

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **II.1 Definisi Bendungan**

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 (PP No 37 Tahun 2010). Definisi lain bendungan atau dam adalah konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air menjadi waduk, danau, atau tempat rekreasi termasuk di antaranya menahan laju sedimentasi yang ditampung dalam tampungan mati/*dead storage*. 18 Waduk adalah wadah buatan yang terbentuk sebagai akibat dibangunnya bendungan (PP No 37 Tahun 2010). Waduk pada umumnya dibangun untuk pengembangan sumber daya air sungai, dengan menampung air pada waktu musim hujan untuk memperbaiki kondisi aliran sungai terutama pada musim kemarau. Hal ini untuk mengantisipasi kebutuhan air yang meningkat terutama pada musim kemarau. Di samping itu waduk biasanya dibangun untuk beberapa manfaat yang disebut multi guna atau *multi purpose* dam, misalnya untuk irigasi, penyediaan air baku (air minum), pembangkit listrik tenaga air. (peraturan pemerintah republik indonesia, n.d.).

#### **II.1.1 Fungsi Bendungan**

Secara umum fungsi utama bendungan adalah menyediakan simpanan air atau tampungan, sehingga ciri fisik yang paling penting adalah kapasitas simpanan atau tampungan (Linsley, 1995).

Bendungan dapat dimanfaatkan antara lain sebagai berikut:

1. Irigasi.

Pada saat musim penghujan, hujan yang turun di daerah tangkapan air sebagian besar akan mengalir ke sungai. Kelebihan air yang terjadi dapat di tampung bendungan sebagai persediaan sehingga pada saat musim kemarau tiba air tersebut dapat digunakan untuk berbagai keperluan antara lain irigasi lahan

pertanian.

2. Pembangkit Listrik Tenaga Air.

Dalam menjalankan fungsinya sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), bendungan dikelola untuk mendapatkan kapasitas listrik yang dibutuhkan. PLTA adalah suatu sistem pembangkit listrik yang biasanya terintegrasi dalam bendungan dengan memanfaatkan energi mekanis aliran air.

3. Pengendali Banjir.

Dalam menjalankan fungsinya sebagai pengendali banjir, bendungan berfungsi sebagai pengendali daya rusak air akibat banjir. Pada saat musim penghujan, hujan yang turun dengan intensitas tinggi di daerah tangkapan air sebagian besar akan mengalir ke sungai. Volume air yang besar dari sungai di hulu ditampung bendungan sehingga di hilir bisa diminimalisasikan terjadinya banjir.

4. Penyedia Air Baku.

Air baku adalah air bersih yang dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air minum dan air rumah tangga. Bendungan selain sebagai sumber pengairan persawahan juga dimanfaatkan sebagai sumber penyediaan air baku untuk bahan baku air minum dan air rumah tangga. Air yang dipakai harus memenuhi persyaratan sesuai kegunaannya.

5. Pariwisata.

Dengan pemandangan yang indah, bendungan juga dapat dimanfaatkan sebagai tempat rekreasi.

6. Perikanan Darat.

Untuk mengganti mata pencaharian para penduduk desa yang desanya ditenggelamkan untuk pembuatan bendungan yang dulu bermata pencaharian sebagai petani, sekarang beralih ke perikanan. Dengan memanfaatkan bendungan ini para penduduk dapat membuat rumah apung yang digunakan untuk perikanan air tawar.

## **II.1.2 Klasifikasi Penggunaan Bendungan**

Bendungan mempunyai bermacam-macam jenis, antara lain (Saronu.W, Eko and Asmoro, Widhi; 2007):

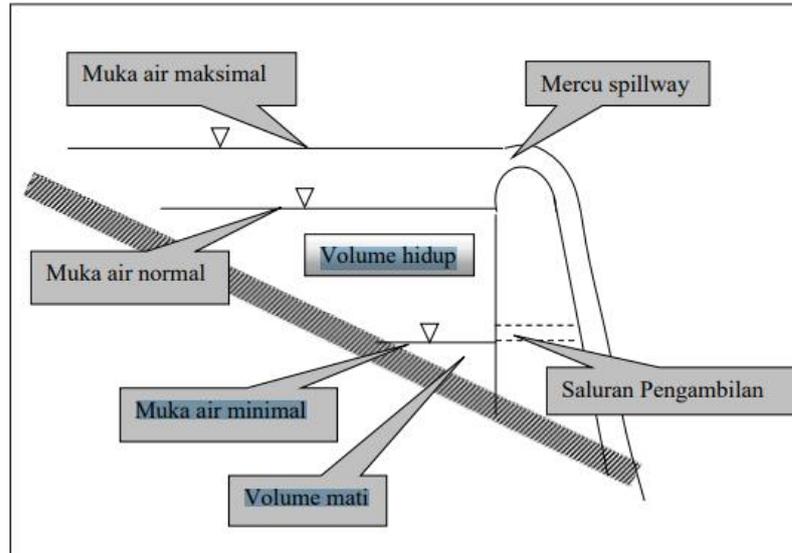
1. Tipe bendungan berdasarkan pembangunannya:
  - a. Bendungan dengan tujuan tunggal (*single purpose dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi satu tujuan saja, misalnya untuk pembangkit tenaga listrik, irigasi, pengendali banjir, atau tujuan lainnya tetapi hanya untuk satu tujuan saja.
  - b. Bendungan serbaguna (*multipurpose dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk memenuhi beberapa tujuan, misalnya: Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dan irigasi, pengendali banjir dan PLTA, air minum dan irigasi, dan lain sebagainya.
2. Tipe bendungan berdasarkan penggunaannya:
  - a. Bendungan penampung air (*storage dam*) adalah bendungan yang digunakan untuk menyimpan air pada masa surplus dan dipergunakan pada masa kekurangan, termasuk dalam bendungan penampung adalah tujuan rekreasi, perikanan, pengendali banjir, dan lain-lain.
  - b. Bendungan pembelok (*diversion dam*) adalah bendungan yang digunakan untuk meniggikan muka air, biasanya untuk keperluan mengalirkan air ke dalam sistem aliran menuju ke tempat yang memerlukan.
  - c. Bendungan penahan (*detention dam*) adalah bendungan yang digunakan untuk memperlambat dan mengusahakan seminimal mungkin efek aliran banjir yang mendadak. Air ditampung secara berkala/sementara, dialirkan melalui pelepasan (*outlet*). Air ditahan selama mungkin dan dibiarkan meresap di daerah sekitarnya.
3. Tipe bendungan berdasarkan jalannya air:
  - a. Bendungan untuk dilewati air (*overflow dam*) adalah bendungan yang dibangun untuk dilimpasi air pada bangunan pelimpah (*spillway*).
  - b. Bendungan untuk menahan air (*non overflow dam*) adalah bendungan yang sama sekali tidak boleh dilimpasi air.
4. Tipe bendungan berdasarkan material pembentuknya:
  - a. Bendungan urugan (*rock fill dam, embankment dam*) adalah bendungan yang dibangun dari hasil penggalian bahan (material) tanpa tambahan bahan lain yang bersifat campuran secara kimiawi, jadi betul-betul bahan

pembentuk bangunan asli. Bendungan ini masih dibagi lagi menjadi dua yaitu bendungan urugan serba sama (*homogeneous dam*) adalah bendungan apabila bahan yang membentuk tubuh bendungan tersebut terdiri dari tanah yang hampir sejenis dan mempunyai gradasi (susunan ukuran butiran) hampir seragam. Kedua adalah bendungan zonal, adalah bendungan apabila timbunan yang membentuk tubuh bendungan terdiri dari batuan dengan gradasi (susunan ukuran butiran) yang berbeda-beda dalam urutan pelapisan tertentu.

- b. Bendungan beton (*concrete dam*) adalah bendungan yang dibuat dari konstruksi beton baik dengan tulangan maupun tidak. Kemiringan permukaan hulu dan hilir tidak sama pada umumnya bagian hilir lebih landai dan bagian hulu mendekati vertikal dan bentuknya ramping. Bendungan ini dibagi lagi menjadi dua yaitu bendungan beton berdasarkan berat sendiri stabilitas tergantung pada massanya, bendungan beton dengan penyangga (*butterss dam*) dimana permukaan hulu menerus dan hilirnya pada jarak tertentu ditahan, bendungan berbentuk lengkung serta bendungan beton kombinasi.

### **II.1.3 Karakteristik Bendungan**

Karakteristik suatu bendungan digambarkan pada gambar II.1, yang merupakan bagian pokok dari bendungan yaitu volume hidup (*live storage*), volume mati (*dead storage*), tinggi muka air (TMA) maksimum, TMA minimum, tinggi mercu bangunan pelimpah berdasarkan debit rencana. Dari karakteristik bendungan tersebut didapatkan hubungan antara elevasi dan volume tampungan yang disebut sebagai lengkung kapasitas bendungan. yang berupa data untuk menggambarkan volume tampungan air didalam bendungan pada setiap ketinggian muka air.



**Gambar 2.1 Karakteristik Fisik Bendungan**

(Sumber: Sudjarwadi,1989)

#### **II.1.4 Kapasitas Bendungan**

Adapun beberapa istilah yang berhubungan dengan kapasitas bendungan:

- Kapasitas Tampungan Efektif:

Volume bendungan yang dapat digunakan/dimanfaatkan dengan memenuhi tujuan pembangunannya. Dalam hal ini, tujuan pembangunannya adalah pembangkit listrik tenaga air.

- Kapasitas Tampungan Mati:

Volume bendungan yang terletak dibagian dasar bangunan yang bertujuan untuk menampung sebaran sedimen.

- Kapasitas Tampungan Total:

Volume total bendungan yang meliputi volume efektif dan volume mati. Ada 2 (dua) metode dasar untuk menentukan kapasitas bendungan, yaitu: pendekatan grafis dengan metode Rippl dan pendekatan numerik (*Sequent Peak Algorithm*). Kedua metode memanfaatkan periode kritis, yang merupakan periode aliran keluar (permintaan atau pengambilan) dari bendungan lebih besar daripada aliran masuk. Perbedaan dalam akumulasi pengambilan dan akumulasi aliran masuk selama

periode kritis adalah penyimpanan yang diperlukan untuk memasok kebutuhan yang diminta dalam periode kritis (atau untuk menjamin ketersediaan yang aman). Jika periode waktu yang ditinjau mencakup lebih dari 1 (satu) periode kritis, penyimpanan maksimum bendungan terbesar diambil sebagai kapasitas bendungan.

### **II.1.5 Pola Operasi Bendungan**

Pada dasarnya operasi waduk adalah proses penampungan aliran sungai ke dalam sebuah waduk (*reservoir*) dan pelepasan air yang telah ditampung tersebut untuk berbagai tujuan tertentu. Pedoman pengoperasian waduk yaitu bagaimana caranya memanfaatkan kapasitas tampungan waduk dalam melakukan pengaturan (*regulation*) terhadap aliran sungai untuk berbagai tujuan tertentu. (Soetopo, 2010).

Pola operasi waduk bertujuan untuk membuat keseimbangan antara debit masukan (*inflow*), debit keluaran (*outflow*) dan perubahan tampungan. Oleh karena itu masalah tentang pengoperasiannya harus terencana sesuai dengan kapasitas yang ada untuk memenuhi kebutuhan di hilir.

Pengoperasian bendungan secara efektif, efisien dan optimal merupakan permasalahan yang kompleks karena melibatkan beberapa faktor seperti:

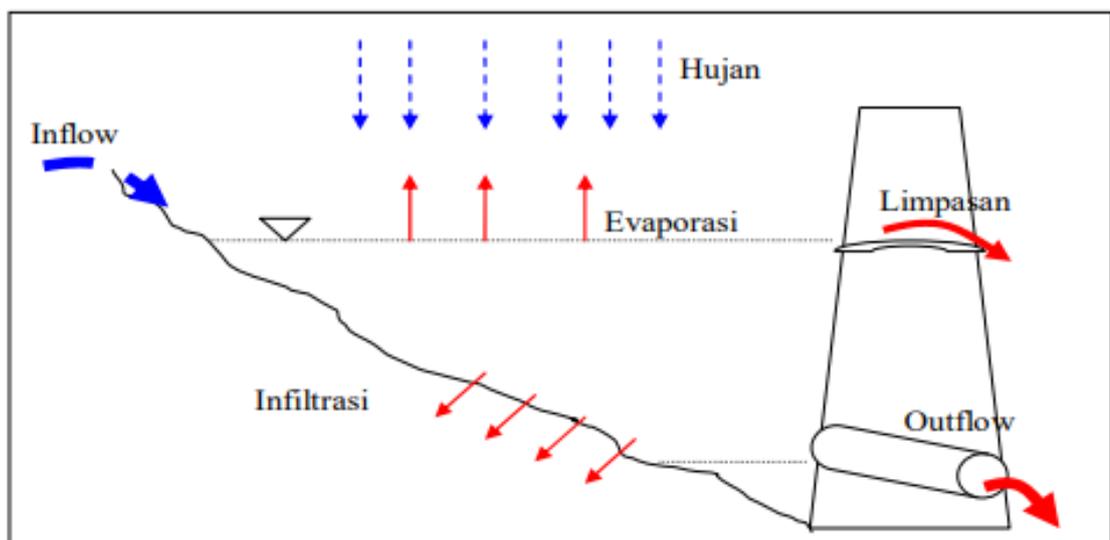
1. *Operasional policy*, pola kebijakan pengoperasian bendungan.
2. *Debit inflow* yang akan masuk ke bendungan yang tergantung dari ketepatan perencanaan debit yang akan masuk ke bendungan tersebut.
3. *Demand*, kebutuhan air untuk irigasi, air baku, dan PLTA.
4. Keandalan peralatan monitoring tinggi muka bendungan, debit aliran dan curah hujan.
5. Koordinasi antara instansi yang terkait.
6. Kemampuan oprasional.

Bila dalam kegiatan operasi, muka air bendungan masih berada didalam zona operasi, pada prinsipnya operasi/pengeluaran air bendungan masih dapat dilaksanakan sesuai rencana. Bila muka air bendungan berada di luar batas atas dan bawah, maka rencana pengeluaran air bendungan perlu disesuaikan. Menurut

Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No.37 Tahun 2010 tentang Bendungan, pola operasi bendungan terdiri atas:

- a. Pola operasi tahun kering.
- b. Pola operasi tahun normal.
- c. Pola operasi tahun basah.

Pola operasi bendungan ditetapkan oleh pengelola bendungan tiap tahun berdasarkan hasil prakiraan curah hujan, dimana pola operasinya harus memuat tata cara pengeluaran air dari bendungan sesuai dengan kondisi volume atau *elevasi* air bendungan dan kebutuhan air kapasitas sungai dihilir bendungan. Persamaan dasar pada operasi bendungan yaitu Aliran Masuk dikurangi Aliran Keluar adalah Perbedaan Tampung yang persamaannya seperti berikut dan ilustrasinya dapat dilihat pada Gambar II.2.



**Gambar 2.2 Neraca Air Bendungan**

(Sumber: Hadisusanto, Nugroho. 2011)

### II.1.6 Saluran Terbuka

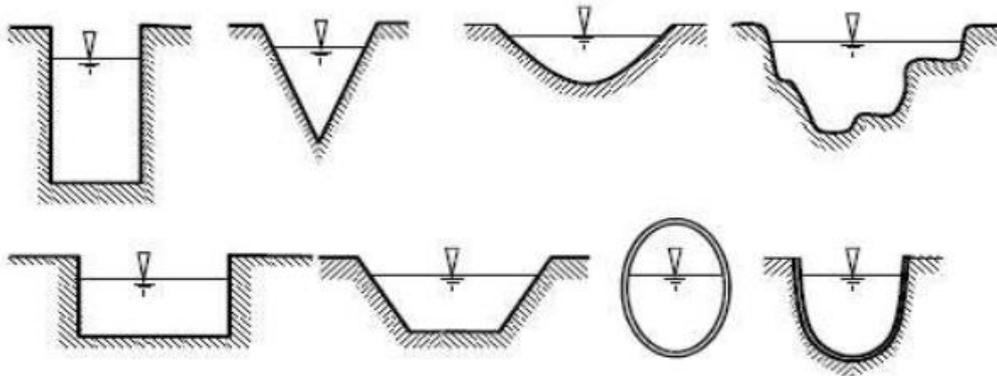
Aliran saluran terbuka adalah aliran yang dimana permukaan air memiliki bentuk yang bebas. Saluran terbuka dibagi menjadi 2 macam yaitu saluran alami dan saluran buatan. Saluran alami meliputi semua aliran air yang terbentuk secara alamiah tanpa ada campur tangan manusia dalam pembentukannya seperti sungai kecil pada hulu dan sungai besar pada muara, sedangkan untuk saluran buatan

merupakan saluran air yang terbentuk oleh campur tangan manusia seperti saluran irigasi, saluran drainase, saluran pembangkit listrik, saluran banjir, termasuk pemodelan saluran yang terdapat pada laboratorium guna melakukan penelitian.

Menurut Erizal (2013) dimana zat cair yang mengalir pada saluran terbuka mempunyai bidang kontak hanya pada dinding dasar saluran. Saluran terbuka dapat berupa:

- a. Saluran alamiah atau buatan..
- b. Galian tanah dengan atau tanpa lapisan penahan.
- c. Terbuat dar pipa, beton, batu bata, atau material lainnya.
- d. Dapat berbentuk persegi, segitiga, trapesium, lingkaran, tapal kuda, atau tidak beraturan.

Bentuk-bentuk saluran terbuka, baik saluran alami maupun buatan dapat dilihat pada **Gambar II.3:**



**Gambar 2.3 Bentuk-bentuk potongan melintang saluran terbuka**

(Erizal, 2013)

### II.1.6.1 Klasifikasi Saluran Terbuka

Secara umum aliran saluran terbuka dibagi menjadi 2 yaitu aliran permanen (*Steady flow*) dan aliran aliran tidak permanen (*Unsteady flow*). Aliran permanen memiliki kondisi dimana komponen aliran yang tetap atau tidak berubah terhadap waktu,

sedangkan aliran tidak permanen memiliki kondisi dimana komponen aliran dapat berubah terhadap waktu.

Menurut penjelasan Chow (1992) jenis aliran digolongkan menjadi beberapa jenis yang dibedakan dengan beberapa cara, yaitu:

1. Waktu sebagai kriteria:
  - a. Aliran tunak (*Steady flow*) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran tidak berubah atau bisa dikatakan konstan dalam suatu selang waktu tertentu.
  - b. Aliran tak tunak (*Unsteady flow*) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran berubah sesuai dengan waktu.
2. Ruang sebagai kriteria:
  - a. Aliran seragam (*Uniform flow*) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran sama pada setiap penampang saluran.
  - b. Aliran berubah (*non-uniform flow/varied flow*) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran berubah sepanjang saluran.
  - c. Berubah tiba-tiba (*rapidly varied*) aliran yang kedalaman alirannya berubah tiba-tiba pada jarak yang cukup pendek.
  - d. Berubah lambat laun (*gradually varied*) aliran yang kedalaman alirannya berubah lambat laun pada jarak yang relatif panjang.

## **II.2 Pengertian Sedimen**

Sedimen adalah pecahan-pecahan material yang umumnya terdiri atas uraian batu-batuan secara fisis dan secara kimia. Partikel seperti ini mempunyai ukuran dari yang besar (*boulder*) sampai yang sangat halus (*koloid*), dan beragam bentuk dari bulat, lonjong sampai persegi. Hasil sedimen biasanya diperoleh dari pengukiran sedimen terlarut dalam sungai (*suspended sediment*), dengan kata lain bahwa sedimen merupakan pecahan, mineral, atau material organik yang diangkut dari berbagai sumber dan diendapkan oleh media udara, angin, es, atau oleh air dan juga termasuk didalamnya material yang diendapkan dari material yang melayang dalam air atau dalam bentuk larutan kimia (Usman, 2014).

Sedimentasi adalah terbawanya material dari hasil pengikisan dan pelapukan oleh air, angin atau gletser ke suatu wilayah yang kemudian di endapkan. Semua batuan

dari hasil pelapukan dan pengikisan yang di endapkan lama-kelamaan akan menjadi batuan sedimen. Hasil proses sedimentasi di suatu tempat di tempat lain akan berbeda. Adapun proses sedimentasi itu sendiri dalam konteks hubungan dengan sungai meliputi, penyempitan palung, erosi, transportasi sedimentasi (*transport sediment*), pengendapan (*deposition*), dan pemadatan (*compaction*) dari sedimen itu sendiri. Karena prosesnya merupakan gejala sangat kompleks yang merupakan permulaan proses terjadinya erosi tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah, sedangkan bagian lainnya masuk ke dalam sungai terbawa aliran menjadi sedimen (Pangestu dan Haki, 2013).

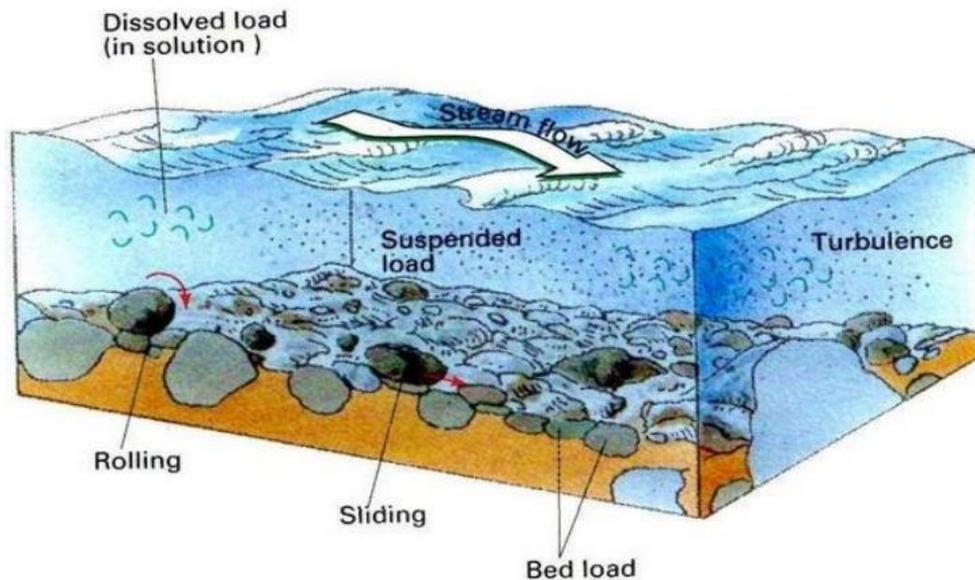
### II.2.1 Sumber Sedimen

Menurut asalnya sedimen dibagi menjadi 4 (empat) macam yaitu;

1. *Sedimen lithogenous* ialah sedimen yang berasal dari sisa pelapukan (*weathering*) batuan dari daratan, lempeng kontinen termasuk yang berasal dari kegiatan vulkanik.
2. *Sedimen biogenous* ialah sedimen yang berasal dari organisme laut yang telah mati dan terdiri dari remah-remah tulang, gigi geligi dan cangkang-cangkang tanaman maupun hewan mikro.
3. *Sedimen hydrogenous* yakni sedimen yang berasal dari komponen kimia air laut dengan konsentrasi yang kelewat jenuh sehingga terjadi pengendapan (*deposisi*) didasar laut contohnya mangan (Mn) berbentuk nodul, fosforite (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), dan glauconite (hidro silikat yang berwarna kehijauan dengan komposisi yang terdiri dari ion-ion K, Mg, Fe dan Si).
4. *Sedimen cosmogenous* merupakan sedimen yang berasal dari luar angkasa di mana partikel dari benda-benda angkasa ditemukan di dasar laut dan banyak mengandung unsur besi sehingga mempunyai respons magnetik dan berukuran antara 10- 640  $\mu$  (Munandar dkk, 2014).

Biasanya suatu kawasan sungai tidak ada sedimen dasar yang hanya terdiri dari satu tipe substrat saja melainkan terdiri dari kombinasi tiga fraksi yaitu pasir, lumpur, dan tanah liat. Menurut Rifardi (2008) ukuran butir sedimen dapat menjelaskan hal-hal berikut: 1) menggambarkan daerah asal sedimen, 2) perbedaan jenis partikel

sedimen, 3) ketahanan partikel dari bermacam-macam komposisi terhadap proses pelapukan (*weathering*), erosi, abrasi dan transportasi serta 4) jenis proses yang berperan dalam transportasi dan deposisi sedimen. Adapun tipe-tipe substrat sedimen yang biasanya terdapat di dasar suatu sungai dapat dilihat pada **Gambar II.4** berikut:



**Gambar 2.4 Tipe-Tipe Substrat Sedimen di Dasar Sungai**

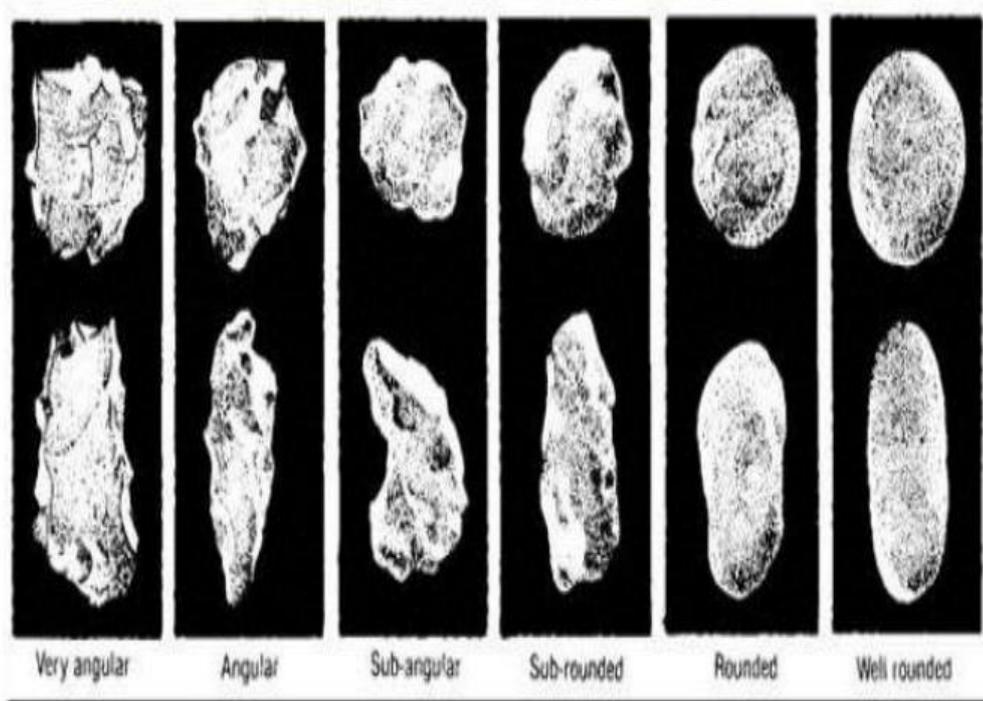
(Sumber: Munandar. 2014)

## II.2.2 Tekstur Sedimen

Tekstur adalah kenampakan sedimen yang berkaitan dengan ukuran, bentuk, dan susunan butir sedimen. Suatu endapan sedimen disusun dari berbagai ukuran partikel sedimen yang berasal dari sumber yang berbeda-beda, dan percampuran ukuran ini disebut dengan istilah populasi. Ada tiga kelompok populasi sedimen yaitu:

1. kerikil (*gravel*), terdiri dari partikel individual: *boulder*, *cobble* dan *pebble*.
2. pasir (*sand*), terdiri dari: pasir sangat kasar, kasar, sedang, halus dan sangat halus.
3. lumpur (*mud*), terdiri dari *clay* dan *silt*. Ukuran butir partikel sedimen adalah salah satu faktor yang mengontrol proses pengendapan sedimen di sungai, semakin kecil ukuran butir semakin lama partikel tersebut dalam air dan semakin jauh diendapkan dari sumbernya, begitu juga sebaliknya. Ada

beberapa kategori kebulungan dan keruncingan dari suatu butiran sedimen yang ada di sungai seperti ditunjukkan pada **Gambar II.5** berikut:



**Gambar 2.5** Kategori Kebulungan dan Keruncingan Butiran Sedimen

(Sumber: Munandar. 2014)

**Tabel 2.1** Klasifikasi Ukuran Butir Menurut American Geophysical Union

Interval/Range (mm)	Nama	Interval/Range (mm)	Nama
4096 - 2048	Batu Sangat Besar ( <i>Very Large Boulders</i> )	1/2 – 1/4	Pasir Sedang ( <i>Medium Sand</i> )
2048 - 1024	Batu Besar ( <i>Large Boulders</i> )	1/4 – 1/8	Pasir Halus ( <i>Fine Sand</i> )
1024 - 512	Batu Sedang ( <i>Medium Boulders</i> )	1/8 – 1/16 (S/D 0.0625)	Pasir Sangat Halus ( <i>Very Fine Sand</i> )
512 - 256	Batu Kecil ( <i>Small Boulders</i> )	1/16 - 1/32	Lumpur Kasar ( <i>Coarse Silt</i> )
256 - 128	Kerikil Besar ( <i>Large Cobbles</i> )	1/32 – 1/64	Lumpur Sedang ( <i>Medium Silt</i> )
128 - 64	Krikil Kecil ( <i>Small Cobbles</i> )	1/64 – 1/128	Lumpur Halus ( <i>Fine Silt</i> )
64 – 32	Kerikil Sangat Kasar ( <i>Very Coarse Gravel</i> )	1/128 – 1/256	Lumpur Sangat Halus ( <i>Very Fine Silt</i> )

32 – 16	Kerikil Kasar ( <i>Koarse Gravel</i> )	1/256 – 1/512	Lempung Kasar ( <i>Coarse Clay</i> )
16-Aug	Kerikil Sedang ( <i>Medium Gravel</i> )	1/512 – 1/1024	Lempung Sedang ( <i>Medium Clay</i> )
08-Apr	Kerikil Halus ( <i>Medium Gravel</i> )	1/1024-1/2048	Lempung Halus ( <i>Fine Clay</i> )
04-Feb	Kerikil Sangat Halus ( <i>Very Fine Gravel</i> )	1/2048-1/4096	Lempung Sangat Halus ( <i>Very Fine Clay</i> )
02-Jan	Pasir Sangat Kasar ( <i>Very Coarse Sand</i> )		Koloid
01/01/2002	Pasir Kasar ( <i>Coarse Sand</i> )		

(Sumber: Junaidi dan Restu,2011)

Beberapa ahli hidraulika menggunakan klasifikasi ukuran butiran menurut *AGU* (*American Geophysical Union*) sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel II.1 di atas.

Berdasarkan Skala *Wentworth* sedimen dapat dikelompokkan berdasarkan ukuran butirnya, yakni lempung, lanau, pasir, kerikil, koral (*pebble*), *cobble*, dan batu (*boulder*). Skala tersebut menunjukkan ukuran standar kelas sedimen dari fraksi berukuran mikron sampai beberapa mm dengan spektrum yang bersifat kontinu. Krumbein (1934) dalam Dyer (1986) mengembangkan Skala *Wentworth* dengan menggunakan unit phi ( $\phi$ ). Tujuannya untuk mempermudah pengklasifikasian apabila suatu sampel sedimen mengandung partikel yang berukuran kecil dalam jumlah yang besar.

Diameter ukuran butiran suatu partikel mencerminkan keberadaan partikel dari jenis yang berbeda, daya tahan partikel terhadap proses pelapukan, erosi atau abrasi serta proses pengangkutan dan pengendapan material, misalnya pergerakan air dan udara umumnya memisahkan partikel dari ukuran aslinya dan selanjutnya sedimen dari berbagai sumber yang berbeda akan bertemu dan menghasilkan percampuran antar ukuran yang berbeda-beda. Percampuran ini ditetapkan dalam tiga kategori populasi yaitu kerikil, pasir dan lumpur sekaligus sebagai subyek percampuran. Ketiga kategori tersebut merupakan subyek dalam percampuran sedimen dengan proporsi masing-masing ukuran dinyatakan dalam persen.

### **II.2.3 Parameter Statistik Sedimen**

Dalam menentukan gambaran lingkungan pengendapan khususnya yang berperan dalam proses pengendapan (*sedimentasi*) dan arah transpor sedimen dapat diperoleh dengan beberapa metode diantaranya dengan cara menghitung parameter statistika sedimen. Untuk mengetahui besaran nilai-nilai parameter perlu dihitung berdasarkan pada ukuran ayakan dalam satuan phi ( $\phi$ ) untuk ukuran butiran dalam satuan mm (Arjenggi dkk, 2013).

### **II.2.4 Parameter Sungai Yang Mempengaruhi Sedimen**

Adapun parameter sungai yang dapat mempengaruhi terendapnya sedimen yaitu kecepatan arus, parameter kimia dan fisika. Parameter-parameter tersebut adalah sebagai berikut:

#### **1. Kecepatan arus Arus**

adalah suatu gerakan air yang mengakibatkan perpindahan horizontal massa air yang disebabkan oleh angin yang bertiup melintasi permukaan dan perbedaan densitas air sungai. Adanya sedimen kerikil menunjukkan bahwa arus pada daerah itu relatif kuat sehingga sedimen kerikil umumnya ditemukan pada daerah terbuka, sedangkan sedimen lumpur terjadi akibat arus yang tenang dan dijumpai pada daerah dimana arus terhalang (Munandar dkk, 2014).

Thrumen dalam Tampubolon (2010) menyatakan bahwa pergerakan sedimen dipengaruhi oleh kecepatan arus dan ukuran butiran sedimen. Semakin besar ukuran butiran sedimen tersebut maka kecepatan arus yang dibutuhkan juga akan semakin besar untuk mengangkut partikel sedimen tersebut. Arus juga merupakan kekuatan yang menentukan arah dan sebaran sedimen. Kekuatan ini juga yang menyebabkan karakteristik sedimen berbeda sehingga pada dasar sungai disusun oleh berbagai kelompok populasi sedimen. Secara umum partikel berukuran kasar akan diendapkan pada lokasi yang tidak jauh dari sumbernya, sebaliknya partikel yang berukuran halus akan lebih jauh dari sumbernya (Daulay dkk, 2014).

## 2. Kimia

Proses kimia mempengaruhi proses pengendapan (sedimentasi) di sungai. Perubahan PH air sungai mempengaruhi proses pelarutan dan presipitasi partikel-partikel sedimen. Reaksi kimia dalam sedimen berhubungan dengan PH khususnya kalsium karbonat yang terjadi sebagai partikel batuan dan semen. Reaksi kimia terjadi diantara partikel-partikel tersebut dengan air (Munandar dkk, 2014).

## 3. Fisika

Proses terendapnya sedimen antara satu tempat dengan tempat lainnya mempunyai perbedaan hal ini disebabkan oleh perbedaan suhu dari sungai itu sendiri. Hubungan antara suhu dengan proses pengendapan 12 sedimen yaitu partikel dengan ukuran yang sama dideposisi lebih cepat pada suhu rendah dibandingkan dengan suhu tinggi (Daulay dkk, 2014).

### **II.2.5 Faktor yang mempengaruhi sedimen**

Sedimen dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor sebagai berikut:

1. Kecepatan aliran sungai Kecepatan aliran sungai/saluran terbuka dapat ditentukan dengan cara mengukur langsung atau dengan cara tidak langsung. Kecepatan aliran maksimal pada tengah alur sungai, bila sungai membelok maka kecepatan maksimal ada pada daerah cut of slope (terjadi *erosi*). Pengendapan terjadi bila kecepatan sungai menurun atau bahkan hilang.
2. *Gradien* / kemiringan lereng sungai Bila air mengalir dari sungai yang kemiringan lerengnya curam ke dataran yang lebih rendah maka kecepatan air berkurang dan tiba-tiba hilang sehingga menyebabkan pengendapan pada dasar sungai.
3. Debit Aliran Debit adalah volume air yang mengalir melalui suatu penampang melintang sungai atau saluran terbuka persatuan waktu. Proses pengukuran dan perhitungan kecepatan, kedalaman dan lebar aliran serta luas penampang basah untuk menghitung debit sungai atau saluran terbuka (SNI 8066:2015).

### **II.2.6 Daerah Aliran Sungai**

Daerah aliran sungai (DAS) adalah wilayah atau daerah yang dibatasi oleh pegunungan, bukit, atau dataran tinggi yang mengalirkan air ke satu sungai utama

atau anak sungai yang lebih kecil. Dalam DAS, air hujan dan air permukaan mengalir ke sungai utama melalui anak sungai, parit, dan selokan. Daerah aliran sungai sering juga disebut sebagai "*catchment area*" atau "*watershed*".

Fungsi dari daerah aliran sungai adalah berfungsi untuk menerima air hujan, sedimen, dan mengalirkannya melalui anak-anak sungai dan keluar pada satu titik (*outlet*) serta menjaga kualitas air.

DAS adalah suatu wilayah daratan yang dibatasi oleh batas alam berupa topografi yang berfungsi untuk menampung, menyimpan dan mengalirkan air yang diterima menuju ke sistem sungai terdekat yang selanjutnya bermuara di waduk atau danau atau laut. Definisi lain menyatakan DAS adalah suatu wilayah daratan yang secara topografik dibatasi oleh punggung-punggung gunung yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkannya ke laut melalui sungai utama.

Kerusakan DAS disebabkan oleh beberapa faktor, di antaranya adalah penebangan hutan secara besar-besaran, penggunaan lahan yang tidak sesuai, perubahan iklim, penambangan, pencemaran, dan kebakaran hutan. Penebangan hutan secara besar-besaran dapat menyebabkan tanah menjadi lebih mudah *erosi* dan mengurangi ketersediaan air. Penggunaan lahan yang tidak sesuai dapat merusak ekosistem dan menyebabkan *erosi* tanah dan pencemaran air. Perubahan iklim dapat menyebabkan perubahan pola curah hujan yang berdampak pada ketersediaan air dan risiko banjir dan kekeringan. Penambangan mineral dan batubara dapat merusak kualitas air dan tanah, sementara pencemaran air sungai dapat terjadi akibat limbah industri, domestik, dan pertanian yang dibuang ke dalam sungai tanpa pengolahan yang memadai. Kebakaran hutan dapat menghilangkan vegetasi dan meningkatkan risiko erosi tanah dan banjir. Pengelolaan DAS yang berkelanjutan perlu dilakukan untuk mengatasi masalah kerusakan DAS yang terjadi.

### **II.2.7 Karakteristik DAS**

Karakteristik DAS merupakan gambaran spesifik mengenai DAS yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan keadaan *morfometri*, *topografi*, tanah *geologi*, *vegetasi*, penggunaan lahan, hidrologi dan manusia. Karakteristik DAS

pada dasarnya dibagi menjadi 2 (dua) yaitu karakteristik *biogeofisik* dan karakteristik sosial ekonomi budaya dan kelembagaan (Anita Rahmawati et al., 2014). Karakteristik DAS secara rinci dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Topografi*: DAS terbentuk oleh kondisi *topografi*, yaitu bentuk dan kemiringan permukaan bumi yang mengarahkan aliran air ke sungai. Topografi yang curam dapat meningkatkan risiko banjir dan longsor, sedangkan *topografi* yang landai dapat memudahkan pengelolaan DAS.
2. *Hidrologi*: DAS memiliki siklus hidrologi yang unik, yaitu sirkulasi air dari atmosfer ke permukaan bumi, ke dalam tanah, dan ke dalam sungai. Ketersediaan air di DAS sangat penting untuk kehidupan manusia, flora, dan fauna.
3. Tutupan *Vegetasi*: *Vegetasi* di DAS memiliki peran penting dalam menjaga kesuburan tanah, memperbaiki kualitas air, dan menjaga kelestarian lingkungan. Jenis *vegetasi* di DAS dapat bervariasi, dari hutan hujan tropis, savana, hingga padang rumput.
4. Kualitas Tanah: Tanah di DAS memiliki kualitas yang berbeda-beda, tergantung pada jenis tanah, *vegetasi*, dan penggunaan lahan. Kualitas tanah yang baik dapat mempertahankan daya dukung DAS terhadap air dan mengurangi risiko *erosi*.
5. Ketersediaan Sumber Daya: DAS dapat memberikan sumber daya yang beragam, seperti air, kayu, dan tanah. Pengelolaan sumber daya di DAS harus dilakukan secara bijak dan berkelanjutan agar dapat dipertahankan kelestariannya.
6. Pemanfaatan Lahan: Pemanfaatan lahan di DAS dapat memengaruhi kualitas tanah, *vegetasi*, dan ketersediaan air. Pengelolaan lahan yang tidak tepat dapat merusak kesuburan tanah dan mengurangi daya dukung DAS terhadap air.
7. Aktivitas Manusia: Aktivitas manusia, seperti pembangunan infrastruktur, pertanian, pertambangan, dan industri, dapat memengaruhi kualitas air dan mengurangi daya dukung DAS terhadap air.

## II.2.8 Faktor Penyebab Rusaknya DAS

Faktor penyebab banjir secara manusia melibatkan aktivitas manusia yang berkontribusi terhadap peningkatan risiko banjir (Nuzul et al., 2021). Beberapa faktor tersebut adalah:

1. Perubahan tata guna lahan: Perubahan tata guna lahan yang tidak terencana atau tidak memperhatikan aspek drainase dapat mengurangi kemampuan alamiah tanah untuk menyerap air hujan. Pembangunan perkotaan yang cepat, konversi lahan pertanian menjadi kawasan pemukiman atau industri, serta penebangan hutan yang berlebihan dapat menyebabkan peningkatan aliran permukaan dan mengurangi penyerapan air oleh tanah.
2. Drainase yang buruk: Sistem drainase yang tidak memadai, termasuk saluran air yang tersumbat, selokan yang tidak terpelihara, atau drainase perkotaan yang tidak memadai, dapat menyebabkan genangan dan penumpukan air saat terjadi hujan deras. Kurangnya perawatan dan pemeliharaan sistem drainase juga dapat mempengaruhi kemampuan sistem tersebut untuk mengalirkan air dengan baik.
3. Pembangunan infrastruktur yang tidak tepat: Pembangunan infrastruktur seperti jalan, bangunan, dan tanggul dapat mengubah aliran air alami. Pembuatan tanggul atau reklamasi lahan tanpa memperhitungkan dampaknya terhadap aliran air sungai atau aliran permukaan dapat meningkatkan risiko banjir di daerah sekitarnya.
4. Pengurangan daerah resapan: Pengurangan daerah resapan, seperti betonisasi atau pengerasan permukaan tanah yang luas, mengurangi kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air. Hal ini menyebabkan peningkatan aliran permukaan dan meningkatkan risiko banjir.
5. Pembuangan limbah dan sampah yang tidak tepat: Pembuangan limbah dan sampah yang tidak tepat, terutama di saluran air atau sistem drainase, dapat menyebabkan penyumbatan dan penghalangan aliran air. Hal ini dapat mengganggu aliran alami dan menyebabkan banjir.
6. Perubahan iklim dan pola curah hujan: Meskipun ini adalah faktor alamiah, aktivitas manusia seperti emisi gas rumah kaca yang menyebabkan perubahan iklim dapat mempengaruhi pola curah hujan. Perubahan iklim yang tidak stabil

dan pola curah hujan yang tidak terduga dapat meningkatkan risiko banjir. Untuk mengurangi risiko banjir yang disebabkan oleh faktor manusia, penting untuk menerapkan perencanaan perkotaan yang bijaksana, mengelola sistem drainase dengan baik, mempertimbangkan aspek drainase dalam pembangunan, serta melakukan pengelolaan limbah dan sampah yang tepat. Upaya mitigasi dan penyesuaian terhadap perubahan iklim juga diperlukan untuk mengurangi dampak banjir yang disebabkan oleh faktor manusia (Isma & Purwandito, 2019).

## **II.3 Kondisi Geologi Dan Jenis Tanah**

### **II.3.1 Geologi Regional**

#### **II.3.1.1 Fisiografi**

Pulau Sumbawa memanjang pada arah barat – timur dan tersayat oleh beberapa lembah yang berarah terutama timurlaut – baratdaya dan baratlaut – tenggara. Teluk Saleh merupakan lekuk terbesar dan membagi pulau Sumbawa atas dua bagian utama, yaitu Sumbawa Barat dan Timur. Bagian utara pulau Sumbawa terdiri dari jalur gunungapi Kuarter dengan puncak tertinggi 2851 mdpl (Tambora). Kawah terdapat hampir disemua gunung api di jalur ini; kawah Gibibanta sebagian terletak dibawah permukaan laut. Kerucut – kerucut parasite yang berketinggian 100 – 350meter terdapat di lereng Tambora sebelah timur, tenggara, selatan dan baratdaya serta terletak sepanjang system retakan atau kelurusan gunungapi yang sesuai dengan pola struktur umum Sumbawa. Bagian selatan Sumbawa terdiri dari punggung – punggung yang kasar dan tidak teratur yang disayat sistem perkembangan berarah timurlaut – baratdaya dan timurlaut – tenggara, ketinggian bukit berkisar antara 800 – 1850 mdpl.

#### **II.3.1.1.1 Stratigrafi Regional**

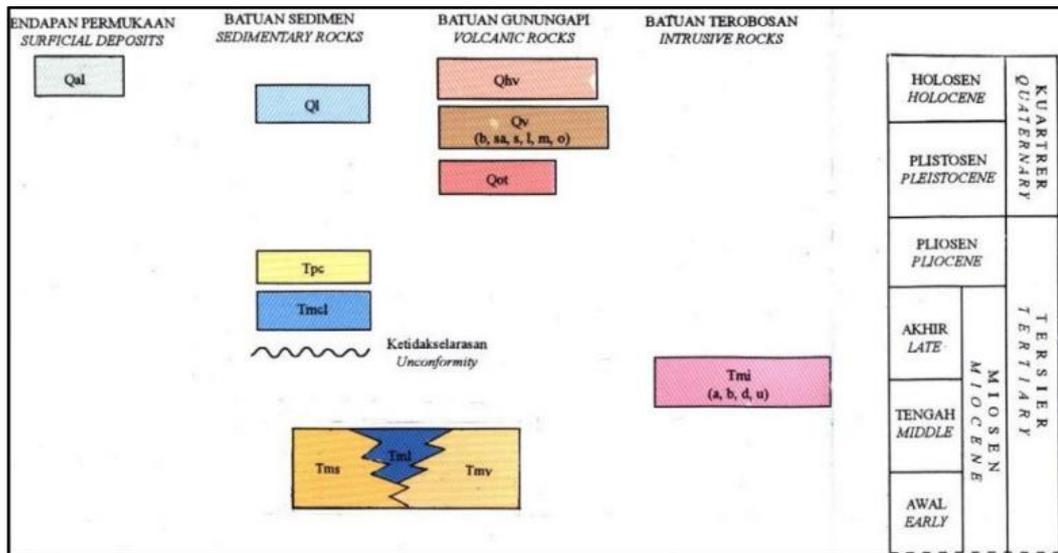
Berdasarkan peta Geologi Regional Lembar Sumbawa, Nusa Tenggara yang disusun oleh A. Sudradjat, S. Andi Manga, Dan N. Suwarna Tahun 1998, lokasi bendungan sumbawa memiliki karekteristik batuan berupa ;

- *Aluvium* Dan Endapan Pantai (Qal); terdiri atas kerikil, pasir, lempung, lumpur dan pasir. Terutama tersusun atas andesit dan setempat mengandung magnetit. Satuan ini tersebar di sepanjang pantai utara dan selatan.

- Terumbu Koral Terangkat (Ql); terdiri atas batugamping yang tersusun dari terumbu karang pada pecahan batugamping koral. Di beberapa tempat mengandung kepingan batuan hasil gunungapi berupa andesit, andesit piroksin dan andesit berongga. Pada bagian bawah satuan ini mengandung konglomerat, batupasir dan lapisan tipis pasir magnetit. Mengandung fosil
- *Globorotalia tosaensis* TAKANAYAGI & SAITO dan *Globorotalia truncatulinoides* (D'ORBIGNY) yang menunjukkan umur *Miosen Akhir – Plistosen*. Kandungan fosil ini diduga hasil *reworked* (Kadar, 1972). Satuan batuan ini dapat dibandingkan dengan satuan batugamping koral di lembar Komodo (Ratman & Yasin, 1978). Satuan ini tersebar terutama di beberapa pulau sebelah utara dan juga di pantai bagian utara dan selatan.
- Satuan Breksi Andesit-Basal (Qv); terdiri atas breksi gunung api, lahar, tufa, abu dan lava; bersusunan andesit dan basal. Satuan ini menempati bagian barat laut dan timurlaut lembar Sumbawa.
- Batulempung Tufaan (Tpc); terdiri atas batulempung tufaan dengan sisipan lapisan batupasir dan kerikil hasil rombakan batuan gunung api. Satuan ini berlapis cukup baik, menindih tidak selaras batuan yang lebih tua. Umur satuan ini diduga Tersier Akhir. Satuan ini dapat dibandingkan dengan formasi Laka di lembar Ruteng yang terletak disebelah timur.
- Batu gamping (Tml); terdiri atas batu gamping dan batu pasir gampingan serta rombakan batuan gunung api gampingan. Batugamping berlapis baik mengandung fosil *Lepidocyclina sp.*, dan *Miogypsina sp.*, yang menunjukkan umur *Miosen Awal* (Kadar, 1972). Satuan ini terutama tersebar di bagian tengah dan pulau – pulau kecil di sebelah timur dan juga tersingkap berupa lensa – lensa dalam satuan batupasir tufaan dan satuan breksi tufa. Satuan batugamping ini menjemari dengan satuan batupasir tufaan dan mengalasi secara tidak selaras satuan batugamping koral. Satuan ini dapat dibandingkan dengan formasi Bari di lembar Ruteng yang menjemari dengan formasi Nangapanda dan formasi Tanahau.
- Batupasir Tufaan (Tms); terdiri atas batupasir tufaan, batulempung, tufa dan breksi. Satuan batuan berlapis baik mengandung lensa batugamping. Tufa yang lapuk menjadi lempung berwarna hijau mengandung pirit. Breksi tersingkap

secara setempat. Umur satuan ditentukan berdasarkan kandungan fosil dalam lensa batugamping yang berumur *Miosen Awal*. Satuan ini tersebar di bagian tengah lembar Sumbawa dan pulau – pulau di sebelah timurlaut menjemari dengan satuan breksi-tufa.

- Satuan Breksi-Tufa (Tmv); terdiri atas breksi yang bersifat andesit dengan sisipan tufa pasiran, tufa batuapung dan batupasir tufaan; setempat mengandung lahar, lava andesit dan basal. Umumnya berwarna kelabu dan hijau; setempat lava berstruktur bantal, bersisipanrijang. Satuan batuan setempat terpropilitkan, termineralkan dan terkersikkan; terlihat urat kuarsa dan kalsit. Umur satuan menunjukkan *Miosen* berdasarkan kandungan fosil pada lensa batugamping. Satuan ini menjemari dengan satuan batupasir tufaan dan juga satuan batugamping. Secara tidak selaras mengalasi satuan batugamping koral. Sebarannya dapat dijumpai di bagian selatan pulau memanjang dari barat ke timur.
- Batuan Terobosan (Tmi) ; terdiri atas andesit, basal, dasit dan batuan beku akan teruraikan yang sebagian merupakan batuan beku lelehan. Satuan ini menerobos batuan berumur *Miosen Awal*. Dasit dan andesit pada umumnya mengandung pirit.



**Gambar 2.6 Korelasi Stratigrafi Geologi Regional Sumbawa**

(Sumber: Peta Geologi Regional Lembar Sumbawa, Nusa Tenggara oleh A. Sudradjat, S. Andi manga, dan N. Suwarna, 1998)

### II.3.1.1.2 Struktur Geologi

Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Sumbawa, Nusatenggara Oleh A. Sudradjat, S. Andi Manga, Dan N. Suwarna Tahun 1998, lokasi bendungan sumbawa memiliki struktur geologi berupa serta liniasi (kelurusan perbukitan) dengan arah relatif Timur Laut - Barat Daya. Serta pada peta geologi regional menunjukkan bahwa kemerusan batuan relative kearah selatan dan sudut kemiringan batuan (dip) pada rencana embung berkisaran 150 – 350 Berdasarkan data dari pusat studi gempa nasional (2017) didaerah Bali, Nusa Tenggara dan Banda sekitar lokasi bendungan Sumbawa, terdapat beberap sesar aktif yakni:

- Sumba *Strait Strikeslip Fault*, dengan arah relative Utara-Selatan
- Teluk Panas *Fault*, dengan arah relative Utara Selatan
- *Flores Backarc Thurst*, dengan arah relati barat timur.

### II.3.2 Geologi Bendungan Mengkoang

#### II.3.2.1 Geomorfologi Bendungan Mengkoang

Pembagian satuan *geomorfologi* daerah telitian ini didasarkan pada faktor-faktor yang mempengaruhi proses pembentukan bentang alam suatu daerah, yang terdiri dari:

1. *Morfologi* yang merupakan kenampakan suatu bentang alam seperti pegunungan, dataran, perbukitan dan sebagainya serta juga dilihat dari kelerengan, bentuk lereng dan sebagainya.
2. *Morfogenesis* yang merupakan proses geologi yang terdiri dari struktur geologi, kekerasan batuan yang berpengaruh terhadap proses *erosi*. Dari proses-proses ini lah yang nanti nya akan membentuk suatu bentuk alam tertentu. Bendungan Mengkoang dengan luasan DTA sebesar 213.73 Ha.

Berdasarkan aspek-aspek pembagian bentuk asal diatas maka lokasi bendungan dan daerah tangkapan air (DTA), dibagi menjadi 2 satuan yaitu :

1. Satuan Perbukitan Bergelombang, merupakan satuan *morfologi* berupa perbukitan memanjang dengan ketinggian dari 50 hingga lebih dari 350 mdpl serta memiiki kemiringan lereng sedang 250 - 500. Terbentuk karena proses tenaga endogen berupa pengangkatan pada masa lampau dan proses *erosional* permukaan serta pelapukan oleh keadaan iklim, dengan batuan penyusun

berupa andesit basaltik berumur tersier dan tanah residu yang terbentuk hasil ubahan batuan dasar secara sempurna.

2. Satuan *Fluvial*, dengan *morfologi* berupa sungai menempati lembah dan dasar sungai. Satuan *geomorfologi* ini tersusun oleh endapan *aluvial* dasar sungai yang belum terkonsolidasi. Satuan *geomorfologi* ini terbentuk pada zona lemah dimana proses erosi berkembang dengan intens. Bentuk lembah sungai relative berbentuk “V” hingga “U”. hal ini menandakan bahwa proses erosi vertikal yang relative lebih dominan.

#### **II.4 Analisis Hidrologi.**

Dalam praktiknya, hidrologi melibatkan pengumpulan dan analisis data hidrologi, seperti curah hujan, debit aliran sungai, dan kualitas air. Data ini kemudian digunakan untuk memodelkan dan memprediksi pergerakan air dan pengelolaannya (Th. Dwiati Wismarini & Dewi Handayani Untari Ningsih, 2010).

##### **II.4.1 Daerah Tangkapan Air (Dta), Sempadan Waduk, Dan Area Genangan**

Bendungan Mengkoang memiliki daerah tangkapan air (DTA) atau catchment area seluas 216,5 Ha yang merupakan DTA pada sistem sungai Mengkoang dengan titik hulu pada tubuh bendungan Mengkoang. Genangan air yang terbentuk dari bendungan Mengkoang pada sungai Mengkoang diperkirakan memiliki luas sekitar 2,4 Ha atau sekitar 1,1% dari luas DTA bendungan Mengkoang serta panjang sungai utama adalah 2.386 km. Batasan DTA didelineasi dari data topografi atau berdasarkan puncak/punggungan bukit yang menyebabkan aliran air mengalir ke sistem sungai Mengkoang. Berikut adalah peta citra satelit untuk area DTA bendungan Mengkoang.

##### **II.4.2 Curah Hujan Wilayah DTA**

Data curah hujan sangat penting untuk melaksanakan perencanaan teknis dari bangunan air, irigasi, sistem drainase, dan lain sebagainya. Maka dari data curah hujan dicatat secara terus menerus guna melaksanakan perencanaan tersebut. Data curah hujan dicatat pada suatu DAS dan dilakukan di beberapa titik stasiun pencatat curah hujan untuk mengetahui sebaran hujan yang turun pada suatu DAS apakah curah hujan tersebut merata atau tidak (Eato et al., 2017).

Pada DTA Bendungan Mengkoang, hanya ada satu grid yang berpengaruh pada DTA. Oleh karena itu curah hujan wilayah DTA Bendungan Mengkoang sudah diwakili oleh hanya satu grid TRMM. Berikut adalah curah hujan maksimum, rata-rata tahunan, dan total bulanan dari DTA Bendungan Mengkoang.

### II.4.3 Uji Outlier

*Outlier* adalah data yang memiliki nilai yang jauh di antara data yang lain. Keberadaan outlier dapat mengganggu pemilihan jenis distribusi untuk suatu data. Berdasarkan SNI 7746 tahun 2012 tentang Tata Cara Perhitungan Hujan Maksimum Boleh Jadi dengan Metode Hershfield perhitungan uji pencilan (*outlier*) dilakukan dengan menggunakan Metode Gubbs & Beck. Metode Grubbs & Beck menetapkan dua batas ambang bawah yaitu  $X_L$  dan ambang atas yaitu  $X_H$ . Adapun persamaan Metode Grubbs & Beck sebagai berikut:

$$X_H = \exp(x + K_N S) \quad (\text{II.1})$$

$$X_L = \exp(x - K_N S) \quad (\text{II.2})$$

Dimana:

$x$  = nilai rata-rata dari sampel data

$S$  = simpangan baku dari sampel data

$$K_N \approx 3,62201 + 6,28446 N^{\frac{1}{4}} - 2,49835 N^{\frac{1}{2}} + 0,491436 N^{\frac{1}{2}} - 0,037911 N \quad (\text{II.3})$$

Dimana:

$N$  = adalah jumlah sampel data

Data yang nilainya di bawah  $X_L$  dikategorikan sebagai *outlier* bawah sedangkan data yang nilainya di atas  $X_H$  dikategorikan sebagai *outlier* atas. Uji tersebut diterima jika tidak terdapat data yang melebihi nilai *outlier* atas dan kurang dari *outlier* bawah. Berikut adalah hasil analisis uji *outlier*.

### II.4.4 Uji Ketiadaan Trend Spearman

Uji kecenderungan (*Trend*) merupakan uji dimana dilakukan korelasi antara urutan data dengan peningkatan atau penurunan besarnya data. Dilakukan perhitungan uji

trend dengan menggunakan Metode *Spearman's Rank-Correlation*. Metode ini berdasarkan pada *Sperman rank-correlation coefficient*,  $R_{sp}$ . Adapun persamaan yang digunakan pada Metode *Spearman's Rank-Correlation* sebagai berikut:

$$R_{sp} = 1 - \frac{6 \times \sum_{i=1}^n D_i^2}{n \times (n^2 - 1)} \quad (\text{II.4})$$

Dimana:

$n$  jumlah sampel data

$D_i$  adalah perbedaan antara rank variabel  $x_i$ ,  $Kx_i$  (data diurutkan dari kecil ke besar) dan rank berdasarkan nomor urut data asli,  $Ky_i$ . Adapun persamaan dari  $D_i$  sebagai berikut:

$$D_i = Kx_i - Ky_i \quad (\text{II.5})$$

Apabila terdapat dua atau lebih data dengan nilai yang sama, maka nilai rank  $Kx_i$  diambil sebagai nilai rata-rata. Uji eksistensi trend dilakukan dengan menggunakan formulasi berikut:

$$tt = R_{sp} \sqrt{1 - R_{sp}^2} \quad (\text{II.6})$$

Data yang diuji diterima jika tidak mengandung trend yang dapat dibuktikan jika memenuhi:

$$t\{v, 2,5\% \} < tt < t\{v, 9,74\% \} \quad (\text{II.7})$$

#### **II.4.5 Analisis Banjir Rancangan**

Untuk mendapatkan banjir rancangan periode ulang 50 Tahun pada DTA Mengkoang digunakan perangkat lunak HEC – HMS untuk mendapatkan debit *inflow* bendungan. Input pada perangkat lunak HEC HMS berupa hujan durasi pendek periode ulang  $Tr = 50$  tahun. Luas DAS dan nilai CN (*Curve Number*).

#### **II.4.6. Analisis Ketersediaan air**

##### **II.4.6.1 Analisis Debit Dengan Metode Mock**

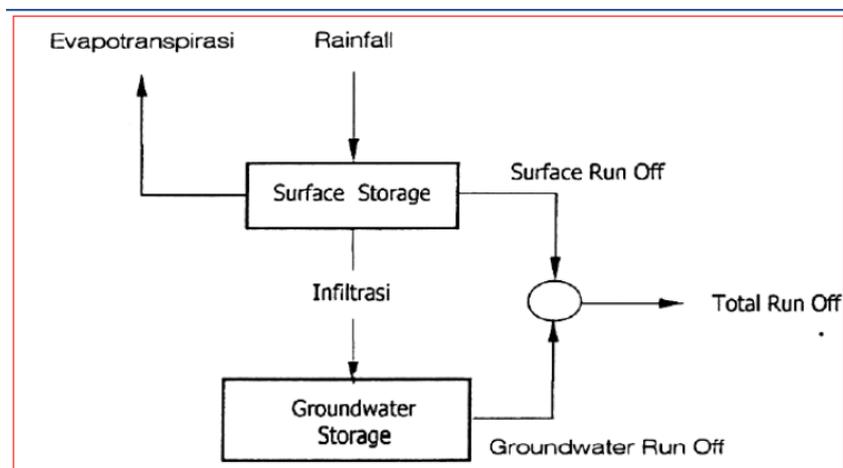
Konsep dasar yang digunakan dalam setiap metode untuk ketersediaan air adalah daur *hidrologi*. Dalam hal ini titik berat analisis dipusatkan pada debit melalui

sistem DAS. Semua komponen yang berpengaruh dalam proses ini perlu diamati dan ditelaah dengan cermat.

Analisis air yang tersedia (*water availability*) dimana tujuannya untuk menentukan besarnya air yang tersedia atau disebut juga sebagai debit andalan yaitu debit dari sungai yang bisa diandalkan akan terjadi pada waktu-waktu tertentu. Perhitungan banyaknya air yang tersedia tersebut dimaksudkan untuk mengetahui apakah air yang tersedia bisa dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti untuk air pertanian, air baku, pengelontoran dan lain-lain.

Debit andalan merupakan suatu besaran debit yang diharapkan terjadi selama a% dari waktu, misalnya debit andalan 95% berarti debit tersebut harus tersedia selama 95% waktu. Jadi debit andalan adalah debit yang dapat diandalkan untuk suatu reliabilitas tertentu. Untuk keperluan irigasi biasa digunakan debit andalan 80%, artinya dengan kemungkinan 80% debit yang terjadi adalah lebih besar atau sama dengan debit tersebut.

Untuk keperluan air minum dan industri maka dituntut reliabilitas yang lebih tinggi yaitu sekitar 90%-95%, karena menyangkut langsung kebutuhan manusia. Untuk perhitungan Metoda Water balance (kesetimbangan air) memakai teori dasar dari perhitungan debit dengan Metoda FJ. Mock (Mock 1973). Metode Mock merupakan salah satu dari sekian banyak metoda perhitungan debit yang menjelaskan hubungan rainfall-runoff seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 2 7 Bagan Alir Model Rainfall-Runoff**

(Sumber: Rencana Pengendalian Sedimentasi dan Penataan Kawasan Bendungan di Sumbawa I)

Metoda ini diaplikasikan untuk menghitung debit andalan dari hujan andalan, tetapi untuk perhitungan debit tersedia di sungai yang merupakan seri atau real time dari tahun ke tahun merupakan siklus yang menerus sambung menyambung. Perhitungan debit sintetis dari hujan dengan metoda ini sangat tergantung dari beberapa faktor ialah:

a. *Rainfall* atau presipitasi atau hujan (berbentuk seri atau andalan dengan waktu ¼ bulanan, ½ bulanan, bulanan).

b. *Klimatologi*: temperatur, penyinaran matahari, kelembaban relatif dan kecepatan angin, yang diharapkan dari sini adalah besaran evapotranspirasi potensial.

c. Kondisi *Cathment Area* dari titik tinjau di sungai berupa luasan areal *cathment area*, kondisi penutup *cathment area* (*landcover*), jenis tanah dan pohon sebagai penutupnya (menentukan kedalaman zona akar atau zona penyimpanan air permukaan).

d. Kapasitas *Infiltrasi* di *cathment area* dan kapasitas penyimpanan air di dalam tanah setelah zona akar (*ground water storage*).

Bentuk Umum persamaan water balance adalah:

$$P = E_a + \Delta GS + SRO + Bf \quad (II.8)$$

Dimana:

P = Presipitasi.

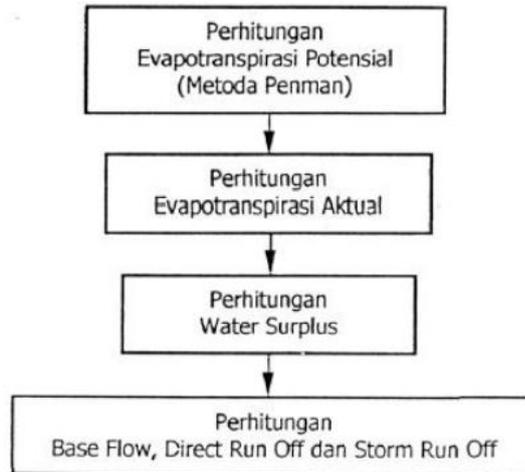
E<sub>a</sub> = Evapotranspirasi.

ΔGS = Perubahan Ground Water Storage.

SRO = Surface Run Off.

BF = Aliran Dasar (*Baseflow*).

TRO = Total Run Off.



**Gambar 2.8 Bagan Perhitungan Debit dengan Metode Mock**

(Sumber: Rencana Pengendalian Sedimentasi dan Penataan Kawasan Bendungan di Sumbawa I)

Volume air total yang ada di Bumi adalah tetap, hanya sirkulasi dan distribusinya yang bervariasi. Tempat air yang berpindah-pindah, dari laut ke udara, ke bumi masuk ke tanah keluar ke sungai dan seterusnya. *Water Balance* merupakan siklus tertutup yang terjadi selama satu tahun atau bertahun – tahun, tetapi untuk andalan dalam satu tahun akan diperhitungkan tidak terjadi perubahan *ground water storage* atau  $\Delta GS = 0$ . Artinya awal *ground water storage* akan sama dengan bulan terakhir (Desember) dalam tinjauan satu tahun andalan. Sehingga persamaan *water balance* untuk periode satu tahun adalah:

$$P = E_a + TRO \quad (II.9)$$

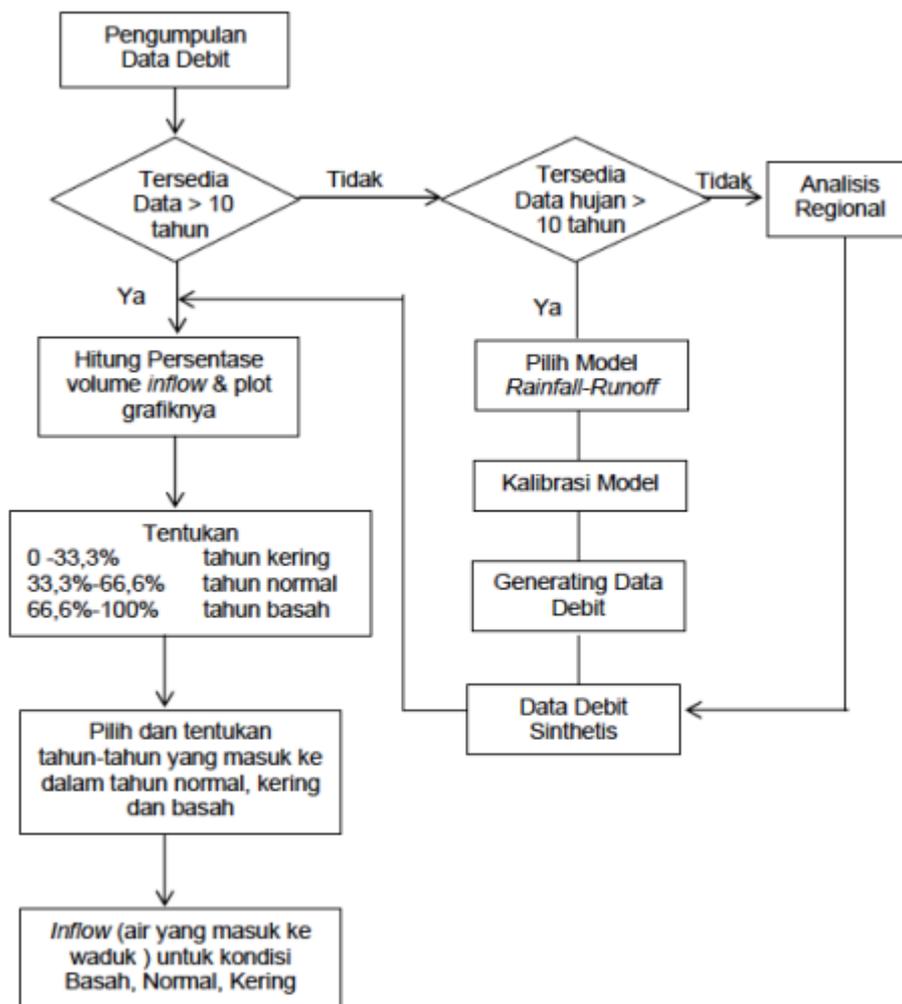
Beberapa hal yang dijadikan acuan dalam prediksi debit andalan dengan metoda Mock sehubungan dengan *water balance* adalah:

- a. Dalam satu tahun, perubahan *ground water storage* ( $\Delta VGS$ ) harus sama dengan nol.
- b. Jumlah total *evapotranspirasi actual* dan total *run off* selama satu tahun harus sama dengan total presipitasi yang terjadi dalam tahun itu, atau memenuhi persamaan  $P = E_a + TRO$ .

#### **II.4.8 Alur Pikir Analisis Inflow**

Keandalan Debit adalah ketersediaan air di sungai yang melampaui atau sama dengan suatu nilai yang keberadaannya dikaitkan dengan prosentasi waktu atau

kemungkinan terjadi. Data yang diperlukan dalam perhitungan debit andalan adalah data debit bulanan atau harian yang merupakan hasil rekaman pos duga air di lokasi terdekat. Perhitungan debit andalan dimana probabilitasnya digunakan dan disesuaikan untuk perencanaan pola operasi waduk. Keandalan debit air yang masuk ke waduk diklarifikasikan dalam 3(tiga) kondisi yaitu: masukan air ke waduk pada kondisi tahun basah (normal atas), normal, dan kering (normal bawah). Berikut adalah alur pikir analisis *inflow* bendungan.



Gambar 2.9 Diagram Alir Analisis Inflow Bendungan

(Sumber: )

## II.5 Hidrolika

Banyaknya debit air hujan yang ada dalam suatu kawasan harus segera di alirkan agar tidak menimbulkan genangan air. Untuk dapat mengalirkannya diperlukan saluran yang dapat menampung dan mengalirkan air tersebut ke tempat penampungan. Sehingga penentuan kapasitas tampung harus berdasarkan atas besarnya debit air hujan.

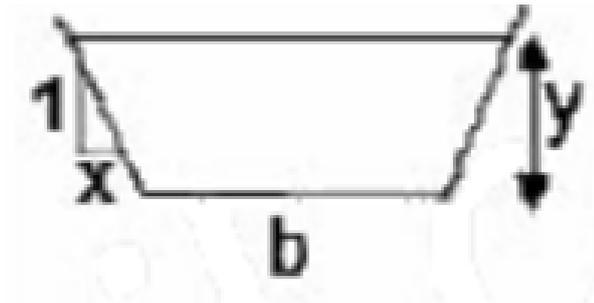
Analisis hidrolika dimaksudkan untuk menganalisis profil muka air banjir dengan kala ulang tertentu dari debit rencana. Pada analisis ini, nantinya akan dihitung pengaruh pengendalian banjir secara struktural terhadap tinggi muka air banjir dan luapan yang terjadi. Dalam analisis hidrolika, dihitung profil muka air menggunakan beberapa data hasil dari analisis hidrologi guna memperoleh profil muka airnya (Suadnya dkk., 2017).

### II.5.1 Analisis Hidrolika

Data Bendungan Mengkoang diperlukan dalam memasukkan geometry data pada *software* HEC-RAS. Elevasi puncak bendungan ditentukan berdasarkan tinggi muka air banjir diatas ambang pelimpah ditambah dengan tinggi jagaan.

Bangunan pelimpah berfungsi mengalirkan air banjir yang menyebabkan naiknya muka air waduk untuk menghindarkan dari bahaya *over topping*. Secara umum bangunan pelimpah terdiri dari saluran pengarah, pelimpah, saluran peluncur dan pemecah energi. Untuk saluran pengarah dan saluran peluncur direncanakan harus mampu menampung debit banjir maksimum sehingga elevasi muka air banjir di *reservoir* tetap terkendali, sementara saluran pemecah energi direncanakan mampu untuk melindungi dasar sungai, tebing dan fasilitas lainnya. Penentuan tipe bangunan pelimpah harus mempertimbangkan banyak faktor yaitu kondisi geologi, topografi, segi keamanan, sosial ekonomi,

Perhitungan hidrolika dasar dari suatu penampang trapesium **Gambar II.10** digunakan persamaan berikut:



**Gambar 2 10 Hidrolika Penampang Trapesium**

(Sumber: Ven Te Chow, 1997)

$$Q = \frac{V}{A} \quad (\text{II.10})$$

$$V = \frac{R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n} \quad (\text{II.11})$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{(b+xy)y}{b+2y\sqrt{x^2+1}} \quad (\text{II.12})$$

Dimana:

- Q = debit aliran (m<sup>3</sup> /detik)
- V = kecepatan aliran (m/detik).
- A = luas penampang basah (m<sup>2</sup>).
- R = jari-jari hidrolis (m).
- S = kemiringan.
- P = keliling basah (m).
- n = koefisien Manning.
- b = lebar dasar penampang saluran (m).
- y = kemiringan tebing penampang.
- x = kedalaman basah (m).

Untuk saluran lebar sekali dimana  $b > 6y$  besar R (jari-jari hidrolis) sama dengan y (kedalaman basah).

### II.5.2 Hidrolika pada *software* HEC-RAS

Menurut Ven te Chow (1997), saluran terbuka menurut asalnya dapat dibedakan menjadi saluran alam (*natural*) dan saluran buatan (*artificial*). Saluran alam meliputi semua alur air yang terdapat secara alami di bumi, mulai dari anak sungai

di pegunungan, sungai besar sampai dengan muara sungai. Sementara itu, saluran buatan dibentuk oleh manusia, seperti saluran banjir, dan saluran irigasi. Aliran saluran terbuka diklasifikasikan menjadi dua yaitu:

1. Aliran permanen (*steady flow*)
  - a. Seragam (*uniform*)
  - b. Berubah (*non-uniform*)
    - Berubah lambat laun (*gradually*)
    - Berubah tiba-tiba (*rapidly*)
2. Aliran tidak permanen (*unsteady flow*)
  - a. Seragam (*uniform*)
  - b. Berubah (*non-uniform*)
    - Berubah lambat laun (*gradually*)
    - Berubah tiba-tiba (*rapidly*)

Hitungan hidraulika aliran pada dasarnya adalah mencari kedalaman dan kecepatan aliran di sepanjang alur yang ditimbulkan oleh debit yang masuk ke dalam alur dan kedalaman aliran di batas hilir. Hitungan hidraulika alir dalam HEC-RAS dilakukan dengan membagi aliran ke dalam dua kategori, yaitu aliran permanen dan aliran tak permanen. HEC-RAS menggunakan metode hitungan yang berbeda untuk masing-masing kategori aliran tersebut.

#### **II.5.2.1 Persamaan Aliran Permanen**

Untuk aliran permanen, HEC-RAS memakai persamaan energi kekecualidi tempat-tempat yang kedalaman alirannya melewati kedalaman kritis. Di tempat terjadi loncat air, pertemuan alur, dan aliran dangkal melalui jembatan, HEC-RAS memakai persamaan (kekekalan) momentum. Di tempat terjadi terjunan, aliran melalui peluap, dan aliran melalui bendung, HEC-RAS memakai persamaan-persamaan *empiris*. a. Persamaan Energi Program HEC-RAS menghitung profil muka air di sepanjang alur beurutan dari satu tampang lintang ke tampang lintang berikutnya. Muka air dihitung dengan persamaan energi dengan metode yang dikenal sebagai standard step method. Persamaan energi antara dua tampang lintang dituliskan dalam bentuk berikut:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (\text{II.13})$$

Dimana:

$Y_1 + Y_2$  = kedalaman aliran.

$Z_1 + Z_2$  = elevasi dasar saluran.

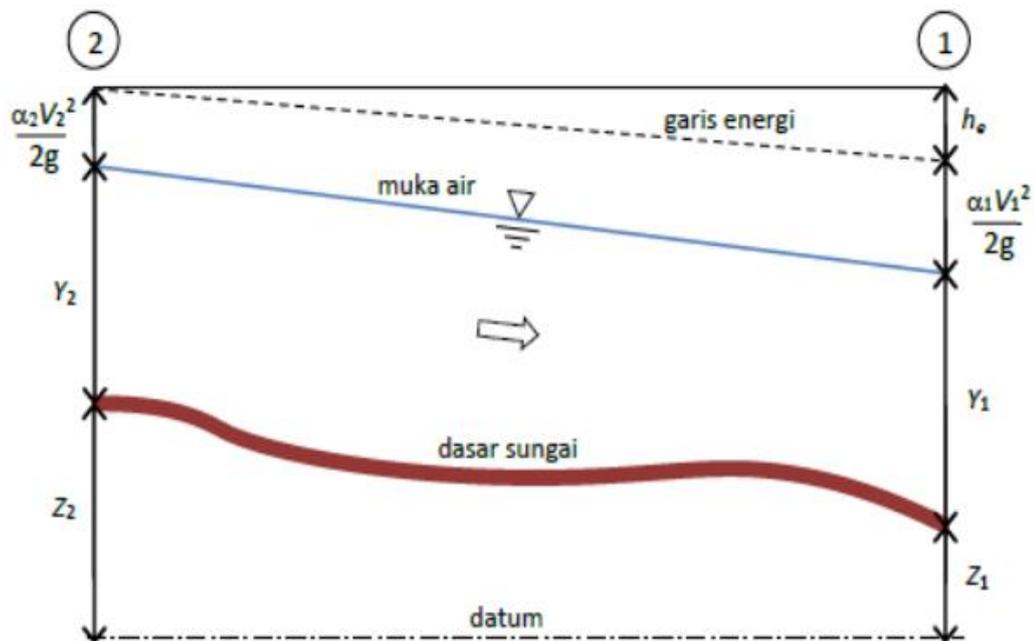
$V_1 + V_2$  = kecepatan rata-rata (debit per luas tampang basah).

$\alpha_1 + \alpha_2$  = koefisien.

$G$  = percepatan gravitasi.

$He$  = kehilangan tinggi energi.

Kedalaman aliran diukur ke arah vertical, dengan konsekuensi bahwa hitungan profil muka air dengan HEC-RAS hanya cocok untuk alur sungai yang memiliki kemiringan dasar kecil sebagaimana ditunjukkan oleh **Gambar II.19**.



**Gambar 2.11** Diagram aliran berubah beraturan

(Sumber: Istiarto,2014)

### II.5.2.2 Kehilangan Tinggi Energi

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

$$h_e = L \cdot S_f + C \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \quad (\text{II.14})$$

Dimana :

- $h_e$  = kehilangan tinggi energi.
- $L$  = panjang ruas sungai antar kedua tampang yang diberi bobot menurut debit.
- $S_f$  = kemiringan gesekan (*friction slope*) antar kedua tampang.
- $C$  = koefisien kehilangan energy akibat perubahan tampang.
- $V_1 + V_2$  = kecepatan rata-rata (debit per luas tampang basah).
- $\alpha_1 + \alpha_2$  = koefisien.
- $g$  = percepatan gravitasi.
- $f$  = koefisien persempitan dan pelebaran tampang.

Panjang ruas sungai antar dua tampang (jarak sepanjang bentang),  $L$ , dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot Q_{lob} + L_{ch} \cdot Q_{ch} + L_{rob} \cdot Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}} \quad (\text{II.15})$$

Dimana :

- $L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}$  = jarak sepanjang potongan melintang pada aliran yang ditinjau di pinggir kiri sungai / *left overbank* (Lob), saluran utama / *main channel* (ch), dan pinggir kanan sungai/*right overbank* (rob).
- $Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}$  = jarak sepanjang potongan melintang pada aliran yang ditinjau di pinggir kiri sungai (lob), saluran utama (ch), dan pinggir kanan sungai (rob).

### II.5.2.3 Kapasitas Angkut Tampung

Kapasitas angkut dan kecepatan rata-rata di suatu tampang dihitung dengan membagi tampang menjadi beberapa bagian; di setiap bagian, kecepatan terbagi merata. Bagian-bagian tersebut dikelompokkan menjadi tiga alur yaitu alur bantaran kiri (*left overbank*), alur utama (*main channel*), dan alur bantaran kanan (*right overbank*). Alur kiri ataupun kanan dapat terdiri dari beberapa bagian,

sedangkan alur utama umumnya terdiri dari satu bagian tampang. Satu nilai koefisien Manning  $n$  ditetapkan di setiap bagian tampang tersebut. Di setiap bagian tampang, kapasitas angkut dihitung dengan memakai persamaan Manning berikut:

$$Q = K S_f^{1/2} \quad (\text{II.16})$$

$$K = \frac{1}{n} A R^{2/3} \quad (\text{II.17})$$

Dimana:

$Q$  = debit aliran ( $\text{m}^3$  /detik).

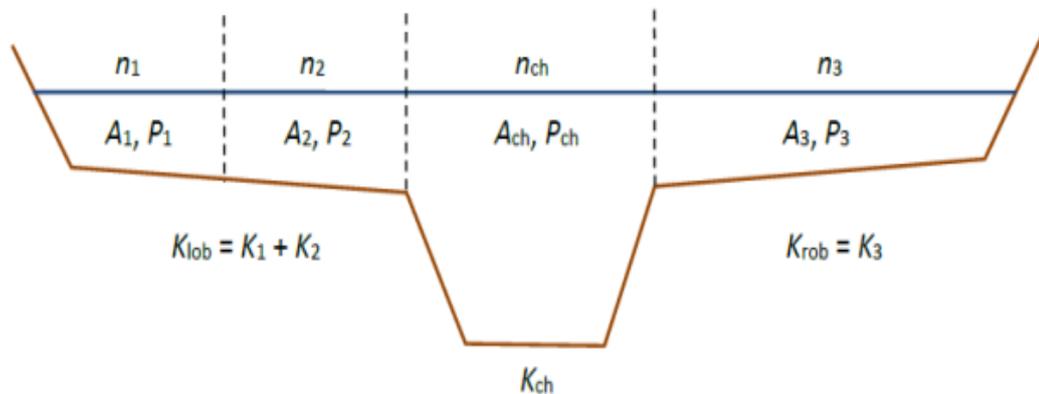
$K$  = kapasitas angkut tiap bagian tampang.

$n$  = koefisien kekasaran Manning tiap bagian tampang.

$A$  = luas tampang basah tiap bagian tampang.

$R$  = radius hidraulik tiap bagian tampang.

kapasitas angkut seluruh bagian tampang ditunjukkan oleh **Gambar II.20** berikut.

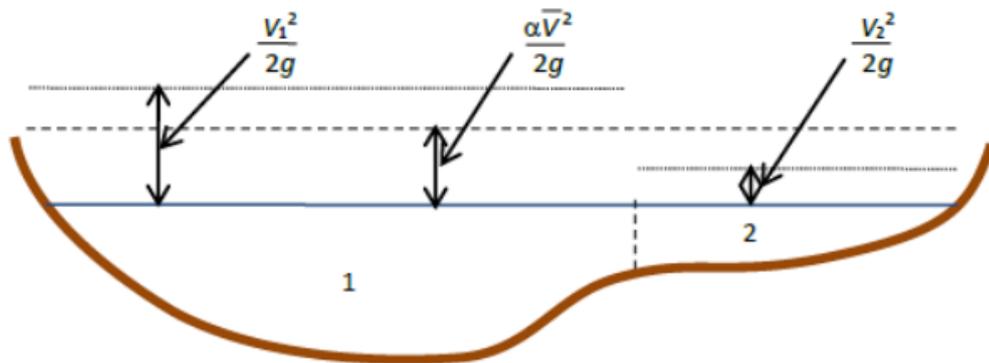


**Gambar 2.12** Pembagian tampang untuk keperluan hitungan

(Sumber: Istiarto, 2014)

### II.5.2.4 Tinggi Energi Kinetik Rata-Rata

Karena HEC-RAS adalah model satu-dimensi, maka walaupun suatu tampang lintang dikelompokkan ke dalam beberapa bagian, namun hanya ada satu muka air di tampang lintang tersebut. Dengan demikian, di satu tampang hanya ada satu nilai tinggi energi kinetik (rata-rata). Untuk satu muka air, tinggi energi kinetik rata-rata dihitung dengan merata-ratakan tinggi energi kinetik di ketiga bagian tampang (*left overbank, main channel, right overbank*) yang diberi bobot berdasarkan debit di setiap bagian tampang. **Gambar II.13** menunjukkan contoh hitungan tinggi energi kinetik rata-rata di sebuah tampang yang dibagi menjadi *right overbank* dan *main channel* (tidak ada *left overbank*).



**Gambar 2.13** Hitungan tinggi energi kinetik rata rata di suatu

(Sumber: Istiarto,2014)

Untuk menghitung tinggi energi kinetik rata-rata, diperlukan koefisien tinggi kecepatan yang dihitung dengan cara sebagai berikut:

tinggi energi kinetik rata-rata = tinggi kecepatan yang diberi bobot sesuai dengan debit.

$$\alpha \frac{V^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \quad (\text{II.18})$$

Dengan demikian

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2) V^2} \quad (\text{II.19})$$

Atau pada umumnya

$$\alpha = \left| \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_n V_n^2}{Q V^2} \right| \quad (\text{II.20})$$

Dimana:

- Q = debit aliran (m<sup>3</sup> /detik).
- V<sub>1</sub> + V<sub>2</sub> = kecepatan rata-rata (debit per luas tampang basah).
- n = koefisien Manning.

### II.5.2.5 Hilang Karena Gesekan

Kehilangan energi akibat gesekan (*friction loss*) merupakan perkalian antara kemiringan garis energi karena gesekan (*friction slope*), S<sub>f</sub>, dan panjang ruas sungai antara dua tampang, L. Kemiringan garis energi karena gesekan (*friction slope*) di suatu tampang dihitung dengan persamaan Manning.

$$S_f = \left( \frac{Q}{K} \right)^2 \quad (\text{II.21})$$

Selain persamaan di atas, HEC-RAS memiliki opsi beberapa persamaan lain untuk menghitung *friction slope*.

- Kapasitas Angkut Rata-Rata

$$S_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad (\text{II.22})$$

- *Friction Slope* Rata-Rata

$$S_f = \frac{S_{f1} + S_{f2}}{2} \quad (\text{II.23})$$

- *Friction Slope* Rata-Rata Geometrik

$$S_f = \sqrt{S_{f1} + S_{f2}} \quad (\text{II.24})$$

- *Friction Slope* Rata-Rata Harmonik

$$S_f = \frac{2(S_{f1} + S_{f2})}{S_{f1} + S_{f2}} \quad (\text{II.25})$$

### II.5.2.6 Koefisien Persempitan dan Perlebaran Tampang

Koefisien kehilangan energi karena kontraksi dan ekspansi dihitung dengan cara sebagai berikut:

$$h_e = C \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \quad (\text{II.26})$$

$h_e$	= kehilangan tinggi energi.
$L$	= panjang ruas sungai antar kedua tampang yang diberi bobot menurut debit.
$S_f$	= kemiringan gesekan ( <i>friction slope</i> ) antar kedua tampang,
$C$	= koefisien kontraksi atau ekspansi.
$V_1 + V_2$	= kecepatan rata-rata (debit per luas tampang basah).
$\alpha_1 + \alpha_2$	= koefisien.
$g$	= percepatan gravitasi.

HEC-RAS menganggap aliran melewati kontraksi (persempitan tampang) apabila tinggi kecepatan hilir lebih besar daripada tinggi kecepatan hulu. Sebaliknya, ketika tinggi kecepatan hulu lebih besar daripada tinggi kecepatan hilir, HEC-RAS menganggap aliran melewati ekspansi (perlebaran tampang). (Jember Menggunakan, n.d.).

### II.5.3 Persamaan aliran tak permanen

Untuk aliran tak permanen, HEC-RAS memakai persamaan kekekalan massa (*continuity, conservation of mass*) dan persamaan momentum.

#### a. Persamaan Dasar

Berdasarkan *Simple Geometry River* (2011), Aliran di saluran atau sungai merupakan proses fisik yang mengikuti hukum kekekalan massa dan kekekalan momentum. Proses fisik ini dapat digambarkan dengan persamaan matematis, yang dikenal sebagai Persamaan *St. Venant*. Persamaan *St. Venant* terdiri dari persamaan kontinuitas (prinsip konservasi massa) dan persamaan momentum (prinsip konservasi momentum), yang dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial parsial sebagai berikut:

Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q\ell = 0 \quad (\text{II.27})$$

Persamaan Momentum

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} - gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + s_f \right) = 0 \quad (\text{II.28})$$

Dimana :

- A = luas total tampang aliran (jumlah luas tampang aliran di *main channel* dan *overbank channel*).
- Q = debit aliran.
- $q\ell$  = debit lateral per satuan panjang.
- V = kecepatan aliran.
- $g$  = percepatan gravitasi.
- x = jarak, diukur searah aliran.
- y = elevasi muka air.
- t = waktu.
- $s_f$  = kemiringan garis energi (*friction slope*).

dihitung dengan Persamaan *Manning*:

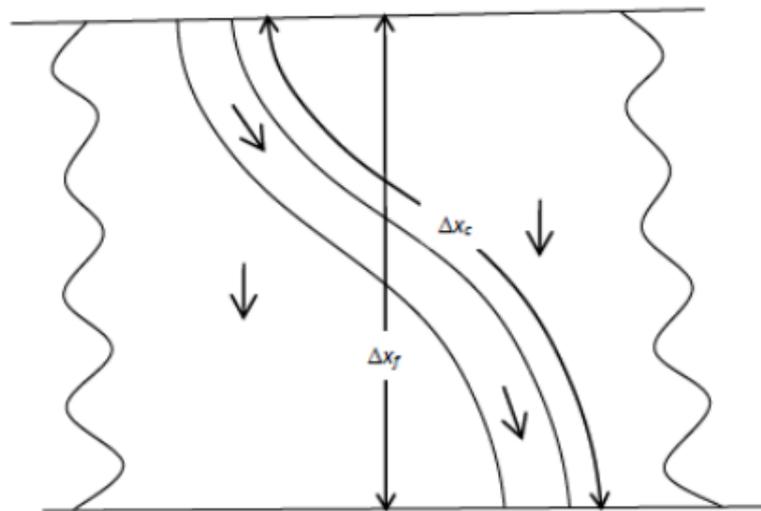
$$s_f = \frac{n^2|Q|Q}{A^2.R^2} \quad (\text{II.29})$$

- A = luas total tampang aliran (jumlah luas tampang aliran di *main channel* dan *overbank channel*).
- n = Koefisien kekasaran Manning.
- R = radius hidraulik.
- Q = debit aliran.
- $s_f$  = kemiringan garis energi (*friction slope*).

b. Penerapan Persamaan Aliran Tak Permanen

HEC-RAS membagi alur saluran menjadi tiga bagian, yaitu bantaran kiri, alur utama, dan bantaran kanan seperti diilustrasikan pada Gambar 2.5. Saat air sungai naik, air bergerak menyamping, menjauh dari alur utama, menggenangi bantaran dan mengisi tampungan-tampungan yang ada di sepanjang bantaran. Seiring dengan kenaikan muka air lebih lanjut, air di bantaran mulai mengalir

ke hilir; aliran di bantaran ini umumnya menempuh jarak yang lebih pendek daripada aliran di alur utama. Saat air mulai surut, air di bantaran bergerak menuju alur utama, menggantikan aliran di alur utama. Karena arah utama aliran adalah sepanjang alur utama, aliran dua dimensi ini sering dapat didekati dengan anggapan aliran satu dimensi. Kawasan genangan di luar alur utama dapat dimodelkan sebagai kawasan tampungan yang airnya dapat saling berpindah ke dan dari alur utama. Aliran di bantaran dapat didekati sebagai aliran melalui alur terpisah dari alur utama.



**Gambar 2 14 Aliran Melalui Alur Utama dan Bantaran**

(Sumber: Istiarto,2014)

Berbagai cara telah dilakukan untuk memodelkan permasalahan aliran melalui alur utama dan bantaran. Salah satu cara adalah pengabaian kapasitas angkut bantaran dan menganggap bahwa bantaran hanya berfungsi sebagai tampungan. Cara ini cocok untuk sungai-sungai besar yang alurnya dibatasi tanggul dan bantarannya merupakan kawasan bervegetasi lebat atau merupakan sebuah kawasan tampungan (*off-channel storage*).

Cara HEC-RAS memodelkan aliran di bantaran didasarkan pada metode yang awalnya dikembangkan oleh Fread (1976) dan Smith (1978), yang kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh Barkau (1982). Secara garis besar, metode ini dipaparkan di bawah ini. Fread (1976) dan Smith (1978) memandang aliran melalui alur utama dan melalui bantaran sebagai dua aliran yang melewati dua tampang saluran terpisah serta menuliskan persamaan kontinuitas dan

persamaan momentum untuk masing-masing tampang tersebut. Penyederhanaan dilakukan dengan menganggap muka air di kedua tampang saluran pada arah lateral (tegak lurus arah aliran) datar atau horizontal. Dengan demikian:

- 1) transfer momentum di antara kedua tampang dapat diabaikan, dan
- 2) debit terbagi ke kedua tampang berdasarkan kapasitas angkut (*conveyance*). masing-masing tampang yaitu:

$$Q_c = \phi Q \quad (\text{II.30})$$

Dimana:

- $Q_c$  = debit aliran melalui alur utama (*channel*).
- $Q$  = debit total aliran.
- $\phi$  =  $K_c / (K_c + K_f)$ .
- $K_c$  = kapasitas angkut tampang alur utama.
- $k_f$  = kapasitas angkut tampang bantaran.

Dengan anggapan tersebut, maka persamaan aliran satu dimensi dapat digabungkan menjadi satu kelompok persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)Q]}{\partial x_f} = 0 \quad (\text{II.31})$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\phi)^2 Q^2 / A_f]}{\partial x_f} + g A_c \left( \frac{\partial z}{\partial x_c} + s_{f_c} \right) + g A_f \left( \frac{\partial z}{\partial x_f} + s_{f_f} \right) = 0 \quad (\text{II.32})$$

Dalam kedua persamaan di atas, subskrip c mengacu pada alur utama dan subskrip f mengacu pada bantaran. Persamaan di atas dijabarkan dengan pendekatan beda hingga implisit dan persamaan yang diperoleh diselesaikan dengan cara *iterasi Newton-Raphson*.

#### II.5.4 Pengukuran Debit Sesaat

Pengukuran debit merupakan proses pengukuran dan penghitungan kecepatan, kedalaman dan lebar aliran serta penghitungan luas penampang basah untuk menghitung debit sungai/saluran terbuka.

## 1. Prinsip Pengukuran Debit

Prinsip pelaksanaan pengukuran debit adalah mengukur kecepatan aliran, luas penampang basah, dan kedalaman. Penampang basah dihitung berdasarkan lebar air dan muka air.

Debit dapat dihitung dengan rumus:

$$q_x = V_x a_x \quad (\text{II.33})$$

$$Q = \sum_{x=1}^n q_x \quad (\text{II.34})$$

Dimana:

$q_x$  = debit pada bagian ke x, ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$V_x$  = kecepatan aliran rata-rata pada bagian penampang ke x ( $\text{m}/\text{s}$ ).

$a_x$  = luas penampang basah pada bagian ke x, ( $\text{m}^2$ ).

$Q$  = debit seluruh penampang, ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$n$  = banyaknya penampang bagian.

## 2. Kecepatan aliran tiap titik

Kecepatan aliran tiap titik dihitung dengan rumus:

$$N < n_i, V = p N + q \quad (\text{II.35})$$

$$N > n_i, V = r N + s \quad (\text{II.36})$$

Dimana:

$N$  = jumlah putaran baling-baling, dibagi dengan waktu pengukuran  $N = \frac{R}{T}$

$R$  = jumlah putaran baling-baling.

$T$  = waktu pengukuran.

$n_i$  = batas jumlah putaran baling-baling.

$V$  = kecepatan aliran, ( $\text{m}/\text{s}$ ).

$p, q, r, s$  = koefisien berdasarkan kalibrasi current meter alat ukur arus.

### 3. Kecepatan Aliran Rata-Rata Pada Jalur Vertikal

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan pada setiap jalur vertikal dengan metode 1 titik, 2 titik, dan 3 titik tergantung dari kedalaman air dan ketelitian yang diinginkan. Kecepatan rata-rata dihitung dengan menggunakan rumus perhitungan antara lain:

- apabila menggunakan cara satu titik:

$$V = V_{0,6} \quad (\text{II.37})$$

- apabila menggunakan cara dua titik:

$$V = \frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2} \quad (\text{II.38})$$

- apabila menggunakan cara tiga titik:

$$V = \left[ \left( \frac{V_{0,2} + V_{0,8}}{2} \right) + V_{0,6} \right] \times \frac{1}{2} \quad (\text{II.39})$$

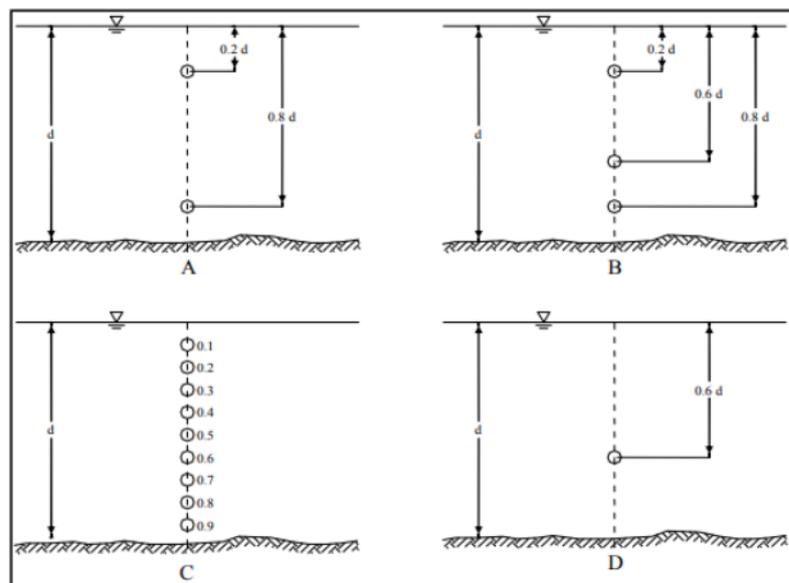
Dimana :

$V$  = kecepatan aliran rata-rata pada suatu vertikal, (m/s)

$V_{0,2}$  = kecepatan aliran pada titik 0,2 d, (m/s)

$V_{0,6}$  = kecepatan aliran pada titik 0,6 d, (m/s)

$V_{0,8}$  = kecepatan aliran pada titik 0,8 d, (m/s)



**Gambar 2.15 Pengukuran kecepatan aliran dengan cara 1 titik, 2 titik dan 3 titik**

(Sumber: Rencana Pengendalian Sedimentasi dan Penataan Kawasan Bendungan di Sumbawa I)

4. Perhitungan penampang basah

Luas penampang basah dihitung dari kedalaman air dan lebar sungai. Kedalaman air diperoleh dengan cara mengukur kedalaman air pada titik pengukuran dengan menggunakan tongkat penduga atau kabel pengukur. Luas penampang basah dihitung dengan menggunakan rumus:

$$a_x = \frac{b_{(x+1)} - b_{(x-1)}}{2} d_x \quad (\text{II.40})$$

$$A = \sum_{x=1}^n a_x \quad (\text{II.41})$$

Dimana:

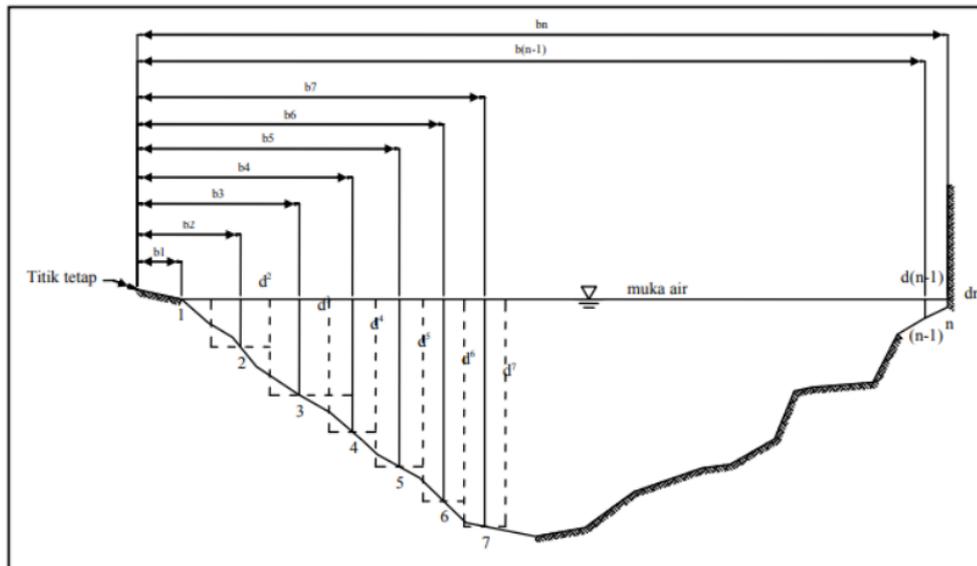
$A_x$  luas penampang basah pada bagian ke x, ( $m^2$ )

$b_{(x+1)}$  jarak titik vertikal sesudah titik vertikal ke x dari titik tetap, (m).

$b_{(x-1)}$  jarak titik vertikal sebelum titik vertikal ke x dari titik tetap, (m).

$D_x$  kedalaman pada titik vertikal ke x, (m).

$A$  = luas seluruh penampang basah, ( $m^2$ ).



**Gambar 2.16 Penampang melintang pengukuran debit dengan menggunakan penampang tengah (mid section)**

(Sumber: Rencana Pengendalian Sedimentasi dan Penataan Kawasan Bendungan di Sumbawa I)

Tinggi muka air rata-rata Tinggi muka air rata-rata pada saat pengukuran dihitung dengan:

- a. Bila perbedaan tinggi muka air pada saat permulaan dan akhir pengukuran kurang dari 10 cm, rata-rata tinggi muka air dihitung dengan rumus:

$$\bar{H} = \frac{H_a + H_z}{2} \quad (\text{II.42})$$

- b. Bila perbedaan tinggi muka air pada saat permulaan dan akhir pengukuran lebih besar atau sama dengan 10 cm, rata-rata tinggi muka air dihitung dengan rumus:

$$\bar{H} = \frac{q_1 h_1 + q_2 h_2 + \dots + q_n h_n}{Q} \quad (\text{II.43})$$

Kecepatan air rata-rata pada penampang sungai atau saluran terbuka. Kecepatan aliran rata-rata dihitung dengan rumus:

$$v = \frac{Q}{A} \quad (\text{II.44})$$

Dimana:

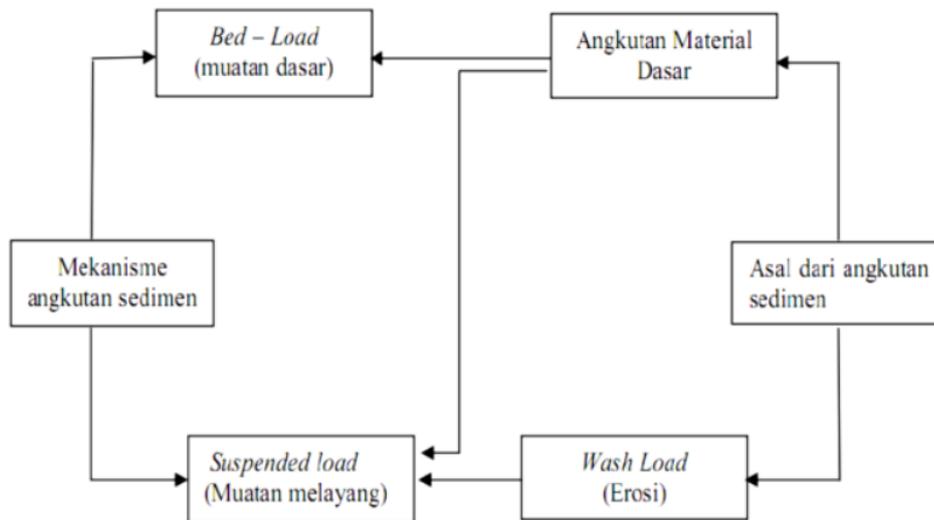
- $v$  = kecepatan aliran rata-rata pada seluruh penampang, (m/s).
- $Q$  = luas seluruh penampang basah, (m<sup>2</sup>)
- $A$  = debit seluruh penampang, (m<sup>3</sup>/s).

### II.5.5 Analisis Sedimen

Sedimentasi adalah partikel padat yang digerakkan oleh *fluida* (Einstein,1964), sedangkan menurut Manan (1979) sedimentasi adalah proses pengendapan dari bahan organik dan anorganik yang tersuspensi di dalam air dan diangkut oleh air. Pada daerah aliran sungai, partikel dan unsur hara yang larut dalam aliran permukaan, akan mengalir ke sungai dan waduk sehingga terjadi pendangkalan pada daerah tersebut yang kemudian menyebabkan daya tampung sungai dan waduk menurun serta kesuburan tanah dihilu berkurang. Sedimen sendiri dapat dibedakan berdasarkan asal angkutannya dan mekanisme pengangkutannya sebagaimana ditunjukkan oleh **Gambar II.30** Skema angkutan sedimen. Sedimen pada sungai dibagi menjadi dua berdasarkan asalnya (Overbeek,1979: Linsley et al.,1982), yaitu

1. Angkutan sedimen dasar atau *bed material transport*, dimana asal materialnya dari saluran sendiri. Angkutan sedimen ini dapat berupa *bed load* dan *suspended load*.
2. Muatan hanyutan atau *wash load transport*, yang materialnya datang dari sumber-sumber luar saluran merupakan akibat dari *erosi* di hulu. Pada umumnya angkutan *wash load* merupakan *suspended load*.

Mekanisme angkutan sedimen dapat berupa partikelnya bergeser melayang dalam air yang terbawa aliran disebut *suspended load* atau muatan melayang, sedangkan bila sedimen dimana gerakan partikelnya menggelinding, bergeser dan berlompatan disebut *bed load* atau muatan dasar.



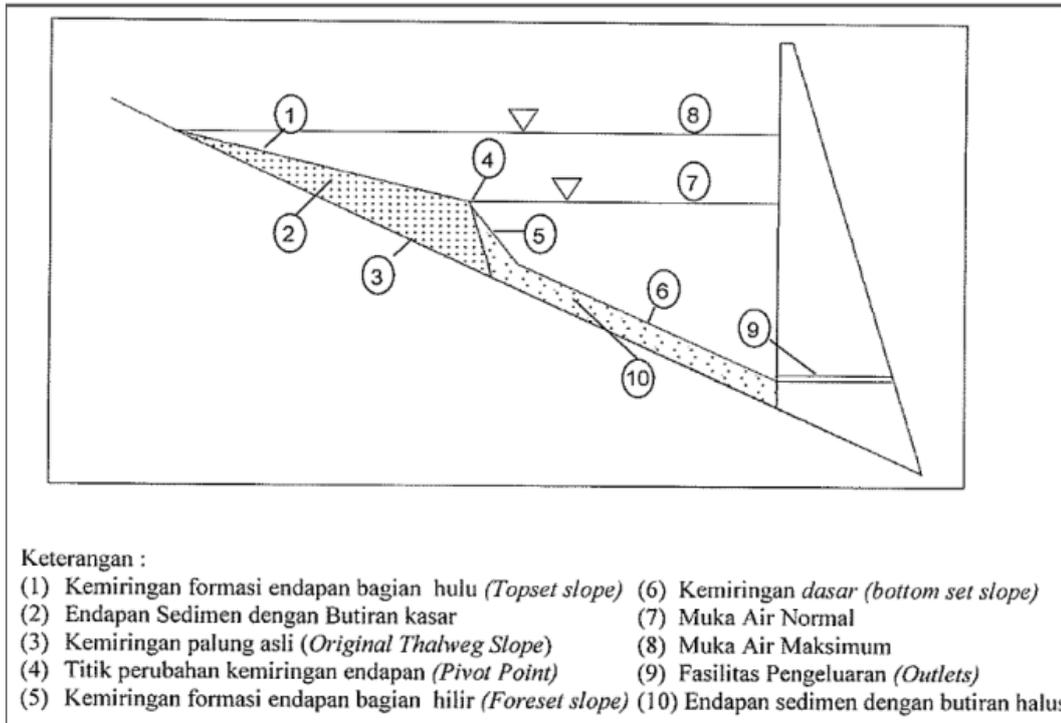
**Gambar 2.17 Skema angkutan sedimen**

(Sumber: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. 2009)

Volume tampungan waduk dapat berkurang akibat terjadi sedimentasi di daerah genangan waduk. Sedimentasi merupakan proses alami dari penumpukan sedimen yang terbawa ke dalam waduk dan mempengaruhi umur layanan waduk. Aliran sungai dan arus yang masuk ke dalam waduk berkurang kecepatannya, sehingga menyebabkan kapasitas angkutan sedimen di bagian inlet waduk berkurang yang menyebabkan penumpukan sedimen di bagian inlet waduk atau di bagian pertemuan antara genangan dengan sungai. Proses sedimentasi di daerah genangan waduk diawali dengan butiran sedimen yang lebih besar terlebih dahulu kemudian

bagian butiran sedimen yang lebih halus akan mengendap kemudian dengan posisi lebih jauh dari *inlet*. Hasil dari proses sedimentasi ini ditunjukkan oleh.

**Gambar II.18** Profil Tipikal Pengendapan Sedimen (Strand dan Pamberton,1982). Tujuan utama dari analisa sedimentasi pada waduk adalah untuk mengetahui luas dan kapasitas waduk, sehingga diketahui pola penyebaran sedimen dan umur layanan waduk.



**Gambar 2.18** Profil Tipikal Pengendapan Sedimen

(Sumber: Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. 2009)

### II.5.5.1 Laju Sedimentasi Muatan Melayang (Suspended Load)

Laju muatan sedimen melayang dihitung berdasarkan data pengukuran sedimen melayang. Persamaan untuk memperkirakan laju muatan sedimen melayang:

$$QS = 0,0864 \cdot C \cdot QW \quad (II.45)$$

Dimana:

QS = muatan sedimen melayang (ton/hari).

QW = konsentrasi (mg/l).

C = debit sungai (m<sup>3</sup>/dt).

- Persamaan Einstein

$$q_s = 11,6 \cdot u_* \cdot C_a (I_1 \cdot \ln \left( \frac{h}{0,333 k_s} \right) + l_2) \quad (\text{II.46})$$

Dimana:

$I_1, I_2$  = integral Einstein.

$u_*$  = kecepatan aliran rata-rata.

$C_a$  = konsentrasi sedimen referensi.

$h$  = kedalaman air.

- Persamaan Bjiker

$$q_s = 1,83 \cdot q_B \cdot (I_1 \cdot \ln \left( \frac{h}{0,333 k_s} \right) + l_2) \quad (\text{II.47})$$

- Dimana  $q_B$  didapat dari rumus Kalinske-Frinjlink

$$q_B = 2d_{50} \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} \exp \left( \frac{-0,27(s-1) d_{50} \rho g}{\tau' b} \right) \quad (\text{II.48})$$

- Rumus Lane dan Kalinskie

$$q_s = q \cdot C_a \cdot P_L \cdot \exp \left( \frac{15 \cdot \omega \cdot a}{U_* h} \right) \quad (\text{II.49})$$

Dimana :

$P_L$  = perbandingan integral kedalaman konsentrasi sedimen rata-rata terhadap konsentrasi sedimen kedalaman a.

$\omega$  = kecepatan jatuh  $d_{50}$ .

$U_*$  = kecepatan aliran rata-rata.

$C_a$  = konsentrasi sedimen kedalaman a.

$\tau_b$  = tegangan geser dasar.

$\tau' b$  = tegangan geser efektif.

- Persamaan Brook

$$q_s = C m d \cdot q \cdot \left[ 1 + \frac{u}{k_v} \cdot \int_E^1 \left( \frac{1-z}{z} \right)^{z1} \cdot z \cdot dz + 1 + \frac{u_*}{kV} \cdot \int_E^1 \left( \frac{1-z}{z} \right)^{z1} \cdot \ln \cdot z \cdot dz \right] \quad (\text{II.50})$$

Dimana :

$Q$  = debit air persatuan lebar

$C_{md}$  = referensi konsentrasi sedimen pada  $z=1/2 h$   
 $Z$  =  $1/2 h$

- Persamaan Chang, Simons dan Richardson

$$q_s = h \cdot C_a \left( V \cdot I_1 - \left( \frac{2 \cdot u_y}{k} \right) + I_2 \right) \quad (\text{II.51})$$

### II.5.5.2 Laju Sedimentasi Muatan Dasar (Bed Load)

- Persamaan Duboy

$$q_b = \frac{0,1}{d^{3/4}} \tau (\tau - \tau_c) \quad (\text{II.52})$$

- Persamaan Kalinske-Frijlink

$$q_B = 2d_{50} \sqrt{\frac{\tau_b}{\rho}} \exp\left(\frac{-0,27(s-1) d_{50} \rho g}{\tau'_b}\right) \quad (\text{II.53})$$

Dimana :

- $\tau$  = tegangan geser.
- $\tau_c$  = tegangan geser kritis.
- $\tau_b$  = tegangan geser dasar.
- $\tau'_b$  = tegangan geser efektif.

- Persamaan Bagnold

$$q_b = \frac{e_b \cdot \tau_b \cdot \bar{u}}{(\beta_s - \rho) g \cdot \cos \beta (\tan \phi - \tan \beta)} \quad (\text{II.54})$$

Dimana :

- $\tau_b$  = tegangan geser dasar total ( $\text{N/m}^2$ ).
- $\bar{u}$  = kecepatan aliran rata-rata ( $\text{m/dt}$ ).
- $e_b$  = faktor efisiensi (0,1 - 0,2).
- $\tan \phi = 0,6$  = koefisien friksi dinamis (-).
- $\tan \beta = I_b$  = kemiringan dasar saluran (-).

### II.5.5.3 Laju Sedimentasi Muatan Total (Total Load)

Berdasarkan metode angkutan sedimen, angkutan sedimen total adalah jumlah angkutan sedimen dasar dan angkutan sedimen suspensi. Ada dua pendekatan dalam menentukan angkutan sedimen total. Pertama, menghitung angkutan sedimen dasar dan angkutan sedimen suspensi secara terpisah, kemudian

menjumlahkannya. Kedua, menentukan fungsi angkutan sedimen total secara langsung tanpa dibagi dalam angkutan sedimen dasar dan angkutan sedimen suspensi. Untuk menentukan kapasitas angkutan sedimen pada sungai alami, dengan pengecualian untuk material kasar, dimana sebagian besar diangkut sebagai angkutan dasar sedimen, persamaan angkutan total harus digunakan.

- Persamaan Ackers White

$$F_{gr} = U_* \left[ 9 d \left( \frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) \right]^{1/2} \cdot \left[ \frac{v}{\sqrt{32} \log(\alpha \cdot h/d)} \right]^{1-n} \quad (\text{II.55})$$

Dimana:

- $F_{gr}$  = angka mobilitas sedimen
- $\alpha$  = koefisien dalam persamaan rough turbulen
- $n$  = eksponen trasisi

- Persamaan Laursen

$$q_t = q \cdot C_t \quad (\text{II.56})$$

$$C_t = 0,01 \gamma \sum_i p_i \left( \frac{d_i}{D} \right)^{7/6} \left( \frac{\tau'}{\tau_{ci}} - 1 \right) f \left( \frac{U_*}{\omega_i} \right) \quad (\text{II.57})$$

Dimana :

- $q_t$  = debit aliran persatuan lebar.
- $q$  = debit sedimen persatuan lebar.
- $d_i$  = berat jenis air.
- $D$  = ukuran partikel sedimen berpresentase  $i\%$ .
- $\tau'$  = kedalaman rata-rata.
- $\tau_{ci}$  = tegangan geser.
- $U_*$  = kecepatan geser.
- $\omega_i$  = kecepatan jatuh partikel sedimen ukuran  $i$ .

#### II.5.5.4 Sedimentasi dengan Software HEC-RAS

Software HEC-RAS mampu menyimulasikan transpor sedimen satu dimensi (simulasi perubahan dasar sungai) akibat gerusan atau deposisi dalam waktu tertentu yang umumnya adalah tahunan. Transpor sedimen pada HEC-RAS mampu memprediksi kapasitas angkutan untuk sedimen non-kohefif pada parameter *hidrolik eksisting*. Hasil dari simulasi ini dapat berupa laju sedimentasi dan plot dari

profilnya. Sebelum HEC-RAS dapat mensimulasikan transpor sedimen, hidraulika sungai harus didefinisikan lebih dulu. Software HEC-RAS menggunakan penyederhanaan hidrodinamik, pendekatan umum banyak digunakan dalam pemodelan transpor sedimen.

#### II.5.5.5 Kontinuitas Sedimen

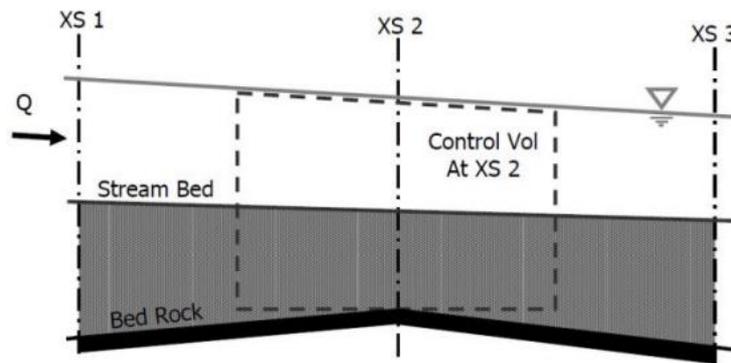
Penelusuran sedimen pada program HEC-RAS dengan persamaan kontinuitas sedimen yaitu persamaan Exner adalah sebagai berikut:

$$(1 - \lambda_p)B \frac{\partial \eta}{\partial t} = - \frac{\partial Q_s}{\partial x} \quad (\text{II.58})$$

Dimana:

- B = lebar saluran.
- $\eta$  = elevasi saluran.
- $\lambda_p$  = porositas lapisan.
- t = waktu.
- $Q_s$  = muatan angkutan sedimen.
- x = jarak.

Persamaan ini menyatakan bahwa perubahan volume sedimen dalam volume kontrol adalah sama dengan perbedaan antara muatan inflow dan muatan *outflow* sebagaimana ditunjukkan oleh **Gambar II.19** Skema Kontrol Volume Sedimen dengan Software HEC-RAS. Persamaan kontinuitas sedimen diselesaikan dengan menghitung kapasitas angkutan sedimen melalui volume kontrol pada setiap penampang *cross section* tertentu. Kapasitas muatan sedimen keluar volume kontrol dibandingkan dengan pasokan sedimen memasuki volume kontrol. Jika kapasitas sedimen keluar lebih besar dibandingkan muatan sedimen yang masuk maka terjadi *erosi*, jika kapasitas sedimen keluar lebih besar dari pasokan maka ada *surplus* sedimen yang menyebabkan terjadinya sedimentasi.



**Gambar 2.19 Skema Kontrol Volume Sedimen dengan Software**

(Sumber: US Army Corps of Engineers. 2016)

### II.5.5.6 Daya Angkutan Sedimen

Daya angkutan sedimen adalah berapa banyak material dari ukuran sedimen tertentu yang dapat diangkut oleh air. Daya angkut sedimen dihitung dengan salah satu dari beberapa rumus sediment transport yang terdapat pada program HEC-RAS. Sebagian besar persamaan sediment transport ini dihitung dengan ukuran butir tunggal seperti  $d_{50}$  atau  $d_{90}$  saja. Ada tujuh persamaan daya angkut sedimen pada software HEC-RAS.

1. *Acker* dan *White* Persamaan ini merupakan fungsi *total load* yang dikembangkan berdasarkan asumsi bahwa angkutan sedimen halus berhubungan dengan fluktuasi turbulen air dan angkutan sedimen kasar berhubungan erat.

$$X = \frac{G_{gr} s d_s}{D \cdot \left(\frac{u_*}{V}\right)^n} \quad \text{and} \quad G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1\right) \quad (\text{II.59})$$

Dimana:

- X = konsentrasi sedimen per segmen
- $G_{gr}$  = parameter transpor sedimen
- s = *specific gravity* sedimen
- $d_s$  = nilai tengah diameter partikel
- D = kedalaman efektif
- $U_*$  = kecepatan geser

- V = kecepatan saluran rata-rata
- N = transition exponen, tergantung ukuran sedimen
- C = koefisien
- $F_{gr}$  = parameter mobilitas sedimen
- A = parameter mobilitas sedimen kritis

## 2. England Hansen

Rumus ini merupakan fungsi prediksi *total load* yang hasilnya cukup untuk sungai berpasir dengan substansi angkutan melayang. Percobaan dari persamaan ini berasal dari data flume dengan ukuran sedimen 0,19 mm sampai 0,93 mm.

$$g_s = 0.05 \gamma_s V^2 \sqrt{\frac{d_{50}}{g\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right)} \left[ \frac{\tau_0}{(\gamma_s - \gamma)d_{50}} \right]^{3/2}} \quad (\text{II.60})$$

Dimana:

- $g_s$  = unit sediment transport.
- $\gamma$  = berat jenis air.
- $\gamma_s$  = berat jenis sedimen.
- V = kecepatan rata-rata saluran.
- $\tau_0$  = tegangan geser dasar.
- $d_{50}$  = ukuran partikel 50%.

## 3. Laursen-Copeland

Fungsi prediksi angkutan sedimen total ini diturunkan dari kombinasi analisis kualitatif, eksperimen langsung, dan data pendukung. Rentang ukuran nilai tengah sedimen yang diaplikasikan antara 0,11 sampai 29 mm.

$$C_m = 0.01 \gamma \left( \frac{d_s}{D} \right)^{7/6} \left( \frac{\tau_0}{\tau_c} - 1 \right) f \left( \frac{u_*}{\omega} \right) \quad (\text{II.61})$$

Dimana:

- $C_m$  = konsentrasi aliran sedimen.
- $\gamma$  = berat jenis air.
- $d_s$  = nilai tengah diameter partikel.

- D = kedalaman efektif.  
 $\tau_o$  = tegangan geser dasar.  
 $\tau_c$  = tegangan geser dasar kritis.  
 $f = \frac{U_*}{\omega}$  = fungsi dari rasio kecepatan geser dan kecepatan jatuh.

4. Meyer-Peter Muller

$$\left(\frac{k_r}{k'_r}\right)^{3/2} \gamma R S 0.047 (\gamma_s - \gamma) d_m + 0.25 \left(\frac{\gamma}{g}\right)^{1/3} \left(\frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma_s}\right)^{2/3} g_s^{2/3} \quad (\text{II.62})$$

Dimana:

- $g_s$  = unit sediment transport rate dalam berat/waktu/lebar.  
 $k_r$  = koefisien kekasaran.  
 $k'_r$  = koefisien kekasaran berdasarkan butiran.  
 $\gamma$  = berat jenis air.  
 $\gamma_s$  = berat jenis sedimen.  
 $g$  = percepatan gravitasi.  
 $d_m$  = nilai tengah diameter partikel.  
R = radius hirolis.  
S = gradien energi.

Pemilihan rumus angkutan sedimen perlu dipertimbangkan berdasarkan data yang dibutuhkan dalam persamaan tersebut. Berikut pada **Tabel II.8** ditunjukkan kebutuhan data yang diperlukan dari masing-masing persamaan.

Dimana:

- d = semua diameter partikel.  
Dm = nilai tengah diameter partikel.  
s = spesifik gavity sedimen.  
V = kecepatan rata-rata penampang.  
D = kedalaman penampang.  
S = kemiringan garis energi.  
W = lebar saluran.

- T = suhu air.  
R = jari-jari hidrolis.  
NA = data tidak dibutuhkan.

**Tabel 2 2 Range input data untuk persamaan angkutan sedimen**

Function	d	d <sub>m</sub>	s	V	D	S	W	T
Ackers-White (flume)	0.04 - 7.0	NA	1.0 - 2.7	0.07 - 7.1	0.01 - 1.4	0.00006 - 0.037	0.23 - 4.0	46 - 89
Englund-Hansen (flume)	NA	0.19 - 0.93	NA	0.65 - 6.34	0.19 - 1.33	0.000055 - 0.019	NA	45 - 93
Laursen (field)	NA	0.08 - 0.7	NA	0.068 - 7.8	0.67 - 54	0.0000021 - 0.0018	63 - 3640	32 - 93
Laursen (flume)	NA	0.011 - 29	NA	0.7 - 9.4	0.03 - 3.6	0.00025 - 0.025	0.25 - 6.6	46 - 83
Meyer-Peter Muller (flume)	0.4 - 29	NA	1.25 - 4.0	1.2 - 9.4	0.03 - 3.9	0.0004 - 0.02	0.5 - 6.6	NA
Tofaletti (field)	0.062 - 4.0	0.095 - 0.76	NA	0.7 - 7.8	0.07 - 56.7 (R)	0.000002 - 0.0011	63 - 3640	32 - 93
Tofaletti (flume)	0.062 - 4.0	0.45 - 0.91	NA	0.7 - 6.3	0.07 - 1.1 (R)	0.00014 - 0.019	0.8 - 8	40 - 93
Yang (field-sand)	0.15 - 1.7	NA	NA	0.8 - 6.4	0.04 - 50	0.000043 - 0.028	0.44 - 1750	32 - 94
Yang (field-gravel)	2.5 - 7.0	NA	NA	1.4 - 5.1	0.08 - 0.72	0.0012 - 0.029	0.44 - 1750	32 - 94

(Sumber: US Army Corps of Engineers. 2016)

### II.5.5.7 Kecepatan Jatuh

Kecepatan jatuh berpengaruh besar dalam proses angkutan sedimen. Suatu sedimen akan tetap melayang atau tidak mengendap selama kecepatan aliran arah vertikal lebih besar dari kecepatan jatuh. Pada software HEC-RAS terdapat tiga metode perhitungan kecepatan jatuh yaitu Toffaletti (1968), Van Rijn (1993), dan Rubey (1933). Faktor bentuk penting untuk partikel bergolongan ukuran *medium sands* atau lebih besar. Toffaletti menggunakan besar nilai sf 0,9. Perbedaan kecepatan jatuh dipengaruhi oleh suhu dan ukuran partikel. Sedangkan Van Rijn nilai sf-nya 0,7 yang sama dengan perkiraan untuk besar pasir alami. Persamaan kecepatan jatuh menurut Van rijn adalah sebagai berikut:

Untuk  $0,001 < d \leq 0,1$  mm

$$\omega = \frac{(s-1)gd}{18\nu} \quad (\text{II.63})$$

Untuk  $0,1 < d \leq 1$  mm

$$\omega = \frac{10v}{d} \left[ \left( 1 + \frac{0,01(s-1)gd^3}{v^2} \right)^{0.5} - 1 \right] \quad (\text{II.64})$$

Untuk  $d > 1$  mm

$$\omega = 1,1[(s - 1)gd]^{0.5} \quad (\text{II.65})$$

Dimana:

- $\omega$  = kecepatan jatuh partikel.
- $v$  = viskositas kinematis.
- $s$  = specific gravity partikel.
- $d$  = diameter partikel.

Persamaan *Rubey* dapat digunakan untuk jenis partikel sedimen dari lanau, pasir, dan kerikil. *Specific gravity* yang terbaik untuk diaplikasikan adalah 2,65.

Persamaan *Rubey* adalah sebagai berikut:

$$\omega = F_1 [(s - 1)gd]^{0.5} \quad (\text{II.66})$$

Dengan nilai  $F_1$

$$F_1 = \sqrt{\frac{2}{3} + \frac{36v^2}{gd^3(s-1)}} - \sqrt{\frac{36v^2}{gd^3(s-1)}} \quad (\text{II.67})$$

### II.5.5.8 Gradasi Sedimen

Gradasi partikel sedimen berpengaruh besar dalam terjadinya angkutan sedimen. Kapasitas angkutan sedimen untuk semua ukuran merupakan penjumlahan dari kapasitas angkutan sedimen total.

$$g_s = \sum_{i=1}^n g_{si} p_i \quad (\text{II.68})$$

Dimana:

- $g_s$  = angkutansedimen total.
- $n$  = jumlah kelas ukuran sedimen.
- $g_{si}$  = angkutan sedimen ukuran  $i$ .

$p_i$  = fraksi kelas ukuran i.

Kelas ukuran sedimen berdasarkan *American Geophysical Union* yang digunakan sebagai pada software HEC-RAS ditunjukkan oleh **Tabel II.8**.

**Tabel 2.3 Klasifikasi Ukuran Partikel**

Sediment Material	Grain Diameter Range(mm)	Geometric Median Diameter (mm)
Clay	0.002-0.004	0.003
Very Fine Silt	0.004-0.008	0.006
Fine Silt	0.008-0.016	0.011
Medium Silt	0.016-0.032	0.023
Coarse Silt	0.032-0.0625	0.045
Very Fine Sand	0.0625-0.125	0.088
Fine Sand	0.125-0.250	0.177
Medium Sand	0.250-0.5	0.354
Coarse Sand	0.5-1.0	0.707
Very Coarse Sand	1-2	1.41
Very Fine Gravel	2-4	2.83
Fine Gravel	4-8	5.66
Medium Gravel	8-16	11.3
Coarse Gravel	16-32	22.6
Very Coarse Gravel	32-64	45.3
Small Cobbles	64-128	90.5
Large Cobbles	128-256	181
Small Boulders	256-512	362
Medium Boulders	512-1024	724
Large Boulders	1024-2048	1448

(Sumber: US Army Corps of Engineers. 2016)

### II.5.5.9 Kapasitas Angkutan Sedimen

Kapasitas angkutan sedimen untuk tiap kelas ukuran sedimen dihitung sebagai berikut:

$$T_C = \sum_{i=1}^n B_j I_i \quad (\text{II.69})$$

Dimana

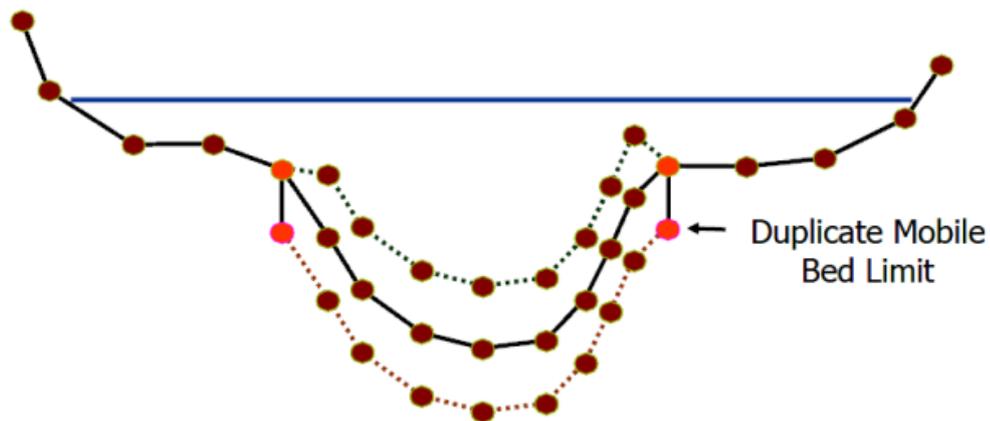
$T_C$  = kapasitas total angkutan

$n$  = jumlah kelas ukuran sedimen

$B_j$  = persentase lapisan pada kelas sedimen “j”

$I_i$  = potensial angkutan untuk kelas material “j”

Erosi maupun sedimentasi. Pada **Gambar II.30** ditunjukkan contoh perubahan dasar sungai akibat erosi dan sedimentasi.



**Gambar 2.20 Perubahan dasar saluran standar (contoh)**

(Sumber: US Army Corps of Engineers. 2010)

### **II.5.6 Metode USLE**

Erosi adalah suatu proses dimana tanah dihancurkan dan kemudian dipindahkan ke tempat lain oleh kekuatan air, angin dan gravitasi (Hardjowigeno 1989). Sedangkan sedimen adalah hasil proses erosi, baik berupa erosi permukaan, erosi parit, atau erosi jenis lainnya. Sedimen umumnya mengendap dibagian bawah kaki bukit, di daerah genangan banjir, di saluran air, sungai dan waduk. (Asdak 2001). Untuk mengukur erosi di waduk Sumbawa 1 dilakuak dengan persamaan, metode *Universal Soil Loss Equation (USLE)* yang dikembangkan oleh Wischmeier dan Smith (1978) adalah metode yang paling umum digunakan untuk memperkirakan besarnya erosi.

dengan rumus sebagai berikut:

$$Ea = R.K.LS.C.P$$

Dimana:  $Ea$  = Banyaknya tanah tererosi (ton/ha/tahun).

$R$  = Faktor erosivitas hujan dan aliran permukaan (KJ/ha).

$K$  = Faktor erodibilitas tanah (ton/KJ)  $LS$  = Faktor panjang dan kemiringan lahan.

$C$  = Faktor tanaman penutup lahan.

$P$  = Faktor tindakan konservasi lahan

Faktor *erosivitas* hujan adalah kemampuan air hujan dalam mengerosi tanah (Arsyad, 2010). Data curah hujan di DTA Waduk Sumbawa dibutuhkan untuk memperoleh nilai *erosivitas* hujan wilayah Waduk Sumbawa. Untuk mengetahui nilai *erosivitas* tersebut analisis ini mengacu berdasarkan Persamaan Abdurachman (1989) sebagaimana diuraikan Persamaan dibawa ini.

$$R_m = \frac{(P_m)^{2,263} \times (Max P)^{0,678}}{40,056 \times (D_m)^{0,349}}$$

$$R = \sum_{m=1}^{12} (R_m)$$

Keterangan

R : Erosivitas hujan tahunan (kJ/ha).

R<sub>m</sub> : Erosivitas hujan bulanan (kJ/ha).

P<sub>m</sub> : Jumlah curah hujan dalam sebulan (cm).

D<sub>m</sub> : Jumlah hari hujan dalam sebulan (hari).

MaxP : Curah hujan harian maksimal per bulan (cm).

## II.6 Studi Terdahulu

Studi terdahulu memiliki fungsi dan manfaat untuk Mengidentifikasi Pengetahuan yang Sudah Ada, Studi terdahulu membantu peneliti dalam mengidentifikasi pengetahuan dan temuan yang sudah ada di bidang yang akan diteliti. Dengan mempelajari studi terdahulu, peneliti dapat mengetahui apa yang telah dilakukan sebelumnya, temuan apa yang telah ditemukan, dan apakah masih ada celah penelitian yang belum terpenuhi.

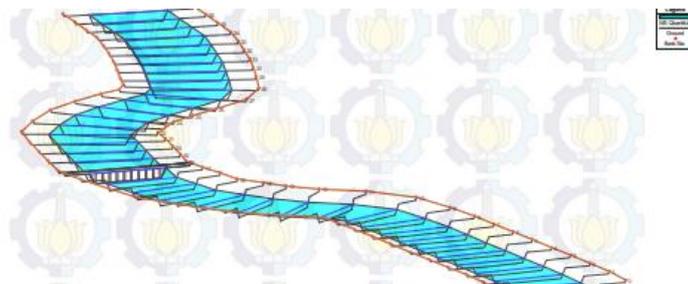
Studi terdahulu membantu dalam merumuskan pertanyaan penelitian yang relevan dan signifikan. Dengan memahami penelitian terdahulu, peneliti dapat mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan atau masalah yang belum terselesaikan, yang kemudian dapat membimbing pembentukan pertanyaan penelitian yang lebih baik. Studi terdahulu membantu dalam memperoleh perspektif metodologi yang sesuai. Dengan mempelajari pendekatan penelitian yang telah digunakan dalam studi terdahulu, peneliti dapat memilih metode penelitian yang paling tepat untuk

pertanyaan penelitian mereka. Hal ini penting untuk menghindari pemborosan sumber daya dan mengarahkan penelitian ke arah yang lebih inovatif.

Dalam keseluruhan, studi terdahulu memiliki peran penting dalam memandu penelitian baru. Dengan mempelajari penelitian terdahulu, peneliti dapat membangun pengetahuan yang ada, mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan, dan memperkuat dasar teoritis serta metodologi penelitian mereka.

### **II.6.1 Laju Sedimentasi pada Tampungan Bendungan Tugu Trenggalek (Faradilla Ayu Rizki Shiami, Umboro Lasminto, dan Wasis Wardoyo)**

Pada Peneliin kali ini meneliti laju sedimentasi yang di modelkan dalam aplikasi HEC-RAS ,dilakukan perhitungan ukuran dimensi bendungan dan bangunan pelimpah untuk menentukan berapa banyak sedimen yang terkumpul , selanjutnya dalam menentukan curah hujan dilakukan dengan sistem *gumble*, pada saat menganalisis analisa geometri menggunakan *global mapper* dan data yang dimasukkan pada *flow series* merupakan data debit bulanan selama 34 tahun dari tahun 1976-2009 dengan *computation increment* setiap 24 jam. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui sebanyak apa sedimen yang terkumpul dalam waktu tahunan. dan pemodelan dilakukan dengan penambahan *culvert* pada inline structure sebagai saluran pengambilan dan perubahan *max depth* menjadi 0 m pada sedimen data karena merupakan model sedimentasi. Hasil model ini adalah sedimentasi yang terjadi berjalan hampir sampai ke bagian hilir namun muka air turun setinggi elevasi *culvert* dari waktu pertama dikarenakan besar *outflow* yang lebih dominan.

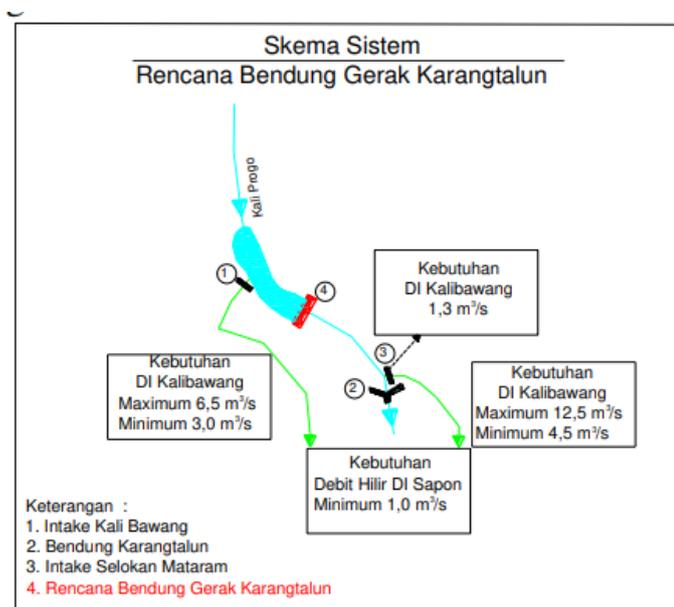


**Gambar 2 Profile Plot tahun ke 34**

(Sumber: Jurnal Teknik Its Vol. 6, No. 2 (2017))

## II.6.2 Pemodelan Awal Perencanaan Bendung Gerak Karangtalun Dengan HEC-RAS (Burhannudin Apriliansyah, Heri Suprijanto, Mohammad Taufiq)

Tujuan penelitian ini adalah untuk Mengetahui titik-titik pada lokasi bendung gerak yang mengalami erosi dan sedimentasi serta volume sedimen yang masuk ke bendung gerak Karangtalun. Simulasi angkutan yang digunakan adalah flushing sedimen tiap 6 (enam) bulan. Penelitian yang dilakukan berfokus terhadap bagaimana cara mengatasi erosi yang terjadi agar tidak mengakibatkan sedimentasi, penelitian ini memodelkan sedimentasi pada bendungan gerak dan menentukan di daerah mana sedimentasi banyak berkumpul dengan menentukan kapan terbukanya pintu bendung gerak. Pada penelitian ini dilakukan pemodelan dan analisa banjir , pemodelan struktur hidrolik bendung gerak dan pemodelan kapan terbukanya pintu gerak pada bendung dengan aplikasi HEC-RAS.



Gambar 2.21 Skema Sistem Rencana

## II.6.3 Pemodelan Angkutan Sedimen dan Perubahan Dasar Sungai (Studi Kasus: Sungai Juana) (Archyuda Farchan)

Penelitian ini bertujuan meneliti penggunaan software HEC-RAS dalam simulasi angkutan sedimen untuk melakukan estimasi perubahan morfologi dasar sungai dan alternatif penanganannya yang terjadi pada Sungai Juana dengan memanfaatkan

data sedimen yang diambil langsung, analisa penelitian dilakukan selama 4 tahun dan metode yang digunakan dengan cara menganalisis butir sedimen secara langsung pada daerah sekitar bendungan dari hasil penelitian yang dilakukan pada dasar saluran terdapat material endapan halus dengan diameter rata-rata ( $d_{50} = 0,003$  mm). Total sedimen yang mengendap pada saluran dari hasil simulasi selama 4 tahun adalah 146.000 m<sup>3</sup> atau 125.000 ton. Hal ini berarti laju sedimentasi hasil simulasi yaitu 36.500 m<sup>3</sup> /tahun. Endapan tersebut terjadi karena adanya fenomena flokulasi akibat bertemunya material halus.

#### **II.6.4 Numerical modeling of the Sakuma Dam reservoir sedimentation**

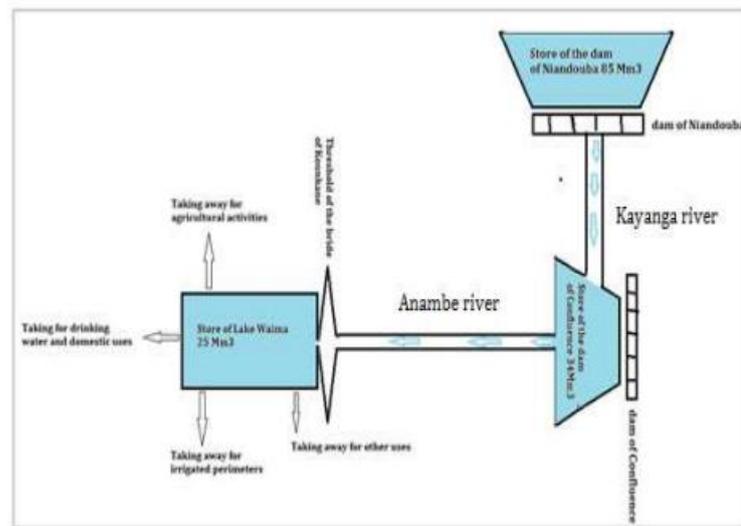
**(Prashanth R. Hanmaiahgari, Nooka Raju Gompa, Debasish Pal, Jaan H Pu)**

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan titik sedimentasi pada bendungan Sakuma, karena berkurangnya usia bendungan diakibatkan oleh sedimentasi waduk yang menyebabkan hilangnya 35% kapasitas tampung waduk Bendungan Sakuma pada tahun 2000. Air yang dikeluarkan dari bendungan Sakuma memiliki sedimen yang lebih sedikit konsentrasinya, oleh karena itu aliran tersebut mengikis dasar sungai di bagian hilir sepanjang 1,5 m. Metode juga digunakan dalam penelitian ini untuk memodelkan kecepatan jatuh. Sampel gradasi dasar O1, O2, O3 dan O4 pada penampang sungai masih dapat di atsi dengan metode pemisahan. Namun perubahan batimetri yang dihitung menggunakan HEC-RAS mengalami nilai yang tidak baik, mungkin disebabkan oleh parameter yang tidak diketahui seperti lokasi pintu air gerbang, aturan pengoperasian waduk, keberadaan sedimen kohesif, turbulensi aliran. oleh sebab itu pada penelitian ini dibuat hidrolika penampang yang berbeda bentuk sampai didapatkan nilai yang sesuai untuk mengatasi sedimentasi pada bendungan Saakuma.

#### **II.6.5 Using of HEC-RAS Model for Hydraulic Analysis of a River with Agricultural Vocation: A Case Study of the Kayanga River Basin, Senegal (Vieux Boukhaly Traore dkk)**

Tujuan Penelitian kali ini 1) penentuan pengaruh struktur hidrolis di bagian hulu dan hilir; 2) estimasi dataran banjir; 3) penetapan pengoperasian struktur hidrolis yang aman dan optimal; 4) itu koreksi sungai untuk menghindari kemungkinan meluap jika terjadi kenaikan dan 5) pilihan tempat implantasi struktur hidrolis

(seperti bendungan, stasiun pompa,...).karena di daerah Barat Afrika Bendungan adalah sesuatu yang sering di abaikan oleh sebab itu,Sungai Kayanga River Basin sering mengalami perubahan aliran sungai dari subkritis menjadi superkritis oleh karena itu peneliti memodelkan jalannya sedimentasi , tetapi pada beberapa titik sungai mengalami penyempitan karena sedimentasi ,peneliti menghitung karakteristik aliran utama sepanjang penelitian mencapai. Hal ini memungkinkan untuk menemukan titik tertinggi, terendah dan karakteristik aliran konstan daerah,

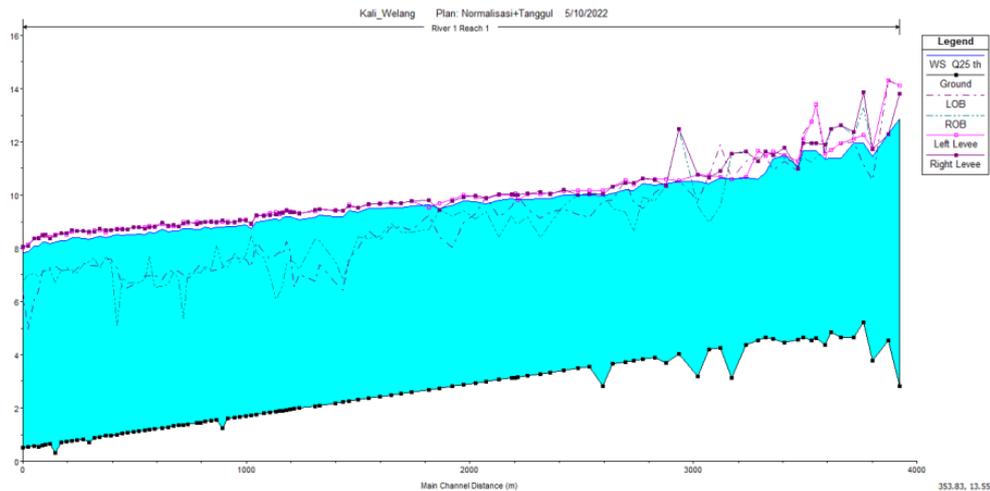


Gambar 2.22 Rencana sistem Hidrolik

## II.6.6 Analisis Angkutan Sedimen Sungai Welang Pasuruan Menggunakan Aplikasi HEC-RAS (Muhammad Iqbal Saifuddin Zuhri,2022)

Peneliti membuat angkutan sedimen dengan metode *Meyer-Peter Muller* dan debit dominan (Q1th) selama 5 tahun (2021-2027). Dari pemodelan tersebut didapatkan bahwa volume angkutan sedimen Sungai Welang adalah sebesar  $6,38 \times 10^4 \text{ m}^3$  atau rata-rata angkutannya sebesar  $1,28 \times 10^4 \text{ m}^3$  per tahun. Jika diubah ke dalam satuan massa maka angkutan sedimen sungai Welang adalah sebesar  $9,30 \times 10^4 \text{ ton}$  atau rata-rata sebesar  $1,86 \times 10^4 \text{ ton}$  per tahunnya. Kondisi eksisting Sungai Welang yang dipengaruhi sedimentasi pada tahun 2027 hasil pemodelan HEC-RAS dengan debit kala ulang 25 tahun (Q25th), seluruh *cross section* mengalami limpasan dengan tinggi rata-rata 1,8 m Untuk itu, perlu dilakukan upaya penanggulangan banjir Sungai Welang. Beberapa upaya dalam pengendalian banjir adalah dengan normalisasi dan pembangunan tanggul. Perbaikan dilakukan dengan normalisasi

yaitu mengubah slope 0,09% menjadi 0,15% selain itu, normalisasi dilakukan dengan memperhatikan kondisi eksisting sekitar sungai, volume galian untuk normalisasi adalah sebesar 110.669 m<sup>3</sup>. Hasilnya banjir hanya surut sebesar 0,4 m, namun belum dapat menanggulangi limpasan Q25th Sungai Welang, untuk itu perlu dilakukan penanganan lebih lanjut. Upaya selanjutnya adalah dengan menambahkan tanggul dengan rata-rata 1,4 m pada sisi kiri dan kanan Sungai.

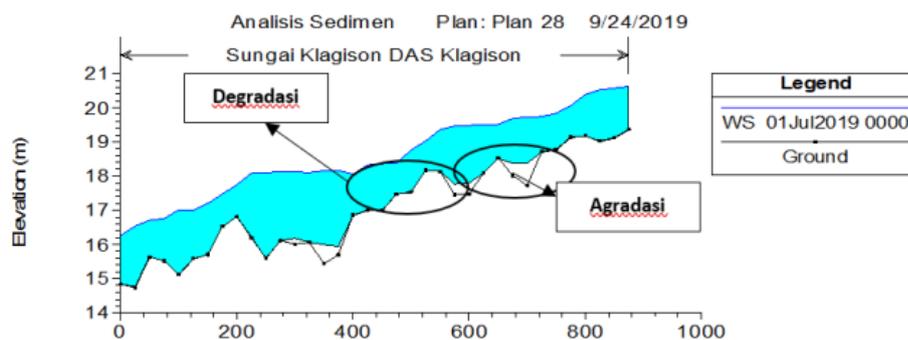


**Gambar 2.23 Kondisi pasca penanganan Sungai Welang pada debit banjir kala ulang 25 tahun**

### **II.6.7 Laju Sedimen Dasar Pada Sungai Klagison Menggunakan Program HEC-RAS (Achmad Rusdi,2023)**

Pada Pengujian ini peneliti melakukan analisis sedimentasi yang berisi jenis butiran sedimen, posisi bantaran kanan, kiri sungai dan elevasi dasar untuk masing-masing *cross section*. Perhitungan sedimentasi pada penelitian ini menggunakan metode Ackers White, Thomas dan Van rijn dikarenakan metode ini yang sesuai untuk menghitung angkutan sedimen dasar pada sungai Klagison. Pada sungai ini peneliti menemukan agradasi dan gradasi dan setelah dilakukan perhitungan dan pemodelan simulasi HEC-RAS menunjukkan terjadi pendangkalan dasar sungai pada beberapa segmen dengan rata-rata sebesar 0.891 m atau sekitar 0.130 hingga 0.140 m per tahun dengan salah satu penyebabnya aliran air yang melewati sungai mengalami arus yang cukup besar. Hasil uji analisa butiran di laboratorium, didapatkan karakteristik sungai Klagison berat jenis sedimen 2.32 dan termasuk jenis tanah gambut. Pada bagian hulu d<sub>50</sub> dan d<sub>90</sub> butiran sebesar 0,7 mm dan 3 mm, dan

berdasarkan klasifikasi AASHTO T-27- 74 sedimen dasar tergolong dalam jenis fragmen batu, kerikil, dan pasir. Pada bagian tengah d50 dan d90 sebesar 0.062 mm dan 0.073 mm, dan berdasarkan klasifikasi AASHTO T-27-74 sedimen dasar tergolong dalam jenis pasir sangat halus. Pada bagian hilir d50 dan d90 sebesar 0.022 mm dan 0.064 mm, dan berdasarkan klasifikasi AASHTO T-27-74 sedimen dasar tergolong dalam jenis pasir sangat halus. Hasil analisis angkutan sedimen menggunakan HEC-RAS 5.0.6 didapatkan jumlah total muatan sedimen simulasi selama 5 tahun sebesar 124.007,647 ton.



Gambar 2.24 Potongan Memanjang Hasil Sedimentasi

File Options View Help

Initial Conditions and Transport Parameters | Boundary Conditions | USDA-ARS Bank Stability and Toe Erosion Model (BSTEM) (Beta)

River: (All Rivers) Transport Function: Ackers-White Define/Edit Bed Gradation ...

Reach: Sorting Method: Thomas (Ex5) Define Layers...

Number of mobile bed channels: 1 Fall Velocity Method: Van Rijn

River	Reach	RS	Invert	Max Depth	Min Elev	Left Sta	Right Sta	Bed Gradation
1	Sungai Klagison	DAS Klagison	875	19.357	19.34	0.859	4.058	HULU
2	Sungai Klagison	DAS Klagison	850	19.127	19.11	1.805	4.671	HULU
3	Sungai Klagison	DAS Klagison	825	19.03	19.01	0	5	HULU
4	Sungai Klagison	DAS Klagison	800	19.182	19.17	0.903	5	HULU
5	Sungai Klagison	DAS Klagison	775	19.145	19.13	0.043	4.169	HULU
6	Sungai Klagison	DAS Klagison	750	18.788	18.77	1.775	6.184	HULU
7	Sungai Klagison	DAS Klagison	725	18.714	18.7	0	5	TENGAH
8	Sungai Klagison	DAS Klagison	700	17.722	17.71	0	5.127	TENGAH
9	Sungai Klagison	DAS Klagison	675	18.017	18	0.244	5.898	TENGAH
10	Sungai Klagison	DAS Klagison	650	18.529	18.51	0	5	TENGAH
11	Sungai Klagison	DAS Klagison	625	18.109	18.09	0	5	TENGAH
12	Sungai Klagison	DAS Klagison	600	17.476	17.46	0.83	4.03	TENGAH
13	Sungai Klagison	DAS Klagison	575	17.459	17.44	0.185	4.909	TENGAH
14	Sungai Klagison	DAS Klagison	550	18.146	18.13	0	5	TENGAH
15	Sungai Klagison	DAS Klagison	525	18.181	18.17	0.116	5	TENGAH
16	Sungai Klagison	DAS Klagison	500	17.546	17.53	0	5	TENGAH
17	Sungai Klagison	DAS Klagison	475	17.482	17.47	0	4.596	TENGAH
18	Sungai Klagison	DAS Klagison	450	16.99	16.97	0.343	5	TENGAH
19	Sungai Klagison	DAS Klagison	425	17.006	16.99	0.056	5	TENGAH
20	Sungai Klagison	DAS Klagison	400	16.861	16.85	0.491	3.221	TENGAH
21	Sungai Klagison	DAS Klagison	375	15.695	15.68	0.58	4.456	TENGAH
22	Sungai Klagison	DAS Klagison	350	15.435	15.42	0.928	3.391	TENGAH
23	Sungai Klagison	DAS Klagison	325	16.065	16.05	0	2.587	TENGAH
24	Sungai Klagison	DAS Klagison	300	16.018	16	0.882	4.482	TENGAH
25	Sungai Klagison	DAS Klagison	275	16.107	14.89	0.822	5.736	TENGAH
26	Sungai Klagison	DAS Klagison	250	15.601	15.59	0.956	3.384	TENGAH
27	Sungai Klagison	DAS Klagison	225	16.205	16.19	0.359	4.701	TENGAH
28	Sungai Klagison	DAS Klagison	200	16.818	16.8	0	5.697	HILIR
29	Sungai Klagison	DAS Klagison	175	16.521	15.52	0.976	4.132	HILIR

Use Banks for Extents Interpolate Gradations

Gambar 2.25 Parameter Sediment Data

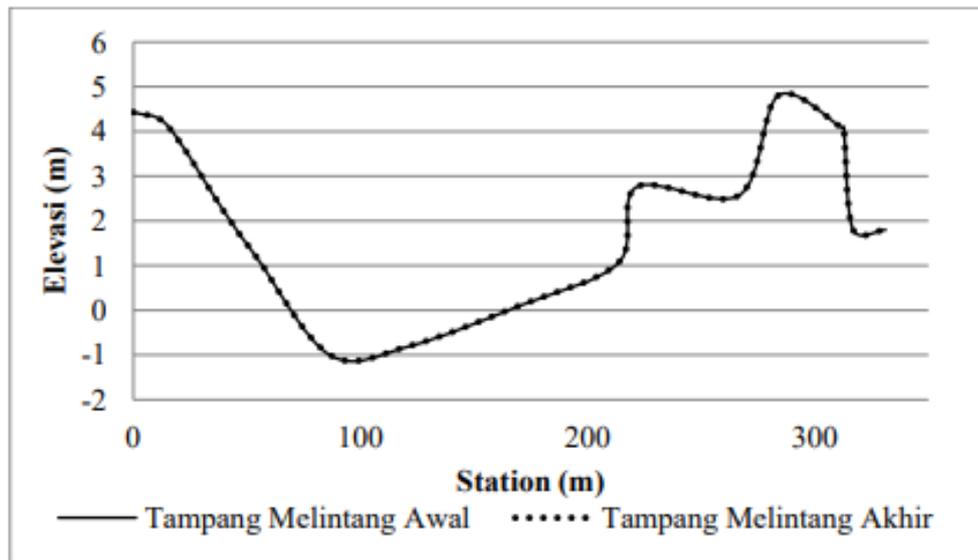
### **II.6.8 Analisis Stabilitas Bangunan Pengendali Sedimen Pada Kondisi Banjir Rancangan Dan Tampungan Sedimen Penuh: Suatu Kasus Di Arboretum Sumber Brantas, Kota Batu (Andi Setyo Pambudi)**

Peneliti ini menggunakan metode Metode yang digunakan untuk analisis debit banjir rancangan menggunakan 3 metode yaitu *Metode Log Pearson Type III*, Metode Gumbel dan Metode Iwai. Hidrograf yang dipilih adalah Hidrograf Nakayasu. Analisis hidrolika bangunan pengendali sedimen menggunakan tools HEC-RAS dengan beberapa perhitungan hidrologi lain menggunakan bantuan Software Microsoft Excel 2019. Program Program HEC-RAS dapat dipakai untuk menghitung aliran tunak berubah perlahan dengan penampang saluran prismatic atau nonprismatic, baik untuk aliran sub-kritis maupun super-kritis. Salah satu syarat aman sebuah bangunan adalah harus stabil terhadap guling dan juga geser. Selanjutnya, dilakukan kontrol stabilitas pada gaya-gaya yang bekerja pada bangunan tersebut dibandingkan dengan angka faktor-faktor keamanan yang ada. Beberapa rumus digunakan untuk analisis stabilitas bangunan pengendali sedimen. Pada kondisi banjir rancangan dengan berat sendiri, analisis kontrol stabilitas bangunan pengendali sedimen terhadap guling dilihat dari hasil perhitungan dimana jika  $\Sigma f > 1,5$  adalah aman untuk kondisi normal. Sementara untuk kondisi gempa, konstruksi disebut aman jika  $\Sigma f > 1,2$ . Dari perhitungan yang ada, didapatkan angka  $\Sigma f$  sebesar 42,2 (lebih tinggi dari angka keamanan minimal) sehingga tergolong aman, baik pada kondisi normal maupun kondisi gempa.

### **II.6.9 Analisis Transpor Sedimen Sungai Opak Dengan Menggunakan Program Hec-Ras 4.1.0(Wardhana, P. N.)**

Pada penelitian ini menggunakan Simulasi transpor sedimen dengan menggunakan program HEC-RAS ini dilakukan selama 365 hari. Perhitungan transpor sedimen dengan menggunakan HEC-RAS 4.1.0 dilakukan di setiap tampang melintang (*cross section*) sehingga kapasitas transpor sedimen nilainya berbeda-beda untuk setiap tampang melintang (*cross section*) dan perubahan elevasi dasar saluran juga berbeda. Berdasarkan hasil simulasi dapat dilihat bahwa perubahan elevasi pada tampang melintang Sungai Opak yang paling hilir tidak begitu besar. Perhitungan kapasitas transpor sedimen oleh program HEC-RAS dilakukan di setiap tampang

melintang, sehingga pada setiap tampang melintang tersebut dapat diketahui perubahan tampangnya sehingga dapat digunakan sebagai masukan untuk mengevaluasi tampang melintang tersebut di lapangan. Tampang melintang paling hilir Sungai Opak mengalami perubahan yang tidak ekstrim.

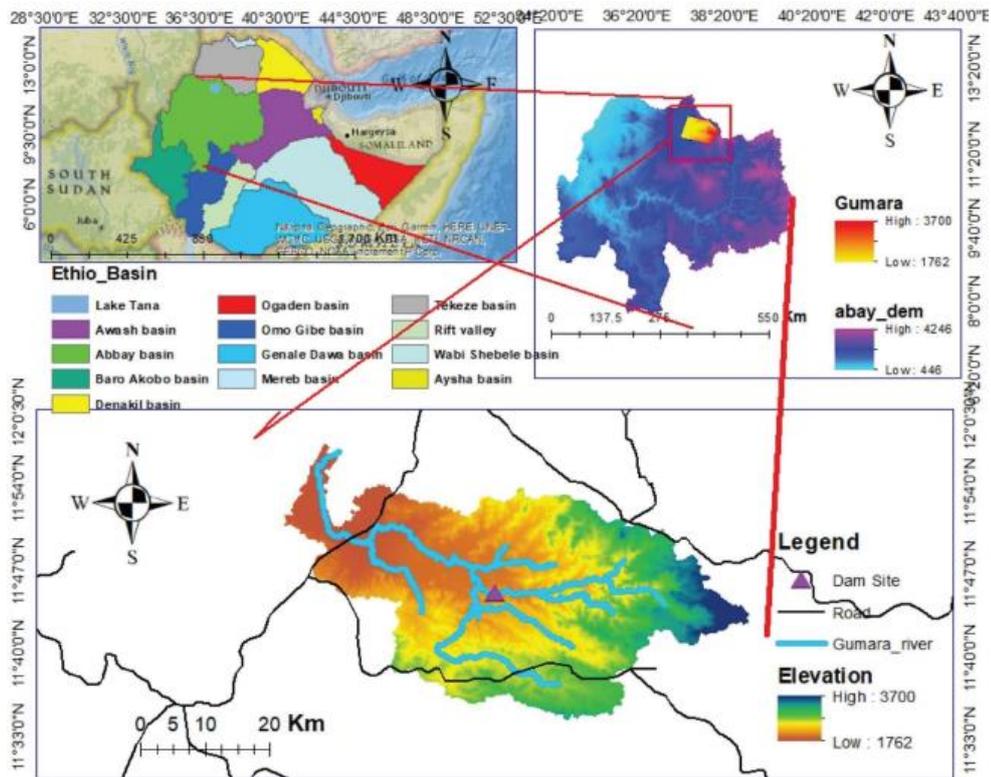


Gambar 2.26 Grafik perbandingan dasar saluran Sungai Oyo

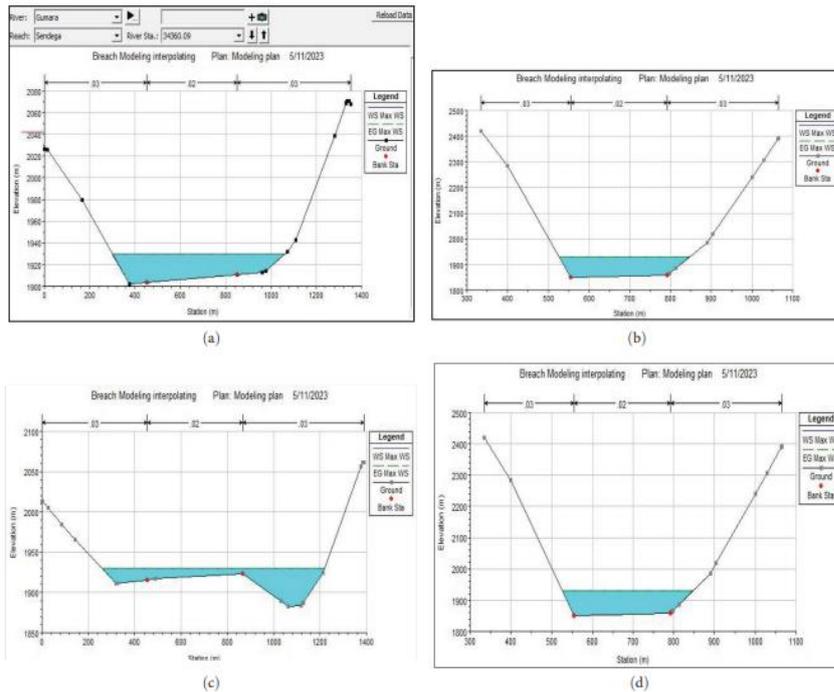
#### II.6.10 Dam Breach Modeling and Downstream Flood Inundation Mapping Using HEC-RAS Model on the Proposed Gumara Dam, Ethiopia (Manamno Beza)

Tujuan penelitian ini adalah untuk mencegah Kembali jebolnya bendungan Gumara yang di akibatkan oleh penipisan lapisan bendungan akibat dari material sedimentasi , dan banjir yang di akibatkan oleh endapan sedimen pada pipa saluran air dalam bendungan ,Volume air lebih tinggi dibandingkan dengan tinggi bendungan, aliran puncak terjadi ketika penerobosan irigasi untuk Pengiran lahan memotong bendungan , oleh karena itu peneliti membuat pemodelan hncurnya bendungan dan pemetan banjir hilir yang di akibatkan oleh pengendapan menggunakan aplikasi HEC-RAS. Metode yang di gunakan adalah Laju aliran melalui bendungan dimodelkan menggunakan persamaan aliran tekanan lubang. Nilai yang direkomendasikan untuk perpipaian/koefisien aliran tekanan berkisar antara 0,5 hingga 0,6. Garis panduan untuk memilih koefisien aliran bendungan dan

aliran perpipaan.jadi bendungan yang berada di Ethiopi ini menggunakan saluran pipa unuk membantu bendungan mengalirkan air .



Gambar 2 27 Area Stud



Gambar 2.28 Penampang Sungai

**Tabel 2.4 Studi Pustaka**

No	Tahun	Judul Penelitian	Metode	Hasil Penelitian	GAP	
					Penelitian Terdahulu	Peneitian Penulis
1	2023	Laju Sedimentasi pada Tampungan Bendungan Tugu Trenggalek. (Faradilla Ayu Rizki Shiami)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Data Geometri</li> <li>• Data Quasi-Unsteady Flow</li> <li>• persamaan Laursen</li> <li>• Pemodelan HEC-RAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Data Curah Hujan dengan metode Gumble</li> <li>• Cara menagatasi sedimen dengan metode perhitungan Laursen</li> <li>• Membuat pemodelan gerak sedimen pada sungai dengan aplikasi HEC-RAS</li> </ul>	Penelitian pergerakan sedimen memperhitungkan jenis bangunan pelimpah menghitung dimensi bendungan.	Konsistensi data hujan menggunakan data uji outlier dan uji ketiadaan trend spearman, Menganalisis gerak sedimen dan jumlah sedimen. Menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk mendesain jenis saluran dan tembok penahan sedimen .
2	2022	Pemodelan Awal Perencanaan Bendung Gerak	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Data hidrologi</li> <li>• Data pengukuran melintang sungai</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kondisi Hidrolika sungai Progo akibat bendung gerak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisa gerak sedimen pada bendungan gerak</li> </ul>	Konsistensi data hujan menggunakan data uji outlier dan uji

		<p>Karangtalun Dengan HEC- RAS. (Burhannudin Apriliansyah)</p>	<p>tahun 2013</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Data pengukuran sedimen</li> <li>• Data kebutuhan air</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diketuainya posisi degradasi terjadi di titik penampang melintang di hulu Bendung</li> <li>• Penentuan Bukaannya Pintu Bendung Gerak Berdasarkan Debit Banjir Untuk pengoperasian pintu Bendung</li> <li>• Mengetahui jenis sedimen Menurut American Geophysical Union sedimen di lokasi Bendung Gerak termasuk butiran Medium.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• memperhitungkan pintu dan bangunan pelimpah</li> <li>• pada bendungan , pemodelan HEC-RAS dilakukan pada sedimentasi yang mengendap di depan pintu bendungan.</li> <li>• Memodelkan pergerakan pintu bendungan saat ada sedimen</li> <li>• Menganalisis pergerakan sedimen</li> </ul>	<p>ketiadaan trend spearman, Menganalisis gerak sedimen dan jumlah sedimen. Menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk mendesain jenis saluran dan tembok penahan sedimen.</p>
--	--	--	---	---	--	--

3	2022	<p>Pemodelan Angkutan Sedimen dan Perubahan Dasar Sungai (Studi Kasus: Sungai Juana) (Archyuda Farchan)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Data dan Lokasi Studi</li> <li>• Model Hujan-Limpasan FJ Mock</li> <li>• HEC-RAS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis simulasi angkutan sedimen menggunakan software HEC-RAS memiliki kecenderungan yang mirip dengan kondisi di lapangan yaitu sedimentasi dengan laju 36.500 m<sup>3</sup> /tahun.</li> <li>• kemiringan dasar Sungai Juana yang relatif landai sehingga pengaruh pasang surut air laut dapat mencapai lokasi studi yang berjarak ±13 km dari muara</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menggunakan FJ Mock</li> <li>• Memperhitungkan Bangunan Limpasan</li> </ul>	<p>Konsistensi data hujan menggunakan data uji outlier dan uji ketiadaan trend spearman, Menganalisis gerak sedimen dan jumlah sedimen. Menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk mendesain jenis saluran dan tembok penahan sedimen.</p>
---	------	---	--	--	--	--

4	2018	Numerical modeling of the Sakuma Dam reservoir sedimentation (Prashanth R. Hanmaiahgari, Nooka Raju Gompa, Debasish Pal, Jaan H Pu 2018)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pengumpulan data terdahulu</li> <li>• Geometri Data</li> <li>• Hindrolika</li> <li>• Air Hujan (Log Person III)</li> <li>• Debit Air</li> <li>• Analisa Butir Sedimen</li> </ul>	<p>Mengetahui hilangnya 35% usia bendungan dikarenakan sedimentasi yang tidak terlihat di sungai Sakuma.</p> <p>Mengetahui bahwa Sampel gradasi dasar O1, O2, O3 dan O4 pada penampang sungai masih dapat di atsi dengn metode pemisahan.</p> <p>Pada pemodelan sedimen ditemukan 8 titik sungai yng mengakami penyempitan karena tertutup endapan</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Log Person III dan Gumble</li> <li>• Perhitungkan bangunan pelimpah</li> <li>• Metode Analisa sedimen</li> </ul>	<p>Konsistensi data hujan menggunakan data uji outlier dan uji ketiadaan trend spearman,</p> <p>Menganalisis gerak sedimen dan jumlah sedimen.</p> <p>Menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk mendesain jenis saluran dan tembok penahan sedimen .</p>
---	------	--	---	--	---	---

				sedimen.		
5	2015	Using of HEC-RAS Model for Hydraulic Analysis of a River with Agricultural Vocation: A Case Study of the Kayanga River Basin, Senegal (Vieux Boukhaly Traore dkk,2015)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Studi lapangan</li> <li>• Studi Literatur</li> <li>• Laboratorium</li> <li>• Geometri</li> <li>• Hidrolika</li> <li>• Hidrologi</li> <li>• Hec-Ras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Menganalisis aliran das dan sedimen sungai Kayanga</li> <li>• Memodelkan Bendungan Kayanga</li> <li>• Dapat memprediksi penyebab sedimen dan meluapnya air sungai kayanga</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Memperhitungkan volume dan ukuran dari bendungan</li> <li>• menghitung konsistensi hujan dengan menggunakan metode gumble</li> <li>• menganalisis aliran sedimen menggunakan drone dan HEC-RAS</li> </ul>	Konsistensi data hujan menggunakan data uji outlier dan uji ketiadaan trend spearman, Menganalisis gerak sedimen dan jumlah sedimen. Menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk mendesain jenis saluran dan tembok penahan sedimen .
6	2015	Analisis Angkutan Sedimen Sungai Welang Pasuruan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Analisis Hidrologi</li> <li>• Uji Gradasi Butir Sedimen</li> <li>• Kalibrasi dan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mengetahui perubahan kemiringan dasar Sungai Welang yang</li> </ul>	Kalibrasi dan Validasi Metode Angkutan Sedimen menggunakan	Konsistensi data hujan menggunakan data uji outlier dan uji

		<p>Menggunakan Aplikasi HEC-RAS (Muhammad Iqbal Saifuddin Zuhri,2015)</p>	<p>Validasi Metode Angkutan Sedimen</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulasi Hec-RAS</li> </ul>	<p>awalnya 0,11% menjadi 0,09%. Perubahan pada 0-1,5 km dari hulu adalah degradasi rata-rata sebesar 0,4 m, 1,5-3 km adalah degradasi rata-rata sebesar 0,3 m dan 3-3,8 km adalah degradasi rata-rata sebesar 0,7 m</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dengan pemodelan menggunakan debit dominan (Q1,01th) sebesar 14,91 m<sup>3</sup>/detik selama 5 tahun (2021-2027) angkutan sedimen</li> </ul>	<p>Englund Hensen untuk sedimen pasir</p>	<p>ketiadaan trend spearman, Menganalisis gerak sedimen dan jumlah sedimen. Menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk mendesain jenis saluran dan tembok penahan sedimen .</p>
--	--	---	--	--	---	---

				<p>Sungai Welang adalah sebesar <math>6,38 \times 10^4</math> m<sup>3</sup> dengan rata-rata angkutannya sebesar <math>1,28 \times 10^4</math> m<sup>3</sup> per tahun, atau sebesar <math>9,30 \times 10^4</math> ton dengan rata-rata sebesar <math>1,86 \times 10^4</math> ton per tahunnya.</p>		
7	2015	<p>Laju Sedimen Dasar Pada Sungai Klagison Menggunakan Program HEC-RAS (Achmad Rusdi, 2015)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Studi Lapangan</li> <li>• Analisa Hidrologi</li> <li>• Analisa Hidrolika</li> <li>• Analisa Butir Sedimen</li> <li>• Pemodelan HEC_RAS</li> </ul>	<p>Hasil uji analisa butiran di laboratorium, didapatkan karkteristik sungai Klagison berat jenis sedimen 2.32 dan termasuk jenis tanah gambut. Pada bagian hulu d50 dan d90 butiran sebesar 0,7 mm dan 3</p>	<p>Konsistensi data hujan menggunakan metode gumble</p>	<p>Konsistensi data hujan menggunakan data uji outlier dan uji ketiadaan trend spearman, Menganalisis gerak sedimen dan jumlah sedimen. Menggunakan</p>

				mm, dan berdasarkan klasifikasi AASHTO T-27- 74 sedimen dasar tergolong dalam jenis fragmen batu, kerikil, dan pasir. Pada bagian tengah d50 dan d90 sebesar 0.062 mm dan 0.073 mm, dan berdasarkan klasifikasi AASHTO T-27-74 sedimen dasar tergolong dalam jenis pasir sangat halus		aplikasi HEC-RAS untuk mendesain jenis saluran dan tembok penahan sedimen .
8	2015	Analisis Stabilitas Bangunan Pengendali Sedimen Pada Kondisi Banjir Rancangan Dan	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Studi lapangan</li> <li>• Analisa hidrolika</li> <li>• Analisa sedimen</li> <li>• Membuat Pemodelan menggunakan</li> </ul>	Dapat memodelkan aliran sedimentasi dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS dan membuat bangunan Pengendali Sedimen	Konsistensi data hujan menggunakan data uji Gumble, menghitung badan bendungan dan bangunan pengendali	Konsistensi data hujan menggunakan data uji outlier dan uji ketiadaan trend spearman,

		Tampungan Sedimen Penuh: Suatu Kasus Di Arboretum Sumber Brantas, Kota Batu (Andi Setyo Pambudi)	HEC-RAS		sedimen diperhitungkan	Menganalisis gerak sedimen dan jumlah sedimen. Menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk mendesain jenis saluran dan tembok penahan sedimen .
9	2015	Analisis Transpor Sedimen Sungai Opak Dengan Menggunakan Program Hec-Ras 4.1.0 (Wardhana, P. N.)	Data primer Analisa hidrologi Menghitung debit air Menghitung volume dan berat bendungan Mengambil sample sedimen Pemodelan menggunakan Aplikasi HEC-RAS	Di dapatkan pemodelan transport sedimen sungai opak dengan titik sedimentasi terbanyak dan bangunan penahan sedimen	Konsistensi data hujan menggunakan metode gumble dan menganalisa sedimen	Konsistensi data hujan menggunakan data uji outlier dan uji ketiadaan trend spearman, Menganalisis gerak sedimen dan jumlah sedimen. Menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk mendesain jenis

						saluran dan tembok penahan sedimen .
10	2015	Dam Breach Modeling and Downstream Flood Inundation Mapping Using HEC-RAS Model on the Proposed Gumara Dam, Ethiopia (Manamno Beza,2015)	Studi Lapangan Studi Literatur Pengambilan Sedimen Uji laboratoriu Analisa Hidrologi Analisa Butir Gradasi pada Sedimen Pemodelan menggunakan HEC-RAS	Didapatkan metode pipa untuk mengalirkan air dari bendungan menuju irigasi.	Metode Gumble Metode pipa untuk pengaliran air	Konsistensi data hujan menggunakan data uji outlier dan uji ketiadaan trend spearman, Menganalisis gerak sedimen dan jumlah sedimen. Menggunakan aplikasi HEC-RAS untuk mendesain jenis saluran dan tembok penahan sedimen .