

2 LANDASAN TEORI

2.1 Karakteristik Habitat Ikan

2.1.1 Biota Perairan

Menurut Oey, dkk. (1978) dengan terjadinya perubahan faktor fisika, kimia, dan biologi maka jenis biota air yang mempunyai daya toleransi tinggi akan mengalami peningkatan dan penyebaran yang luas. Organisme yang toleran dapat tumbuh dan berkembang dalam kisaran kondisi lingkungan yang kualitas buruk sekalipun.

Sungai pada umumnya memiliki peran ganda, yaitu sebagai habitat biota air serta menjadi sumber air bagi manusia. Sebagai ekosistem, ketergantungan keanekaragaman biota air dengan kualitas air merupakan interaksi yang khas dan saling mempengaruhi. Berbagai jenis *plankton*, *benthos* hingga ikan di sungai akan tetap hidup dan berkembang pada perairan sungai yang kualitas airnya mendukung kehidupan mereka. Sebaliknya, sungai yang tercemar airnya akan meracuni kehidupan biota perairan, sehingga menyebabkan menurunnya tingkat keanekaragaman maupun produktivitas biota perairan. Dengan kata lain, perairan sungai dengan kualitas air yang baik akan memberikan ruang hidup atau habitat yang baik bagi berkembangnya berbagai jenis biota air. Sebaliknya pada perairan yang tercemar, hanya sedikit biota air yang dijumpai mampu bertahan hidup.

Plankton adalah jenis-jenis organisme perairan, baik nabati (*fitoplankton*) maupun hewani (*zooplankton*), yang hidup melayang-layang di perairan. *Benthos* adalah jenis-jenis organisme yang hidup di dasar perairan, termasuk jenis tumbuhan maupun jenis hewan (*zoobenthos*). Studi ini difokuskan pada jenis makrozoobenthos, yang memiliki peran sebagai biota indikator kualitas air. Sedangkan *Nekton* adalah jenis organisme hewani yang memiliki kemampuan bergerak atau berenang secara aktif di perairan, khususnya jenis-jenis ikan.

2.1.2 Keadaan Biologis Perairan

Lingkungan biologis adalah sesuatu yang berada disekitar manusia yang berupa organisme hidup lainnya selain dari manusia sendiri, binatang, tumbuhan, *plankton*, dan lain-lain.

2.1.3 Jenis-Jenis Ikan

Terdapat beberapa studi tentang ekosistem ikan yang ada pada PDA Cirahong. Banyak terdapat ikan lokal yang bernilai ekonomis 19 jenis ikan itu adalah Bader Merah (*Barbonymus Balleroides*), Bader Putih (*Barbodes Gonionotus*), Nilem (*Osteochilus Vittatus*), Hampala (*Hampala Macrolepidota*), Sidat (*Anguilla Rostrata*), Sili (*Macrogonatus Aculeatus*), Betok (*Anabas Testudineus*), Caung (*Hemibagrus Nemurus*), Kancra (*Cyprinus Carpio*), Bawal (*Brama Brama*), Lele (*Clarias Batrachus*), Belut (*Monopterus Albus*), Gabus (*Channa Striata*), Ikan sapu (*Pterygoplichthys Spiciosa*), dan Mujair (*Mozambique Tilapia*).

Komposisi ikan berkelamin betina lebih dominan dibanding jantan, perbandingannya, 80% dan 20%. Padahal seharusnya dalam kondisi perairan sehat seharusnya betina dan jantan jumlahnya seimbang. Adapun deskripsi dari jenis-jenis ikan yang ditemukan di PDA Cirahong adalah sebagai berikut:

1. Ikan Bader Merah (*Barbonymus Balleroides*)

Ikan bader merah merupakan ikan air tawar, tingkat keasaman optimumnya pada pH 6,5 sampai dengan 7,0, suhu optimum yang cocok untuk ikan wader merah adalah pada suhu 20 °C sampai dengan 26 °C, hidup pada perairan daerah beriklim tropis, dapat digunakan sebagai ikan akuarium ataupun digunakan secara komersial (Budiharjo,2002) dalam Yonarto (2015). Secara umum ikan Wader merah memiliki pola reproduksi seperti ikan dari keluarga cyprinidae lainnya. Pembuahan sel telur oleh sel sperma terjadi di luar tubuh (eksternal). Keberhasilan pemijahan ikan di alam sangat tergantung dari lingkungan seperti suhu,



Gambar 2.1 Ikan Bader Merah

2. Ikan Bader Putih (*Barbodes Gonionotus*)

Ikan Bader Putih atau Ikan Tawes memiliki badan yang berbentuk hampir segitiga dan pipih, sisik relatif besar dengan warna keperak-perakan atau putih keabu-abuan. Pertumbuhan adalah penambahan ukuran panjang dan berat dalam suatu waktu akibat pembelahan sel secara mitosis. Ikan tidak mempunyai kebutuhan protein yang mutlak, namun untuk menunjang pertumbuhannya, ikan membutuhkan suatu campuran yang seimbang antara asam amino esensial dan non-esensial (Buwono, 2000).



Gambar 2.2 Ikan Bader Putih

3. Ikan Nilem (*Osteochilus Vittatus*)

Ikan Nilem merupakan salah satu komoditas ikan air tawar yang sangat potensial untuk dikembangkan menjadi produk unggulan budidaya perikanan. Di habitat aslinya, ikan ini banyak ditemukan hidup liar di perairan umum terutama di sungai-sungai yang berarus sedang dan berair jernih.



Gambar 2.3 Ikan Nilem

4. Ikan Hampala (*Hampala Macrolepidota*)

Ikan Hampala adalah salah satu genus dari famili Cyprinidae. Weber and Beaufort (1916), membagi genus Hampala menjadi tiga jenis berdasarkan pola bercak hitam di tubuhnya yaitu, Hampala ampalong mempunyai dua bercak hitam besar sepanjang gurat sisi, satu dibawah sirip punggung dan satu terletak di ujung sirip. Ikan hampala merupakan predator air tawar yang menyukai makanan ikan, udang, serangga dan larva serangga, suka tinggal di perairan lambat mengalir. Menjadi yang makan ikan setelah mencapai 20 cm (Fishbase, 2015)



Gambar 2.4 Ikan Hampala

5. Ikan Sidat (*Anguilla Rostrata*)

Sidat merupakan hewan yang termasuk ke dalam family *Anguillidae*. Tubuh sidat memanjang dan terlihat seperti tidak bersisik, namun sebenarnya bersisik kecil berbentuk memanjang dan dilapisi lendir yang tebal. Susunan sisiknya tegak lurus terhadap panjang tubuhnya. Punggung sidat berwarna coklat kehitaman. Perutnya berwarna kuning hingga perak. Hewan ini

memiliki kemampuan mengambil oksigen langsung dari udara dan mampu bernafas menggunakan seluruh bagian kulitnya. Sidat merupakan ikan katadromus, sidat dewasa akan melakukan migrasi ke laut untuk melakukan pemijahan, sedangkan anakan sidat hasil pemijahan akan kembali lagi ke perairan tawar hingga mencapai dewasa. Sidat bersifat nokturnal yang ditandai dengan meningkatnya aktivitas sidat pada malam hari sehingga jumlah sidat yang tertangkap pada malam hari lebih banyak dibandingkan yang tertangkap pada siang hari.



Gambar 2.5 Ikan Sidat

6. Ikan Sili (*Macrogonatus Aculeatus*)

Ikan Sili memiliki warna tubuh coklat dan kekuningan, bentuk tubuh pipih latero lateral, memiliki beberapa bulatan hitam pada bagian badan. Meruncing merupakan ciri dari bentuk kepalanya (Rahma, 2020). Ikan sili hidup di perairan air tawar biasanya ditemukan di sungai dengan dasar yang berlumpur. Kondisi perairan yang banyak ditumbuhi tumbuhan dan tidak terkena sinar matahari secara langsung merupakan tempat yang disukai oleh ikan sili. Udang merupakan makanan utama Ikan sili (Yunus, dkk. 2017).



Gambar 2.6 Ikan Sidat

7. Ikan Betok (*Anabas Testudineus*)

Ikan Betok (*Anabas Testudineus*) yang didapatkan memiliki ciri-ciri bentuk kepala agak lonjong tipe mulut subterminal, bentuk tubuh lonjong lebih kebelakang menjadi pipih, ekor membulat. Hidup di perairan tawar seperti rawa, danau, sungai yang banyak dijumpai tumbuhan air. Mampu hidup diperairan dengan suhu 15°C–31°C. (Sudarto, 2010). Ikan Betok tidak mudah mati dalam kondisi air bagaimanapun, termasuk dalam lumpur yang cuma sedikit airnya, karena Ikan Betok memiliki alat pernafasan kedua yang berbentuk labirin.



Gambar 2.7 Ikan Betok

8. Ikan Caung (*Hemibagrus Nemurus*)

Ikan Caung tergolong ikan *benthoplastic*, hidup diperairan tawar dan payau dengan kisaran pH7-8,2 dan suhu 22-25⁰ C.



Gambar 2.8 Ikan Baung

9. Ikan Kancra (*Cyprinus Carpio*)

Ikan Kancra (*Cyprinus Carpio*) adalah ikan air tawar yang sudah sangat langka dan bersifat spesifik lokasi. Ikan kancra tergolong ikan endemik berukuran relatif besar dan masih berkerabat dekat dengan ikan mas. Panjang

tubuhnya bisa mencapai 1m. Sifat hidupnya omnivora atau pemakan segala dengan makanan utama berupa buah-buahan, kerang-kerangan kecil (moluska), dan serangga.



Gambar 2.9 Ikan Kanca

10. Ikan Bawal (*Colossoma Macropomum*)

Ikan Bawal memiliki asal usul bukanlah asli Indonesia, tetapi berasal dari negeri Samba, Brazil. Ikan ini hidup bergerombol didaerah muara sungai. Ikan ini memiliki bentuk tubuh sangat gepeng dan ramping dengan ekor bercagak. Apabila dilihat dari segi laju pemijahan, bahwa perbandingan kelamin dapat berubah menjelang dan selama proses pemijahan. Perbandingan jenis kelamin dapat digunakan untuk menduga keberhasilan pemijahan, yaitu dengan melihat keseimbangan jumlah ikan jantan dan ikan betina di suatu perairan, juga berpengaruh terhadap produksi.



Gambar 2.10 Ikan Bawal

11. Ikan Lele (*Clarias Batrachus*)

Ikan Lele ini memiliki ciri-ciri fisik tubuh yang licin, bentuknya memanjang, tidak memiliki sisik, sirip punggung dan sirip anus juga berbentuk memanjang. Sirip dan ekor lele terkadang menyatu hingga membuatnya

tampak seperti sikat yang pendek. Tempat hidup atau habitat dari ikan lele biasanya ada pada area air tawar (empang, rawa-rawa, sungai, tambak, sawah, dan daerah berlumpur). Ikan lele merupakan hewan nokturnal yang lebih banyak melakukan aktivitas di malam hari dan sebaliknya pada siang hari mereka beristirahat. Perilaku ini membuat ikan lele pada waktu siang hari memilih tempat-tempat gelap dan tidak banyak bergerak.



Gambar 2.11 Ikan Lele

12. Belut (*Monopterus Albus*)

Belut berbeda dengan sidat, yang sering dipertukarkan. Belut boleh dikatakan tidak memiliki sirip, kecuali sirip ekor yang juga tereduksi, sementara sidat masih memiliki sirip yang jelas. Ciri khas lain dari belut adalah tidak bersisik (atau hanya sedikit), dapat bernapas dari udara, bukaan insang sempit, tidak memiliki kantung renang dan tulang rusuk. Habitat belut adalah di air tawar, seperti sungai, danau, rawa-rawa dan sawah. Belut bisa hidup dengan baik pada suhu 25-32°C. Sekalipun, belut dapat bertahan hidup pada perairan minim oksigen dan dasar perairan yang mengandung bahan organik tinggi, namun pada fase larva dan benih, belut tidak dapat bertahan pada perairan minim oksigen. Karena itu, untuk pembenihan, kualitas air yang dibutuhkan adalah suhu 25-32 derajat celsius oksigen 3-7, dan pH 5-7.



Gambar 2.12 Belut

13. Ikan Gabus (*Channa Striata*)

Ikan darat yang cukup besar, dapat tumbuh hingga mencapai panjang 1 m. Berkepala besar agak gepeng mirip kepala ular (sehingga dinamai *snakehead*), dengan sisik-sisik besar di atas kepala. Tubuh bulat gilig memanjang, seperti peluru kendali. Sirip punggung memanjang dan sirip ekor membulat di ujungnya. Sirip punggung dan sirip ekor ikan gabus biasanya cukup besar, memberikan kekuatan dan kecepatan saat berenang. Sisi atas tubuh dari kepala hingga ke ekor berwarna gelap, hitam kecoklatan atau kehijauan. Sisi bawah tubuh putih, mulai dagu ke belakang. Sisi samping bercoret-coret tebal (*striata*, bercoret-coret) yang agak kabur. Warna ini sering kali menyerupai lingkungan sekitarnya.



Gambar 2.13 Ikan Gabus

14. Ikan Sapu (*Pterygoplichthys Spiciosa*)

Ikan Sapu-sapu atau yang dikenal dengan bandaraya merupakan ikan air tawar yang berasal dari Amerika Selatan. Ikan Sapu-sapu yang memakan lumut atau alga ini sangat populer mampu membersihkan akuarium. Ikan Sapu-sapu hampir bisa ditemukan pada hampir seluruh perairan tawar yang tenang seperti sungai, anak sungai, danau, kolam, parit, sawah dan bahkan rawa-rawa. Ikan Sapu-sapu yang memiliki alat pernafasan tambahan berupa labirin ini memberikan ketahanan tubuh untuk Ikan Sapu-sapu, sehingga ikan tersebut bisa hidup di berbagai tempat.



Gambar 2.14 Ikan Sapu-sapu

15. Ikan Mujair (*Mozambique Tilapia*)

Ikan Mujair adalah jenis ikan konsumsi air tawar dengan tubuh berwarna abu-abu, hitam, ataupun cokelat. Tubuh mujair pipih dan memanjang serta dilengkapi garis vertikal, memiliki sisik kecil bertipe stenoid. Selain itu, ikan ini juga mempunyai sirip ekor dengan garis berwarna merah. Warna tubuh Ikan Mujair tergantung pada lingkungan atau habitat tempat tinggalnya. Bentuk mulutnya cenderung besar dengan geligi halus yang terletak secara terminal atau di ujung tubuh. Ikan Mujair dapat ditemukan di beberapa jenis habitat, seperti air tawar, payau, hingga air laut dengan salinitas tinggi. Ikan ini mampu bertahan hidup dalam keadaan payau karena memiliki ketahanan dan toleransi terhadap salinitas serta rentang suhu luas. Menariknya, ikan yang juga dikenal sebagai ikan tropis ini jarang ditemukan di dataran tinggi atau pegunungan.



Gambar 2.15 Ikan Mujair

2.1.4 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keadaan Biologis

Hal ini sangat berpengaruh pada siklus hidup atau kelimpahan keanekaragaman jenis *benthos* itu sendiri. Menurut Hawkes (1979), faktor yang mempengaruhi kualitas air adalah sebagai berikut:

1. CO₂

Kandungan CO₂ bebas di perairan dipengaruhi oleh organisme yang ada di perairan yang melakukan respirasi. Karbondioksida ini sangat penting sebagai komponen yang digunakan untuk fotosintesis tumbuhan air dan fitoplankton. Kadar total CO₂ di perairan dapat bertambah banyak karena penambahan ion karbonat dan bikarbonat. Karbondioksida dalam air yang berada dalam bentuk ion bikarbonat disebut CO₂ terikat. Karbondioksida terikat, dalam kondisi asam berubah jadi CO₂ bebas (Darsono, 1992).

2. Derajat Keasaman (pH)

Derajat keasaman digunakan sebagai ukuran kebasaaan atau keasaman suatu larutan. Konsentrasi pH pada kehidupan air yang normal biasanya berkisar antara 6,5 – 7,5 (Sugiharto, 1987). Bagi organisme-organisme yang merombak bahan organik biasanya mempunyai kisaran pH yang sempit, berkisar antara 6,5 – 8,5 (Darsono, 1992). Menurut Liedy (1980), pH kurang dari 5 dan lebih dari 10 masih dapat ditoleransi tetapi membutuhkan waktu yang relatif lama dan hanya spesies yang resisten saja yang mampu melakukannya.

3. Suhu

Suhu akan berpengaruh terhadap kadar oksigen terlarut didalam air dan proses pertukaran zat makhluk hidup. Suhu yang makin tinggi menyebabkan kelarutan oksigen di dalam air semakin berkurang (Wardoyo, 1978 dalam Rini, 2008). Suhu di daerah tropis yang mendekati 30⁰ C tidak hanya menyebabkan terjadinya penurunan jumlah O₂ terlarut tetapi juga menyebabkan terjadinya penurunan oksigen bagi mikroorganisme dan sebaliknya akan terjadi penambahan jumlah karbondioksida yang dikeluarkan oleh mikroorganisme itu sendiri (Riyadi, 1984).

4. Kekeruhan

Kekeruhan adalah ukuran yang menggunakan efek cahaya sebagai dasar untuk mengukur keadaan sungai (Sugiharto, 1987). Terjadinya kekeruhan pada dasarnya disebabkan oleh adanya partikel-partikel kecil dan zat-zat koloid (zat yang terapung serta terurai secara halus), yang berukuran 10 nm – 10 m. partikel- partikel kecil dan koloid ini tidak lain adalah tanah liat dan sisa tanaman (Alaerts dan Santika, 1987). Kekeruhan menyebabkan berkurangnya penetrasi cahaya karena seringkali cahaya akan dihalangi oleh zat-zat tersebut sehingga zona fotosintesis terbatas pada tingkat tertentu saja. Bila kekeruhan ini oleh organisme, ukuran kekeruhan ini akan menjadikan suatu indikasi bagi produktivitas.

5. Kecepatan Arus Air

Menurut Ward (1992), distribusi organisme di dalam air sangat dipengaruhi oleh kecepatan arus air, karena kecepatan arus air akan terus memodifikasi habitat sungai. Sastrawijaya (1991), membagi kecepatan arus menjadi beberapa kriteria dan menunjukkan bahwa kecepatan arus dapat mempengaruhi sifat dasar sungai.

2.2 Perencanaan Umum Tangga Ikan (*Fishway*)

Perencanaan umum *fishway* ini meliputi perencanaan Jenis *Fishway*, *Outlet Fishway*, *Inlet Fishway*, Debit dan Kecepatan Aliran pada Bangunan *Fishway*.

2.2.1 Tangga Ikan (*Fishway*)

Sungai dan aliran migrasi ikan terkait erat dalam pemenuhan siklus pergerakan hulu dan hilir. Urutan ini tergantung pada habitat, lokasi, dan jenis migrasi ikan. Secara umum, migrasi hilir adalah ciri dari tahap awal kehidupan atau kelahiran, sedangkan migrasi hulu adalah ciri dari kehidupan dewasa. Ikan bermigrasi untuk bertelur, untuk mencari makan dan untuk melindungi diri dari pemangsa atau kondisi lingkungan yang berbahaya. Ikan tetap dapat bermigrasi jika hambatan-hambatan tersebut masih alami seperti air terjun, akan tetapi konstruksi manusia seperti bendungan, bendung dan gorong-gorong dapat menghambat aliran air, serta migrasi ikan dapat menjadi lambat atau berhenti sama sekali. (Holter, 2017)

Fishway (atau juga disebut *fish ladder*, *fish passage*) adalah jalur air yang dirancang untuk memungkinkan bagian dari sebuah spesies atau spesies ikan tertentu melewati penghalang tertentu. sementara dalam banyak kasus *fishway* dibangun untuk petelur dewasa dan dalam beberapa kasus juga migrasi ikan remaja dapat menjadi peluang terjadi selanjutnya. Untuk ikan dewasa, migrasi ini sangat penting untuk kelangsungan reproduksi beberapa spesies ikan, migrasi merupakan upaya untuk mencari makan dan bersembunyi dari predator.

Pembangunan tangga ikan pada sebuah bendungan, bendung dan sejenisnya harus menjadi pertimbangan penting untuk keberlangsungan ekosistem di sekitarnya. Kriteria desain pada tangga ikan harus sesuai dengan tingkat migrasi ikan, ukuran yang sesuai dan jenis *ladder* yang tepat. Hal ini dimaksudkan agar ikan yang melakukan migrasi melalui *ladder* tersebut tidak akan stress dan tetap dalam kondisi baik. Kriteria desain tersebut dapat mengandung parameter-parameter seperti jenis spesies, perilaku ikan, kemampuan berenang ikan, bentuk fisik ikan, dan durasi migrasi. Meskipun beberapa parameter seperti tujuan migrasi, waktu migrasi, kemampuan berenang ikan dan perilaku ikan dapat diketahui dari pendekatan rasional, namun persyaratan lainnya seperti bentuk fisik, jenis spesies, tujuan migrasi sangat bergantung pada pendekatan literatur dan data yang sudah ada sebelumnya.

Kemampuan ikan yang bermigrasi ke hulu untuk berenang melintasi berbagai arus dan sungai merupakan bagian dari keberhasilan migrasi. Kendala tersebut bermula dari daerah aliran lambat, seperti kolam, bagian sungai yang lebar atau mencapai gradien aliran ringan, ke daerah arus cepat, seperti jeram, bagian sempit atau tanjakan dengan gradien curam. Ikan dapat melewati kondisi-kondisi tersebut dengan menggunakan berbagai tingkat kinerja berenang. Adapun kemampuan berenang ikan telah diklasifikasikan ke dalam beberapa jenis:

1. Kecepatan *burst* (kecepatan tertinggi yang bisa dicapai dan dipelihara kurang dari 15 detik)
2. Kecepatan berkepanjangan (kecepatan moderat yang dapat dipertahankan hingga 200 menit)
3. Kecepatan berkelanjutan (kecepatan dipertahankan tanpa batas)

Di perairan alami, pada umumnya ikan menggunakan kecepatan yang berkelanjutan dan berkepanjangan ketika melakukan migrasi ke hulu dan kadang-kadang menggunakan kecepatan lebih tinggi untuk melewati daerah dengan kecuraman tinggi seperti jeram. Dengan dibangunnya tangga ikan maka dapat memberikan manfaat seperti:

1. Mempertahankan jalur migrasi ikan meskipun terhalang dengan bangunan air baru.
2. Membangun ulang jalur migrasi yang sempat terputus akibat pelaksanaan pembangunan bendung.
3. Memperpanjang jalur migrasi dengan hambatan yang alami.

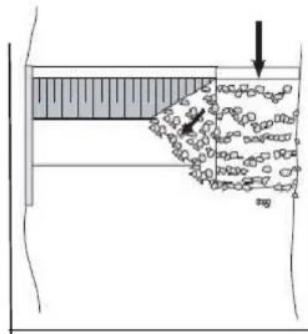
Tangga ikan yang telah diterapkan di beberapa negara maju telah menjadi faktor utama dalam pemeliharaan ekosistem ikan, khususnya salmon, contohnya ialah pada *Columbia River (USA)* dengan menyediakan akses melewati *system hidroelektrikal* sebuah bendungan. Tangga ikan juga menjadi persyaratan utama dalam pembangunan kembali migrasi salmon pada Sungai Fraser, British Columbia (Canada), setelah beberapa stok salmon berkurang drastis akibat gangguan migrasi selama satu dekade. Beberapa penghalang yang dibangun di atas sungai telah menyebabkan batuan-batuan besar longsor pada *Hell's Gate canyon*. Di danau Frazser, Pulau Kodiak, Alaska telah dibuat tangga ikan pada outlet dari air terjun alami yang ada disana. Hal itu dapat membantu ikan-ikan salmon menyebrangi air terjun tersebut dengan aman. Beberapa contoh di atas hanyalah contoh kecil dari manfaat yang didapat dari pembangunan tangga ikan.

2.2.2 Jenis Tangga Ikan (*Fishway*)

Tangga ikan biasanya berupa saluran miring yang berada di sisi bendungan, dinding saluran, atau turbin yang terbuka sehingga memungkinkan untuk ikan berenang melewatinya. Kondisi di ujung terusan yang mengarah pada tangga ikan ini bertindak sebagai hidrolis yang menghasilkan aliran yang sesuai dengan kemampuan berenang ikan. Beberapa tangga ikan telah dikembangkan tetapi biasanya perangkat yang terdapat pada saluran pengarah berbeda dengan yang ada pada tangga ikan. Secara umum jenis *fishway* dapat dibedakan menjadi dua kelompok, yaitu *fishway* tipe alamiah dan *fishway* tipe teknis (Aziza, 2014).

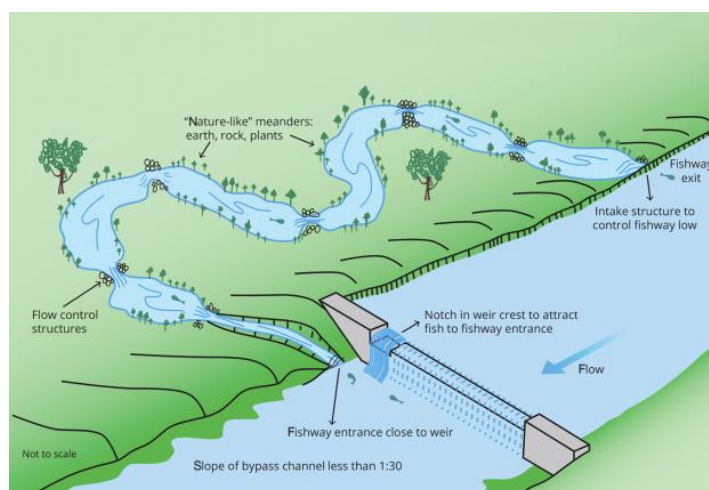
1. *Fishway* Tipe Alamiah antara lain:

- Konstruksi *ramp* dasar sungai dan konstruksi *slope* (*bottom ramp* dan *slope*). Pada seluruh lebar sungai dibuat konstruksi ramp dengan kemiringan rendah dan kekasaran tinggi, guna mengurangi efek terjunan akibat beda tinggi hulu dan hilir. Di bagian depan dan belakang dapat dipasang konstruksi pendukung. Konstruksi dengan kemiringan 1:3 sampai 1:10 biasa disebut *ramp*, sedang pada kemiringan 1:20 sampai 1:30 disebut *bottom slope*.



Gambar 2.16 *Bottom Ramp*

- Saluran Melingkar Bendung (*Bypass Channel Fishway*)
Saluran *fishway* ini dibuat melingkar bendung. Konstruksi saluran dibuat sedemikian sehingga menyerupai sungai kecil. Kemiringan saluran rendah, mendekati kemiringan sungai utamanya. Perlu diperhitungkan bahwa debit yang mengalir di saluran melingkar ini tidak mengurangi kebutuhan air yang diisyaratkan bendung.



Gambar 2.17 *Bypass Channel Fishway*

- Konstruksi *Ramp Ikan (Fish Ramp)*

Konstruksi ini diintegrasikan dengan bendung. Lebar *fishway* tidak lebih dari seperempat lebar bendung. Kemiringan diupayakan serendah mungkin untuk menjamin sebagian besar ikan dapat melalui *fishway* ini. Pada ramp ini diperlukan batu-batuan besar yang dipasang sedemikian sehingga dapat dilalui ikan.

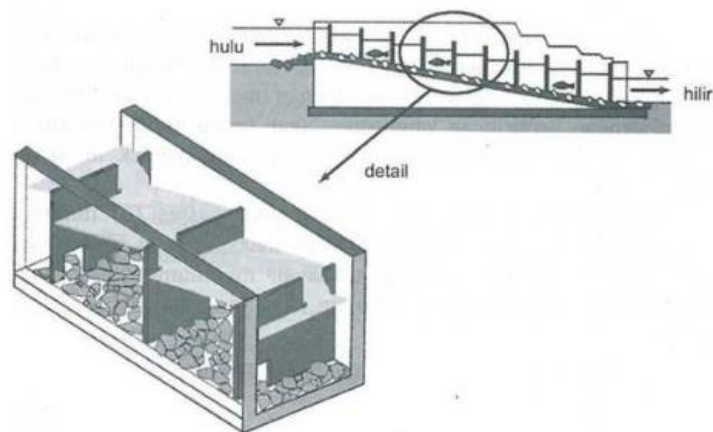


Gambar 2.18 Saluran melingkar bendungan di Portland, Amerika Serikat

2. *Fishway* Tipe Teknis

- *Fishway* Tipe *Pool (Pool Passes)*

Prinsip *fishway* tipe ini adalah dengan metode mambagi-bagi *head* secara bertingkat dan meredam energi pada setiap tingkat, sehingga energi potensial air akan terdispasi secara bertahap selama mengalir melalui kolam-kolam kecil pada saluran *fishway*. Ikan nantinya akan tertarik dengan arus air yang masuk ke dalam saluran, kemudian mereka akan bergerak dan melompat atau dengan berenang (tergantung pada kedalaman air) sampai mereka melewati keseluruhan tubuh bendung (atau hambatan). Saluran jenis ini akan sensitif terhadap kenaikan muka air sehingga membutuhkan beberapa penyesuaian. Untuk menjamin keberlangsungan pergerakan *fauna benthos* maka dasar kolam-kolam kecil pada *fishway* perlu dibuat kasar, sehingga kecepatan di dasar kolam akan rendah.

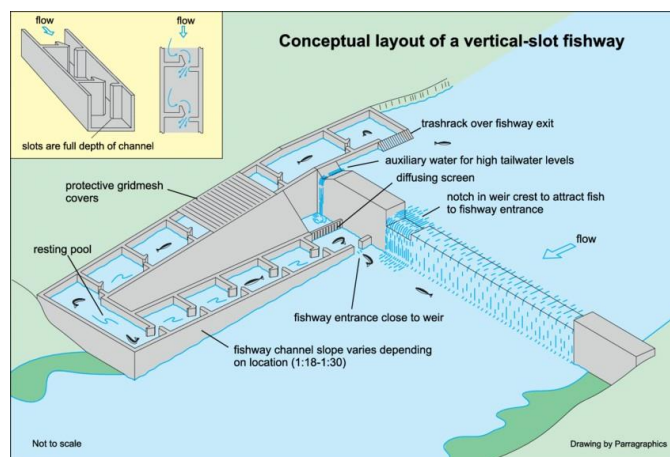


Gambar 2.19 Tipe *Pool Passes Fishway*

Sumber:(Aziza, 2014)

○ *Fishway Tipe Slot Vertical (Vertical Slot Passes)*

Pada *vertical slot* ini, dinding dipasang sejajar dan selang-seling hingga membuat serangkaian kolam, sehingga ikan dapat dengan mudah mempertahankan posisi berenang saat memasuki kolam. Perjalanan melewati kolam membutuhkan upaya berenang yang besar untuk melalui rangkaian bilik. Kecepatan air pada bilik-bilik masih tetap sama dari atas ke bawah. Keuntungan utamanya dari *vertical slot* ini adalah kemampuannya untuk menangani variasi muka air yang besar. Biasanya perbedaan antar muka air pada kolam adalah 300 mm untuk ikan salmon dan 200 mm untuk ikan air tawar dewasa. *Vertical slot fishway* ini biasanya memiliki kemiringan 10%.

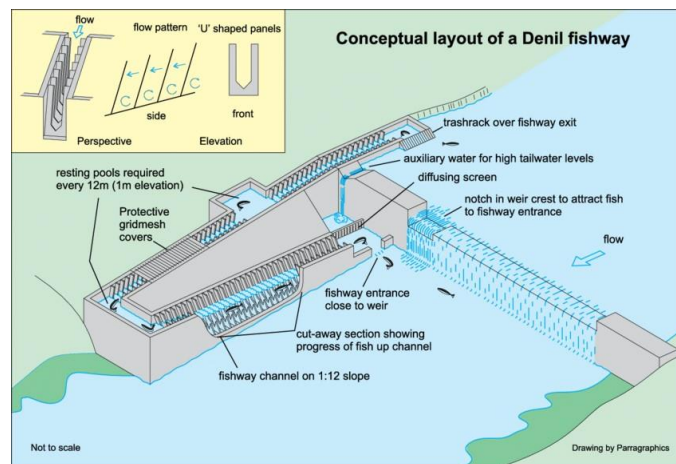


Gambar 2.20 Tipe *Vertical Slot Fishway*

Sumber: (Aziza, 2014)

- *Fishway Tipe Denil*

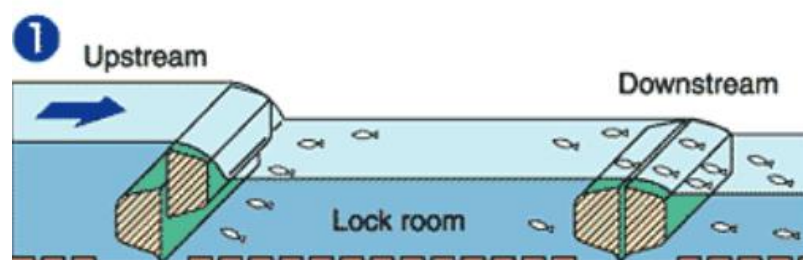
Konstruksi *fishway* tipe *denil* terdiri dari saluran lurus dan sekat penghalang melintang yang dipasang miring dalam jarak pendek (*baffle*). Aliran diantara *baffle* akan mengalami kehilangan energi akibat penahan aliran oleh *baffle*. *Fishway* tipe *denil* menggunakan kemiringan relative lebih besar dibandingkan dengan *fishway* tipe lainnya, sehingga jarak horizontal dari hulu sampai hilir relatif pendek. *Fishway* tipe *denil* tidak memerlukan area yang luas.

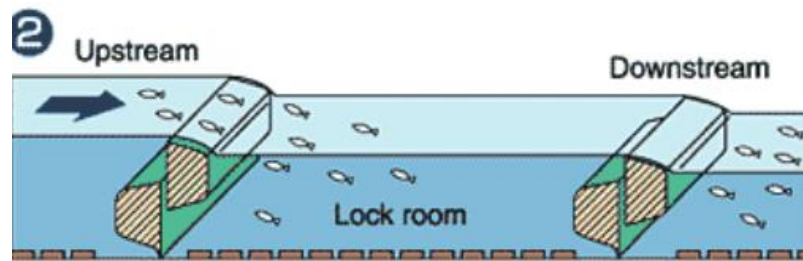


Gambar 2.21 *Fishway Tipe Denil*

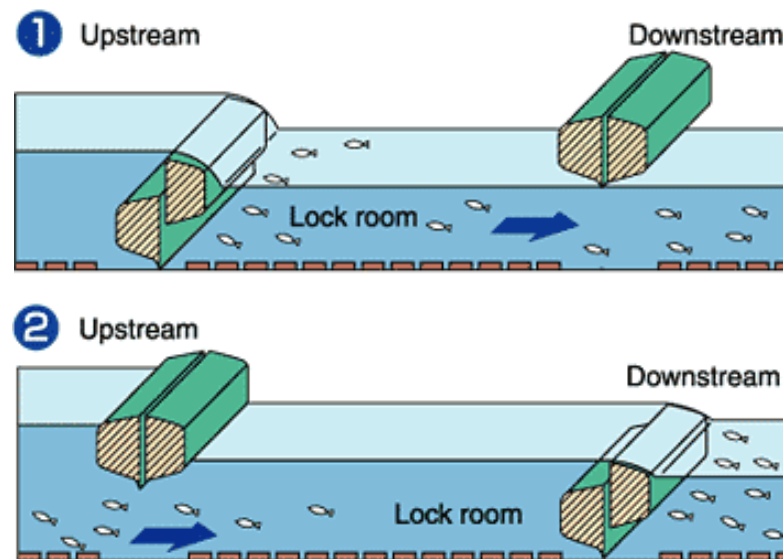
- *Fishway Tipe Lock*

Fish lock merupakan *fishway* tipe alternatif apabila lokasi tersebut tidak terdapat ruang yang cukup untuk *fishway* yang lainnya dan beda tinggi antara hulu dan hilir sangat tinggi. *Fish lock* digunakan untuk kebanyakan jenis ikan yang bermigrasi berkarakter lemah dalam berenang atau berukuran besar namun juga memungkinkan untuk ikan berukuran kecil. Berbagai peralatan mekanik, motor, dan pintu-pintu pada *fish lock* menyebabkan biaya operasional dan pemeliharaan lebih tinggi daripada *fishway* tipe lainnya.





Gambar 2.22 *Fishway Tipe Lock (Overflow Operation)*



Gambar 2.23 *Fishway Tipe Lock (Underflow Operation)*

2.2.3 Cara Pemilihan Tipe Tangga Ikan (*Fishway*)

Cara memilih tipe *fishway* berdasarkan skala prioritas yang cocok dengan situasi dan kondisi sungai dengan bangunan melintangnya menurut Agus Maryono (2008) dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Tujuan utamanya adalah menjaga kelangsungan dasar sungai sejauh mungkin. Sungai dilestarikan sebagai sistem perairan terbuka dari hulu sampai hilir (muara). Interupsi sungai harus dihindari dan semua kegiatan pembangunan sungai harus diupayakan untuk menghindari kemungkinan bangunan di seberang sungai. Jika kebutuhan air dari suatu sungai adalah mutlak, maka dapat digunakan anak sungai sebagai alternatif.
2. Jika bangunan melintang tersebut sudah ada di sungai yang bersangkutan, maka perlu penelitian apakah memungkinkan bahwa bangunan melintang sungai tersebut didekonstruksi (dibongkar), mengingat saat ini di Indonesia

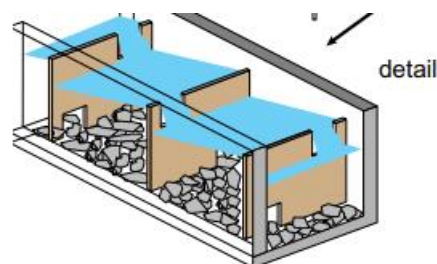
ada banyak bendungan yang saluran pengambilan irigasinya tidak berfungsi lagi karena perubahan lahan sawah menjadi pemukiman.

3. Jika pada poin 1 dan poin 2 tidak memungkinkan untuk dilakukan, artinya bendungan masih dibutuhkan, maka dilakukan penelitian untuk membangun tangga ikan (*fishway*). *Fishway* prioritas pertama adalah *fishway* alamiah tipe *ramp* dapat berupa ramp penuh sepanjang lebar bendung, atau *ramp* sebagian yang dipasang *groundsill* yang terkait. Jika tersedia tanah yang cukup di sekitar bangunan melintang, maka perlu dibangun *fishway* tipe saluran *by pass* dengan konstruksi saluran memanjang dan melintang mendekati kondisi alamiah.
4. Jika poin 3 tidak dapat dilaksanakan, maka perlu dibuat *fishway* tipe teknis (tipe *slot*, tipe *denil*, tipe *lock*, dan lain-lain). Pemilihan *fishway* tipe teknis yang cocok untuk suatu lokasi atau kondisi sungai tertentu sampai sekarang belum ada ketentuan pokoknya. Disarankan untuk memilih tipe *fishway* yang memenuhi kriteria sederhana, mudah perawatannya, dan memerlukan biaya operasional yang murah. Untuk itu tipe-tipe *slot*, *denil*, dan *rhomboid* dianjurkan untuk dipilih. Sedangkan tipe *lock* dan *lift* termasuk yang kurang disarankan karena biaya operasional dan investasinya mahal, kecuali tersedia dana yang lebih dari cukup.

2.2.4 Outlet Tangga Ikan (*Fishway*)

Outlet fishway merupakan bukaan pada bagian hilir *fishway* yang berada di tempat yang selalu tergenang air. Karena agar migrasi ikan ke hulu tidak terhalang dan *fishway* dapat berfungsi sebagaimana mestinya.

Ikan yang akan naik selalu berenang melawan arus air. Ketika ikan tidak bisa melawan arus atau terjunan, mereka akan menemukan *outlet* atau jalan menuju *fishway* dan mencoba melewatinya.



Gambar 2.24 *Outlet Fishway*

2.2.5 Inlet Tangga Ikan (*Fishway*)

Inlet fishway merupakan bukaan pada bagian hulu *fishway*. *Inlet fishway* dibuat dengan jarak relatif jauh dengan *inlet* pintu pengambilan melalui bendungan atau melalui *inlet* saluran penghantar ke rumah turbin pada bendungan. Dengan demikian ikan tidak terjebak masuk ke aliran yang menuju saluran irigasi atau menuju turbin.

Jarak minimum antara *inlet fishway* dan *inlet* turbin atau ruji, ruji penghalang adalah 5 meter. Jika kecepatan air di hulu lebih dari 0,5 m/detik, maka pada bagian depan saluran masuk *fishway* harus dibuat dinding pemisah memanjang secukupnya antara aliran utama dengan aliran yang masuk ke *inlet fishway*.



Gambar 2.25 *Inlet Fishway*

2.2.6 Debit dan Kecepatan Aliran pada Bangunan Tangga Ikan (*Fishway*)

Debit yang dipakai untuk mengairi *fishway* pada umumnya relatif kecil dibandingkan dengan debit yang mengalir pada sungai bersangkutan. Untuk menjamin bahwa setiap ikan dan juga biota kecil lainnya dapat melewati *fishway*, maka tingkat turbulensi aliran air pada *fishway* harus serendah mungkin.

Kecepatan air pada penyempitan antara batu-batuan atau dinding penyekat dengan batuan terdekat tidak boleh melebihi 2 m/detik. Kecepatan rata-rata pada penampang melintang *fishway* harus kurang dari 2 m/detik. Aliran pada *fishway* dipersyaratkan secara umum berupa aliran sub-kritis (mengalir).

2.2.7 Panjang Saluran dan Kemiringan

Dalam pendimensian *fishway*, beda tinggi muka air maksimum antar kolam pada *fishway* perlu diperhatikan. Beda tinggi muka air antar kolom pada *fishway* yang diperbolehkan adalah sebesar 20 cm (0,20 m). Di atas nilai tersebut dapat

menghasilkan aliran dengan kecepatan melebihi 2 m/detik serta kemiringan memanjang fishway tidak melebihi 1:15.

Pada bangunan *fishway* harus dilengkapi dengan kolam penenang atau zona tenang, dimana ikan dapat beristirahat jika memerlukan saat menuruni *fishway*. Zona tenang pada *fishway* tipe *ramp*, *fishway* tipe *lock*, dan *fishway* tipe *pool passes* perlu dibuat. Pada tipe-tipe lain yang tidak ada zona tenang, perlu dibuat kolam penenang dengan tingkat turbulen rendah. Ukuran dimensi kolam penenang berlaku bahwa kerapatan tenaga dan kehilangan energi tidak lebih dari 50 W/m³.

Pada umumnya perbedaan tinggi untuk naik tangga secara menerus adalah 2 m. pada setiap 2 m perlu ada kolam penenang, meskipun untuk jenis-jenis ikan tertentu dapat berbeda. Misalnya ikan salmon mampu mencapai beda tinggi 10 m sedangkan golongan *Cyprinide* mampu mencapai beda tinggi 6-8 m.

2.2.8 Pembuatan Dasar Saluran Tangga Ikan (*Fishway*)

Konstruksi dasar saluran *fishway* disusun menggunakan batuan batuan kasar dengan variasi tinggi, sehingga terdapat diversifikasi kedalaman muka air pada saluran *fishway* yang cukup dengan kedalaman minimal 0,2 m. Jenis batuan yang digunakan berasal dari batuan setempat agar kondisi alaminya tetap terjaga. Rongga-rongga pada batuan yang dipasang dimaksudkan sebagai tempat berlindung mikroorganisme untuk berlindung.

2.2.9 Waktu Berfungsinya Tangga Ikan (*Fishway*)

Waktu ikan akan menaiki dan menuruni *fishway* sangat bergantung dari jenis ikan yang ada di sungai tersebut. Demikian juga kapan migrasi ikan berlangsung sangatlah bervariasi. Misalnya, di daerah empat musim seperti Eropa, golongan *Cyprinidae* akan bermigrasi pada musim semi dan musim panas, sedang ikan salmon bermigrasi pada pertengahan musim dingin. Sedang migrasi fauna *benthos invertebrate* berlangsung bersesuaian dengan periode perkembangan tumbuhan pinggir sungai.

Pola waktu migrasi sangat bervariasi pada migrasi harian tergantung pada jenis ikan. *Fishway* harus dapat berfungsi sepanjang waktu (24 jam). Namun, untuk kondisi banjir dan kering maksimum (misalnya 30 hari banjir tinggi dan 30 hari kering), *fishway* boleh tidak berfungsi, karena pada saat banjir tinggi dan kering

maksimum aktivitas migrasi ikan pada umumnya tidak berlangsung, meskipun dinyatakan bahwa beberapa jenis ikan justru bermigrasi pada saat banjir, misalnya sidat.

2.3 Analisis Hidraulika Tangga Ikan (*Fishway*) dengan *Software HEC-RAS*

Analisis hidraulika penampang *fishway* dihitung dengan menggunakan *software HEC-RAS*. Dengan analisis ini dapat diketahui elevasi muka air pada penampang *fishway* saat suatu debit air melalui bangunan *fishway* tersebut. Hasil dari analisis ini merupakan parameter untuk perencanaan bangunan *fishway*.

Data-data yang diperlukan dalam menganalisis penampang *fishway* dengan bantuan *software HEC-RAS* adalah:

1. Gambar rencana *fishway* (tampak atas dan potongan melintang di setiap bagian *fishway*).
2. Data debit *outflow* yang melewati *fishway*.
3. Data elevasi muka air bagian hulu sampai hilir *fishway*.

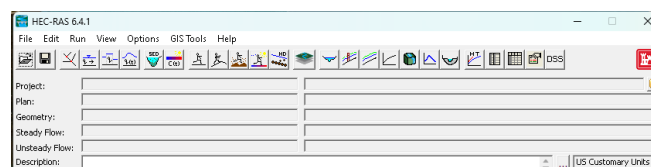
Sebelum memulai analisis hidraulika dilakukan, data-data yang diperlukan harus dipersiapkan. Tahapan analisis hidraulika dengan *software HEC-RAS* adalah sebagai berikut:

1. Membuat *file project HEC-RAS*.
2. *Input* data geometri *fishway*.
3. *Input* data debit.
4. *Running* simulasi untuk mendapat gambar 3D aliran.

2.3.1 Membuat *File Project HEC-RAS*

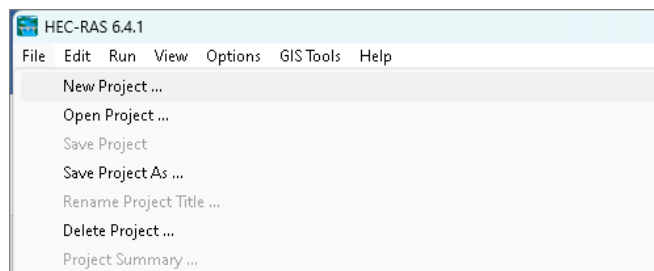
Langkah pertama pemodelan atau perhitungan hidraulika dengan *software HEC-RAS* adalah membuat *file project*. Suatu model dalam *HEC-RAS* disimpan dalam sebuah *file project* dengan format.prj. Tahapan membuat *file project HEC-RAS* adalah sebagai berikut:

1. Buka *software HEC-RAS*.



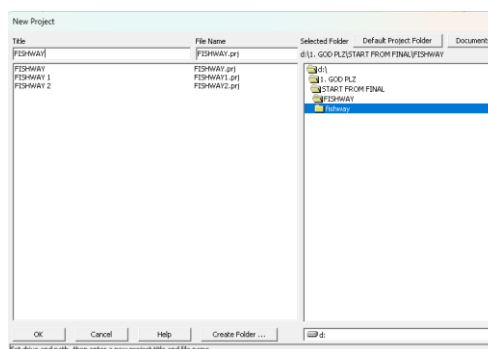
Gambar 2.26 Tampilan Utama *Software HEC-RAS*

- Pilih *new project* dari menu *file*.



Gambar 2.27 Pilihan Menu *File* pada *HEC-RAS*

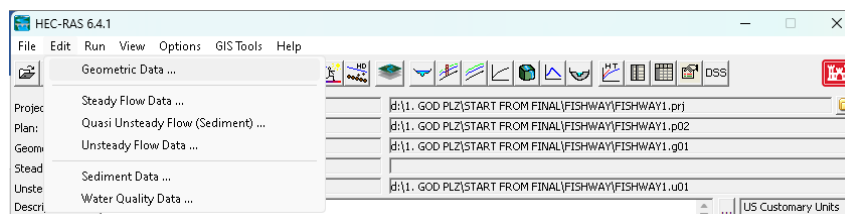
- Tuliskan judul *project* pada tempat yang disediakan dibawah *title*.



Gambar 2.28 Tampilan Penulisan Judul *Project* pada *HEC-RAS*

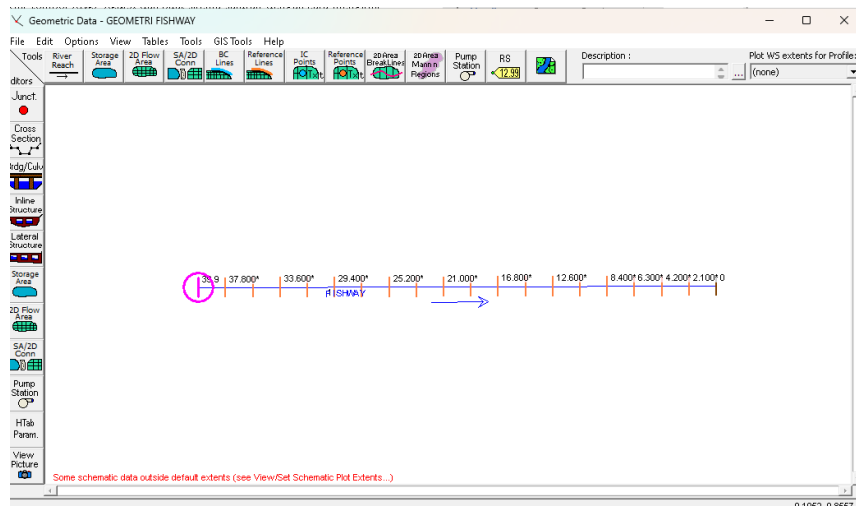
2.3.2 Input Data Geometri Tangga Ikan (*Fishway*)

- Setelah selesai membuat *file project*, lalu aktifkan layar *editor* data geometri dengan memilih menu **Edit – Geometri Data** lalu muncul *tab* untuk pengeditan data geometri.



Gambar 2.29 Tampilan Input Data Geometri pada *HEC-RAS*

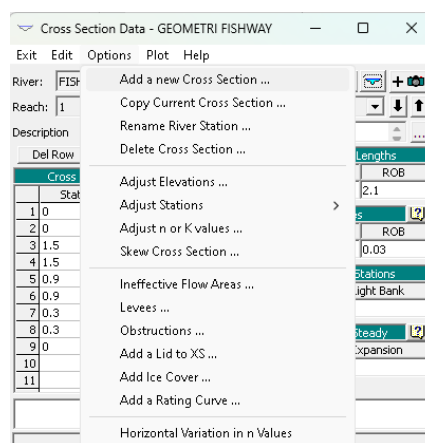
- Klik tombol *River Reach* dan buat skema saluran dengan cara mengklik di layar *editor*. Membuat skema alur *fishway* dapat dibuat dengan 2 titik ujung saluran. Klik kursor dilayar *editor* untuk menandai ujung hulu saluran, kemudian tarik garis dan *double* klik untuk menandai ujung hilir saluran. Lalu pada layar akan muncul *tab* penamaan, dalam simulasi ini diisi “Geometri *Fishway*” sebagai nama *River* dan sebagai nama *Reach*. Klik tombol OK.



Gambar 2.30 Penamaan Saluran pada *HEC-RAS*

2.3.3 Memasukan Data *Cross Section*

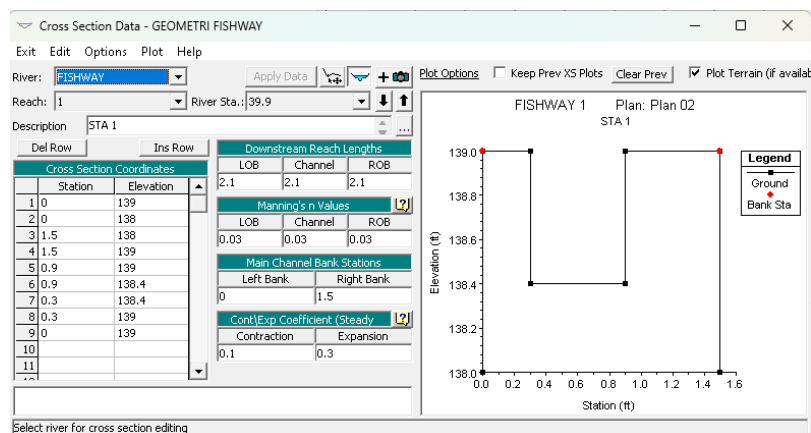
1. Klik *Cross Section* untuk menambahkan data *cross section* saluran. Menggambarkan tampak melintang saluran, pilih menu *Option – Add a new Cross Section*. Setiap *cross section* diidentifikasi sebagai *River STA* yang diberi nomor urut, dimulai dari hilir ke arah hulu.



Gambar 2.31 Tampilan Input Data *Cross Section* pada *HEC-RAS*

2. Dimulai dengan memasukan data *Cross Section* dari ujung kolam peredam (*End Sill*) dan untuk *River Station* diisi 0, karena nomor urut di hilir dimulai dari 0 lalu bertambah ke hulu.
3. Tuliskan koordinat titik-titik *Cross Section*, urutkan dari titik paling kiri ke kanan, *Stasion* adalah jarak kumulatif antara titik elevasi potongan dari titik paling pinggir yang bernilai 0 dan *Elevation* adalah elevasi titik pada *stasion*.

4. Data selanjutnya adalah **Downstream Reach Lengths** yang merupakan jarak tiap potongan melintang saluran dengan potongan melintang sebelumnya. Terdapat 3 bagian yaitu LOB (*Left Overbank*), Channel (*Main Channel*), dan ROB (*Right Overbank*).
5. Nilai koefisien kekasaran dasar, *Manning's n Value* adalah sebesar 0,03. angka tersebut didapat dari tabel koefisien *manning*.
6. Selanjutnya, **Main Channel Stations** merupakan batas tanggul dari saluran atau station titik saluran utama penampung. Untuk **Left Bank** diisikan batas tanggul sebelah kiri yaitu 0 dan **Right Bank** diisi batas tanggul sebelah kanan yaitu 1.5.
7. Data **Cont/Exp Coefficients** dibiarkan sesuai dengan nilai default yang ada di dalam HEC-RAS, yaitu 0.1 untuk **Contraction** dan 0.3 untuk **Expansion**.
8. Klik tombol *Apply Data* untuk menyimpan data ke dalam *HEC-RAS*. Di sisi kanan layar akan ditampilkan gambar tampang melintang seperti ditampilkan pada gambar 2.16.



Gambar 2.32 Tampilan Input Data Potongan Melintang pada *Software HEC-RAS*

9. Lakukan langkah diatas untuk STA lainnya. Setelah itu data geometri saluran disimpan dengan memilih menu *File – Save Geometri Data*. Isikan pada *title* “Geometri” sebagai judul dari data geometri tersebut lalu klik OK.

2.3.4 Analisis Hidraulika

Analisa hidraulika bertujuan untuk mengetahui kemampuan penampung dalam menampung debit rencana. Sebagaimana telah dijelaskan dalam bab III.

Analisis hidraulika ini terdiri dari analisis penampang *fishway* dan perencanaan penampang rencana.

Analisis penampang *fishway* dengan *software HEC-RAS* menggunakan debit sebagai input. Pada analisis penampang *fishway* dengan menggunakan simulasi aliran tetap (*Steady Flow Simulation*) menggunakan data debit sebagai input yaitu debit andalan yang dibangkitkan.

2.4 Konsep Dasar Aliran

Menurut ilmu mekanika fluida aliran khususnya air diklasifikasikan berdasarkan perbandingan antara gaya inersia dan gaya-gaya kekentalanya menjadi tiga bagian yaitu aliran laminar, turbulen, dan transisi. Variabel yang dipakai untuk klasifikasi ini adalah bilangan Reynolds.

2.4.1 Karakteristik Aliran

Kondisi biofisik setiap saluran terbuka memiliki karakter yang berbeda yang mencerminkan tingkat kepekaan dan potensi suatu saluran. Pengumpulan data fisik dengan mencatat beberapa faktor yang dominan pada suatu wilayah akan mencerminkan karakteristik suatu saluran.

Karakteristik aliran adalah gambaran spesifik mengenai aliran yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan keadaan topografi, tanah, geologi, vegetasi, penggunaan lahan, hidrologi, dan manusia. Aliran pada saluran terbuka merupakan aliran yang mempunyai permukaan yang bebas. Permukaan yang bebas itu merupakan pertemuan dua fluida dengan kerapatan ρ (*density*) yang berbeda. Biasanya pada saluran terbuka itu dua fluida itu adalah udara dan air dimana kerapatan udara jauh lebih kecil daripada kerapatan air.

Gerakan air pada saluran terbuka berdasarkan efek dari gravitasi bumi yang didistribusi tekanan dalam air umumnya bersifat hidrostatis karena kuantitasnya tergantung dari berat jenis aliran dalam kedalaman. Karena jenis berat aliran dapat diasumsikan tetap, maka tekanan hanya tergantung dari kedalamannya; semakin dalam tekanannya semakin besar. Namun pada beberapa kondisi bisa ditemukan distribusi tekanan tidak hidrostatis.

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran dalam saluran terbuka, dan dapat pula berupa aliran dalam pipa. Kedua jenis aliran tersebut memiliki prinsip

yang sangat berbeda. Aliran melalui saluran terbuka adalah aliran yang memiliki permukaan bebas sehingga memiliki tekanan udara walaupun berada dalam saluran tertutup. Adapun aliran dalam pipa merupakan aliran yang tidak memiliki permukaan bebas, karena aliran air mengisi saluran secara terus menerus, sehingga tidak dipengaruhi oleh tekanan udara dan hanya dipengaruhi oleh tekanan hidrostatis. Banyak faktor aliran yang berpengaruh terhadap pengendapan partikel dalam suatu aliran, tetapi yang terpenting adalah kecepatan endap dan karakteristik aliran (Takamatsu dan Naito, 1967). Simmon dan Senturk (1992) menekankan pentingnya turbulensi terhadap keberadaan sedimen di dalam suspensi. Turbulensi menjaga sedimen yang tersuspensi untuk tidak mengendap, bahkan mampu mengangkat sedimen yang sudah mengendap untuk tersuspensi lagi.

Karakter aliran yang paling sesuai untuk mengendapkan partikel sedimen adalah aliran laminar dengan kecepatan yang rendah. Banyak cara dilakukan untuk mendapatkan pola aliran yang seperti ini, atau yang lebih dikenal dengan “*plug-flow*”, seperti merancang posisi inlet dan outlet (Pearson et.al, 1995), mencegah pembentukan gelombang di permukaan dengan meminimalkan angin, menggunakan *baffle*/sekat, dan merancang bentuk atau geometri dari konstruksi.

2.4.2 Tipe Aliran

Mengkaji suatu aliran pada saluran terbuka, haruslah dipahami tentang sifat dan jenis aliran itu sendiri. Adapun tipe aliran pada saluran terbuka yakni dipengaruhi oleh adanya suatu permukaan bebas yang berkaitan langsung dengan parameter-parameter aliran seperti kecepatan, kekentalan, gradien serta geometri saluran. Aliran saluran terbuka dapat digolongkan berdasarkan pada berbagai kriteria, salah satu kriteria utama adalah perubahan kedalaman aliran (h) terhadap waktu (t) dan terhadap tempat (s).

1. Tipe Aliran Berdasarkan Kriteria Waktu

- a. Aliran Tetap (*Steady Flow*) yaitu aliran di mana kedalaman air (h) tidak berubah menurut waktu atau dianggap tetap dalam suatu interval waktu, dengan demikian kecepatan aliran pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu dan segala variabel disepanjang saluran sama.
- b. Aliran Tidak Tetap (*Unsteady Flow*) yaitu apabila kedalaman air (h) berubah menurut waktu demikian pula kecepatannya berubah menurut

waktu. Aliran ini terbagi dua yaitu: Aliran seragam tidak tetap (*Unsteady Uniform Flow*) dan aliran tidak tetap dan berubah-ubah (*Unsteady Varied Flow*). Aliran ini hampir tidak pernah terjadi.

- c. Aliran Seragam (*Uniform Flow*) yaitu aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas, debit konstan di sepanjang saluran sama. Contoh aliran di saluran/sungai pada kondisi tidak ada pengaruh pembendungan/terjunan, tidak ada penyempitan/pelebaran yang ekstrem.
 - d. Aliran Tidak Seragam (*Un-Uniform Flow*) yaitu aliran berubah-ubah (*Varied flow*) di sepanjang saluran terhadap kedalaman, luas, dan debit, Yang terdiri dari: Aliran tetap berubah lambat laun (*Gradually Varied Flow*) dan aliran tetap berubah dengan cepat (*Rapidle Varied Flow*).
2. Tipe Aliran Berdasarkan Kriteria Tempat
 - a. Aliran Seragam (*Uniform Flow*) yaitu: aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas penampang, dan debit konstan di sepanjang saluran sama.
 - b. Aliran Tidak Seragam (*Non Uniform Flow*) yaitu aliran dimana segala variabel seperti kedalaman, luas penampang, dan debit berubah di sepanjang saluran. Aliran ini disebut juga aliran berubah-ubah (*Varied Flow*) yaitu: Aliran berubah lambat laun (*Gradually Varied Flow*) dan aliran berubah dengan cepat.

2.4.3 Sifat Aliran

Sifat-sifat aliran saluran terbuka pada dasarnya ditentukan oleh adanya Pengaruh kekentalan (*viscositas*) dan pengaruh gravitasi dalam perbandingannya dengan gaya-gaya kelembaman (*inersia*) dari aliran. Tegangan permukaan sebenarnya juga dapat berpengaruh pada sifat-sifat aliran, namun dalam kebanyakan aliran tegangan permukaan tidak memegang peranan penting, oleh karena itu tidak diperhitungkan. Selanjutnya apabila perbandingan antara pengaruh gaya-gaya kelembaman dengan gaya-gaya kekentalan yang dipertimbangkan maka aliran dapat dibedakan menjadi: aliran laminar, aliran turbulen serta aliran transisi. Parameter yang dipakai sebagai dasar untuk membedakan sifat aliran tersebut adalah suatu parameter tidak berdimensi yang dikenal dengan angka Reynold (Re)

yaitu: perbandingan (*ratio*) dari gaya kelembaman (inersia) terhadap gaya-gaya kekentalan (*viscositas*) persatuan volume.

1. Sifat-sifat aliran berdasarkan pengaruh gaya kelembaman dengan gaya kekentalan yaitu:
 - a. Aliran Laminer yaitu suatu aliran dimana gaya-gaya kekentalan relatif lebih besar dibanding dengan gaya kelembaman sehingga kekentalan berpengaruh besar terhadap sifat aliran. Pada aliran ini partikel cairan seolah-olah bergerak secara teratur menurut lintasan tertentu.
 - b. Aliran Turbulen yaitu apabila kecepatan aliran lebih besar daripada kekentalan dalam hal ini butiran-butiran air bergerak menurut lintasan yang tidak teratur, tidak lancar, tidak tetap, walaupun butiran bergerak maju dalam kesatuan aliran secara keseluruhan.
 - c. Aliran Transisi yaitu Aliran peralihan dari laminar ke aliran turbulen dimana kekentalan relatif terhadap kecepatan.

Pengaruh kekentalan terhadap kelembaban dapat dinyatakan dengan bilangan Reynold. Reynold menerapkan analisis dimensi pada hasil percobaannya dan menyimpulkan bahwa perubahan dari aliran laminer ke aliran turbulen terjadi suatu harga yang dikenal dengan angka Reynold (*Re*).

$$Re = \frac{vR}{p} \quad (2.1)$$

Angka ini menyatakan perbandingan antara gaya-gaya kelembaman dengan gaya-gaya kekentalan yaitu:

Di mana:

Re = Angka Reynold

vR = Kecepatan rata-rata aliran (m/det)

R = Jari-jari Hidrolis (m)

p = kekentalan (*viscositas*) kinematik cairan (m²/det)

2. Sifat-sifat aliran berdasarkan perbandingan gaya kelembaman dengan gaya gravitasi:
- Aliran super kritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya lebih besar daripada kecepatan gelombangnya.
 - Aliran kritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya sama besar dengan kecepatan gelombangnya.
 - Aliran subkritis yaitu suatu aliran dimana kecepatan alirannya lebih kecil daripada kecepatan gelombangnya.

Parameter yang membedakan ketiga aliran tersebut adalah parameter yang tidak berdimensi yang dikenal dengan angka Froude (Fr) yaitu angka perbandingan antara gaya kelembaman dan gaya gravitasi, di rumuskan dengan:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h d}} \quad (2.2)$$

Fr = Angka Froude

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

h = Kedalaman aliran (m)

g = Gaya Gravitasi (m/det²)

Sehingga:

- Aliran bersifat Kritis apabila $Fr = 1$, dimana kecepatan aliran sama dengan kecepatan rambat gelombang.
- Aliran bersifat subkritis apabila $Fr < 1$, dimana kecepatan aliran lebih lambat daripada kecepatan rambat gelombang.
- Aliran bersifat superkritis apabila $Fr > 1$, dimana kecepatan aliran lebih besar daripada kecepatan rambat gelombang.

Suatu saluran panjang dengan tiga jenis kemiringan, subkritis, kritis dan superkritis. Pada kemiringan subkritis permukaan air di zona peralihan tampak bergelombang. Aliran di bagian tengah saluran bersifat seragam namun kedua ujungnya bersifat berubah. Pada kemiringan kritis permukaan air dari aliran kritis ini tidak stabil. Di bagian tengah dapat terjadi gelombang tetapi kedalaman rata-ratanya konstan dan alirannya dapat dianggap seragam. Pada kemiringan subkritis

permukaan air bealih dari keadaan subkritis menjadi superkritis setelah melalui terjunan hidrolis lambat laun.

2.5 Bendungan

Menurut Peraturan Pemerintah No. 37 Tahun 2010 tentang bendungan menyebutkan, bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk.

Pembangunan bendungan dan pengelolaan bendungan beserta waduknya bertujuan untuk meningkatkan kemanfaatan fungsi sumber daya air, pengawetan air, pengendalian daya rusak air, dan fungsi pengamanan tampungan limbah tambang (*tailing*) atau tampungan lumpur. Berdasarkan tujuan pembangunannya, bendungan dibagi menjadi dua yaitu:

1. Bendungan dengan Tujuan Tunggal (*Single Purpose Dam*), merupakan bendungan yang dibangun untuk memenuhi satu tujuan saja, misalnya untuk pembangkit listrik saja, untuk irigasi (pengairan), atau untuk pengendalian banjir saja, dll.
2. Bendungan Serbaguna (*Multi Purpose Dam*), merupakan bendungan yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan, misalnya untuk pembangkit listrik (PLTA) dan irigasi (pengairan), atau untuk pengendalian banjir dan PLTA, air minum dan air industri, dll.

Dalam (Nuramini, 2017 dalam jurnal (Setiawan, 2021) berdasarkan kegunaan-kegunaan tersebut maka potensi waduk dalam menampung air (kapasitas waduk atau *storage capacity*) dapat dibedakan menjadi tiga bagian (*zone*), yaitu:

1. Kapasitas Mati (*Dead Storage Zone*) dipergunakan untuk pengumpulan sedimen.
2. Kapasitas Efektif (*Effective/Usefull Storage*) merupakan kapasitas yang dipergunakan untuk konservasi sumber air (penyediaan air baku, irigasi, dll), sehingga setiap pemanfaatan waduk dalam konservasi waduk dapat memenuhi kapasitas efektif waduk.

3. Kapasitas Penahan Banjir (*Flood Control*) merupakan kapasitas waduk yang bertujuan untuk menahan kelebihan air guna mengurangi potensi kerusakan akibat banjir.

Bendungan tipe urugan adalah bendungan yang terbuat dari bahan urugan dari *borrow area* yang dipadatkan dengan menggunakan *vibrator roler* atau alat pemadat lainnya pada setiap hamparan dengan tebal tertentu (Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah, 2004). Bendungan urugan terbagi lagi atas beberapa tipe seperti diuraikan pada gambar di bawah. Hal yang perlu dipertimbangkan tentang pembangunan bendungan adalah konsekuensi daerah hilir. Konsekuensi daerah hilir yang kemungkinan dapat terkena banjir apabila bendungan runtuh dibagi dalam dua kelas (Sosrodarsono & Takeda, 1977) yaitu:

1. Konsekuensi besar, bila terdapat kelompok pemukiman penduduk (contoh: desa, kecamatan, kota) dan atau daerah usaha maupun industri baik yang sudah berkembang maupun yang akan dibangun.
2. Konsekuensi kecil, bila tidak terdapat atau terdapat sedikit rumah penduduk, dan atau daerah usaha maupun industri.