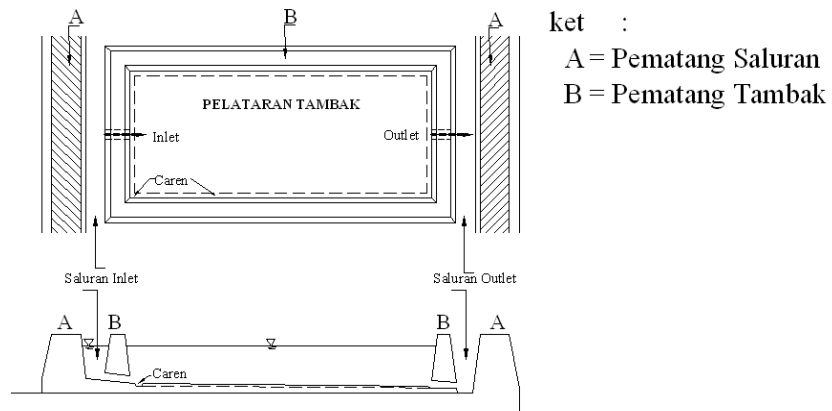
Kriteria yang digunakan dalam perencanaan saluran drainase adalah sebagai berikut:

- a. Besarnya debit buangan adalah sama dengan debit pergantian air tiap hari yang besarnya 10%. Drainase pergantian air hanya dilakukan pada saat surut saja.
- b. Drainase saluran buang perlu dicek berdasarkan hujan maksimum rancangan.
- c. Mengingat fungsi saluran drainase untuk dapat mengamankan lahan dari genangan banjir dan tetap dapat melakukan fungsinya untuk melayani pergantian air tambak, maka debit yang lebih kritis digunakan sebagai debit rancangan drainase.

Dasar saluran buang sekunder harus lebih rendah dari dasar tambak. Untuk melewati debit yang lebih besar, maka dasar saluran buang dibuat miring ke arah hilir.

2.6.4.3 Bangunan Pemasukan dan Pengeluaran tambak

Bangunan pemasukan merupakan pintu pemasukan air dari saluran pasok tersier ke kolam tambak. Bangunan pemasukan terbuat dari ferro-cement dengan ukuran lebar dasar 0,4 m dan tinggi 0,5 m sampai 1,15 m. Outlet tambak berupa pipa PVC berdiameter 8 Inci. Pipa ini berfungsi sebagai pembuangan air dari tambak, dengan ujungnya masuk ke saluran buang tersier.



Gambar 2.39. Petakan Tambak dengan Saluran Inlet dan Outlet Yang Terpisah

(Sumber : Tugas Akhir Tinjauan Hidraulika Tata Saluran Irigasi Tambak Studi Kasus di Kab. Purworejo, Teknik Sipil UGM Yogyakarta, 2004)