

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### A. Tinjauan Umum

Hidrolika adalah bagian dari ilmu yang mempelajari perilaku air baik dalam keadaan diam atau yang disebut hidrostatika maupun dalam keadaan bergerak atau disebut hidrodinamika. Untuk mengetahui karakteristik suatu aliran air sungai dengan lebar penampang yang besar memerlukan pendekatan beberapa pengamatan dengan melakukan pengukuran. Selanjutnya dilakukan kegiatan analisis terhadap fenomena aliran yang terjadi dengan menggunakan model tertentu. Model merupakan penyederhanaan dari suatu realita atau kondisi sesungguhnya di *real world* (Thomas dan Hugget, 1980).

Sifat aliran air dalam suatu sungai dipengaruhi oleh beberapa faktor, diantaranya adalah debit sungai (*volume air*) yang tergantung pada daerah aliran sungai tersebut. Faktor kemiringan sungai (*gradient*) yang dapat digunakan sebagai petunjuk tingkat kecepatan aliran. *Gradient* sungai dapat dihitung dengan bantuan garis kontur yang memotong sungai pada peta topografi. Kemudian faktor lebar penampang sungai yang dapat mempengaruhi kecepatan arus, semakin lebar penampang sungai maka kecepatan arus akan semakin lambat dan sebaliknya semakin sempit penampang sungai kecepatan arus akan semakin cepat.

### B. Karakteristik Daerah Aliran Sungai

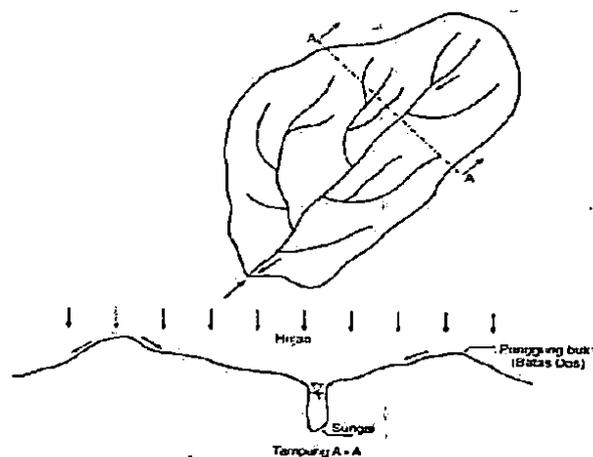
Daerah Aliran Sungai (DAS), dalam istilah asing disebut *catchment area*, *drainage area*, *drainage basin*, *river basin*, atau *watershed* (Notohadiprawiro, 1981). Definisi lain menyatakan DAS adalah wilayah yang terletak di suatu titik pada suatu sungai yang dibatasi oleh batas topografi, mengalirkan air yang jatuh di atasnya ke dalam sungai yang sama dan melalui titik yang sama pada sungai tersebut (Brooks *et al.*, 1992; Arsyad, 2010).

Berdasarkan Triatmodjo (2010), daerah aliran sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggungan gunung/pegunungan di mana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada suatu

titik/stasiun yang ditinjau. DAS ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang dilengkapi dengan garis-garis kontur. Garis-garis kontur dipelajari untuk menentukan arah limpasan permukaan. Limpasan berasal dari titik-titik tertinggi dan bergerak menuju titik-titik yang lebih rendah dalam arah tegak lurus dengan garis-garis kontur. Daerah yang dibatasi oleh garis yang menghubungkan titik-titik tertinggi tersebut adalah DAS. Gambar 2.1. menunjukkan contoh bentuk DAS. Dalam gambar tersebut ditunjukkan pula penampang pada keliling DAS. Garis yang mengelilingi DAS tersebut merupakan titik-titik tertinggi. Air hujan yang jatuh di dalam DAS akan mengalir menuju sungai utama yang ditinjau, sedang yang jatuh di luar DAS akan mengalir ke sungai sebelahnya.

### 1. Luas DAS

Luas DAS diperkirakan dengan mengukur daerah itu pada peta topografi. Luas DAS sangat berpengaruh terhadap debit sungai. Pada umumnya semakin besar DAS semakin besar jumlah limpasan permukaan sehingga semakin besar pula aliran permukaan atau debit sungai.



Sumber : Triatmodjo, Bambang, (2010), *Hidrologi Terapan*

Gambar 2.1 Daerah Aliran Sungai (DAS)

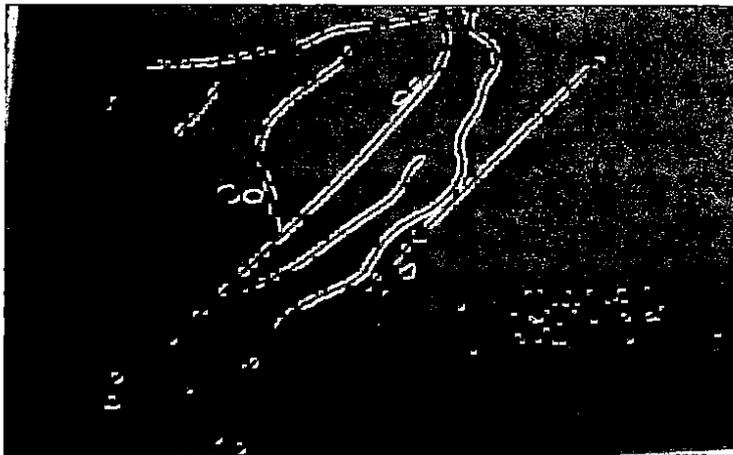
### 2. Panjang sungai

Panjang sungai adalah panjang yang diukur sepanjang sungai, dari stasiun yang ditinjau atau muara sungai sampai ujung hulu. Panjang sungai biasanya diukur pada peta. Sungai utama merupakan sungai terbesar pada daerah tangkapan dan yang membawa aliran menuju muara sungai. Dalam

memperkirakan panjang sungai disarankan untuk mengukur beberapa kali lalu hitung panjang reratanya.

Panjang DAS  $L$  adalah panjang maksimum sepanjang sungai utama dari stasiun yang ditinjau (atau muara) ke titik terjauh dari batas DAS. Panjang pusat berat  $L_c$  adalah panjang sungai yang diukur sepanjang sungai dari stasiun yang ditinjau sampai titik terdekat dengan titik berat daerah aliran sungai. Pusat berat DAS adalah pusat berat titik perpotongan dari dua atau lebih garis lurus yang membagi DAS menjadi dua DAS yang kira-kira sama besar. Gambar 2.2. menunjukkan panjang sungai.

Jumlah panjang sungai semua tingkat  $L_T$  adalah jumlah dari panjang semua segmen sungai semua tingkat.  $L_T$  digunakan untuk mengukur kerapatan sungai  $D$ , yaitu jumlah panjang sungai semua tingkat dalam DAS dibagi dengan dengan luas DAS.



Sumber :Triatmodjo, Bambang, (2010), Hidrologi Terapan

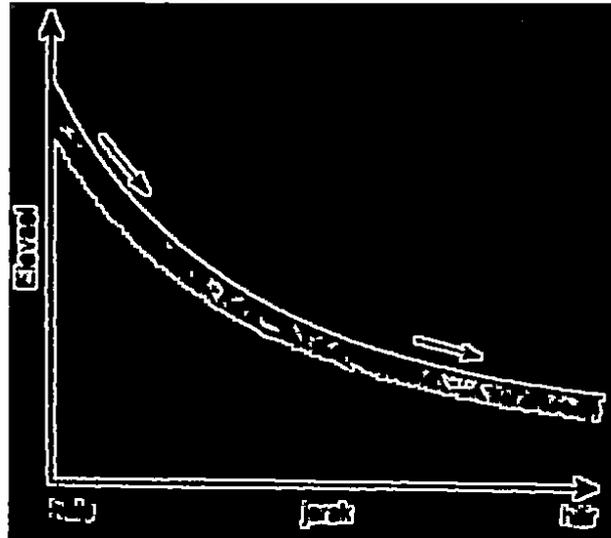
Gambar 2.2 Panjang Sungai

### 3. Kemiringan sungai

Kurva yang menunjukkan hubungan antara elevasi dasar sungai dan jarak yang diukur sepanjang sungai mulai dari ujung hulu sampai muara disebut profil memanjang sungai atau kemiringan sungai. Kemiringan sungai utama dapat digunakan untuk memperkirakan kemiringan DAS. Untuk menghitung kemiringan sungai, sungai dibagi menjadi beberapa pias, dan kemiringan dihitung untuk setiap pias. Pada umumnya bentuk kemiringan sungai di

daerah hulu lebih tajam dibandingkan dengan bagian sungai di hilir. Seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.3.

Air bergerak ke hilir karena pengaruh gaya gravitasi, sehingga semakin besar kemiringan semakin besar pula kecepatan aliran dan sebaliknya waktu aliran menjadi semakin pendek. Kemiringan yang lebih tajam menyebabkan kecepatan limpasan permukaan lebih besar yang mengakibatkan kurang waktu untuk terjadinya infiltrasi, sehingga aliran permukaan terjadi lebih banyak.



Sumber :Triatmodjo, Bambang, (2010), *Hidrologi Terapan*

Gambar 2.3 Potongan Memanjang Sungai

### C. Morfologi Sungai

Morfologi sungai adalah ilmu yang mempelajari tentang geometri, jenis, sifat dan perilaku sungai dengan segala aspek dan perubahannya dalam dimensi ruang dan waktu. Morfologi sungai memiliki keterkaitan antara sifat dinamik sungai dengan lingkungannya. Menurut letak geografis, karakteristik alur sungai terdiri atas bagian hulu, bagian tengah dan bagian hilir. Bagian hulu ditandai dengan adanya penggerusan dasar sungai, kemiringan dasar sungai yang curam, material dasar sungai berupa pasir-boulder, aliran deras, penampang sempit dan curam. Bagian tengah ditandai dengan penggerusan tebing, alur bermeander, material lempung-pasir, kemiringan dasar sungai relatif. Kemudian bagian hilir

ditandai dengan adanya sedimentasi di dasar sungai, terjadi pembentukan delta, kemiringan dasar sungai landai dan penampang lebar.

Hidrolika yang berkaitan dengan perubahan morfologi sungai diantaranya adalah elevasi muka air atau tinggi air, kecepatan aliran dan tegangan geser aliran. Hidrolika memiliki berkaitan dengan dua proses penting dalam sungai yaitu erosi dan pengendapan. Hal tersebut dipengaruhi oleh jenis aliran air pada sungai yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Aliran laminar yaitu ketika air mengalir dengan lambat, partikel akan bergerak ke dalam arah paralel terhadap sungai. Aliran turbulen adalah kondisi ketika kecepatan aliran berbeda pada bagian atas tengah, bawah, depan dan belakang dalam saluran sebagai akibat adanya perubahan friksi, yang mengakibatkan perubahan gradien kecepatan. Erosi terjadi pada dinding ataupun dasar sungai dibawah kondisi aliran yang bersifat turbulen. Pengendapan akan terjadi jika material yang dipindahkan jauh lebih besar untuk digerakkan oleh kecepatan dan kondisi aliran. Pada kondisi aliran turbulen erosi akan terjadi akibat terbawanya material dan pengendapan terjadi ketika hasil erosi tersebut bergerak ke hilir dan tidak terpindahkan lagi oleh aliran.

#### **D. Topografi**

Topografi adalah studi tentang bentuk permukaan bumi dan objek lain seperti planet, satelit alami (bulan dan sebagainya) dan asteroid. Objek dari topografi adalah mengenai posisi suatu bagian dan secara umum menunjuk pada koordinat secara horizontal seperti garis lintang dan garis bujur, dan secara vertikal yaitu ketinggian. Peta topografi menggambarkan ciri permukaan suatu kawasan tertentu dalam batas-batas skala seperti kemiringan lahan, keadaan saluran, dan bentuk cekungan lainnya yang berpengaruh terhadap laju dan volume aliran permukaan.

Garis kontur merupakan ciri khas yang membedakan peta topografi dengan peta lainnya dan digunakan untuk penggambaran relief atau tinggi rendahnya permukaan bumi yang dipetakan. Relief adalah bentuk permukaan suatu lahan yang dikelompokkan atau ditentukan berdasarkan perbedaan ketinggian (*amplitude*) dari permukaan bumi (bidang datar) suatu bentuk bentang

lahan (*landform*). Garis kontur adalah garis pada peta yang menghubungkan titik-titik yang mempunyai ketinggian yang sama terhadap bidang referensi yang digunakan. Garis kontur tidak boleh saling berpotongan satu sama lain. Selain itu garis kontur harus merupakan garis tertutup baik di dalam maupun di luar peta.

Menurut topografi desa/kelurahan di Kabupaten Tabalong dapat dibagi menjadi desa/kelurahan datar dan desa/kelurahan berbukit-bukit. Desa datar adalah desa/kelurahan yang wilayahnya sebagian besar merupakan daerah datar. Desa berbukit-bukit adalah desa/kelurahan yang sebagian besar wilayahnya berbukit-bukit. Berdasarkan bentuk topografinya wilayah Kabupaten Tabalong dapat dikelompokkan menjadi dua bagian besar yaitu: daerah datar dan daerah berbukit/bergunung-gunung.

Tabel 2.1 Banyaknya Desa di Kabupaten Tabalong Menurut Topografi

No	Kecamatan	Datar	Berbukit-bukit
1	Banua Lawas	15	-
2	Pugaan	7	-
3	Kelua	11	1
4	Muara Harus	7	-
5	Tanta	14	-
6	Tanjung	15	-
7	Murung Pundak	10	-
8	Haruai	10	3
9	Upau	3	3
10	Muara Uya	10	4
11	Jaro	6	3
12	Bintang Ara	9	-
Kabupaten Tabalong		117	14

Sumber : Podes ST15

Wilayah Tabalong di sebelah utara dan timur yang meliputi wilayah Muara Uya, Jaro, Haruai, Upau, merupakan daerah bukit atau pegunungan. Sebanyak 11 persen desa di Tabalong sebagian besar wilayahnya merupakan daerah berbukit-bukit.

Wilayah bagian barat merupakan daerah datar berawa-rawa yang meliputi wilayah kecamatan Banua Lawas, Pugaan, Kelua, Muara Harus, Tanta, Tanjung,

Bintang Ara dan Murung Pudak. Sebanyak 89 persen desa di Tabalong sebagian besar wilayahnya merupakan daerah datar.

### E. Fisiografis

Fisiografis adalah salah satu cabang ilmu Geografi yang mempelajari suatu wilayah daerah atau negara berdasarkan segi fisiknya, seperti dari segi garis lintang dan garis bujur, posisi dengan daerah lain, batuan yang ada dalam bumi, relief permukaan bumi, serta kaitannya dengan laut.

Secara fisiologis wilayah Kabupaten Tabalong merupakan bagian tinggian Meratus, sedangkan bagian selatannya merupakan batas timur cekungan Barito. Dari kenampakan topografi wilayah Kabupaten Tabalong dapat dipisahkan menjadi 3 satuan morfologi, yaitu satuan daratan, satuan medan bergelombang dan satuan medan perbukitan. Satuan dataran ketinggiannya antara 0-10 meter dari permukaan laut, tersusun oleh batuan sedimen berumur kwarter. Satuan Medan bergelombang menempati bagian selatan hingga bagian tengah wilayah dengan ketinggian antara 10-50 meter dari permukaan laut, tersusun oleh batuan sedimen tersier dan pra tersier. Satuan perbukitan menempati bagian utara hingga bagian timur wilayah, ketinggiannya lebih dari 50 meter yang terdiri dari bukit-bukit dan gunung-gunung dengan arah memanjang hampir utara-selatan. Satuan ini tersusun oleh batuan tersier dan kwarter.

Mayoritas wilayah Kabupaten Tabalong berupa dataran tinggi dengan ketinggian berkisar antara 26-100 m (41,34 % atau 163.117) hingga >100 mdpi (53,45 % atau 201.931 Ha) dengan pola penyebaran sebagai berikut:

1. Dataran rendah terdapat di barat daya (0-7 mdpi) yaitu Kecamatan Banua Lawas, kemudian ke arah timur mulai meninggi (7-25 mdpi) tepatnya Kecamatan Banua Lawas, Kelua, Tanjung dan Murung Pudak.
2. Kearah timur dan utara semakin tinggi lagi (25-100 mdpi) terdapat di Kecamatan Pugaan, Muara Harus dan Tanta.
3. Di wilayah utara, selatan serta barat laut ketinggiannya 1-1000 mdpi yaitu di Kecamatan Jaro, Muara Harus, Muara Uya, Haruai dan Upau.

Ketinggian diatas 1000 mdpi hanya terdapat di Kecamatan Banua Lawas dan Muara Uya.

### F. Kondisi Tanah

Wilayah Kabupaten Tabalong tersusun oleh pra tersier, tersier dan kwartier. Bantuan tertua yang tersingkap di wilayah Kabupaten Tabalong adalah satuan granit yang berumur kapur bawah. Batuan termuda adalah Alluvium Tua yang berumur pelistosen. Berdasarkan satuan batuan maka terdapat satuan granit, Anggota Haruyan, Formasi Pitap, Formasi tanjung, Formasi Berai, Formasi Warukin, formasi Dahar, Alluvium Tua.

Menurut jenis Tanah di Kabupaten Tabalong terdiri dari 5 jenis tanah, yaitu Aluvial, Podsolik, Potsol, Organosol Gleyhumus, dan Komplek Podsolik Merah Kuning, Laterit, Litosol, dan Latosol.

Sebagian besar adalah tanah Podsolik (151.168 Ha atau 41,99 %) yang tersebar di 9 kecamatan terkecuali Kecamatan Banua Lawas dan Kelua. Tanah Komplek Podsolik Merah Kuning, Laterit, Litosol, dan Latosol seluas 106.766 Ha (29,66 %) hanya terdapat di Kecamatan Muara Uya dan Haruai.

Adapun keadaan tanah Kabupaten Tabalong merupakan kemampuan dari potensi fisik tanah yang unsur-unsurnya terdiri dari lereng, kedalaman efektif, tekstur, drainase, erosi dan faktor pembatas adalah sebagai berikut:

#### 1. Lereng

Kelerengan lahan berkisar mulai dari 0-2 % hingga >40 %, penyebaran terbesar berupa kelerengan 0-2 % (94,703 Ha), 8-15 % (55.366 Ha), 15-25 % (90.762 Ha), dan > 40 % 46.760 Ha). Kelerengan terjal/curam terdapat di Kecamatan Jaro, Muara Uya, Haruai, dan Upau.

#### 2. Kedalaman Efektif

Sebagian besar kedalaman efektif lebih dari 90 cm yaitu seluas (301.215 Ha atau sekitar 83,67 %), untuk kedalaman 60-90 cm terdapat di Kecamatan Muara Uya, Haruai, dan Upau (58.640 Ha atau 16,29%), dan kedalaman 30-60 cm terdapat di Kecamatan Haruai (140 Ha atau 0,04 %).

### 3. Tekstur

Terdiri dari tekstur halus (355.399 Ha atau 98,72 %) dan tekstur sedang (4.596 Ha atau 1,28%) terdapat di Kecamatan Upau, Haruai, dan Kecamatan Tanjung.

### 4. Drainase

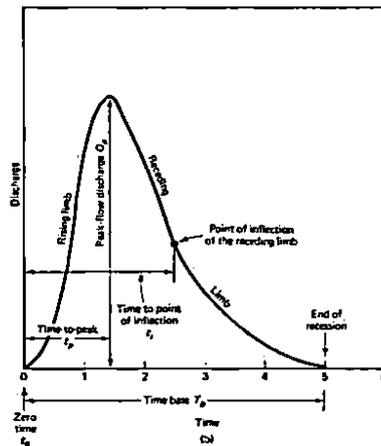
Kabupaten Tabalong sebagian besar wilayahnya tidak pernah tergenang air (343.479 Ha atau sekitar 95,41 % dari luas Kabupaten Tabalong), sedangkan lainnya merupakan kawasan tergenang periodik (7.866 Ha atau sekitar 2,19 %) dari drainase jelek atau yang tergenang terus menerus (8.650 Ha atau 2,40 %) terdapat di Kecamatan Banua Lawas, Kelua, dan Tanjung.

### 5. Erosi

Umumnya lahan yang tidak tererosi cukup besar (343.479 Ha atau 95,41 %), sedangkan lainnya merupakan lahan yang tererosi. Erosi tanah terbesar terdapat di Kecamatan Banua Lawas.

## G. Hidrograf

Hidrograf adalah kurva yang memberi hubungan antara parameter aliran dan waktu. Parameter tersebut bisa berupa kedalaman aliran (elevasi) atau debit aliran, sehingga terdapat dua macam hidrograf yaitu hidrograf muka air dan hidrograf debit. Hidrograf muka air dapat ditransformasikan menjadi hidrograf debit dengan menggunakan *rating curve*. (Triatmodjo,2010). Hidrograf mempunyai tiga komponen pembentuk yaitu 1) aliran permukaan, 2) aliran antara, dan 3) aliran air tanah. Hidrograf mempunyai bentuk seperti diberikan dalam Gambar 2.4.



Sumber :Triatmodjo, Bambang, (2010), *Hidrologi Terapan*

Gambar 2.4 Komponen Hidrograf Banjir

Waktu nol (*zero time*) menunjukkan awal hidrograf. Puncak hidrograf adalah bagian dari hidrograf yang menggambarkan debit maksimum. Waktu capai puncak (*time topeak*) adalah waktu yang di ukur dari waktu nol sampai waktu terjadinya debit puncak. Sisi naik (*rising limb*) adalah bagian dari hidrograf antara waktu nol dan waktu capai puncak. Sisi turun (*recession limb*) adalah bagian dari hidrograf yang menurun antara waktu capai puncak dan waktu dasar. Waktu dasar (*time base*) adalah waktu yang diukur dari waktu nol sampai waktu di mana sisi turun berakhir. Akhir dari sisi turun ini ditentukan dengan perkiraan. Sisi resesi mempunyai bentuk logaritma natural ( $\ln$ ). Volume hidrograf diperoleh dengan mengintegalkan debit aliran dari waktu nol sampai waktu dasar. Pada kurva naik dan kurva turun terdapat titik balik dimana kurva hidrograf berubah arah.

## H. Gerusan

Menurut Laursen (1952) dalam Sucipto (2004), gerusan didefinisikan sebagai pembesaran dari suatu aliran yang disertai pemindahan material melalui aksi gerakan fluida. Gerusan merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh aliran air yang mengikis dasar dan tebing saluran. Gerusan lokal (*local scouring*) terjadi pada suatu kecepatan aliran dimana sedimen ditranspor lebih besar dari sedimen yang disuplai.

Transpor sedimen bertambah dengan meningkatnya tegangan geser sedimen, gerusan terjadi ketika perubahan kondisi aliran menyebabkan peningkatan tegangan geser dasar. Perbedaan tipe gerusan yang diberikan oleh Raudkivi dan Ettema (1982) dalam Sucipto (2004) adalah sebagai berikut:

1. Gerusan umum di alur sungai, tidak berkaitan sama sekali dengan ada atau tidak adanya bangunan sungai. Gerusan umum ini merupakan suatu proses alami yang terjadi pada saluran terbuka. Gerusan ini disebabkan oleh energi dari aliran air pada saluran atau sungai tersebut.
2. Gerusan dilokalisir di alur sungai, terjadi karena penyempitan aliran sungai menjadi terpusat.
3. Gerusan lokal di sekitar bangunan, terjadi karena pola aliran lokal di sekitar bangunan sungai. Gerusan lokal ini pada umumnya diakibatkan oleh adanya bangunan air, misalnya tiang, pilar atau abutment jembatan.

Gerusan Lokal (*local scouring*) dipengaruhi langsung oleh bentuk/pola aliran. Penggerusan lokal (Garde dan Raju, 1977) terjadi akibat adanya turbulensi air yang disebabkan oleh terganggunya aliran, baik besar maupun arahnya, sehingga menyebabkan hanyutnya material-material dasar atau tebing sungai/saluran. Turbulensi disebabkan oleh berubahnya kecepatan terhadap tempat, waktu dan keduanya. Pengerusan lokal pada material dasar dapat terjadi secara langsung oleh kecepatan aliran sedemikain rupa sehingga daya tahan material terlampaui.

Secara teoristik tegangan geser yang terjadi lebih besar daripada tegangan geser kritis dari butiran dasar. Chabert dan Engeldinger (1956) dalam Breuser dan Raudkivi (1991) menyatakan lubang gerusan yang terjadi pada alur sungai umumnya merupakan korelasi antara kedalaman gerusan dengan kecepatan aliran sehingga lubang gerusan tersebut merupakan fungsi waktu. Sedangkan Breusers dan Raudkivi (1991) menyatakan bahwa kedalaman gerusan maksimum merupakan fungsi kecepatan geser. Kesetimbangan kedalaman gerusan dicapai pada daerah transisi antara *livebed scour* dan *clear-water scour*. Kesetimbangan

gerusan tergantung pada keadaan yang ditinjau yaitu gerusan dengan air tanpa sedimen (clear-water scour) atau gerusan dengan air besedimen (live-bed scour).

a. Mekanisme gerusan

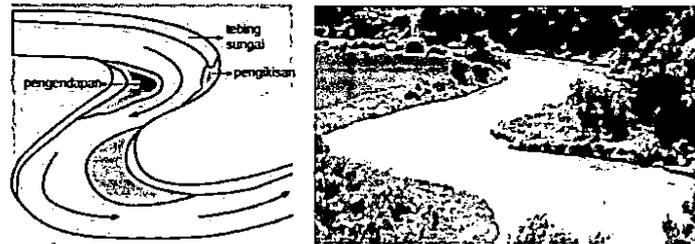
Pada saluran terbuka sering terjadi gerusan pada dinding dan dasar saluran. Proses penggerusan akan terjadi secara alami, baik karena pengaruh morfologi sungai seperti tikungan sungai atau penyempitan aliran sungai, atau pengaruh bangunan hidraulika yang menghalangi aliran seperti abutment jembatan. (Legono, 1990). Gerusan terjadi pada suatu kecepatan aliran tertentu dimana sedimen yang ditranspor lebih besar dari sedimen yang disuplai.

b. Transpor Sedimen

Gerusan yang terjadi pada suatu saluran terlepas dari ada dan tidaknya bangunan sungai selalu berkaitan dengan peristiwa transpor sedimen. Transpor sedimen merupakan suatu peristiwa terangkutnya material dasar sungai yang terbawa aliran sungai. Kironoto (1997) dalam Mira (2004), menyebutkan bahwa akibat adanya aliran air timbul gaya-gaya aliran yang bekerja pada material sedimen. Gaya-gaya tersebut mempunyai kecenderungan untuk menggerakkan / menyeret material sedimen. Untuk material sedimen kasar (pasir dan batuan / granular), gaya untuk melawan gaya-gaya aliran tersebut tergantung dari besar butiran sedimen. Untuk material sedimen halus yang mengandung fraksi lanau (silt) atau lempung (clay) yang cenderung bersifat kohesif, gaya untuk melawan gaya-gaya aliran tersebut lebih disebabkan kohesi daripada berat material (butiran) sedimen. Tiga faktor yang berkaitan dengan awal gerak butiran sedimen yaitu :

1. kecepatan aliran dan diameter / ukuran butiran,
2. gaya angkat yang lebih besar dari gaya berat butiran, dan
3. gaya geser kritis Secara teoritis,

saluran stabil adalah suatu keadaan dimana gerusan dan pengendapan tidak terjadi di sepanjang sungai atau saluran. Dalam proses mempelajari gerusan, tidak lepas dari karakteristik sedimen yang ada.

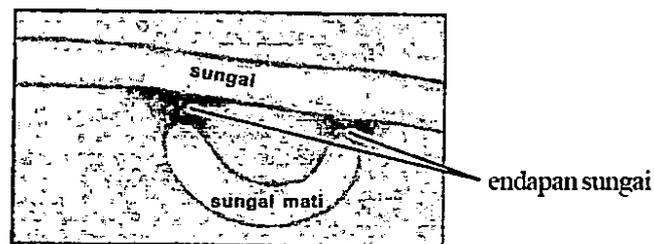


Sumber : [www.e-dukasi.net](http://www.e-dukasi.net)

Gambar 2.5 Proses Terbentuknya *Meander*

b) *Oxbow lake*

Meander biasanya terbentuk pada sungai bagian hilir, sebab pengikisan dan pengendapan terjadi secara terus-menerus. Proses pengendapan yang terjadi secara terus menerus akan menyebabkan kelokan sungai terpotong dan terpisah dari aliran sungai, sehingga terbentuk oxbow lake, atau disebut juga sungai mati.

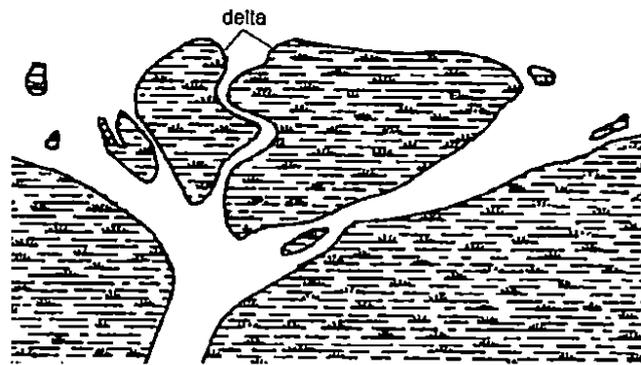


Sumber : *Dynamic Earth, 1994, Halaman 144*

Gambar 2.6 Sungai Mati (*Oxbow Lake*)

c) *Delta*

Pada saat aliran air mendekati muara, seperti danau atau laut, kecepatan alirannya menjadi lambat. Akibatnya, terjadi pengendapan sedimen oleh air sungai. Pasir akan diendapkan, sedangkan tanah liat dan lumpur akan tetap terangkut oleh aliran air. Setelah sekian lama, akan terbentuk lapisan-lapisan sedimen. Akhirnya lapisan-lapisan sedimen membentuk dataran yang luas pada bagian sungai yang mendekati muaranya dan membentuk delta.



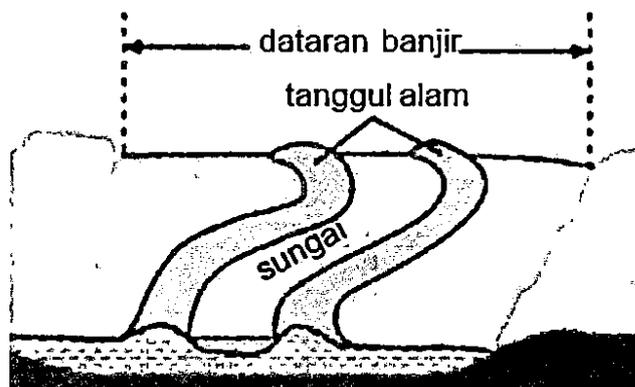
Sumber : I Made Sandy, 1985, *Geografi Regional*, Halaman 76

Gambar 2.7 Delta

Pembentukan *delta* harus memenuhi beberapa syarat. Pertama, sedimen yang dibawa oleh sungai harus banyak ketika akan masuk laut atau danau. Kedua, arus di sepanjang pantai tidak terlalu kuat. Ketiga, pantai harus dangkal. Contoh bentang alam ini adalah delta Sungai Musi, Kapuas dan Kali Brantas

d) Tanggul Alam

Apabila hujan lebat volume air meningkat secara cepat. Akibatnya terjadi banjir dan air meluap hingga ke tepi sungai. Pada saat air surut, bahan-bahan yang terbawa oleh air sungai akan terendapkan di tepi sungai. Akibatnya terbentuk suatu dataran di tepi sungai.



Sumber : [ww.e-dukasi.net](http://ww.e-dukasi.net)

Gambar 2.8 Tanggul Alam

#### J. HEC-RAS 4.1.0

Menurut Istiharto (2011), HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran di sungai, *river analysis system* (RAS), yang dibuat oleh *hydrologic engineering center* yang merupakan satu divisi didalam *intitute for water resources* (IWR), di bawah *US Army Corps of Engineerns* (USACE). HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*). HEC-RAS versi terbaru saat ini, versi 4.1, beredar sejak Januari 2010. HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi :

1. Hitungan profil muka air aliran permanen
2. Simulasi aliran tidak permanen
3. Hitungan transpor sedimen
4. Hitungan kualitas air

Satu elemen penting dalam HEC-RAS adalah keempat komponen tersebut memakai data geometri yang sama, *routine* hitungan hidraulika yang sama, serta beberapa fitur desain hidraulik yang dapat diakses setelah hitungan profil muka air berhasil dilakukan.

HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur *graphical user interface*, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik serta pelaporan.

#### K. Persamaan Pada HEC-RAS

Hitungan hidrolika 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 hidrolika aliran di 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. Untuk aliran permanen, HEC-RAS memakai persamaan energi kecuali di 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. Untuk aliran tak permanen, HEC-RAS memakai persamaan kekekalan massa (*continuity, conservation of mass*) dan persamaan momentum. Kedua persamaan dituliskan dalam bentuk persamaan diferensial parsial, yang kemudian diselesaikan dengan metode *finite difference approximation* berskema implisit.

### 1. Persamaan Energi

HEC-RAS menghitung profil muka air di sepanjang alur urut dari satu tampang lintang ke tampang lintang berikutnya. Prosedur perhitungan didasarkan pada penyelesaian persamaan aliran satu dimensi melalui saluran terbuka. Aliran satu dimensi ditandai dengan besarnya kecepatan yang sama pada seluruh penampang atau digunakan kecepatan rata-rata. Profil muka air dihitung dari suatu penampang dengan Persamaan Energi melalui prosedur iterative yang disebut dengan *Standard Step Method*. Persamaan Energi yang dimaksud adalah (Ven Te Chow, 1997 : 243) :

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_f + h_e \quad (2.1)$$

dengan :

$Y_1, Y_2$  = kedalaman air penampang 1 dan 2 (m)

$Z_1, Z_2$  = elevasi dasar saluran pada penampang 1 dan 2 (m)

$V_1, V_2$  = kecepatan rata-rata aliran pada penampang 1 dan 2 (m/dt)

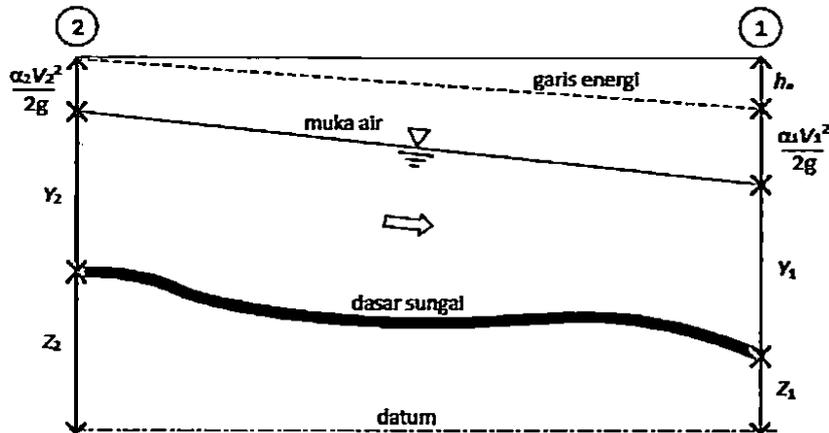
$\alpha_1, \alpha_2$  = koefisien energi pada penampang 1 dan 2

$g$  = percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

$h_f$  = kehilangan tekanan akibat gesekan (m)

$h_e$  = kehilangan tekanan akibat pusaran (m)

Gambar 2.9 Diagram aliran berubah beraturan mengilustrasikan profil aliran yang menunjukkan komponen aliran sesuai dengan suku-suku pada persamaan energi. Dari diagram aliran pada Gambar 2.9, tampak bahwa kedalaman aliran diukur ke arah vertikal.



Gambar 2.9 Diagram Aliran Berubah Beraturan

## 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:

$$h_e = L S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2.2)$$

dengan :

$L$  = panjang ruas sungai antar kedua tampang yang diberi bobot menurut debit

$S_f$  = *representative friction slope* antar kedua tampang,

$C$  = koefisien kehilangan energi akibat perubahan tampang (kontraksi atau ekspansi)

Panjang ruas sungai antar dua tampang yang diberi bobot sesuai dengan debit dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{ch} Q_{ch} + L_{rob} Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}} \quad (2.3)$$

dengan :

$L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}$  = panjang ruas sungai di sisi kiri (*left overbank*), alur

utama (*main channel*), di sisi kanan (*right overbank*),

$Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{rob}$  = debit yang mengalir melalui *left overbank*, *main channel* dan *right overbank*.

### 3. Kapasitas Angkut Tampang

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*). Besarnya debit dihitung perbagian penampang sungai dengan mengacu pada persamaan *Manning's* berikut :

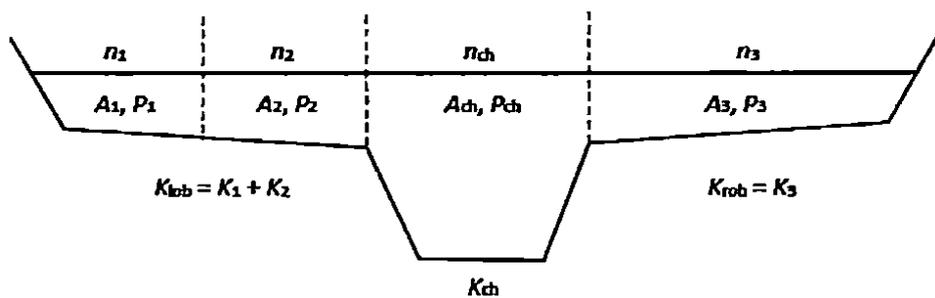
$$Q = KS_f^{2/3} \quad (2.4)$$

$$K = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (2.5)$$

dimana :

- $K$  = kapasitas angkut tiap bagian tampang,
- $n$  = koefisien kekasaran Manning tiap bagian tampang,
- $A$  = luas tampang basah tiap bagian tampang,
- $R$  = radius hidrolik tiap bagian tampang.

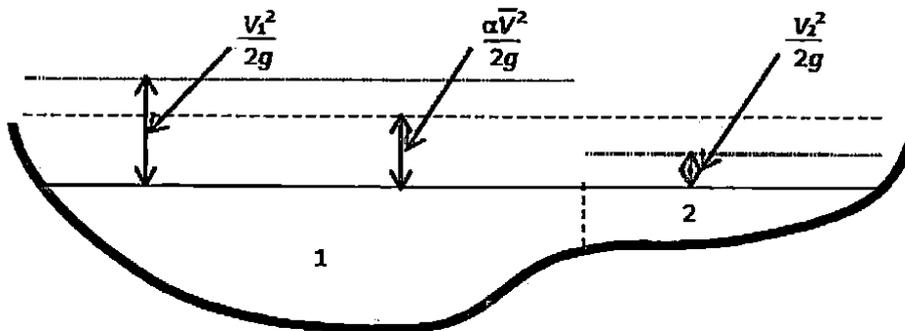
Kapasitas angkut total suatu tampang adalah jumlah kapasitas angkut bagian tampang seperti yang diperlihatkan Gambar 2.10 Pembagian tampang untuk keperluan hitungan kapasitas angkut.



Gambar 2.10 Pembagian Tampang Untuk Keperluan Hitungan Kapasitas Angkut.

#### 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 3.3 menunjukkan contoh hitungan tinggi energi kinetik rata-rata di sebuah tampang yang dibagi menjadi *right overbank* dan *main channel* (tidak ada *left overbank*).



Gambar 2.11 Hitungan Tinggi Energi Kinetik Rata-rata di Suatu Tampang.

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

$$\frac{\alpha V^2}{2g} = \frac{\frac{Q_1 V_1^2}{2g} + \frac{Q_2 V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \quad (2.6)$$

dengan demikian :

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2) V^2} \quad (2.7)$$

atau pada umumnya :

$$\alpha = \frac{|Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_n V_n^2|}{Q V^2} \quad (2.8)$$

### 5. Tinggi Hilang Karena Gesekan

Kehilangan energi akibat gesekan (*friction loss*) merupakan perkalian antara kemiringan garis energi karena gesekan (*friction slope*),  $S_f$ , dan panjang ruas sungai antara dua tampang,  $L$ .

Kemiringan garis energi karena gesekan (*friction slope*) di suatu tampang dihitung dengan persamaan Manning sebagai berikut :

$$S_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2 \quad (2.9)$$

### 6. Koefisien Persempitan dan Perlebaran Tampang

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

$$h_e = C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2.10)$$

Dalam persamaan tersebut  $C$  adalah koefisien kontraksi atau ekspansi. 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).

### 7. Persamaan Aliran Satu Dimensi

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 adalah aliran melalui alur utama dan melalui bantaran sebagai dua aliran yang melewati dua tampang saluran terpisah serta memuliskan 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 ujung tampang berdasarkan kapasitas angkut (*conveyance*) masing-masing tampang yaitu :

$$Q_c = \Phi Q \quad (2.11)$$

dengan :

$Q_c$  = 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 :

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi Q)}{\partial x_c} + \frac{\partial(1-\Phi)Q}{\partial x_f} = 0 \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\Phi^2 Q^2 / A_c)}{\partial x_c} + \frac{\partial[(1-\Phi)^2 Q^2 / A_f]}{\partial x_f} + gA_c \left[ \frac{\partial z}{\partial x_c} + S_{fc} \right] + \\ gA_c \left[ \frac{\partial z}{\partial x_f} + S_{ff} \right] = 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

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. Barkau (1982) menyempurnakan cara penyelesaian di atas dengan menjabarkan kedua persamaan ke dalam bentuk beda hingga yang penyelesaiannya lebih efisien dan stabil.

#### L. Keaslian Penelitian

Sungai Tabalong atau Batang Tabalong adalah sungai (batang air) yang melintasi dan mengalir di wilayah Kabupaten Tabalong, Provinsi Kalimantan Selatan, Indonesia. Salah satu pias sungai tersebut terdapat Mesjid Pusaka Buana Lawas yang merupakan situs peninggalan sejarah. Letak Mesjid yang berada

disalah satu tikungan sungai menyebabkan kemungkinan terjadinya erosi sangat tinggi dan hal tersebut sangat berbahaya bagi kontruksi bangunan tersebut. Untuk itu di perlukan adanya penelitian akademis untuk mengetahui bagaimana kemungkina erosi yang terjadi akibat besaran debit elevasi muka air yang ada disetiap tikungan sungai Tabalong. Salah satu langkah pencegahan dengan melakukan sudetan yang bertujuan untuk mengurangi dampak erosi yang terjadi terutama pada tikungan yang berdekatan dengan Mesjid Pusaka Buana Lawas.