

NASKAH SEMINAR¹

SIMULASI PENGARUH SANDBAR TERHADAP EROSI TEBING SUNGAI MENGUNAKAN SOFTWARE HEC-RAS 5.0.0

(Studi Kasus Sungai Sesayap, kabupaten Malinau, Kaltim)

Muhamad Abdul Ridwan², Puji Harsanto³

INTISARI

Permasalahan yang terjadi pada Sungai Sesayap khususnya Seluwing dan Malinau terdapat endapan sedimentasi (sandbar) di tengah sungai yang berdampak pada terjadinya perubahan pola arus dan dapat menyebabkan erosi tebing sungai, dampaknya bisa mengancam berbagai infrastruktur di sekitar Sungai Sesayap.

Penanganan terhadap permasalahan sedimentasi, erosi dasar sungai dan erosi tebing pada Sungai Sesayap kabupaten Malinau salah satunya dengan cara menormalisasi endapan sedimen (sandbar) pada daerah Seluwing tersebut dengan cara dredging sedimen yang ada untuk mengembalikan/memperbesar kapasitas tampang sungai. Tetapi saat dredging endapan sedimen tersebut harus memperhatikan lokasi pengerukannya dikarenakan akan berdampak pada kestabilan tebing sungai. Oleh karena itu diperlukan suatu penelitian yang mengkaji tentang pengaruh dari dredging endapan sedimen (sandbar) terhadap erosi pada tebing sungai tersebut. Pemodelan BSTEM (Bank Stability and Toe Erosion Model) pada aplikasi HEC-RAS 5.0.0 dapat mensimulasikan dampak dredging terhadap erosi tebing sungai.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa saat dredging sedimen harus memperhatikan elevasi dasar sungai dikarenakan saat dredging sedimen melebihi dasar sungai akan terjadi erosi tebing sungai yang semakin besar. Dari 3 skenario running BSTEM yang ada, didapat penanganan permasalahan erosi dan sedimentasi dengan dredging sedimen sampai tanah dasar elevasi sungai +20,5 m membuat erosi tebing sungai berkurang 2,62 m dari kondisi eksisting.

Kata Kunci : Erosi tebing sungai, sedimentasi, dredging, BSTEM, HEC-RAS.

¹Disampaikan pada Seminar Tugas Akhir

²Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

³Dosen Pembimbing I

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sungai merupakan alur atau wadah air alami atau buatan berupa jaringan pengaliran air beserta air di dalamnya, mulai dari hulu sampai muara, dengan dibatasi kanan dan kiri oleh garis sempadan (Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2011). Pada umumnya sungai dapat berubah secara morfologi, perubahan ini disebabkan karena adanya faktor alam seperti curah hujan, letusan gunung berapi, kejadian pergeseran tanah, ataupun gempa bumi. Sedangkan faktor manusia juga dapat mengubah morfologi sungai seperti pembuatan bangunan-bangunan air maupun kegiatan penambangan.

Sungai Sesayap yang terletak di kota Malinau provinsi Kalimantan Timur. Pada Sungai Sesayap khususnya Seluwing dan Malinau terdapat endapan sedimentasi (sandbar) di tengah sungai yang berdampak pada terjadinya perubahan pola arus yang berdampak pada semakin tergerusnya kaki dan tebing sungai sehingga menyebabkan erosi tebing sungai, dampaknya bisa mengancam berbagai infrastruktur seperti pemukiman, jalan, dan jembatan.

Penanganan permasalahan yang terjadi pada Sungai Sesayap pada kabupaten Malinau salah satunya dengan cara menormalisasi endapan sedimen (sandbar) pada daerah

Seluwing tersebut dengan cara mengeruk sedimen yang ada untuk mengembalikan/memperbesar kapasitas tampang sungai. Tetapi pada saat pengerukan tersebut harus di perhatikan lokasi pengerukan tidak boleh di bagian tepi sungai disebabkan karena pengerukan di tepi sungai akan memicu ketidakstabilan tebing sungai yang dapat mempercepat terjadinya longsor tebing sungai.

Memperhatikan kondisi tersebut diperlukan suatu penelitian yang mengkaji diperlukan suatu penelitian yang mengkaji tentang pengaruh dari dredging endapan sedimen (sandbar) terhadap erosi pada tebing sungai tersebut. Dalam penelitian ini menggunakan *software* HEC-RAS 5.0.0 dengan pemodelan BSTEM (Bank Stability and Toe Erosion).

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

- Dapat mengetahui dampak yang terjadi jika sandbar pada Sungai Sesayap tersebut dikeruk (*dredging*) terhadap tebing sungai pada wilayah Seluwing dan Malinau.
- Dapat memodelkan atau mensimulasikan model BSTEM pada HEC-RAS versi 5.0.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Erosi tebing sungai (streambank erosion) adalah pengikisan tanah pada tebing-tebing sungai dan penggerusan dasar sungai oleh aliran air sungai. Dua proses berlangsungnya erosi tebing sungai adalah oleh adanya gerusan aliran sungai dan oleh adanya longsor tanah pada tebing sungai. Semakin cepat aliran sungai semakin besar kemungkinan terjadinya erosi tebing. Erosi tebing sungai dalam bentuk gerusan dapat berubah menjadi tanah longsor.

Sungai Sesayap termasuk sungai alluvial. Dasar dan tebing sungai alluvial mempunyai potensi yang besar dalam hal proses erosi tebing sungai. Menurut (Hooke, 1979; Hagerty, *et al.*, 1985; Schumm, 1985) erosi tebing sungai merupakan fenomena sungai yang menyebabkan perubahan geometri. Pada lokasi tertentu erosi tebing sungai menjadi ancaman bagi keberlangsungan infrastruktur sungai. Pada kenyataannya proses erosi tebing sungai ini kurang diperhatikan oleh sebagian para

engineer dalam membangun suatu bangunan sungai atau bangunan yang berada di sungai. Erosi tebing sungai dapat dipicu oleh proses geologi, geomorfologi dan proses hidrolika. Ketiga proses tersebut sangat erat kaitannya dengan proses angkutan sedimen di sungai. Sehingga proses erosi tebing sungai sangat erat kaitannya dengan proses angkutan sedimen di sungai.

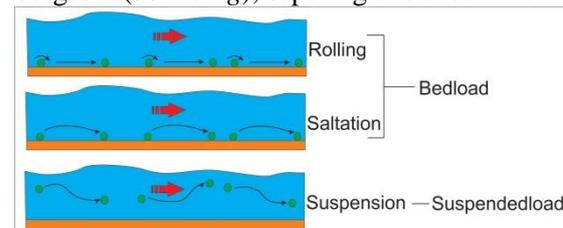
3. LANDASAN TEORI

3.1 Tinjauan Umum

Sandbar merupakan hasil sedimentasi pada tengah sungai yang menyebabkan terjadinya pendangkalan dan perubahan pola arus pada sungai tersebut. Sedimentasi adalah proses pengendapan material yang terangkut oleh aliran dari bagian hulu akibat dari erosi. Sungai-sungai membawa sedimen dalam setiap alirannya. Sedimen dapat berada di berbagai lokasi dalam aliran, tergantung pada keseimbangan antara kecepatan ke atas pada partikel (gaya tarik dan gaya angkat) dan kecepatan pengendapan partikel (Asdak, 2010).

3.2 Mekanisme Gerakan Sedimen

Transportasi sedimen adalah terangkutnya material hasil erosi dengan cara terbawa mengalir bersama aliran dalam bentuk larutan (*suspension*), berguling (*rolling*), dan bergeser (*bouncing*), seperti gambar berikut :



Gambar 1. Ragam Gerakan Sedimen (a) Larutan, (b) Berguling, dan (c) Bergeser

3.3 Persamaan Angkutan Sedimen

Setelah mengkaji perubahan yang terjadi, juga mencermati faktor-faktor dominan yang mempengaruhi, dicoba menganalisis fenomena ini melalui pendekatan model hitungan angkutan sedimen. Model hitungan angkutan sedimen ini dimulai dengan analisis data aliran (debit), dilanjutkan dengan analisis hidrolika sungai.

- **Persamaan Angkutan Sedimen**

Analisis pemodelan BSTEM (*Bank Stability and Toe Erosion Model*) menggunakan persamaan transport sedimen Ackers-White. Persamaan ini mengembangkan teori angkutan sedimen beban total yang berdasarkan ukuran diameter butiran sedimen tak berdimensi dan mobilitas partikel sedimen. Parameter ukuran yang tidak berdimensi digunakan untuk membedakan antara ukuran sedimen halus, transisi dan kasar. Persamaannya dapat ditulis sebagai berikut:

$$X = \frac{G_{gr} \cdot \frac{\gamma_s}{\gamma} \cdot D_{50}}{H \left(\frac{U^*}{V} \right)^n} \quad (1)$$

$$G_{gr} = C \left(\frac{F_{gr}}{A} - 1 \right) \quad (2)$$

Dimana :

- X = konsentrasi sedimen
- G_{gr} = parameter transport sedimen
- S = specific gravity sedimen
- ds = diameter partikel
- H = kedalaman efektif
- U* = kecepatan geser
- V = kecepatan rata-rata saluran
- n = transisi eksponen
- C = koefisien
- F_{gr} = parameter angkutan sedimen
- A = parameter angkutan sedimen kritis

3.4 BSTEM (*Bank Stability and Toe Erosion Model*)

Menurut Gibson (2015), BSTEM (*Bank Stability Toe Erosion Model*) mensimulasikan dua proses erosi tebing sungai yang utama yaitu :

1. *Kegagalan tebing* : Sebuah model geoteknik yang mengevaluasi stabilitas tebing dengan menghitung perencanaan yang gagal pada tebing.
2. *Gerusan kaki tebing* : Sebuah model erosi lateral untuk menghitung distribusi geser antara permukaan air dan kaki tebing dan mensimulasikan gerusan hidrolis lateral.

Transportasi sedimen HEC-RAS mensimulasikan proses ketiga :

3. *Erosi dan sedimentasi* : Penyesuaian vertikal pada bagian saluran dari penampang dalam menanggapi erosi atau endapan.

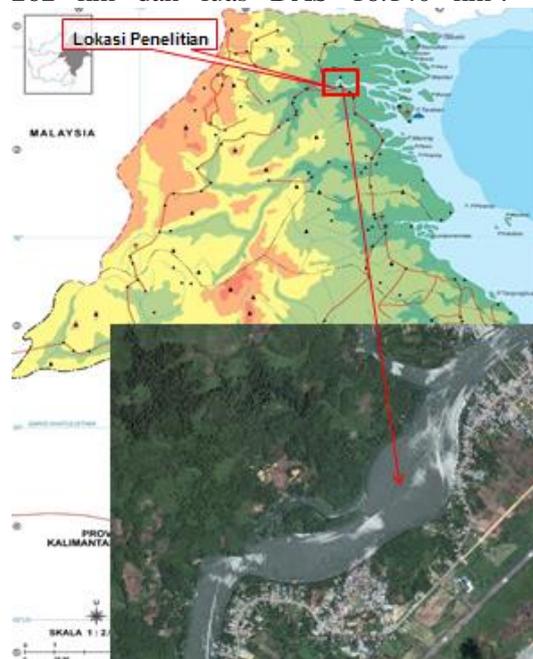
3.5 HEC-RAS Versi 5.0.0

HEC-RAS adalah sebuah program aplikasi yang didesain untuk melakukan berbagai analisis hidrolis terhadap pemodelan aliran satu dimensi pada saluran atau sungai, *River Analysis System (RAS)*. *Software* ini dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center (HEC)* yang merupakan satu divisi di dalam *Institute for Water Resources (IWR)*, di bawah *US Army Corps of Engineers (USACE)*. HEC RAS Versi 5.0.0 dapat memodelkan BSTEM (*Bank Stability and Toe Erosion Model*).

4. METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada pada wilayah DAS Sesayap. Luas DAS Sesayap secara keseluruhan adalah sekitar 18.158,63 km² serta panjang sungai 279,38 km, merupakan DAS terbesar di Kalimantan Timur. Bagian hulu berada pada perbatasan antara Indonesia dan Malaysia, dan bagian hilir bermuara di Laut Sulawesi. Untuk analisis pada penelitian ini, titik kontrol terletak di daerah Malinau seberang pada koordinat X: 458000 dan Y: 397000 UTM, Panjang sungai utama mencapai 262 km dan luas DAS 16.140 km².



Gambar 2. Lokasi Penelitian dan Simulasi

4.2 Pengumpulan Data

Setelah lokasi penelitian ditetapkan maka dilakukan pengumpulan data. Data yang di butuhkan pada penelitian ini untuk analisa berupa data sekunder. Data Sekunder pada penelitian ini di antaranya adalah sebagai berikut :

a. Data Topografi

Data Topografi diperoleh dari laporan pekerjaan (Legono dkk, 2008) tentang studi perencanaan konstruksi penahan longsor dan normalisasi Sungai Sesayap kabupaten Malinau. Pada data topografi diperoleh data informasi *layout* sungai meliputi, *trace* sungai, lebar sungai, dan kontur pada Sungai Sesayap.

b. Data Bathimetri

Data Bathimetri diperoleh dari laporan pekerjaan (Legono dkk, 2008) tentang studi perencanaan konstruksi penahan longsor dan normalisasi Sungai Sesayap kabupaten Malinau. Data pengukuran bathimetri atau pemeruman (*sounding*) dimaksudkan untuk mengetahui kondisi rupa bumi dasar perairan. Survei dilakukan dengan menggunakan alat echosounder yang dilengkapi dengan GPS, sehingga survei dapat dilakukan dengan mudah walau lokasi yang disurvei meliputi cukup jauh dari garis pantai. Hasil dari survei bathimetri ini diolah dan digabung dengan hasil survei topografi sehingga diperoleh peta darat-laut kawasan yang dikaji yaitu di daerah muara sungai.

c. Data Hidrometri

Data Hidrometri diperoleh dari laporan pekerjaan (Legono dkk, 2008) tentang studi perencanaan konstruksi penahan longsor dan normalisasi Sungai Sesayap kabupaten Malinau. Data hidrometri diperlukan untuk mengetahui pasang surut muka air, analisa hidrometri dilakukan untuk pengamatan perubahan elevasi muka air (pasang surut) sehingga didapat elevasi muka air tertinggi dan muka air terendah. Pengamatan elevasi muka air dapat dilakukan secara manual dan secara otomatis.

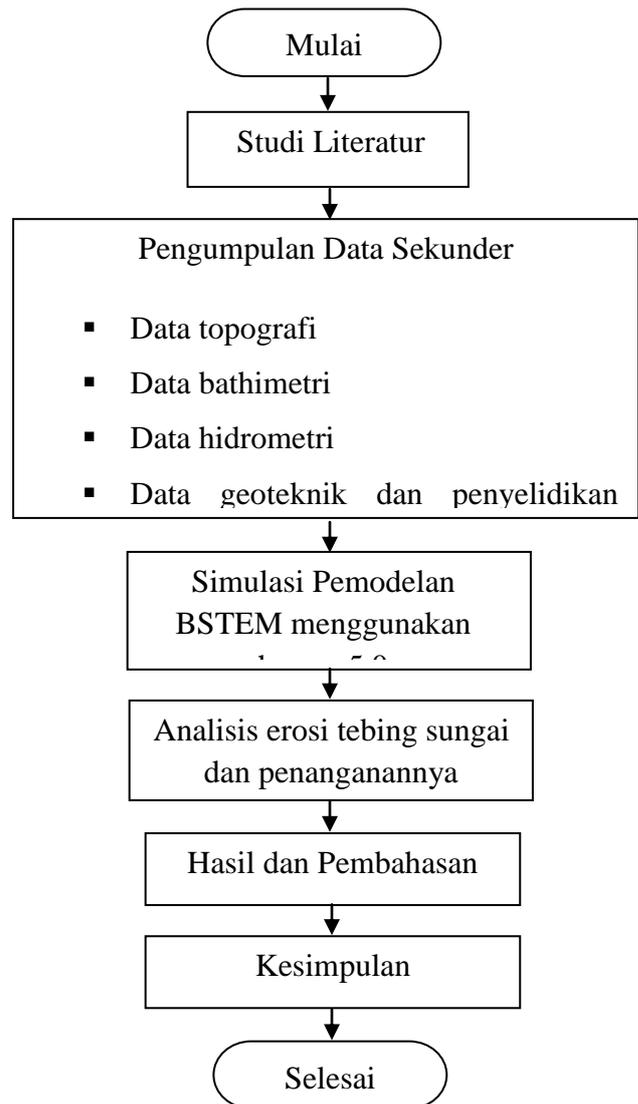
d. Data Geoteknik dan penyelidikan lapangan

Data Geoteknik dan penyelidikan tanah di beberapa lokasi sepanjang Sungai Sesayap di dapat dari PT. KJI pada tahun bulan Juni-Juli 2008. Penyelidikan tanah ini dilakukan pada ruas sungai di daerah Tanjung Lapang, daerah

Seluwing, sampai dengan Jembatan Malinau I untuk mendapatkan data geoteknik dan mekanika tanah yang lebih lengkap. Data geoteknik dan penyelidikan tanah ini dilakukan dengan cara sondir dan bor tangan dan di dapatkan jenis dari tanah pada tebing Sungai Sesayap.

4.3 Bagan Alir Penelitian

Tahapan penelitian dapat digambarkan dalam gambar 8.



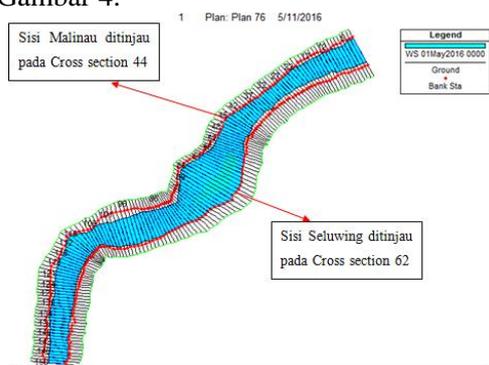
Gambar 3 Bagan Alir Penelitian

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari simulasi *sediment transport* model BSTEM (*Bank Stability and Toe Erosion Model*) menggunakan aplikasi HEC-RAS versi 5.0.0 dapat dilihat bagaimana pengaruh endapan sedimen

(sandbar) pada Sungai Sesayap terhadap erosi tebing sungai. Berikut adalah hasil simulasi menggunakan *software* HEC RAS 5.0.0 dari 3 skenario *running* yang sudah dibuat.

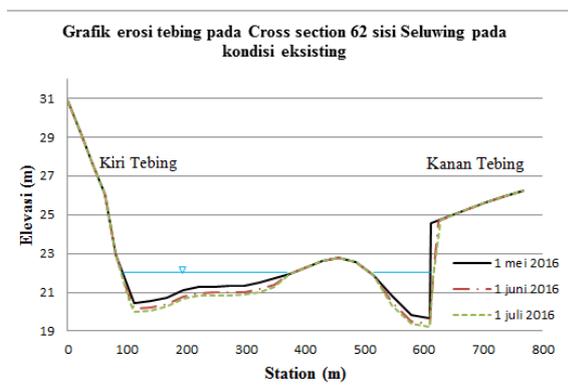
Pada penelitian ini di tinjau salah satu titik atau *cross section* pada wilayah Seluwing dan Malinau di Sungai Sesayap. Untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Gambar 4.



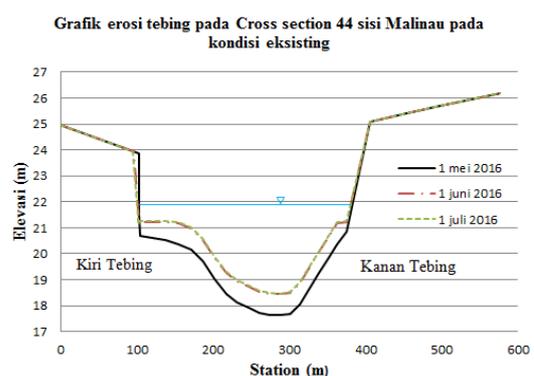
Gambar 4. Lokasi tinjauan pemodelan BSTEM

5.1 Skenario *running* 1 (Simulasi pada kondisi eksisting)

Pada skenario *running* 1 merupakan simulasi transport sedimen model BSTEM (*Bank Stability and Toe Erosion Model*) dengan kondisi eksisting atau kondisi alami.



Gambar 5. Keruntuhan tebing model BSTEM pada sisi kanan Seluwing kondisi eksisting



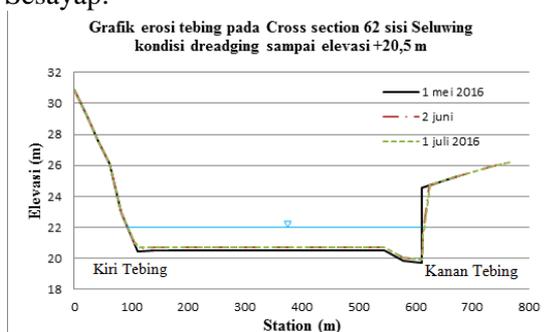
Gambar 6. Keruntuhan tebing model BSTEM pada sisi kiri Malinau kondisi eksisting Hasil analisis pada skenario *running* 1 :

- Pada kondisi eksisting Sungai Sesayap di wilayah Seluwing dan Malinau terjadi perubahan elevasi dasar sungai, kaki tebing sungai dan terjadi longsor tebing sungai seperti terlihat pada Gambar 4. dan Gambar 6.
- Pada kondisi eksisting terjadi perubahan pola arus yang disebabkan oleh *sandbar* sehingga mempengaruhi proses transport sedimen membuat elevasi dasar pinggir kanan kiri sungai tersebut tergerus oleh aliran sungai sehingga mengalami penurunan elevasi (degradasi). Pada 1 Mei 2016 elevasi dasar sungai berada di elevasi +20,53 m, pada 1 Juni 2016 berada pada elevasi +20,22 m, pada 1 Juli 2016 berada pada elevasi +20,07 sehingga terjadi penurunan elevasi dasar sungai sebesar 46 cm. Sedangkan pada sisi Malinau terjadi kenaikan elevasi dasar sungai (agradasi) sebesar 84cm.
- Pada kaki tebing sisi kanan Seluwing sungai kondisi eksisting terdapat penurunan elevasi sebesar 31 cm, hal ini berpengaruh pada keruntuhan tebing yang semakin besar.
- Dari simulasi model BSTEM (*Bank Stability and Toe Erosion Model*) pada HEC-RAS 5.0.0 di peroleh perubahan station atau terjadi longsor pada tebing sungai. Pada kondisi eksisting endapan sedimen (*sandbar*) berpengaruh pada tebing sungai dikarenakan terjadinya gerusan pada kaki tebing yang membuat dampak erosi pada tebing sungai semakin besar. Pada sisi Seluwing pada tanggal 1 Mei 2016 tebing sungai berada di station +611,81 m, pada 1 Juni 2016 berada pada station +623,95 m, pada 1 Juli 2016

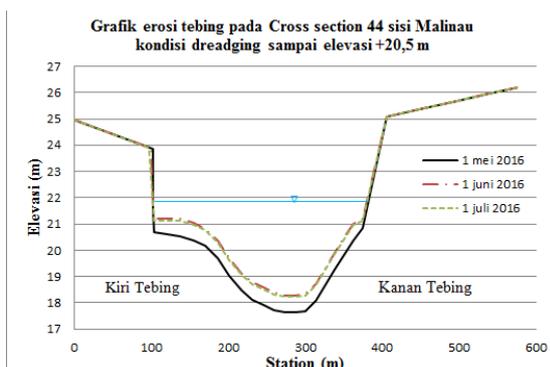
berada pada elevasi +628,86 m sehingga terjadi longsoran tebing sungai sebesar 17,05 m, adanya *sandbar* juga berpengaruh pada wilayah Malinau yang terjadi kelongsoran tebing sungai sebesar 8,44m.

5.2 Skenario *running 2* (Simulasi pada kondisi *sandbar* di *dredging* sampai elevasi +20,5 m)

Pada skenario *running 2* merupakan simulasi transport sedimen model BSTEM (*Bank Stability and Toe Erosion Model*) dengan kondisi *sandbar* pada sungai dikeruk sampai elevasi dasar sungai atau sampai elevasi +20,5 m. Diharapkan pada simulasi skenario *running 2* ini dapat meminimalisir atau mengatasi masalah erosi tebing sungai pada Sungai Sesayap.



Gambar 7. Keruntuhan tebing model BSTEM pada sisi kanan Seluwing kondisi *dredging* sampai elevasi +20,5m



Gambar 8. Keruntuhan tebing model BSTEM pada sisi Malinau kondisi *dredging* sampai elevasi +20,5 m

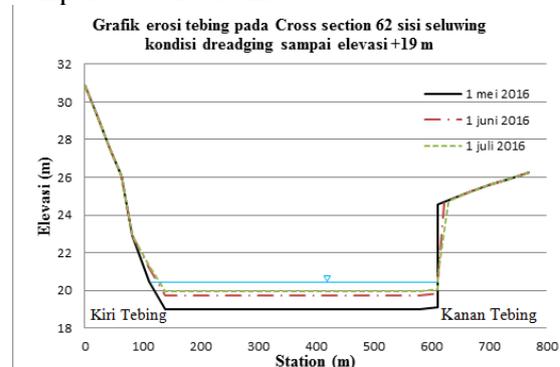
Hasil analisis pada skenario *running 2* :

- Pada skenario *running 2* pada Sungai Sesayap di wilayah Seluwing dan Malinau masih terjadi longsoran tebing sungai, terdapat perubahan elevasi dasar sungai dan kaki tebing sungai.

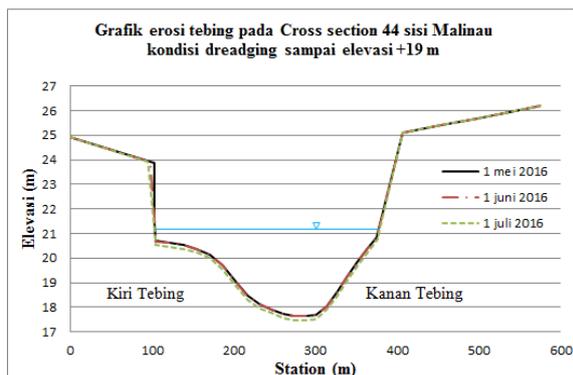
- Pada elevasi dasar sungai terjadi kenaikan elevasi dasar sungai hasil dari transport sedimen. Pada 1 Mei 2016 elevasi dasar sungai berada di elevasi +20,5 m, pada 1 Juni 2016 berada pada elevasi +20,71 m, pada 1 Juli 2016 berada pada elevasi +20,72 sehingga terjadi kenaikan elevasi dasar sungai sebesar 21 cm, dan pada sisi Malinau juga terjadi kenaikan elevasi dasar sungai (*agradasi*) sebesar 60 cm.
- Pada kondisi pada kondisi skenario *running 2* endapan sedimen (*sandbar*) di *dredging* sampai dengan tanah dasar sungai atau sampai elevasi +20,5 m dengan cara simulasi model BSTEM (*Bank Stability and Toe Erosion Model*) pada HEC-RAS 5.0.0 masih terdapat permasalahan perubahan station atau terjadi longsoran pada tebing sungai pada Seluwing dan Malinau. Pada sisi Seluwing pada tanggal 1 Mei 2016 tebing sungai berada di station +611,81 m, pada 1 Juni 2016 berada pada station +623,33 m, pada 1 Juli 2016 berada pada elevasi +626,24 m sehingga terjadi longsoran tebing sungai sebesar 14,43 m lebih kecil longsorannya dibandingkan pada saat kondisi eksisting, pada sisi Malinau juga terjadi kelongsoran tebing sungai sebesar 4,58 m.

5.3 Skenario *running 3* (Simulasi pada kondisi *sandbar* di *dredging* sampai elevasi +19 m)

Pada skenario *running 3* merupakan simulasi transport sedimen model BSTEM (*Bank Stability and Toe Erosion Model*) dengan kondisi *sandbar* pada sungai dikeruk sampai melebihi elevasi dasar sungai atau sampai elevasi +19 m.



Gambar 9. Keruntuhan tebing model BSTEM pada sisi kanan Seluwing kondisi *dredging* sampai elevasi +19 m



Gambar 10. Keruntuhan tebing model BSTEM pada sisi Malinau kondisi *dredging* sampai elevasi +19 m

Hasil analisis pada skenario *running* 3 :

- a. Pada skenario *running* 3 pada Sungai Sesayap di wilayah Seluwing longsor tebing sungai semakin besar di karenakan perubahan morfologi pada kaki tebing tersebut semakin dalam dari kondisi eksisting sehingga potensi longsornya juga semakin besar diakibatkan oleh gerusan pada kaki tebing sungai.
- b. Pada Seluwing elevasi dasar sungai terjadi kenaikan elevasi dasar sungai (agradasi) sedangkan pada Malinau terjadi penurunan elevasi dasar sungai (degradasi) pada hasil simulasi dari transport sedimen. Pada 1 Mei 2016 elevasi dasar sungai berada di elevasi +19 m, pada 1 Juni 2016 berada pada elevasi +19,75 m, pada 1 Juli 2016 berada pada elevasi +19,94 sehingga terjadi kenaikan elevasi dasar sungai sebesar 94 cm pada sungai wilayah Seluwing, dan pada sungai wilayah Malinau juga terjadi penurunan elevasi dasar sungai (degradasi) sebesar 16 cm.
- c. Dari simulasi model BSTEM (*Bank Stability and Toe Erosion Model*) pada HEC-RAS 5.0.0, terdapat permasalahan perubahan station atau terjadi longsor pada tebing sungai pada Seluwing dan Malinau. Pada sisi Seluwing pada tanggal 1 Mei 2016 tebing sungai berada di station +611,81 m, pada 1 Juni 2016 berada pada station +623,38 m, pada 1 Juli 2016 berada pada elevasi +629,29 m sehingga terjadi longsor tebing sungai sebesar 17,48 m lebih besar kelongsorannya dibandingkan saat kondisi eksisting, pada sisi Malinau juga terjadi kelongsoran tebing sungai sebesar 7,17 m.

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian pengaruh endapan sedimen (*sandbar*) pada erosi tebing sungai dengan menggunakan aplikasi HEC-RAS 5.0.0 dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Model BSTEM (*Bank Stability and Toe Erosion Model*) pada HEC-RAS versi 5.0.0 sudah dapat memodelkan atau mensimulasikan erosi pada tebing sungai.
2. Dari hasil simulasi didapatkan dampak yang terjadi pada kondisi eksisting mengalami erosi tebing sungai pada sisi kanan Seluwing sebesar 17,05 m, pada sisi kiri Malinau mengalami erosi tebing sungai sebesar 8,44 m. Pada kondisi *sandbar* di *dredging* sampai elevasi dasar sungai +20,5 m dampak yang terjadi pada sisi Seluwing mengalami erosi tebing sebesar 14,43 m sedangkan pada sisi Malinau mengalami erosi tebing sungai sebesar 4,58 m. Pada kondisi *sandbar* di *dredging* melebihi elevasi dasar sungai atau pada elevasi +19 m dampak yang terjadi pada sisi Seluwing mengalami erosi tebing sungai sebesar 17,48 m sedangkan pada sisi Malinau mengalami erosi tebing sungai sebesar 7,17 m.
3. Dari 3 kali skenario *running* tersebut dapat disimpulkan bahwa dampak endapan sedimen (*sandbar*) pada Sungai Sesayap sangat berpengaruh pada kestabilan tebing sungai pada wilayah Seluwing dan Malinau. Sehingga perlu adanya normalisasi sungai dengan cara *mendredging* endapan sedimen tersebut sampai elevasi dasar sungai tetapi pada saat *mendredging* jangan sampai melebihi elevasi dasar sungai dikarenakan dampak erosi tebing sungai akan jadi semakin besar.

6.2 Saran

Dari penelitian ini dapat diperoleh beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut :

1. Diperlukan adanya penambahan dinding penahan tanah atau *revetment* pada sisi Seluwing dan Malinau untuk menormalisasi erosi tebing sungai yang terjadi dikarenakan masih terjadinya erosi tebing sungai pada

kondisi endapan sedimen (*sandbar*) yang sudah di *dredging*.

2. Diperlukan pemodelan dengan menggunakan data curah hujan harian rata-rata pada DAS Sungai Sesayap agar analisis yang di lakukan lebih mirip dengan kondisi lapangan dan meminimalisir kesalahan pemodelan.
3. Untuk penelitian selanjutnya bisa dilakukan pemodelan erosi tebing sungai dengan aplikasi yang lain dan meninjau dampak pada pilar/abutment jembatan yang terletak pada wilayah Malinau.

DAFTAR PUSTAKA

- Abernethy, B., & Rutherford, I. D. (1998). *Where along a river's length will vegetation most effectively stabilise streambanks?. Geomorphology*, 23(1), 55-75.
- Arsyad, S. 2010. *Konservasi Tanah Dan Air. Bogor* : IPB Press.
- Asdak, c. 1995. *Hidrologi Dan Pengolahan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Brunner , G. W. 2005 . *Sediment Transport Modeling in HEC RAS*.
- Chow, Ven Te., 1959, *Open-Channel Hydraulics*, International Student Edition, McGraw-Hill International Book Company, Kogakusha.
- Gibson, Stanford, et al. "A physically-based channel-modeling framework integrating HEC-RAS sediment transport capabilities and the USDA-ARS bank-stability and toe-erosion model (BSTEM)." *Federal Interagency Sediment Conference, SedHyd Proceedings*. 2015.
- Harsanto, P. (2007). APLIKASI MODEL MATEMATIK DUA DIMENSI DALAM PENANGANAN KERUSAKAN TEBING SUNGAI (Studi Kasus: Sungai Sesayap, Kabupaten Malinau, Kaltim). *Journal Teodolita (Jurnal Fakultas Teknik)*, 8(2).
- Langendoen, E. J., & Simon, A. (2009). Closure to "Modeling the Evolution of Incised Streams. II: Streambank Erosion" by Eddy J. Langendoen and Andrew Simon. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(12), 1107-1108.
- Legono, D., 2008, "Studi Perencanaan Konstruksi Penahan Longsor dan Normalisasi Sungai Sesayap Kabupaten Malinau".
- Mananoma, Tiny, Djoko Legono, dan Adam Rahardjo. 2003. "Fenomena Alamiah Erosi Dan Sedimentasi Sungai Progo Hilir." *Fenomena Alamiah Erosi Dan Sedimentasi Sungai Progo Hilir* (2003): 1-70.
- Osman, A.M., and Thorne, C.R., 1988, *Riverbank Stability Analysis I: Theory*, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 114, No. 2, pp. 134-150.
- Selley, R.C., 1988, *Applied Sedimentology*, London: Academic Press
- Shields, A.F., 1936, *Sediment Movement Conducted*, Technischen Hochschule, Berlin.
- Sunaryo, S., & Daoed, D. (2010). *Pengaruh Pemasangan Krib Pada Saluran Di Tikungan 120°*. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 6(1).
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*, Andi Offset. Semarang.
- Triatmodjo, Bambang. 2010. *Hidrologi Terapan*. Yogyakarta: Beta Offset.
- Yang, Chi Ted. 2003. *Sediment Transport*. Krieger Publishing Company. Florida.