

ANALISIS ANGKUTAN SEDIMEN DI SUNGAI AIR KOLONGAN KABUPATEN MINAHASA UTARA

Mirza Arrazy Sumardi

Liany A. Hendratta, Fuad Halim

Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam Ratulangi Manado

email: sumardimirza@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Air Kolongan, adalah anak sungai yang mengalir melewati daerah Kolongan, Kawangkoan, Suwaan dan bermuara di sungai Tondano. Sungai Air Kolongan merupakan anak sungai yang bermuara langsung di Sungai Tondano dan diperkirakan akan mengangkut sejumlah sedimen ke Sungai Tondano yang selanjutnya akan terbawa masuk ke daerah waduk Kuwil dan dapat berdampak terhadap kapasitas waduk tersebut. Oleh karena itu, untuk menanggulangi masalah tersebut, di perlukan analisis mengenai besarnya angkutan sedimen di daerah ini.

Untuk menghitung angkutan sedimen di sungai Air Kolongan dititik kontrol daerah Suwaan, di gunakan metode Van Rijn dan Einstein, yang akan dianalisis terhadap data debit aliran sungai selama 10 tahun. Data debit air sungai selama 10 tahun dilakukan dengan pendekatan dengan metode NRECA, untuk analisis tersebut, diperlukan data curah hujan selama 10 tahun dan data klimatologi, seperti: temperatur, kelembaban, kecepatan angin, dan durasi penyinaran matahari.

Dari hasil perhitungan, diperoleh angkutan sedimen total berdasarkan debit andalan sungai selama 10 tahun. Debit andalan terbesar pada bulan Januari sebesar $0,682 \text{ m}^3/\text{det}$, diperoleh hasil total angkutan sedimen dengan metode Van Rijn sebesar $0,1920 \text{ kg}/\text{det}$ dan untuk metode Einstein dengan debit yang sama diperoleh hasil total angkutan sedimen sebesar $0,1092 \text{ kg}/\text{det}$. Hasil analisis angkutan sedimen diperoleh bahwa persamaan Van Rijn menghasilkan nilai angkutan sedimen yang terbesar, sehingga metode Van Rijn lebih direkomendasikan untuk menganalisis angkutan sedimen di sungai Air Kolongan. Akibat debit terbesar di bulan januari terjadi kenaikan dasar sungai sebesar $0,628 \text{ m}/\text{tahun}$ untuk metode Van Rijn dan $0,360\text{m}/\text{tahun}$ untuk metode Einstein.

Kata kunci : *Sedimen total, Sedimentasi, Sungai Air Kolongan*

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Sungai merupakan jaringan alur-alur pada permukaan bumi yang terbentuk secara alamiah, mulai dari bentuk kecil di bagian hulu sampai besar di bagian hilir. Aliran sungai merupakan sumber air yang paling dominan untuk memenuhi kebutuhan hidup manusia, sehingga sungai tersebut sepatutnya diusahakan kelestariannya yaitu salah satunya dengan mengusahakan agar alur sungai tetap stabil. Sungai yang tidak berfungsi dengan baik pada suatu DAS dapat menyebabkan bencana alam seperti banjir yang merugikan atau pun kekeringan pada musim kemarau. Oleh sebab itu, sungai perlu di jaga kelestariannya yakni dengan mengusahakan agar

perubahan ketinggian dasar sungai berlangsung selambat mungkin.

Proses sedimentasi dapat mempengaruhi ketinggian dasar sungai. Proses sedimentasi pada suatu alur sungai meliputi erosi, transportasi, pengendapan, dan pepadatan dari sedimentasi itu sendiri. Proses sedimentasi yang berlangsung terus menerus akan mempengaruhi kestabilan alur sungai di mana akan terbentuk daratan yang baru yang disertai dengan perubahan/perpindahan alur sungai.

Sungai Air Kolongan merupakan anak sungai yang bermuara langsung di Sungai Tondano dan diperkirakan akan mengangkut sejumlah sedimen ke Sungai Tondano yang selanjutnya akan terbawa masuk ke daerah waduk Kuwil dan dapat berdampak pada kapasitas waduk tersebut.

Pengendapan sedimen yang berlebihan dapat menyebabkan pendangkalan sungai maupun waduk. Kapasitas tampung akan menurun, sehingga dapat menyebabkan luapan air ke daerah pemukiman (banjir) yang pastinya sangat merugikan masyarakat sekitar.

Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka diperlukan penelitian berupa studi kasus tentang “Analisis Angkutan Sedimen di Sungai Air Kolongan Kabupaten Minahasa Utara”.

Batasan Masalah

Dalam penulisan ini yang akan dibahas adalah angkutan sedimen pada alur Sungai “Air Kolongan” di daerah Kawangkoan secara umum. Analisis sedimen dibatasi oleh hal-hal sebagai berikut :

1. Perhitungan muatan sedimen dasar (*bed load*) dan Sedimen Melayang (*suspended load*)
2. Pembahasan berbasis pada data pengukuran yang ada, dibatasi pada lokasi terpilih, alur sungai yang ditinjau adalah sepanjang 50 m, tidak ada aliran pertemuan/percabangan sepanjang alur yang akan ditinjau
3. Perhitungan angkutan sedimen menggunakan metode Van Rijn dan Einstein.

Tujuan Penelitian

Mendapatkan besaran angkutan sedimen pada “Sungai Air Kolongan Kabupaten Minahasa Utara”.

Metode Pengumpulan Data

Metode yang dilakukan untuk pengukuran dan analisis data sedimen pada alur sungai Air Kolongan, yaitu dengan melakukan pengukuran muatan sedimen pada suatu bagian alur sungai di daerah Suwaan.

Adapun data-data yang diperlukan pada analisis data angkutan sedimen adalah sebagai berikut :

1. Kemiringan dasar sungai, kedalaman aliran, berat volume air, dsb
2. Debit aliran air sungai pada lokasi yang ditinjau
3. Data curah hujan selama 10 tahun
4. Sampel sedimen dasar (*Bed load*)

Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pengetahuan mengenai tata cara, prosedur dan analisis berkaitan dengan penanganan masalah sedimentasi di Sungai Air Kolongan.
2. Sebagai bahan pertimbangan bagi pihak yang berkepentingan dalam hal penanganan sedimen di Sungai Air Kolongan, yang di harapkan dapat membantu dalam menentukan pola perencanaan dan pengelolaan secara berkelanjutan.

LANDASAN TEORI

Konsep Dasar

Pada dasarnya permasalahan angkutan sedimen sangatlah rumit dan kompleks karena sifat fisik dari partikel sedimen dan jumlah material angkutan sedimen sangat berbeda-beda dari tempat yang satu ke tempat yang lain maupun dari waktu ke waktu. Oleh karena itu analisis yang dilakukan bersifat pendekatan, karena terdapat begitu banyak faktor yang dapat mempengaruhi perubahan laju angkutan sedimen di sungai. Bagaimanapun, pengetahuan mengenai angkutan sedimen yang terbawa oleh aliran sungai dalam kaitannya dengan besar aliran sungai akan mempunyai arti penting bagi kegiatan pengembangan dan manajemen sumber daya air, konservasi tanah, dan perencanaan bangunan pengaman sungai.

Dasar sungai biasanya tersusun oleh endapan dari material angkutan sedimen yang terbawa oleh aliran sungai, material tersebut dapat terangkut kembali apabila terjadi kenaikan kecepatan aliran yang cukup tinggi. Besarnya volume angkutan sedimen ini tergantung dari pada perubahan kecepatan aliran dan adanya kegiatan yang dilakukan manusia di palung sungai. Penghasil sedimen terbesar adalah erosi permukaan lereng pegunungan, erosi dasar dan tebing alur sungai, dan bahan-bahan hasil letusan gunung berapi yang masih aktif.

Proses sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi, pengendapan, dan pemadatan dari sedimen itu sendiri. Proses tersebut dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian aliran menjadi angkutan sedimen. Bentuk, ukuran, dan beratnya partikel tanah tersebut akan menentukan

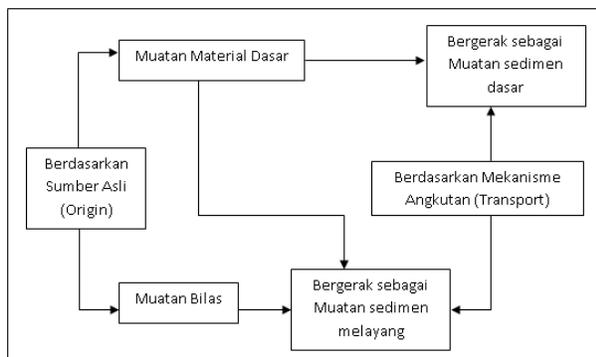
jumlah besarnya laju angkutan sedimen (Soewarno, 1991).

Klasifikasi Sedimen

Sedimen dapat bergerak, bergeser di sepanjang dasar sungai, tergantung pada komposisi (ukuran butiran, berat jenis, dll), dan kondisi aliran (kecepatan aliran, kedalaman aliran, dll).

Berdasarkan ukuran butirnya, angkutan sedimen di sungai dapat dibedakan menjadi angkutan sedimen dasar, angkutan sedimen melayang, dan angkutan sedimen bilas/kikisan.

Secara skematis angkutan sedimen dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Skema Angkutan Sedimen
Sumber : Soewarno (1991)

Muatan Sedimen Dasar (Bed Load)

Menurut, Soewarno (1991) bahwa muatan sedimen dasar merupakan partikel-partikel kasar yang bergerak pada dasar sungai secara keseluruhan. Gerakannya bisa bergeser, menggelinding atau meloncat-loncat, tetapi tidak pernah lepas dari dasar sungai. Gerakan ini kadang-kadang meliputi lapisan dasar ditandai bercampurnya butiran partikel tersebut bersama-sama bergerak ke arah hilir. Pada umumnya alur sungai di bagian hulu angkutan *bed load* merupakan bagian yang terbesar dari seluruh jumlah sedimen.

Muatan Sedimen Melayang (Suspended Load)

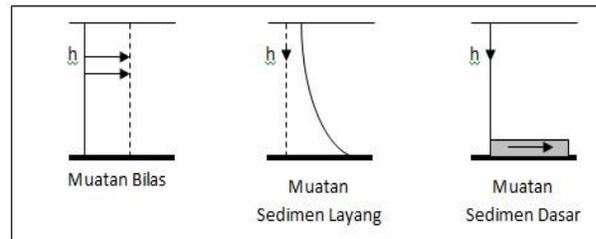
Menurut, Soewarno (1991) bahwa muatan sedimen melayang merupakan material dasar sungai yang melayang di dalam aliran sungai dan terdiri dari butiran-butiran pasir halus yang senantiasa mengambang di atas sungai, karena selalu didorong ke atas oleh turbulensi aliran.

Pada aliran turbulen, partikel sedimen tetap melayang di dalam aliran sungai, tetapi jika aliran sungai itu laminar maka konsentrasi sedimen akan berkurang dan akhirnya mengendap.

Muatan Bilas (Wash Load)

Menurut, Soewarno (1991) bahwa muatan bilas (*wash load*) adalah angkutan partikel-partikel halus berupa lempung (*silt*) dan debu (*dust*), yang terbawa oleh aliran sungai. Partikel-partikel ini akan terbawa aliran sungai sampai ke laut, atau dapat juga terendap pada aliran tenang atau pada air yang tergenang.

Ukuran butir muatan bilas adalah paling kecil dari ukuran butir seluruh angkutan sedimen. Sumber utama dari muatan bilas adalah hasil pelapukan lapisan atas batuan atau tanah daerah pengaliran sungai.



Gambar 2. Klasifikasi Angkutan Sedimen
Sumber : Soewarno (1991)

Pengukuran Angkutan Sedimen Dengan Rumus Empiris

Berbagai persamaan untuk memperkirakan muatan angkutan sedimen telah banyak dikembangkan, walaupun demikian penerapannya untuk penyelidikan di lapangan masih perlu pengkajian lebih lanjut. Tetapi ada persamaan yang umumnya digunakan untuk memperkirakan muatan angkutan sedimen.

Analisa Angkutan Sedimen Dengan Metode L.C. Van Rijn

Menurut Van Rijn angkutan sedimen dapat dianalisa cukup akurat dengan dua parameter yang tak berdimensi (*dimensionless parameters*) yang dikemukakan oleh Ackers white dan Yallin (Van Rijn, 1984), yaitu :

- Parameter partikel (*particle parameter*)

$$D_* = D_{50} \left[\frac{(s-1)}{v^2} \right]^{1/3} \tag{1}$$

Dimana :

- D_* = parameter partikel
- D_{50} = ukuran partikel
- s = kerapatan jenis = $\frac{\rho_s}{\rho}$
- ν^2 = koefisien kekentalan kinematic
- g = percepatan gravitasi (9,81 m/det²)

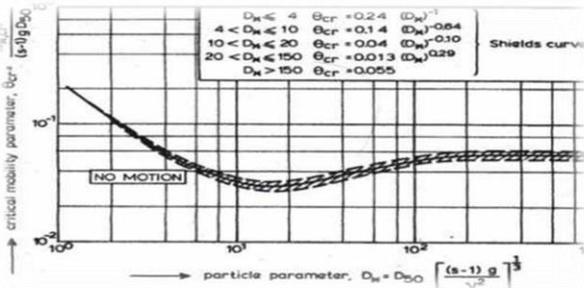
- Stage parameter (T)

$$T = \frac{(V_*')^2 - (V_{*CR}')^2}{(V_{*CR}')^2} \quad (2)$$

Dimana :

- V_*' = $\left(\frac{g}{C'}\right)^{0.5} \cdot \bar{V}$
- \bar{V} = kecepatan aliran rata-rata (m/det)
- V_*' = kecepatan geser dasar berhubungan dengan butiran partikel (m/det)
- V_{*CR}' = kecepatan geser dasar kritis menurut Shield (m/det)
- T = Stage parameter
- C' = koefisien Chezy

Kecepatan geser dasar kritis (V_{*CR}') dapat dihitung dengan diagram yang diberikan oleh Shield.



Gambar 3. Kurva gerakan awal menurut Shields
Sumber : (Van Rijn, 1984)

Untuk C' dihitung dengan persamaan :

$$C' = 18 \log \left(\frac{12 Rb}{3 D_{90}} \right) \quad (3)$$

Dimana :

- Rb = jari-jari hidrolis (m)
- D_{90} = ukuran partikel sedimen (m)

- Angkutan sedimen dasar (*bed load*) per satuan lebar sungai dapat dihitung dengan persamaan :

$$q_b = \frac{0,053(T)^{2.1}[(s-1)g]^{0.5} \cdot (d_{50})^{3/2}}{(D^*)^{0.3}} \quad (4)$$

Debit angkutan sedimen dasar untuk seluruh lebar dasar saluran :

$$Q_b = q_b \cdot W \quad (5)$$

Dimana :

- q_b = Angkutan sedimen dasar pada satu satuan lebar sungai (m²/det)
- W = lebar dasar saluran (m)

- Angkutan sedimen melayang (*suspended load*)

Reference level dihitung dengan persamaan :

$\alpha = 0.5\Delta$ atau $\alpha = k_s$ (dengan $a_{min} = 0.01 d$)

Reference concentration dihitung dengan persamaan:

$$c_a = 0,015 \frac{D_{50}}{a} \cdot \frac{T^{1.5}}{D_*^{0.3}} \quad (6)$$

Ukuran partikel untuk sedimen melayang :

$$D_s = [1 + 0,011(\sigma_s \cdot 1) \cdot (T-25)] D_{50} \quad (7)$$

$\sigma_s = 2,5$

Kecepatan jatuh untuk sedimen melayang :

Ukuran partikel < 100 μm

$$w_s = \frac{1}{18} \frac{(s-1)gD_s^2}{\nu} \quad (8)$$

Ukuran partikel antara 100 – 1000 μm

$$w_s = 10 \frac{\nu}{D_s} \left\{ \left[1 + \frac{0,01(s-1)gD_s^3}{\nu^2} \right]^{0.5} - 1 \right\} \quad (9)$$

Ukuran partikel > 1000 μm

$$w_s = 1,1[(s-1)gD_s]^{0.5}$$

Faktor β (dengan tingkat keakuratan 75%)

$$\beta = 1 + 2 \left[\frac{w_s}{u_*} \right]^2 \quad (10)$$

Faktor ϕ (dengan tingkat keakuratan 75%)

$$\phi = 2.5 \left[\frac{w_s}{u_*} \right]^{0.8} \left[\frac{c_a}{c_0} \right]^{0.4} \quad (11)$$

Parameter suspensi Z dan Z'

$$Z = \frac{w_s}{\beta K u_*} \text{ dan } Z' = Z + \phi \quad (12)$$

Faktor F :

$$F = \frac{\left[\frac{a}{d} \right]^{Z'} - \left[\frac{a}{d} \right]^{1.2}}{\left[1 - \frac{a}{d} \right]^{Z'} \left[1.2 - Z' \right]} \quad (13)$$

Angkutan sedimen melayang dihitung dengan persamaan :

$$q_s = Fvdc_a \quad (14)$$

Debit angkutan sedimen melayang seluruh lebar saluran :

$$Q_s = q_{sW} \quad (15)$$

Analisa Angkutan Sedimen Dengan Metode Einstein

Einstein merupakan ahli pertama yang mencoba menurunkan persamaan angkutan sedimen dasar (*bed load*) dengan metode persamaan teoritik, yaitu dengan teori statistik. Persamaan ini diturunkan secara dua tahap. Tahap pertama tahun 1942 dimana Einstein belum memperhitungkan konfigurasi dasar sungai pada persamaanya. Pada tahap kedua yaitu tahun 1950 Einstein memodifikasi persamaan sebelumnya dengan memperhitungkan konfigurasi dasar sungai.

Metode pendekatan Einstein didasarkan pada dua konsep dasar. Konsep dasar pertama bahwa konsep kondisi kritik untuk terjadinya angkutan sedimen ditiadakan karena kondisi kritik pada awal pergerakan sedimen sangat sulit untuk didefinisikan. Konsep dasar kedua adalah angkutan sedimen dasar lebih dipengaruhi oleh fluktuasi aliran yang terjadi akibat nilai rata-rata gaya aliran yang bekerja pada partikel sedimen.

Dengan demikian bergerak atau berhentinya suatu partikel sedimen lebih tepat dinyatakan dengan konsep probabilitas yang menghubungkan gaya angkat hidrodinamik sesaat dengan berat partikel dalam air.

Persamaan muatan sedimen dengan pendekatan Einstein berdasarkan fungsi dari pada:

$$\Phi = f(\Psi) \quad (16)$$

Angkutan sedimen dasar (*bed load*)
Intensitas aliran:

$$\Psi = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \times \frac{D_{35}}{R \left(\frac{n'}{n}\right)^{3/2} S} \quad (17)$$

Menghitung Intensitas muatan sedimen dasar

$$\Phi = \frac{q_b}{\gamma_s} \times \left(\frac{\rho}{\rho_s - \rho} \times \frac{1}{gD_{35}^3} \right)^{1/2} \quad (18)$$

Dimana :

- ρ = Kerapatan massa air (kg.det²/m⁴)
- ρ_s = Kerapatan massa sedimen (kg.det²/m⁴)

D_{35} = Diameter butiran tanah yang bersesuaian dengan 35 % yang lolos ayakan (mm)

R = Jari-jari hidrolis (m)

n' = Koefisien kekasaran untuk dasar rata

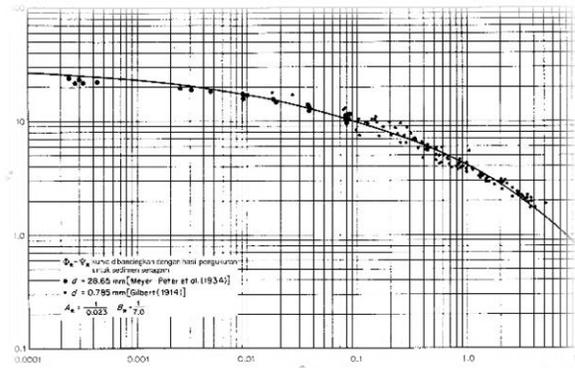
$$= \frac{D_{90}^{1/6}}{26}$$

n = Koefisien kekasaran aktual

S = Kemiringan dasar saluran

q_b = Debit angkutan sedimen dasar (kg/det/m)

γ_s = Berat spesifik sedimen (kg/m³)



Gambar 4. Grafik Hubungan Φ dan Ψ
Sumber : (Soewarno, 1991)

Tabel 1. Hubungan Φ dan Ψ

Φ	Ψ	Φ	Ψ
10^{-4}	27,0	$5 \cdot 10^{-2}$	11,5
$5 \cdot 10^{-4}$	24,0	10^{-1}	9,5
10^{-3}	22,4	$5 \cdot 10^{-1}$	5,5
$5 \cdot 10^{-3}$	18,4	1,00	4,08
10^{-2}	16,4	10,00	0,70

Angkutan sedimen melayang (*suspended load*)

Untuk debit angkutan sedimen melayang, Einstein mengasumsikan bahwa $\beta = 1$, $k = 0,4$. Dengan menggantikan U_* dengan U_*' , maka kecepatan geser sehubungan dengan kekasaran butir :

$$Z_1 = Z = \frac{\omega}{0.4U_*'} \quad (19)$$

Dimana :

ω = kecepatan jatuh berdasarkan D_{50}

$U_*' = U_* = (gR^3 S)^{1/2}$

Persamaan untuk sedimen melayang :

$$q_s = 11.6U_*C_{ua} \left\{ \left[2.303 \log \frac{30.2d}{\Delta} \right] I_1 + I_2 \right\} \quad (20)$$

Dimana :

q_s = debit angkutan sedimen melayang (kg/det/m)

$$U'_* = U_* = (gR')^{1/2} \quad (21)$$

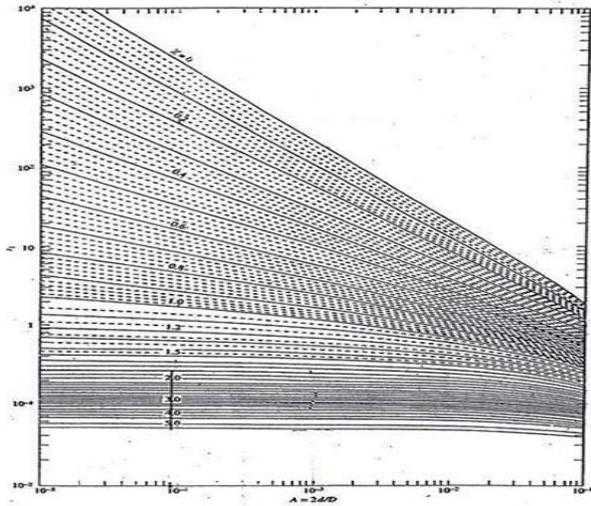
C_a = konsentrasi sedimen melayang pada jarak a diatas dasar = $\frac{1}{11.6} \frac{q_b}{aU_*}$

a = ketebalan angkutan sedimen dasar (m) = $2D_{65}$

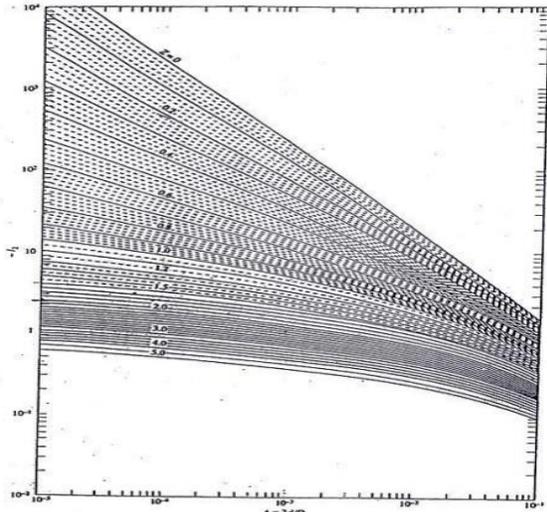
d = kedalaman aliran (m)

$$\Delta = \frac{k_s}{x} = \frac{D_{65}}{x}$$

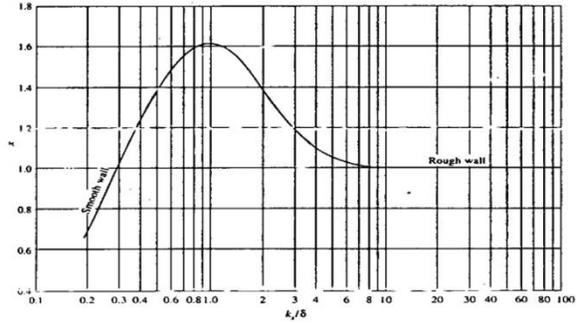
I_1, I_2 = suatu fungsi, lihat grafik



Gambar 5. Grafik fungsi I_1
Sumber: Darly and Senturk, 1977



Gambar 6 : Grafik Fungsi I_2
Sumber : Darly and Senturk, 1977



Gambar 7. Faktor Koreksi Pada Distribusi Kecepatan Logaritmik
Sumber : Darly and Senturk, 1977

Kaitan Antara Shear Stress Dengan Pengendapan Dan Erosi

Analisis tentang pengendapan dan erosi pada dasar saluran, sangat erat kaitannya terhadap besar kecilnya tegangan geser dasar (*Shear Stress*) dalam suatu proses transport sedimen.

Secara teoritis, jika nilai tegangan geser dasar (τ_b) melebihi suatu batas/kriteria tegangan kritis (τ_c), maka akan terjadi erosi. Sebaliknya jika nilai tegangan geser dasar lebih kecil dari nilai tegangan kritis, maka akan terjadi pengendapan.

Untuk menghitung tegangan geser dasar arah longitudinal ini, dapat di definisikan pada suatu hukum tahanan di mana adalah kwadratik terhadap kecepatan rata-rata, seperti pada rumus berikut:

$$u_\tau^2 = \frac{\tau_b}{\rho} = \frac{g}{C^2} \times \bar{u}^2 \quad (22)$$

atau :

$$u_\tau = \frac{g^{1/2}}{C} \times \bar{u} \quad (23)$$

$$\tau_b = \rho g \frac{\bar{u}^2}{C^2} \quad (24)$$

dimana :

u_τ = kecepatan geser dasar (m/det)

τ_b = tegangan geser dasar (kg/m.det²)

ρ_w = rapat massa air (kg/m³)

g = percepatan gravitasi (m/det²)

\bar{u} = kecepatan rata-rata pada tiap titik (m/det)

C = koefisien Chezy (m^{1/2}/det)

Sedangkan untuk menghitung kecepatan geser kritis (u_{*c}) di gunakan rumus sebagai berikut :

$$\theta_c = \frac{u_{*c}^2}{\left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1\right)g.D_{50}} \quad (25)$$

dimana :

- u_*c = kecepatan geser dasar kritis
- ρ_s = kerapatan massa sedimen (kg/m^3)
- ρ = kerapatan massa air (kg/m^3)
- g = percepatan gravitasi (m/det^2)
- D_{50} = diameter butiran material (m)

Penetapan Debit Andalan

Debit andalan merupakan debit minimum sungai kemungkinan debit dapat dipenuhi ditetapkan 80%, sehingga kemungkinan debit sungai lebih rendah dari debit andalan sebesar 20%. Untuk mendapatkan debit andalan sungai, maka nilai debit, yang dianalisis adalah dengan metode NRECA, menurut tahun pengamatan yang diperoleh, harus diurut dari yang terbesar sampai yang terkecil. Kemudian dihitung tingkat keandalan debit tersebut dapat terjadi, berdasarkan probabilitas kejadian mengikuti rumus Weibull

$$P = \frac{m}{n+1} \times 100 \quad (26)$$

Keterangan :

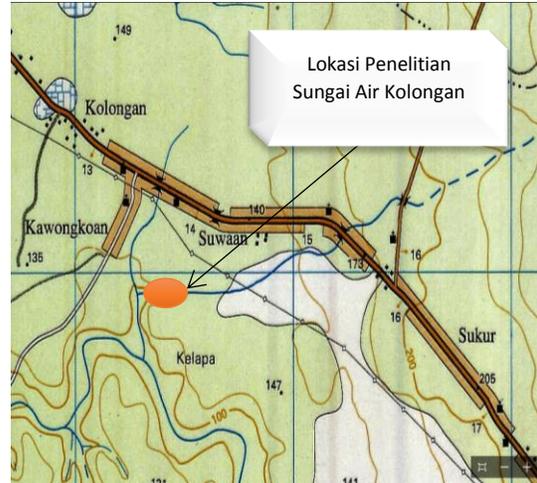
- P = Probabilitas terjadinya kumpulan nilai yang diharapkan selama periode pengamatan (%)
- m = Nomor urut kejadian, dengan urutan variasi dari besar kekecil
- n = jumlah data

Dengan demikian pengertian debit andalan 80% adalah berdasarkan pada nilai debit yang mendekati atau sama dengan nilai probabilitas (P) 80%.

METODOLOGI PENELITIAN

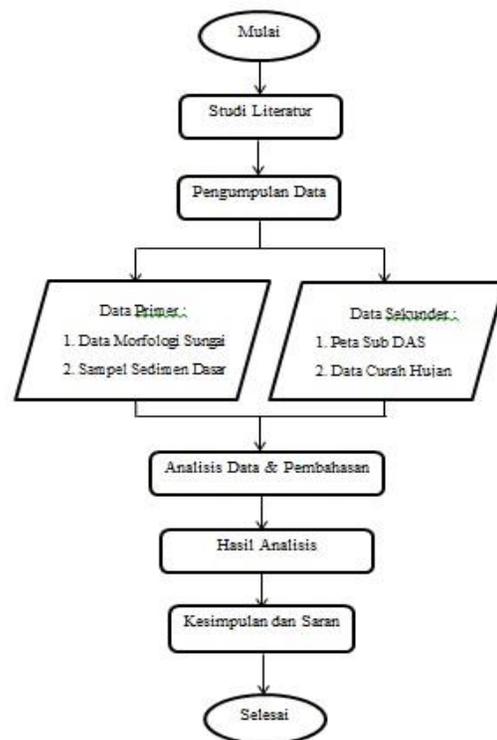
Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Sungai Air Kolongan pada daerah Kawangkoan yang berlokasi di desa Kawangkoan, Kecamatan Kalawat, Kabupaten Minahasa Utara. Sungai Air Kolongan merupakan anak sungai yang mengalir melewati daerah Kolongan, Kawangkoan, Suwaan dan bermuara di sungai Tondano. Secara geografis sungai air kolongan terletak pada $1^{\circ}26'57''\text{N}$ dan $124^{\circ}56'28''\text{E}$.



Gambar 8 : Lokasi Penelitian
Sumber : Peta Rupa Bumi, Lembar 2417-23, Manado

Bagan Alir Penelitian



Perhitungan Debit dengan Metode NRECA

Analisis ini dilakukan untuk mendapatkan data debit andalan di sungai Air Kolongan.

Analisa Laboratorium

Analisa laboratorium dilakukan untuk menentukan ukuran butiran partikel dan berat jenis partikel.

Material yang akan diperiksa adalah material hasil pengambilan langsung pada lokasi sungai yang ditinjau. Nilai yang diperoleh dari hasil percobaan merupakan parameter yang diperlukan dalam perhitungan angkutan sedimen dengan menggunakan metode empiris.

ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Parameter-Parameter Sungai

Berdasarkan dari pengambilan data primer di lapangan selanjutnya dilakukan analisa hidraulika ruas sungai yang diteliti. Hal ini dilakukan dalam upaya mendapatkan informasi tentang tinggi muka air, kecepatan aliran, Luas Penampang, dan kemiringan sungai .

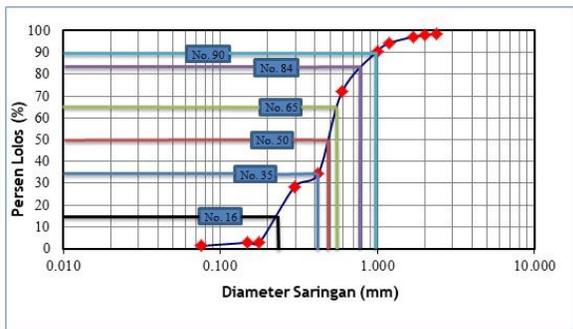
Penentuan Ukuran Butir Partikel Sedimen

Adapun data pada ruas sungai yang ditinjau berat sampel asli memiliki berat 115 gram. Setelah dioven dan disaring memiliki data sebagai berikut:

Tabel 4. Tabel Data Distribusi Ukuran Butiran

No. Saringan (Inch)	Uk. Saringan (mm)	Berat Saringan	Berat Saringan + Tertahan	Tertahan		Lolos		% Kumulatif	
				Gram	%	gram	%	Tertahan	Lolos
8	2.380	474.78	476.42	1.64	1.43	113.36	98.57	1.43	98.57
10	2.000	462.53	463.40	0.87	0.76	112.49	97.82	0.76	97.82
12	1.680	461.14	462	0.86	0.75	111.63	97.07	2.17	97.07
16	1.190	442.72	445.9	3.18	2.77	108.45	94.30	4.94	94.30
18	1.000	437.69	441.82	4.13	3.59	104.32	90.71	8.53	90.71
30	0.595	410.27	431.81	21.54	18.73	82.78	71.98	27.26	71.98
40	0.420	395.30	438.26	42.96	37.36	39.82	34.63	64.62	34.63
50	0.297	388.00	395.06	7.06	6.14	32.76	28.49	70.76	28.49
80	0.177	348.43	377.91	29.48	25.63	3.28	2.85	96.39	2.85
100	0.149	351.04	351.09	0.05	0.04	3.23	2.81	96.43	2.81
200	0.075	385.06	386.79	1.73	1.50	1.50	1.30	97.94	1.30
Pan		331.71	333.03	1.32	1.15	0.00	0.00	99.09	0.00
			$\Sigma =$	114.82					

Sumber: Hasil Analisis



Gambar 9. Grafik Distribusi Ukuran Sedimen

Analisa ukuran butiran :

- $D_{16} = 0,239 \text{ mm}$
- $D_{35} = 0,422 \text{ mm}$
- $D_{50} = 0,492 \text{ mm}$
- $D_{65} = 0,562 \text{ mm}$
- $D_{90} = 0,984 \text{ mm}$

Penentuan Berat Jenis Partikel

Penentuan berat jenis partikel sedimen dapat dilakukan dengan mengukur berat dan volume secara langsung. Pada umumnya berat dapat diukur dengan mudah dengan ketelitian tinggi, oleh karena itu pengukuran berat jenis tergantung pada ketelitian pengukuran volume. Berat jenis sedimen didefinisikan secara umum sebagai perbandingan antara berat volume butiran tanah dan berat volume air pada temperature 4°C (Soewarno, 1991).

Adapun hasil dari percobaan berat jenis adalah sebagai berikut :

Tabel 5. Hasil Analisis Pemeriksaan Berat Jenis

Percobaan Berat Jenis			
Nomor Piknometer		A	B
Berat Piknometer + contoh tanah	W_2	43.05	56.94
Berat Piknometer (Kosong)	W_1	33.05	46.94
Berat Tanah	$W_t = W_2 - W_1$	10	10
Temperatur	$t^{\circ}\text{C}$	25	25
Berat Piknometer + air + tanah pada suhu 25°	W_3	138.46	151.87
Berat Piknometer + air pada suhu 25°	W_4	132.22	145.6
$W_2 - W_1 + W_4$	W_5	142.22	155.6
Isi tanah	$W_5 - W_3$	3.76	3.73
Berat jenis	$W_t / (W_5 - W_3)$	2.66	2.68
Rata-rata		2.67	

Analisis Angkutan Sedimen Berdasarkan Rumus Empiris

Pada penelitian ini analisis perhitungan sedimen menggunakan 2 metode yaitu metode Van Rijn dan Einstein dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 6. Angkutan Sedimen Total dengan Debit Andalan Q80% Metode Van Rijn

Bulan	Debit (m ³ /det)	Metode Van Rijn		
		Qb (kg/det)	Qs (kg/det)	Q total (kg/det)
Jan	0.682	0.086342	0.105679	0.192021
Feb	0.411	0.031727	0.052231	0.083958
Mar	0.200	0.005124	0.016090	0.021214
Apr	0.145	0.001546	0.007767	0.009313
Mei	0.140	0.001326	0.007074	0.008400
Jun	0.230	0.007811	0.020736	0.028547
Jul	0.244	0.009282	0.023165	0.032447
Agu	0.266	0.012622	0.026638	0.039259
Sep	0.275	0.012530	0.028065	0.040595
okt	0.288	0.014377	0.030618	0.044994
Nov	0.316	0.014245	0.035211	0.049456
Des	0.244	0.009282	0.023165	0.032447

Tabel 7. Angkutan Sedimen Total dengan Debit Andalan Q 80% Metode Einstein

Bulan	Debit (m ³ /det)	Metode Einstein		
		Qb (kg/det)	Qs (kg/det)	Q total (kg/det)
Jan	0.682	0.064081	0.045216	0.109296
Feb	0.411	0.024920	0.013233	0.038153
Mar	0.200	0.003560	0.001349	0.004909
Apr	0.145	0.000890	0.000160	0.001050
Mei	0.140	0.000712	0.000149	0.000861
Jun	0.230	0.005340	0.000951	0.006291
Jul	0.244	0.007120	0.002627	0.009747
Agu	0.266	0.009256	0.003304	0.012561
Sep	0.275	0.009968	0.003549	0.013517
okt	0.288	0.011392	0.004044	0.015436
Nov	0.316	0.012460	0.005183	0.017644
Des	0.244	0.007120	0.002627	0.009747

Analisis Penggerusan Dan Pengendapan

Dari hasil perhitungan angkutan sedimen dapat digunakan untuk mengetahui kondisi dasar sungai yang mengalami penggerusan ataupun pengendapan. Yaitu dengan cara membandingkan besar angkutan sedimen pada dua buah penampang yang berdekatan. Untuk mengetahui besarnya perubahan dasar sungai dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta s = \frac{\Delta t}{\gamma_s \times B \times L}$$

Dimana:

- Δs = penurunan atau kenaikan dasar sungai (m)
- Δt = selisih angkutan sedimen (kg/det)
- γ_s = berat jenis sedimen (kg/m³)
- B = lebar dasar sungai
- L = jarak antar penampang

Dari data di dapat hasil angkutan sedimen terbesar di bulan januari untuk metode Van Rijn dan Einstein sebagai berikut :

Metode Van Rijn

- Q_{in} = 0,2021 kg/det
- Q_{out} = 0,1920 kg/det
- Metode Einstein
- Q_{in} = 0,1150 kg/det
- Q_t = 0,1092 kg/det

Perhitungan tebal sedimentasi untuk metode Van Rijn

$$\Delta s = \frac{\Delta t}{\gamma_s \times B \times L} = \frac{0,2021 - 0,1920}{2670 \times 3,8 \times 50} = 1,9909 \times 10^{-8} \text{ m}$$

1 tahun = 365 hari = 31536000
 $\Delta s = 1,9909 \times 10^{-8} \times 31536000 = 0,628 \text{ m/thn}$

Perhitungan tebal sedimentasi untuk metode Einstein

$$\Delta s = \frac{\Delta t}{\gamma_s \times B \times L} = \frac{0,1150 - 0,1092}{2670 \times 3,8 \times 50} = 1,1433 \times 10^{-8} \text{ m}$$

1 tahun = 31104000 det

$\Delta s = 1,1433 \times 10^{-8} \times 31104000 = 0,360 \text{ m/thn}$

Pembahasan

Penelitian ini dilakukan di sungai Air Kolongan pada titik kontrol daerah Suwaan, lokasi sungai yang di tinjau sepanjang 50 m dan di bagi atas 3 penampang (melintang), dimana lebar sungai berkisar antara 2 – 5 m dan kedalaman aliran berkisar 0,2 – 0,6 m dan luas Daerah Aliran Sungai 11,875 km². Berdasarkan perhitungan angkutan sedimen dengan menggunakan metode Van Rijn dan Einstein, juga berdasarkan grafik yang diperoleh dari hasil perhitungan, maka angkutan sedimen di Sungai Air Kolongan dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Angkutan sedimen dasar

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa angkutan sedimen dasar terbesar terjadi di antara bulan januari dan february, untuk bulan tersebut debit andalan yang dihasilkan cukup besar, sehingga menghasilkan angkutan sedimen yang cukup besar dan untuk bulan-bulan yang lain karena debit andalan yang relative kecil sehingga menghasilkan angkutan sedimen yang juga relative kecil, angkutan sedimen memiliki pola yang hampir sama dan saling berhimpit. Namun pada umumnya, metode Van Rijn memberikan hasil angkutan sedimen yang lebih besar dari pada metode Einstein bisa dilihat perhitungan angkutan sedimen dasar untuk debit andalan terbesar di bulan januari sebagai berikut :

- Untuk debit andalan bulan Januari Q= 0,682 m³/det : Q_b Van Rijn = 0.08634 kg/det.
- Untuk debit andalan bulan Januari Q= 0,682 m³/det : Q_b Einstein = 0,06408 kg/det

Dari data diatas, jelas bahwa angkutan sedimen dasar terbesar yakni berada pada bulan Januari.

2. Angkutan sedimen melayang

Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa angkutan sedimen melayang untuk metode Van Rijn menghasilkan jumlah angkutan sedimen melayang yang cukup besar dibandingkan dengan metode Einstein. Angkutan sedimen melayang

terbesar terjadi di antara bulan Januari dan Februari, untuk bulan tersebut debit andalan yang di hasilkan cukup besar ,sehingga menghasilkan angkutan sedimen yang cukup besar dan untuk bulan-bulan yang lain karena debit andalan yang relatif kecil sehingga menghasilkan angkutan sedimen yang juga relatif kecil. Namun pada umumnya, metode Van Rijn memberikan hasil angkutan sedimen yang lebih besar dari pada metode Einstein bisa dilihat sebagai berikut :

- Untuk debit andalan bulan Januari $Q = 0,682 \text{ m}^3/\text{det}$: Q_s Van Rijn = $0.1056 \text{ kg}/\text{det}$.
- Untuk debit andalan bulan Januari $Q = 0,682 \text{ m}^3/\text{det}$: Q_b Einstein = $0,04521 \text{ kg}/\text{det}$

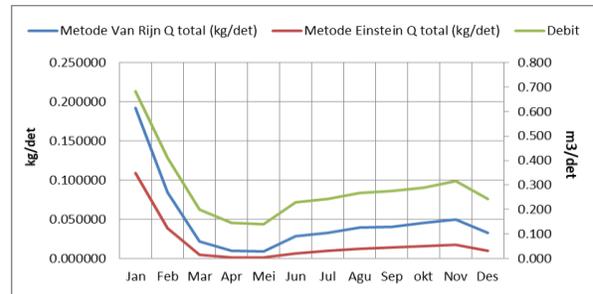
Dari data di atas terlihat bahwa nilai angkutan sedimen untuk metode van rijn menghasilkan jumlah angkutan sedimen melayang yang lebih besar dari metode Einstein. Hal ini terjadi karena parameter-parameter yang di gunakan antara metode Van Rijn dan Einstein berbeda.

3. Angkutan sedimen total

Hasil rekapitulasi angkutan sedimen bulanan 2007 – 2016 metode Van Rijn : Q_t Jan = $0,1920 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Feb = $0,0839 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Mar = $0,02121 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Apr = $0,009313 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Mei = $0,008400 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Jun = $0,02857 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Jul = $0,03244 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Agu = $0,03925 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Sep = $0,04059 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Okt = $0,04499 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Nov = $0,04945 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Des = $0,03244 \text{ kg}/\text{det}$, dan dengan metode Einstein : Q_t jan = $0,1092 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Feb = $0,03815 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Mar = $0,004909 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Apr = $0,001050 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Mei = $0,000861 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Jun = $0,006291 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Jul = $0,00974 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Agu = $0,01256 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Sep = $0,013517 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Okt = $0,015436 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Nov = $0,017644 \text{ kg}/\text{det}$, Q_t Des = $0,009747 \text{ kg}/\text{det}$.

Dari data dia atas, jelas bahwa angkutan sedimen untuk metode Van Rijn menghasilkan jumlah angkutan sedimen yang cukup besar dibandingkan dengan metode Einstein. Dari hasil analisis di dapat tebal sedimen yang akan mengendap di dasar sungai, dengan menggunakan angkutan sedimen total terbesar pada bulan Januari, untuk metode Van Rijn di dapat sedimen yang akan mengendap sebesar $0,628 \text{ m}/\text{tahun}$ dan untuk metode Einstein $0,360 \text{ m}/\text{tahun}$.

4. Dari hasil analisis dengan debit andalan probabilitas 80%, maka grafik hubungan antara debit dan angkutan sedimen total dapat dilihat pada gambar 10 berikut ini :



Gambar 10. Hubungan Antara Debit Dan Angkutan Sedimen Total

Dari grafik diatas terlihat bahwa angkutan sedimen akan meningkat seiring dengan meningkatnya nilai debit, berdasarkan perbandingan hasil analisis diperoleh bahwa persamaan Van Rijn memperoleh nilai angkutan sedimen yang terbesar, sehingga dari dua metode yang digunakan dalam analisis, persamaan Van Rijn lebih direkomendasikan untuk menganalisis angkutan sedimen di sungai Air Kolongan. Jumlah angkutan sedimen yang besar bergantung pada kecepatan aliran, debit, luas penampang dan sifat-sifat fisik sedimen seperti: Ukuran butiran, bentuk butiran, massa jenis, kerapatan dan berat volume.

PENUTUP

Kesimpulan

1. Perhitungan angkutan sedimen sungai Air Kolongan berdasarkan rumus empiris dengan metode Van Rijn dan Einstein menggunakan debit andalan bulanan selama 10 tahun. Debit andalan terbesar pada bulan Januari sebesar $0,682 \text{ m}^3/\text{det}$, diperoleh hasil total angkutan sedimen dengan metode Van Rijn sebesar $0,1920 \text{ kg}/\text{det}$ dan untuk metode Einstein dengan debit yang sama diperoleh hasil total angkutan sedimen sebesar $0,1092 \text{ kg}/\text{det}$.
2. Dari perbandingan hasil analisis angkutan sedimen diperoleh bahwa persamaan Van Rijn menghasilkan nilai angkutan sedimen yang terbesar dibandingkan dengan metode Einstein, sehingga metode Van Rijn lebih direkomendasikan untuk menganalisis angkutan sedimen di sungai Air Kolongan.
3. Perhitungan ketebalan sedimen dengan menggunakan metode Van Rijn di dapat sedimen yang akan mengendap sebesar $0,628$

- m/tahun, dan untuk metode Einstein 0,360 m/tahun.
4. Hasil analisis angkutan sedimen menunjukkan bahwa angkutan sedimen mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya nilai debit. Ini berarti semakin besar debit aliran maka semakin banyak sedimen yang terangkut.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, Ven T. 1989. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Erlangga. Jakarta, hal 100
- Daryl S and Senturk F, 1977. *Sediment Transport Technology, Water Resources Publication Fort Collins*. Colorado USA, hal 531, 556, 559-560.
- Halim, Fuad., 1997. *Topografi Dasar Saluran Menikung 90° Akibat Aliran Pada Dasar Bergerak (Kajian Laboratorium)*. Tesis Magister, Program Pasca Sarjana, Institut Teknologi Bandung.
- Indra, Zulfikar, 2012. *Analisis Debit Sungai Munte Dengan Metode Mock Dan Metode NRECA Untuk Kebutuhan Pembangkit Listrik Tenaga Air*. Skripsi S1, Fakultas Teknik, Universitas Samratulangi, manado.
- Komalig, Moreine., 2008. *Analisa Laju Angkutan Sedimen Sungai Sawangan pada Titik Kontrol Malendeng*. Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Rijn, L. C. V., 1984. *Sediment Transport*, part I : Bed Load Transport, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 110, No.10.
- Sembiring, Amelia Ester. 2014. *Analisis Sedimentasi di Muara Sungai Panasen*, Jurnal Sipil Statik Vol.2 No 3, Maret 2014 (148-154) ISSN:2337-6732. Unsrat Manado.
- Sidabutar, Hanny M. M., 2002. *Transport Sedimen Material Bed Load Pada Alur Hilir Sungai (Studi Kasus : Transport Sedimen Material Bed Load Pada Alur Hilir Sungai Tondano Yang Belokasi di Kelurahan Kairagi)*. Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi, Manado.
- Soewarno, 1991, Pengukuran dan Pengelolaan Data Aliran Sungai (Hidrometri), Nova, Bandung, hal, 644-655, 699-702.
- Wesley, L. D., 1988. Cetakan IV, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, hal 5

Halaman ini sengaja dikosongkan