

ANALISIS FLUKTUASI MUKA AIR DAN DASAR SUNGAI AKIBAT PASANG SURUT PADA MUARA SUNGAI

Melda

Universitas Madako Indonesia
meldamel45@gmail.com

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengkaji pengaruh pasang surut terhadap fluktuasi kecepatan aliran dan muka air sungai di muara sungai Palu. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi dengan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center-River Analysis System*). Simulasi ini dilakukan dengan topografi sungai Palu sampai hilir (muara) sebagai input geometrik, debit aliran sebagai input hulu dan pasang surut sebagai input hilir serta sedimen sebagai input gradasi butiran. Hasil simulasi *program HEC-RAS* terhadap fluktuasi kecepatan aliran dan muka air sungai di muara sungai Palu adalah sebagai berikut dampak pengaruh pasang surut yang terjadi pada muara sungai Palu sepanjang ± 912 m menuju ke hulu sungai pada titik SP16. Perubahan elevasi dasar sungai di muara pada akhir durasi simulasi berkisar antara $-0,265$ m sampai $-0,205$ berdasarkan air pasang pada durasi maksimum. Simpulan, analisa aliran tidak tetap (*unsteady flow*) diperoleh dampak pengaruh pasang surut yang terjadi di muara sungai Palu sepanjang ± 912 m ke bagian hulu sungai. Sehingga dapat dinyatakan hubungan, bahwa semakin besar debit yang mengalir semakin tinggi pula elevasi pasang surut yang dihasilkan

Kata kunci: Pasang Surut, HEC-RAS, Muara, Debit Sungai

ABSTRACT

The purpose of this study was to examine the influence of high tides on fluctuations in the speed of flow and water level of the river in the estuary palu. The method used in this study was simulation using HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System) software. This simulation was carried out with the topography of Palu river to downstream (estuary) as geometric input, flow discharge as upstream and tidal inputs as downstream inputs and sediment as input gradation granules. The simulation result of HEC-RAS program on fluctuations in flow speed and river water level in Palu river estuary is as follows the impact of tidal influence that occurs in palu river estuary along ± 912 m to upstream of the river at sp16 point. Changes in riverbed elevation in the estuary at the end of the simulation duration ranged from -0.265 m to -0.205 based on high tides at maximum duration. In conclusion, analysis of unsteady flow obtained the impact of tidal influences that occurred in the estuary sungai Palu along ± 912 m to the upstream of the river. So it can be stated the relationship, that the greater the discharge flowing the higher the elevation of the tides produced

Keywords: Tidal, HEC-RAS, Estuary, River Discharge

PENDAHULUAN

Sungai Palu yang bermuara ke perairan pantai teluk Palu memberi pengaruh penting dalam pembentukan kawasan pantai. Sungai Palu mengalirkan material sedimen dari bagian hulunya dan mendistribusikan di perairan sungai hingga ke selat Palu. Permasalahan yang sering dijumpai di muara sungai adalah pendangkalan akibat proses sedimentasi, apabila proses ini terjadi terus menerus tanpa penanganan maka lambat laun muara akan tertutup sedimen sehingga menghambat aliran sungai dan menaikkan muka air di hulu muara. Analisis angkutan sedimen dan pengembangan potensi sungai membutuhkan data aliran sehingga perlu dianalisis terlebih dahulu aliran yang terjadi dan pengaruh pasang surut terhadap kecepatan aliran pada kawasan muara sungai (Andawayanti, 2019).

Sehubungan dengan fenomena di atas maka untuk mengkaji dan menganalisa perilaku aliran maupun dampaknya akibat pengaruh pasang surut, muara sungai tidak akan lepas dari konsep pasang surut, topografi sungai, tipe aliran, debit, distribusi kecepatan dan karakteristik lainnya. Pada penelitian ini dilakukan analisis numerik melalui perangkat lunak computer dengan metode HEC-RAS untuk memodelkan dan hidrograf debit untuk menghitung perubahan dasar sungai di muara akibat pasang surut air laut terhadap kecepatan aliran sungai bagian hilir (Raco, Jansen & Hendratta, 2019).

HEC-RAS merupakan program aplikasi untuk memodelkan aliran disungai, *River Analysis System* (RAS), yang dibuat oleh *Hydrologic Engineering Center* (HEC) yang merupakan satu divisi didalam *Institute for Water Resources* (IWR), dibawah *US Army Corps of Engineers* (USACE) pada tahun 2010. HEC-RAS merupakan model satu dimensi aliran permanen maupun tak permanen (*steady and unsteady one-dimensional flow model*) (Barokah & Purwantoro, 2014).

HEC-RAS memiliki empat komponen model satu dimensi: 1) hitungan profil muka air aliran permanen, 2) simulasi aliran tak permanen, 3) hitungan transport sedimen, dan 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 (Rante, Sumaraw, & Wuisan, 2016).

Berdasarkan latar belakang pada uraian di atas maka dalam penelitian ini perlu dikaji sejauh mana pengaruh pasang surut yang terjadi di muara sungai Palu Provinsi Sulawesi Tengah ke daerah hulu terhadap fluktuasi muka air dan dasar sungai. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh pasang surut terhadap fluktuasi kecepatan aliran dan muka air sungai di muara sungai Palu, sehingga dapat dilakukan analisis pengaruh kondisi aliran sungai terhadap proses sedimentasi sungai yang diakibatkan oleh pasang surut.

METODE PENELITIAN

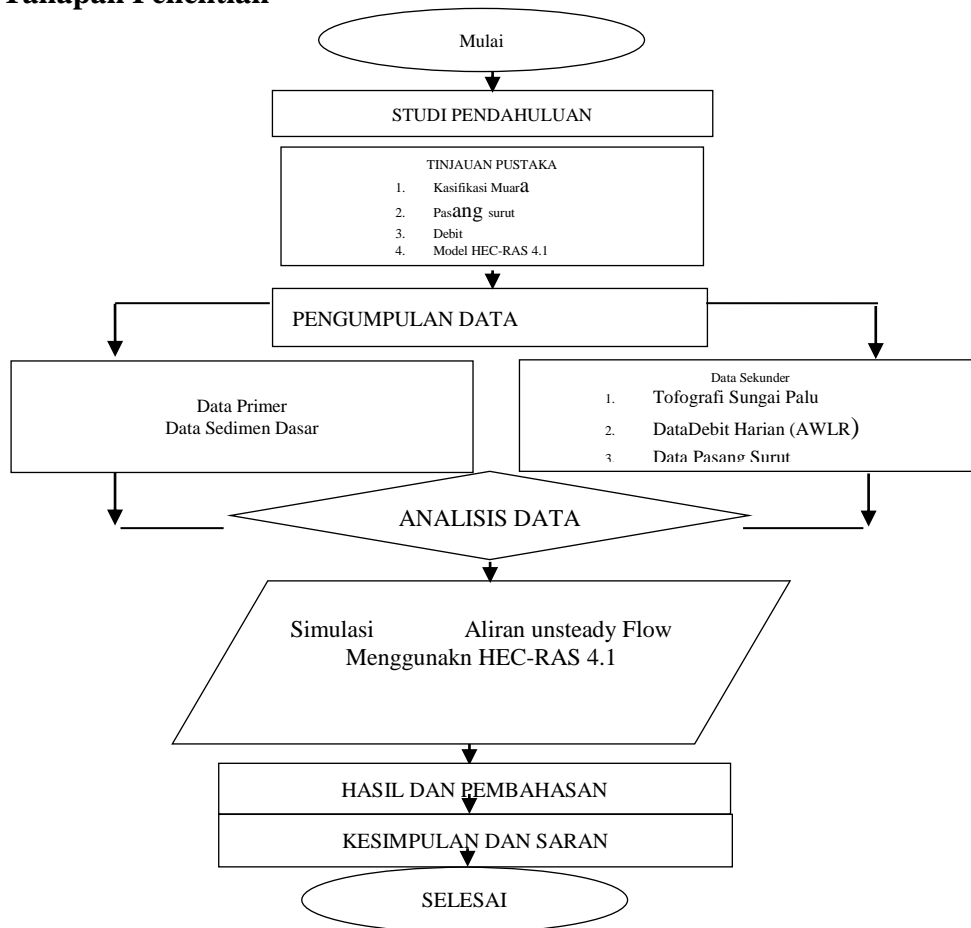
Dilihat dari sudut administrasi pemerintahan lokasi penelitian terletak di Wilayah Daerah Tingkat I (satu) Propinsi Sulawesi Tengah, di bagian hulu sungai termaksud ke dalam wilayah Kabupaten Sigi sedangkan bagian tengah dan hilir

berada di wilayah Palu. Lokasi yang menjadi tempat penelitian ini adalah muara sungai Palu tepat di dekat jembatan IV (Jembatan Ponuleleh).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Tahapan Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

HASIL PENELITIAN

Data penelitian ini diperoleh dengan mengumpulkan data-data dari instansi terkait, melakukan pengukuran langsung ke daerah studi serta mengambil sampel sedimen dasar di daerah studi kemudian mengembangkan dan menggunakan

model-model matematis menggunakan *program HEC-RAS*. Adapun jenis data yang digunakan terdiri dari;

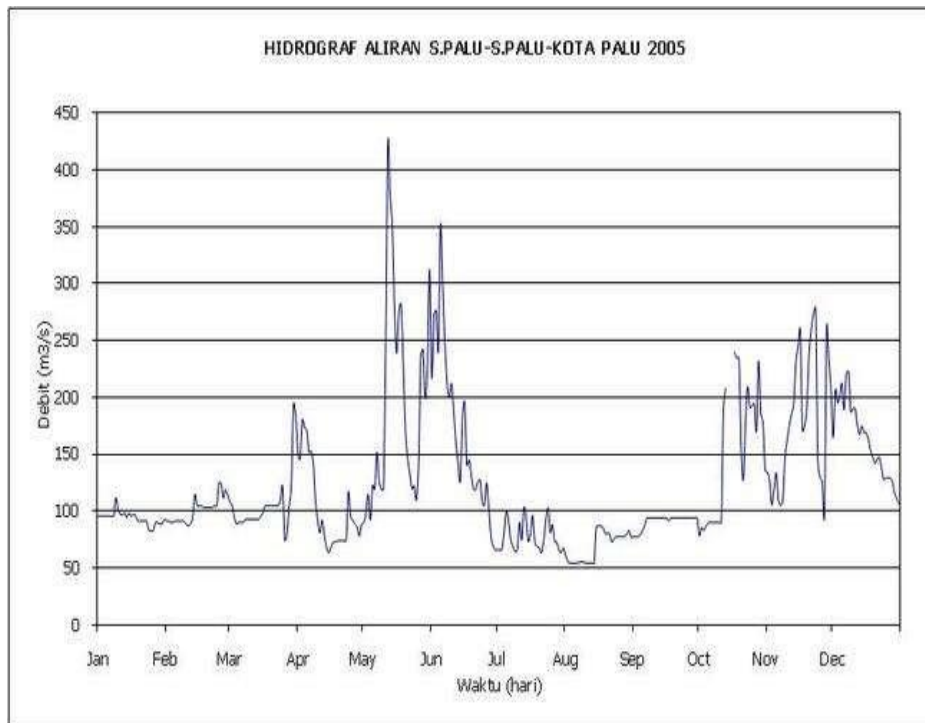
Data Debit

Data debit hasil pengukuran AWLR selama 6 tahun mulai dari tahun 2002 sampai tahun 2007 (terlampir) diperoleh dari Bagian Hidrologi Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Sulawesi III. Data debit yang diperoleh akan digunakan sebagai *input* data aliran simulasi yaitu kondisi batas hulu pada profil melintang.

Tabel 1. Hasil Analisa Debit Harian Rata-rata Sungai Palu Tahun 2002-2007

Debit	(m ³ / det)
Maksimum	423.110
Rata-Rata	83.659
Minimum	9.190

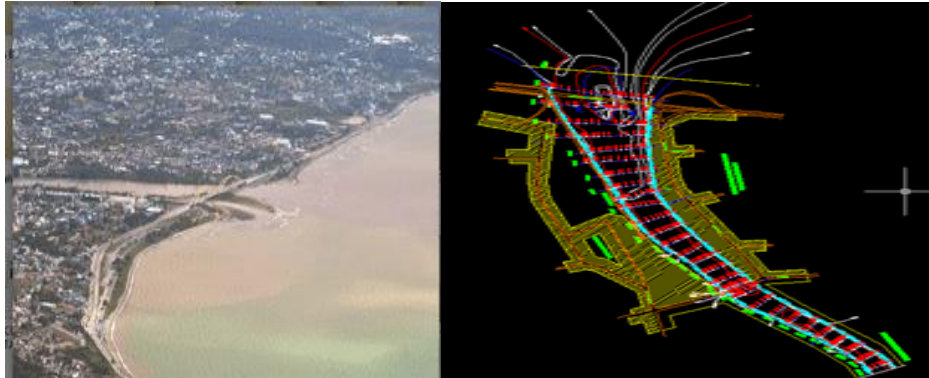
Data debit di atas kemudian menjadi data kondisi batas hulu simulasi aliran yang akan divariasikan dengan nilai kemiringan dasar saluran sungai sebagai batas hilir pada simulasi aliran permanen (*steady flow*). Untuk Simulasi aliran tak permanen (*unsteady flow*) digunakan data hasil pengukuran debit harian (AWLR) pada bulan Januari sampai Desember 2005 (terlampir). Data debit yang digunakan adalah data kenaikan debit kondisi ekstrim yang terjadi pada tanggal 12 Mei 2005. Hidrograf aliran tersebut dapat dilihat pada gambar.



Gambar 3. Hidrograf Aliran Sungai Palu Tahun 2005
(Sumber : Bagian Hidrologi Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Sulawesi III, 2017)

Peta Topografi Muara Sungai Palu

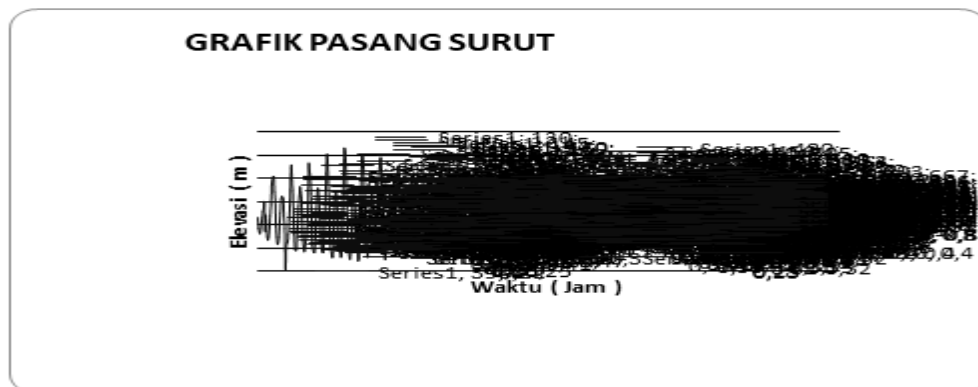
Peta topografi Sungai Palu yang diambil dari SID penanganan Sungai Palu, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Balai Wilayah Sungai Sulawesi III (PT. JASAKONS Putra Utama, 2010). Panjang ruas yang digunakan sepanjang 1.500 m seperti yang terlihat pada Gambar Peta topografi Sungai Palu digunakan untuk peniruan geometri Sungai Palu pada program HEC-RAS.



Gambar 4. Peta Topografi Sungai Palu Kawasan Penelitian
(Sumber : PT. Bina Buana Raya, 2015)

Data Pasang Surut

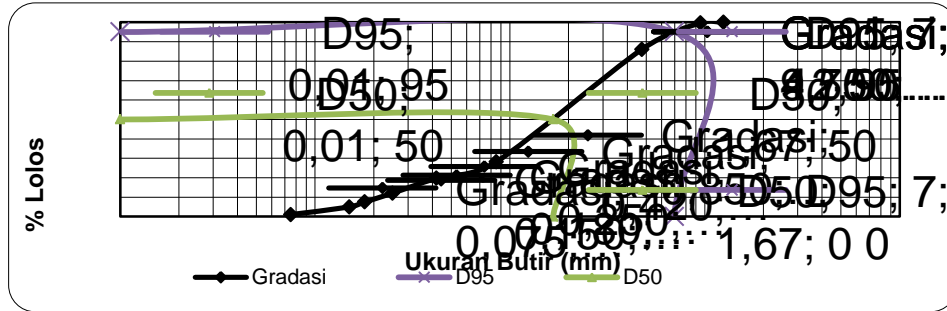
Data pasang surut bertujuan untuk memperoleh informasi fluktuasi muka air laut akibat pasang surut pada lokasi penelitian yaitu Muara Sungai Palu. Data pasang surut yang digunakan yaitu data pasang surut Muara Sungai Palu tahun 2017.



Gambar 5. Grafik Pasang Surut Muara Palu Tahun 2017
(Sumber : Bagian Hidrologi, 2017)

Data Ukuran Sedimen

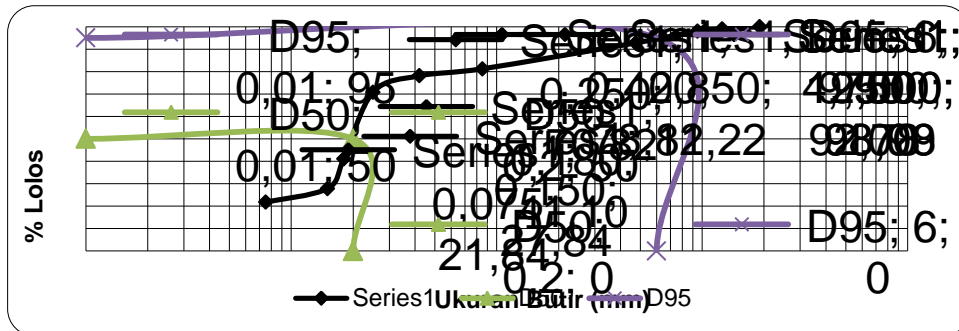
Data sedimen dasar yang diperoleh langsung dari lokasi penelitian dan diuji analisa saringan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Tadulako. Jenis butiran yaitu pasir. Hasil pengujian (terlampir) tersebut akan di gunakan sebagai data *input* tabel ukuran sedimen (diameter butiran) pada simulasi sedimen *HEC-RAS*. Data ukuran butiran d_{50} digunakan untuk menghitung nilai koefisien kekasaran *Manning* dengan persamaan *stickler* dan nilai n ini akan di *input* pada geometrik sungai Palu.



Gambar 6. Grafik Gradasi Sedimen Sampel 1

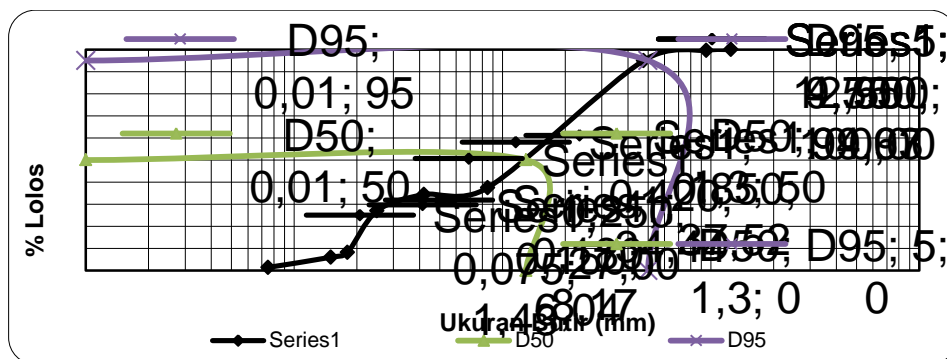
Dari grafik gradasi di atas diperoleh $d_{50} = 1,67$ mm dan $d_{95} = 7,0$ mm. Maka nilai n berdasarkan ukuran butiran dengan menggunakan rumus *Stickler* (Ruzardi, 1992):

$$\text{Nilai } (n) = \frac{d_{50}^{1/6}}{21,1} = \frac{1,67^{1/6}}{21,1} = 0,013 \frac{\text{m}^{1/3}}{\text{det}}$$



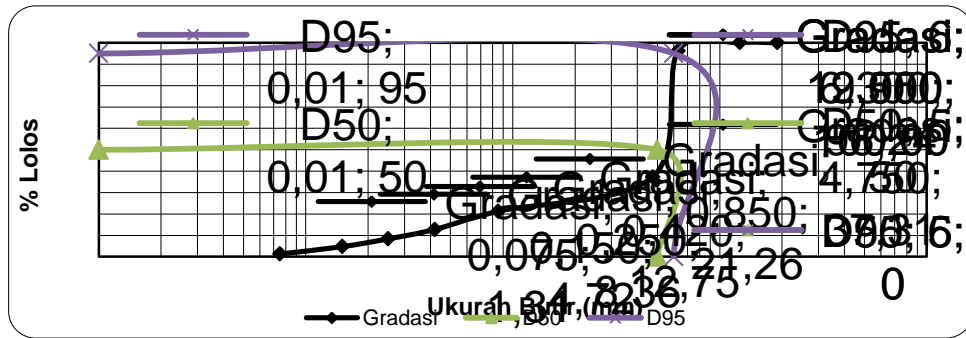
Gambar 7. Grafik Gradasi Sedimen Sampel 2

$$\text{Nilai } (n) = \frac{d_{50}^{1/6}}{21,1} = \frac{0,20^{1/6}}{21,1} = 0,002 \frac{\text{m}^{1/3}}{\text{det}}$$



Gambar 8. Grafik Gradasi Sedimen Sampel 3

$$\text{Nilai } (n) = \frac{d_{50}^{1/6}}{21,1} = \frac{1,30^{1/6}}{21,1} = 0,010 \frac{\text{m}^{1/3}}{\text{det}}$$



Gambar 9. Grafik Gradasi Sedimen Sampel 4

$$\text{Nilai } (n) = \frac{d_{50}^{1/6}}{21,1} = \frac{5,00^{1/6}}{21,1} = 0,040 \frac{\text{m}^{1/3}}{\text{det}}$$



Gambar 10. Lokasi Pengambilan Data Sedimen

PEMBAHASAN

Model Set-Up

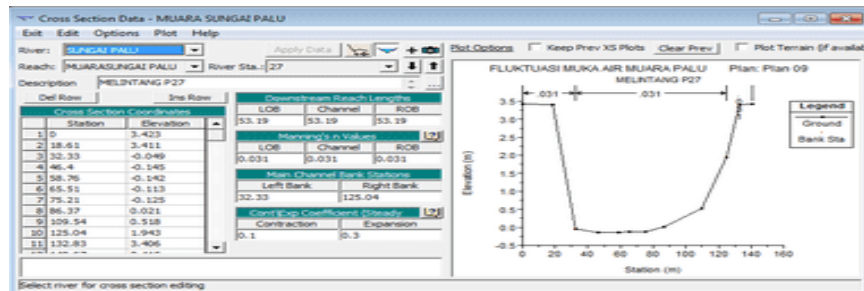
Simulasi aliran menggunakan model *HEC-RAS* setelah semua data yang diperlukan terkumpul maka akan dilakukan analisis untuk kondisi aliran kritis dan superkritis dengan menggunakan *HEC-RAS*. Adapun beberapa prosedur dalam program *HEC-RAS* adalah sbagai berikut (Brunner, 2008);

Input Data Geometri

Memasukkan data geometri profil melintang sungai dimana data yang digunakan diperoleh dari Balai Wilayah Sungai Sulawesi III pada pengukuran tahun 2015. Pada penelitian ini domain sungai dibagi menjadi 27 grid arah memanjang sungai dengan jarak antar grid bervariasi antara 53.60 m dan 171.43 m. Geometri penampang sungai yang digunakan pada tiap-tiap grid berdasarkan pada data hasil pengukuran sungai (PT. JASAKONS Putra Utama, 2015). Simulasi model dilakukan dengan model steady flow untuk tiga kondisi debit yaitu maksimum, rata-rata, dan minimum untuk mengetahui hubungan antara debit aliran dan angkutan sedimen dasar.

Kondisi quasi unsteady flow digunakan dengan input data pasang surut dan disimulasikan selama satu tahun untuk melihat perubahan elevasi dasar sungai. Pada simulasi ini persamaan transport sediment yang digunakan adalah persamaan Meyer Peter Muller (1948) Interval jarak profil melintang sungai yang di *input* pada program mengikuti interval data dari peta topografi pengukuran

2015 dengan jarak memanjang sungai sepanjang 1500 m kearah hulu dari hilir sungai Palu. Contoh input data profil melintang dapat dilihat pada gambar beriku :



Gambar 11. Input Data Profil Melintang

Koefisien manning didapatkan dari hasil pengujian analisa saringan di laboratorium dan nilai yang digunakan sebagai input yaitu dari SP.01 sampai dengan SP.27

Tabel 2. Koefisien kekasaran manning (n) dari arah hilir ke hulu domain simulasi

No	Nomor Patok	Koef. Kekerasan Manning (n)
1	P ₁ - P ₂	0.013
2	P ₃ - P ₁₅	0.010
3	P ₁₆ - P ₂₇	0.040

1. Memasukkan Data Aliran dan Syarat Batas (*Boundary Condition*) Pada Aliran Tunak

Syarat batas/*boundary condition* pada penelitian ini adalah syarat batas di hulu di input berdasarkan debit aliran sedangkan batas di hilir di input dengan nilai kemiringan dasar sungai. Besarnya debit yang yang masuk kedalam penampang sungai berlaku sebagai *boundary condition* dalam pemodelan ini. Besaran debit dimodelkan sebagai debit *inflow* maupun lateral yang masuk kedalam saluran. Batas hulu yang diinput adalah debit maksimum, debit rerata dan debit maksimum sedangkan input untuk batas hilirnya adalah kemiringan dasar sungai.

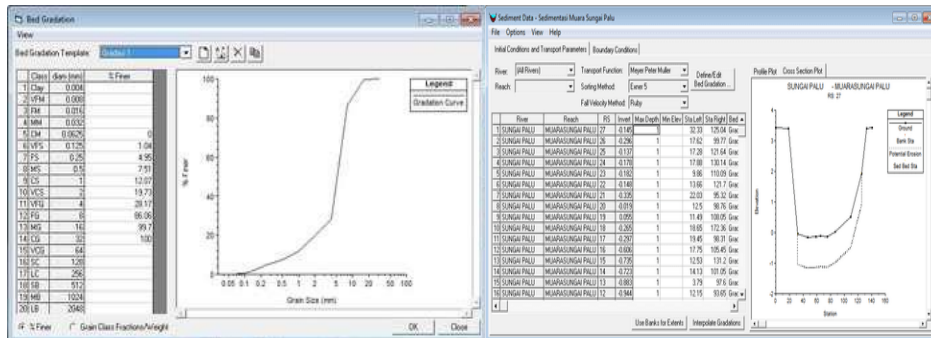
2. Memasukkan Data Aliran dan Syarat Batas (*Boundary Condition*) Pada Aliran Tak Tunak

Syarat batas/*boundary condition* pada penelitian ini adalah syarat batas di hulu di input berdasarkan debit aliran sedangkan batas di hilir di input dengan nilai pasang surut. Besarnya debit yang yang masuk kedalam penampang sungai berlaku sebagai *boundary condition* dalam pemodelan ini. Besaran debit dimodelkan sebagai debit *inflow* maupun lateral yang masuk kedalam saluran.

3. *Input Sedimen*

Melakukan *input* data analisa saringan (terlampir) berdasarkan persen lolos dengan fasilitas *sediment data* pada HEC-RAS kemudian memasukan data kondisi berupa data gradasi ukuran butiran dan *equilibriumload*

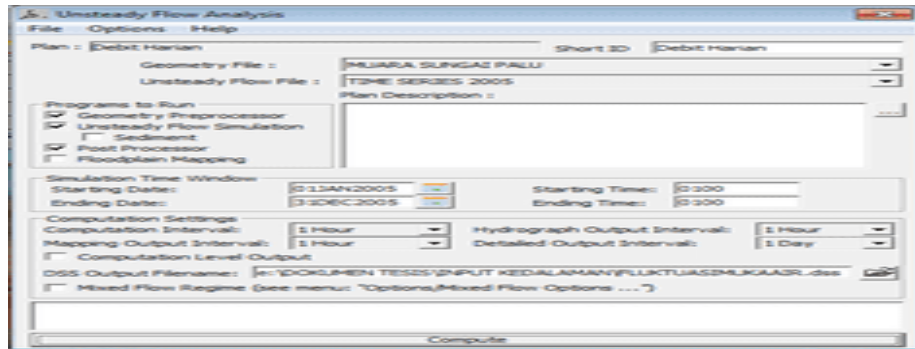
(keseimbangan muatan sedimen) dengan fasilitas *define bed gradation*.



Gambar 14. *Input Data Sedimen*

4. Simulasi Aliran Tunak (*Steady Flow*)

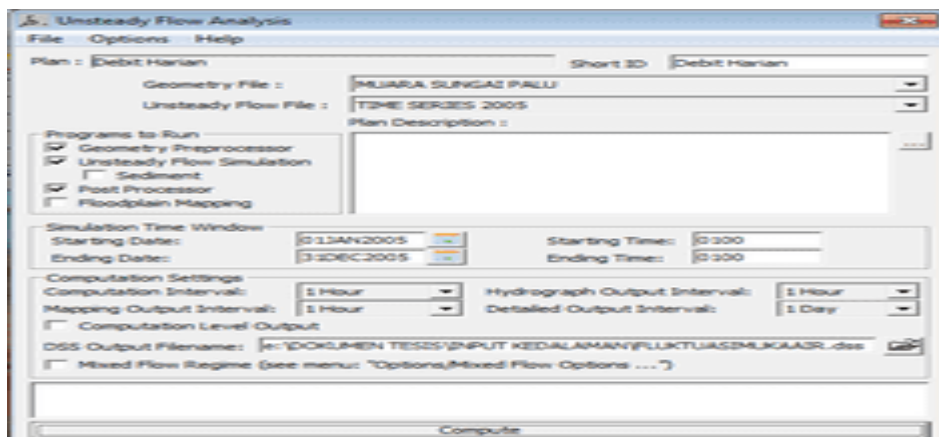
Setelah semua data geometri, data debit dan sedimen selesai di *input* maka selanjutnya menghitung profil muka air yaitu analisis aliran tunak/*steady flow analysis*. Tampilan dari *steady flow analysis* seperti pada gambar berikut



Gambar 15. *Running Debit Aliran Tunak/Steady Flow*

5. Simulasi Aliran Tak Tunak (*Unsteady Flow*)

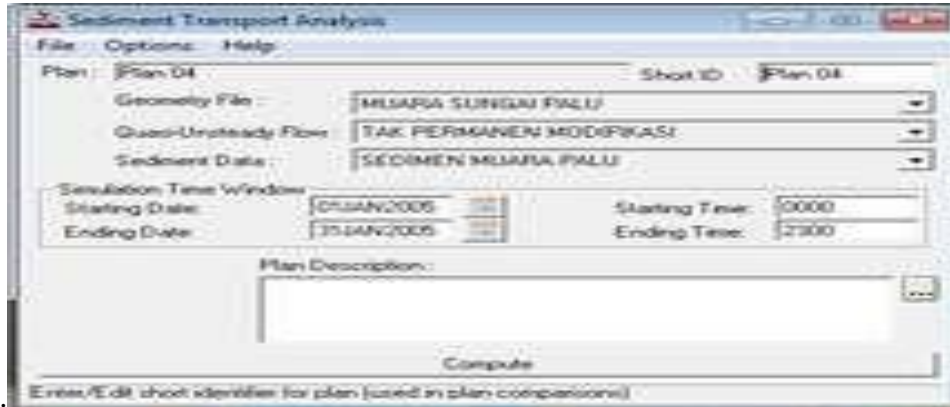
Setelah semua data geometri, data debit dan sedimen selesai di *input* maka selanjutnya menghitung profil muka air yaitu analisis aliran tunak/*steady flow analysis*. Tampilan dari *steady flow analysis* seperti pada gambar berikut :



Gambar 16. *Running Debit Aliran Tak Tunak/Unsteady Flow*

6. Simulasi Transpor Sedimen Sungai Palu

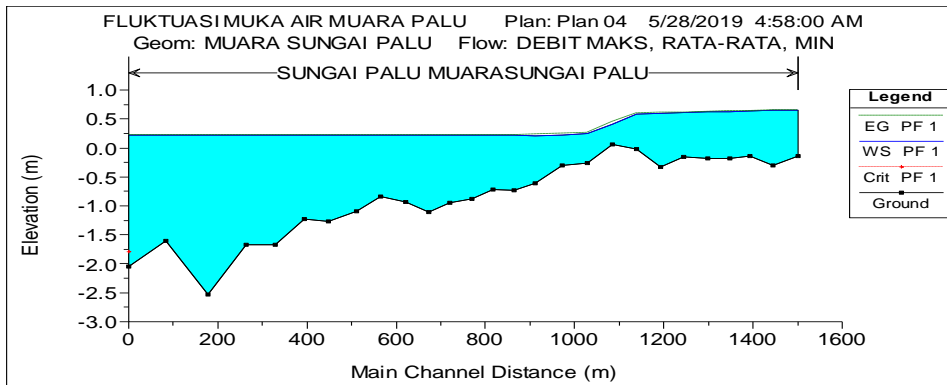
Setelah selesai menghitung profil muka air maka selanjutnya adalah *running* analisis sedimen transpor dengan mengisi waktu atau tanggal simulasi.



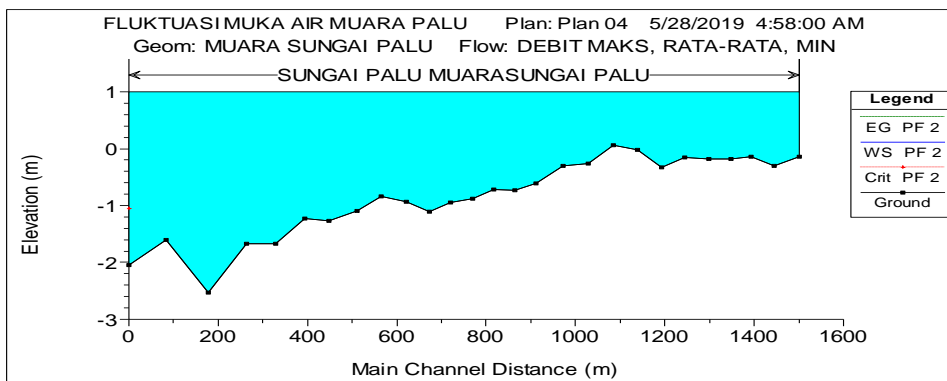
Gambar 17. *Running* Sedimen

PEMBAHASAN

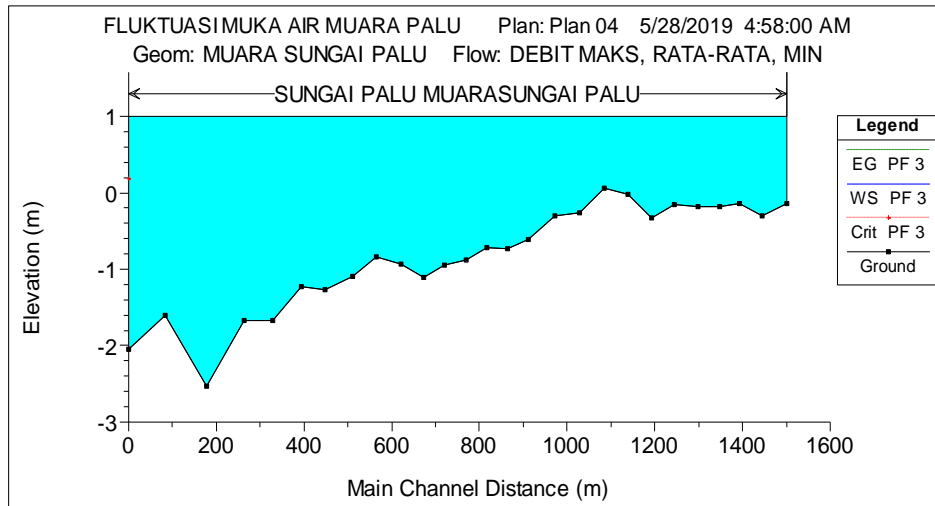
Hasil simulasi aliran tunak (*steady flow*) sungai Palu adalah elevasi muka air pada profil melintang berdasarkan kondisi debit aliran minimum, rata-rata dan maksimum



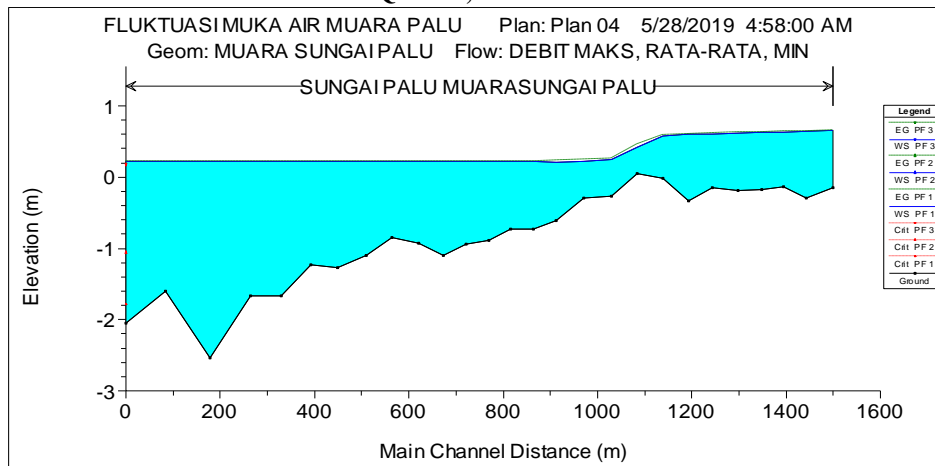
Gambar 18. Profil Memanjang Elevasi Muka Air Kondisi Debit Minimum, $Q = 9,19 \text{ m}^3/\text{det}$



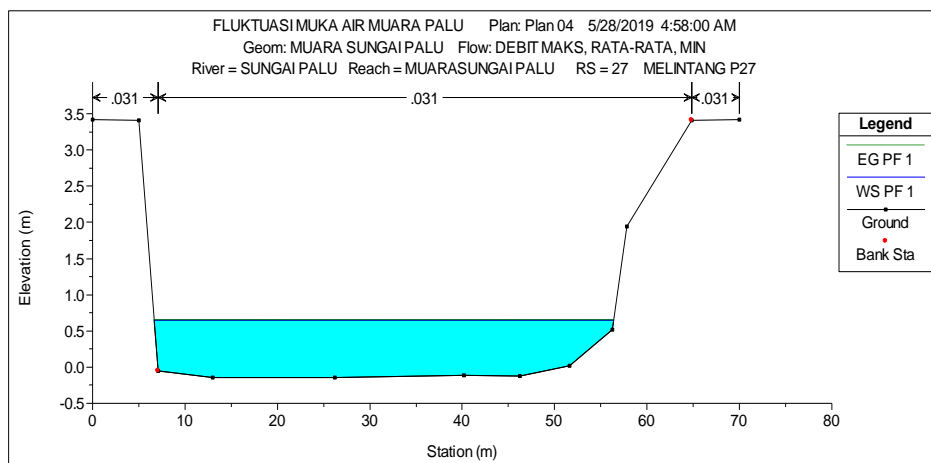
Gambar 19. Profil Memanjang Elevasi Muka Air Kondisi Debit Rata-rata, $Q = 83,659 \text{ m}^3/\text{det}$



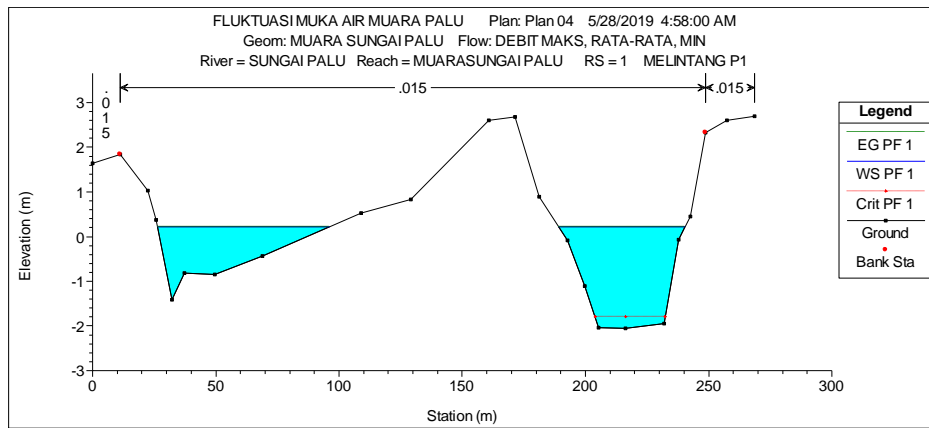
Gambar 20. Profil Memanjang Elevasi Muka Air Kondisi Debit Maksimum, $Q = 423,11 \text{ m}^3/\text{det}$



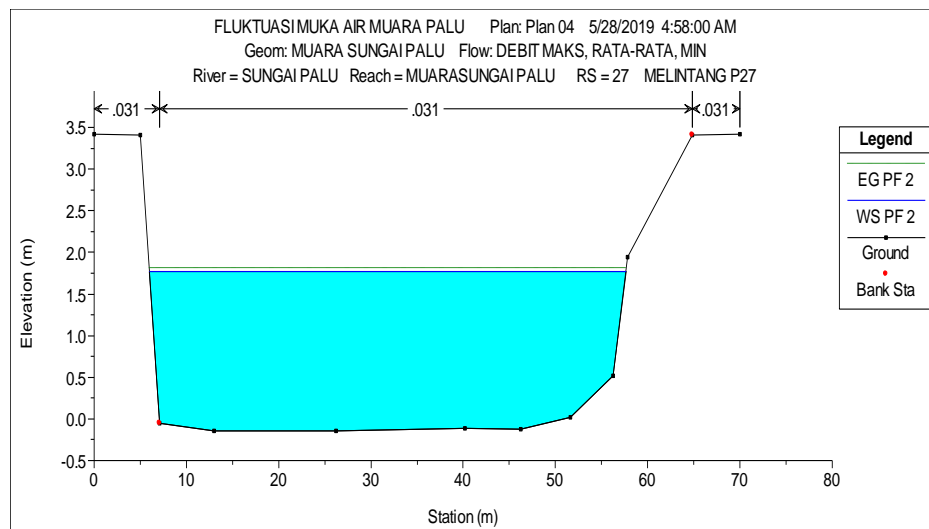
Gambar 21. Profil Memanjang Elevasi Muka Air Kondisi Debit Minimum, Rata-rata dan Maksimum



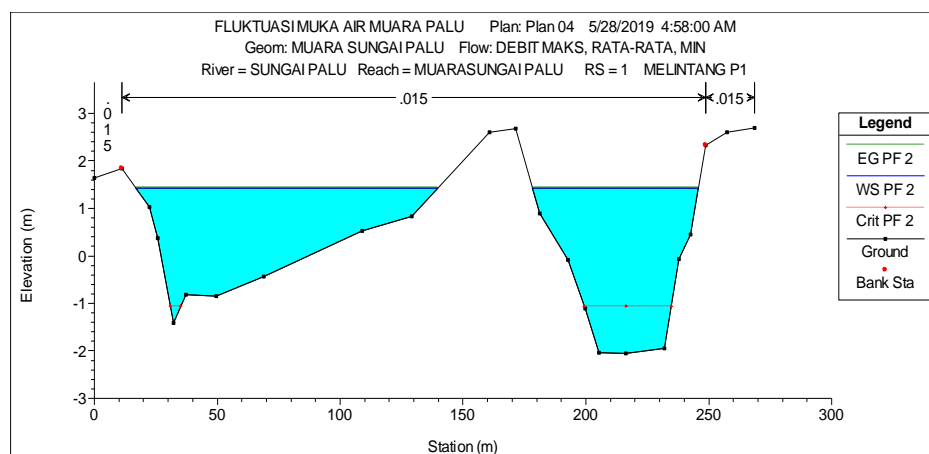
Gambar 22. Profil Melintang Elevasi Muka Air River Station 27 (Hulu) Kondisi Debit Minimum, $Q = 9,19 \text{ m}^3/\text{det}$



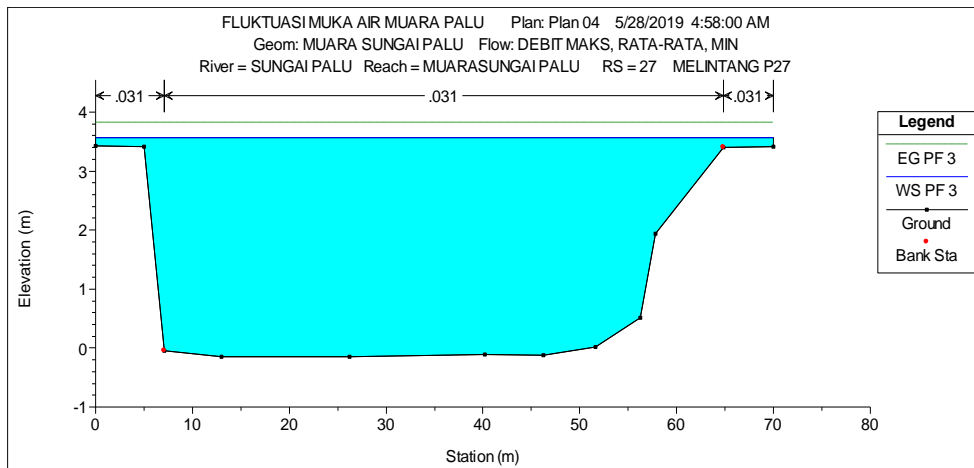
Gambar 23. Profil Melintang Elevasi Muka Air River Station 1 (Hilir) Kondisi Debit Minimum, $Q = 9,19 \text{ m}^3/\text{det}$



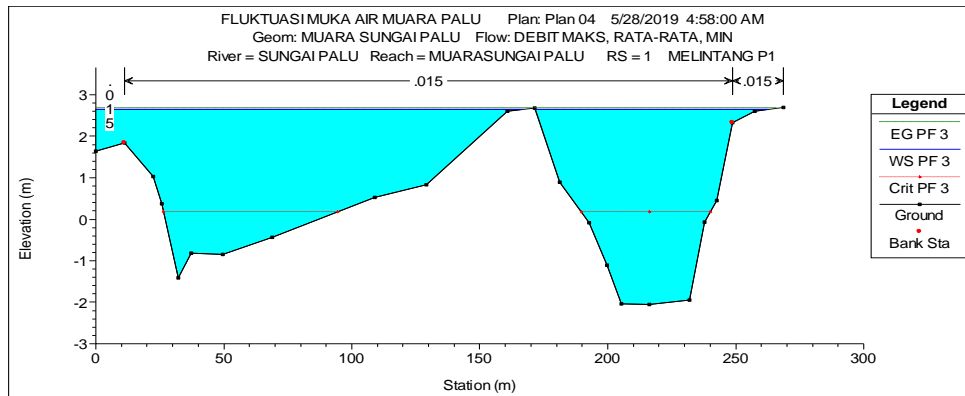
Gambar 24. Profil Melintang Elevasi Muka Air River Station 27 (Hulu) Kondisi Debit Rata-rata, $Q = 83,659 \text{ m}^3/\text{det}$



Gambar 25. Profil Melintang Elevasi Muka Air River Station 0 (Hilir) Kondisi Debit Rata-rata, $Q = 83,659 \text{ m}^3/\text{det}$

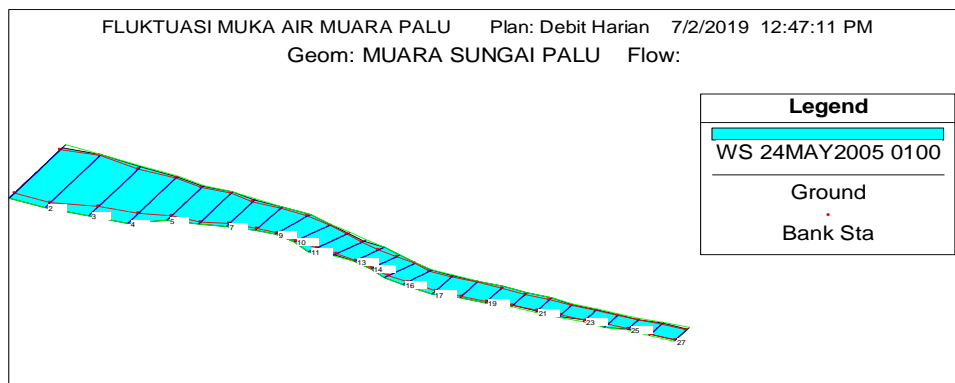


Gambar 26. Profil Melintang Elevasi Muka Air River Station 27 (Hulu) Kondisi Debit Maksimum, $Q = 423,11 \text{ m}^3/\text{det}$

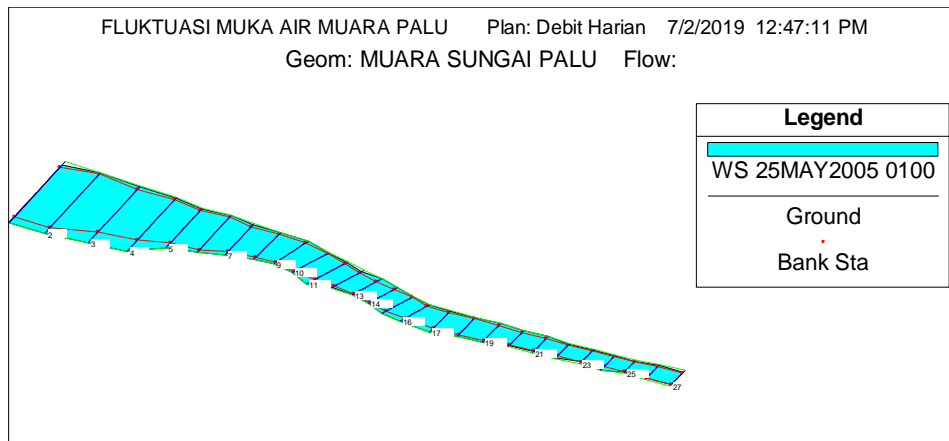


Gambar 27. Profil Melintang Elevasi Muka Air River Station 1 (Hilir) Kondisi Debit Maksimum, $Q = 423,11 \text{ m}^3/\text{det}$

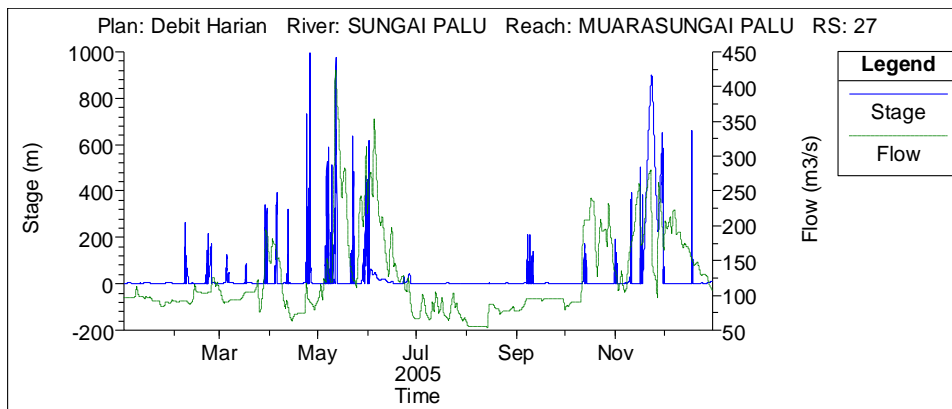
Hasil simulasi aliran tak tunak (*unsteady flow*) sungai Palu adalah elevasi muka air pada profil melintang berdasarkan kondisi pasang surut



Gambar 28. Perspektif 3D Permukaan Air Sebelum Kenaikan Debit Ekstrim

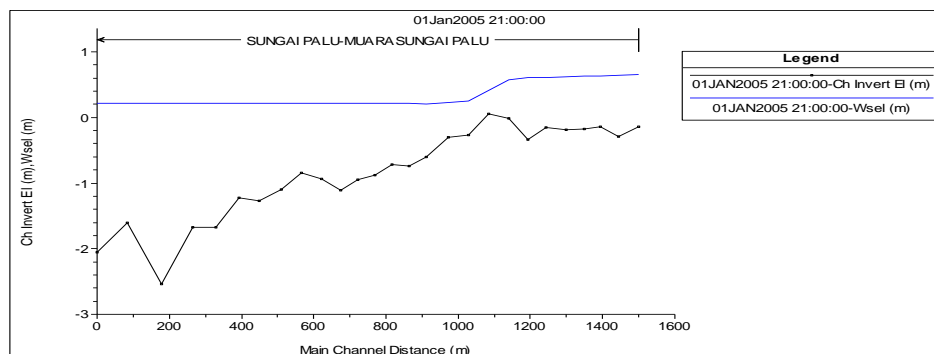


Gambar 29. Perspektif 3D Permukaan Air Pada Saat Kenaikan Debit Ekstrim

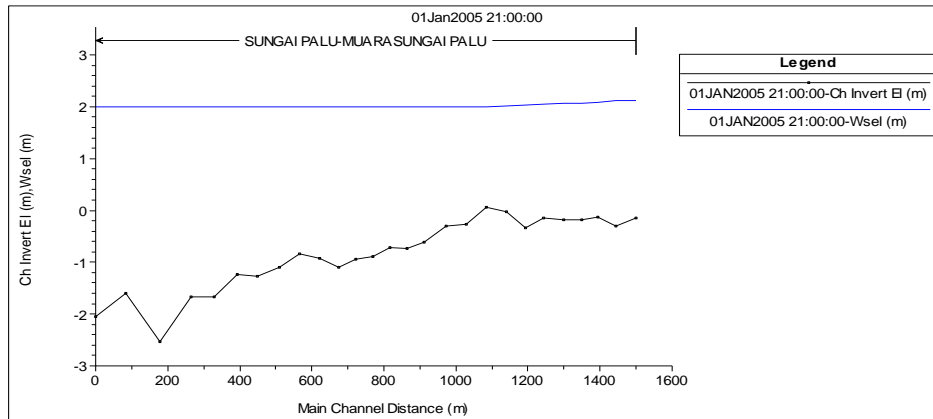


Gambar 30. Hubungan Kenaikan Elevasi Muka Air Dengan Hidrograf Aliran Pada Tahun 2005

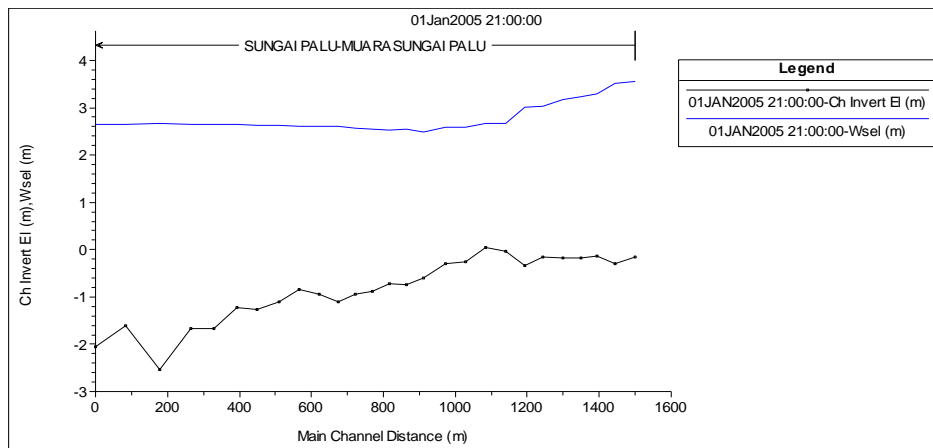
Simulasi Transpor Sedimen Muraa Sungai Palu Pada Aliran Tunak Berdasarkan hasil simulasi transpor sedimen dapat diketahui disepanjang muara sungai Palu terjadi perubahan elevasi dasar akibat pergerakan sedimen berupa agradasi dan degradasi sedimen yang dibawa oleh debit aliran sungai. Adapun perubahan elevasi dasar sungai yang terjadi disajikan seperti pada gambar berikut



Gambar 31. Hasil Simulasi Transpor Sedimen Profil Memanjang Kondisi Debit $Q_{min}=9,19 \text{ m}^3/\text{det}$

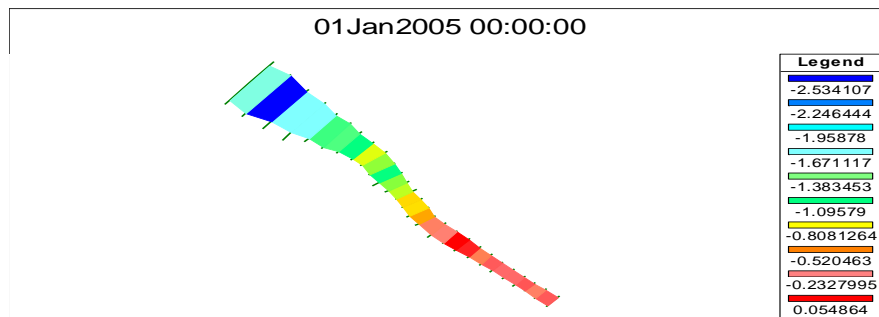


Gambar 32. Hasil Simulasi Transpor Sedimen Profil Memanjang Kondisi Debit Q rerata=83,659 m³/det

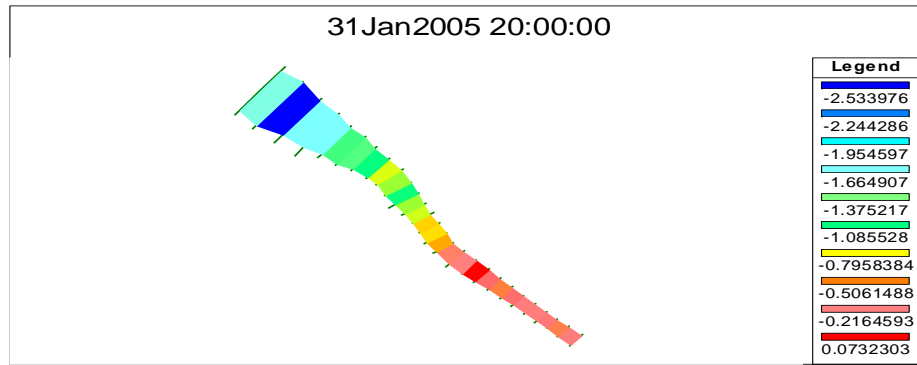


Gambar 33. Hasil Simulasi Transpor Sedimen Profil Memanjang Kondisi Debit Qmaks=423,11 m³/det

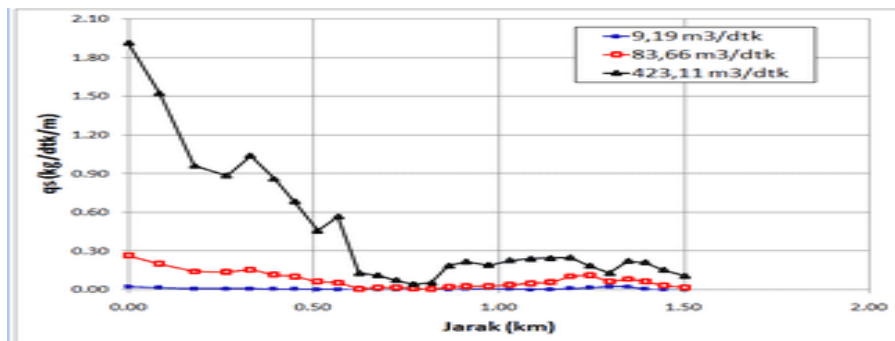
Simulasi Transpor Sedimen Muara Sungai Palu Pada Aliran Tak Tunak Berdasarkan hasil simulasi transpor sedimen dapat diketahui disepanjang muara sungai Palu terjadi perubahan elevasi dasar akibat pergerakan sedimen berupa agradasi dan degradasi sedimen yang dibawa oleh debit aliran sungai. Adapun perubahan elevasi dasar sungai yang terjadi disajikan seperti pada gambar berikut



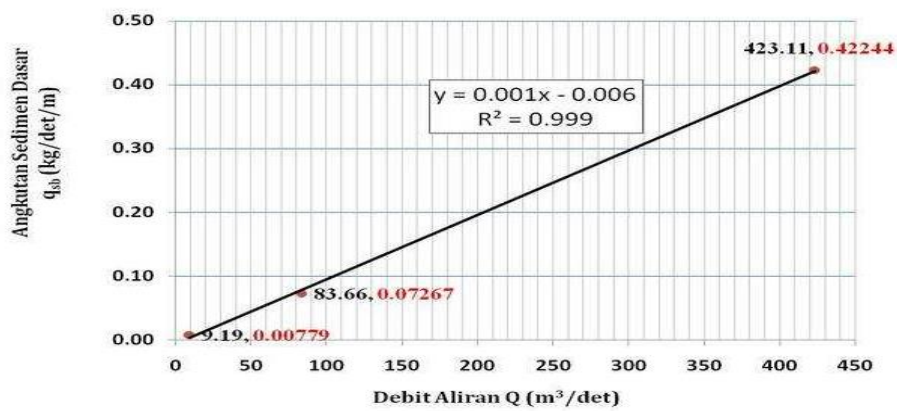
Gambar 34. Skema Elevasi Dasar Sungai Palu Berdasarkan Kontur Kedalaman pada Awal Simulasi



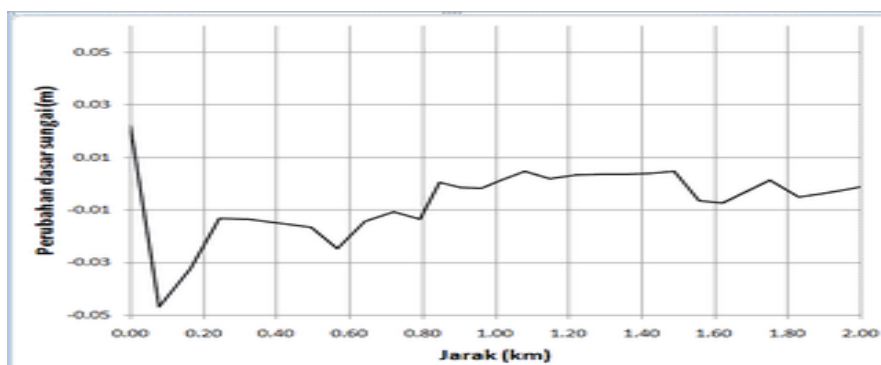
Gambar 35. Skema Elevasi Dasar Sungai Palu Berdasarkan Kontur Kedalaman pada Akhir Simulasi



Gambar 36. Fluktuasi nilai angkutan sedimen dasar dasar sepanjang alur muara sungai



Gambar 37. Kurva Hubungan debit dengan angkutan sedimen dasarMuara Sungai Palu.



Gambar 38. Perubahan elevasi dasarMuara Sungai Palu.

Hasil simulasi perubahan elevasi dasar sungai dapat dilihat pada Gambar 6. Secara umum panjang alur sungai yang ter sedimentasi adalah 3764,09 m dan ruas yang tererosi sepanjang 2962.62 m, hal ini menunjukkan bahwa areal yang ter degradasi lebih panjang dari areal yang terdegradasi. Adapun nilai degradasi terdalam adalah sekitar -4.68 cm sedangkan nilai agradasi paling tinggi adalah 2.93 cm. Hasil analisa menunjukkan bahwa, perubahan elevasi tahunan dasar sungai tidak terlalu besar. Berdasarkan hasil tersebut pembangunan struktur pengatur sungai dapat digunakan untuk mencegah perubahan elevasi dasar sungai.

Hasil penelitian ini adalah; hasil simulasi HEC-RAS 4.1.0 terhadap fluktuasi muka air yang telah dilakukan diperoleh hubungan antara debit aliran Q (m^3/det) dengan besar elevasi yang disebabkan pasang surut (m) di sepanjang daerah penelitian; Debit minimum, $Q = 9,19 m^3/det$ menghasilkan elevasi pasang surut sebesar 0,220 m; Debit minimum, $Q = 83,659 m^3/det$ menghasilkan elevasi pasang surut sebesar 1,435 m; Debit minimum, $Q = 423,110 m^3/det$ menghasilkan elevasi pasang surut sebesar 2,650 m. Sehingga dapat dinyatakan hubungan bahwa semakin besar debit yang mengalir semakin tinggi pula elevasi pasang surut yang dihasilkan.

Perubahan elevasi dasar sungai di muara sungai Palu pada akhir durasi simulasi *fluktuasi muka air* akibat sedimentasi yang terjadi berkisar antara -3,856 cm sampai +1,80 cm berdasarkan air pasang yang terjadi pada durasi maksimum. Dari hasil simulasi HEC-RAS 4.1.0 terhadap pengaruh pasang surut yang telah dilakukan pada analisa aliran tidak tetap (*unsteady flow*) diperoleh dampak pengaruh pasang surut yang terjadi di muara sungai Palu sepanjang ± 912 m ke bagian hulu sungai pada titik koordinat atau segmen 16 (P_{16})

SIMPULAN

Adapun kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian ini adalah, hasil simulasi HEC-RAS 4.1.0 terhadap fluktuasi muka air yang telah dilakukan diperoleh hubungan antara debit aliran Q (m^3/det) dengan besar elevasi yang disebabkan pasang surut (m) di sepanjang daerah penelitian. Sehingga dapat dinyatakan hubungan bahwa semakin besar debit yang mengalir semakin tinggi pula elevasi pasang surut yang dihasilkan. Dari hasil simulasi HEC-RAS 4.1.0 terhadap pengaruh pasang surut yang telah dilakukan pada analisa aliran tidak tetap (*unsteady flow*) diperoleh dampak pengaruh pasang surut yang terjadi di muara sungai Palu sepanjang ± 912 m ke bagian hulu sungai pada titik koordinat atau segmen 16 (P_{16}).

DAFTAR PUSTAKA

- Andawayanti, U. (2019). *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) Terintegrasi*. Universitas Brawijaya Press.
- Barokah, I., & Purwantoro, D. (2014). Pengaruh variasi debit aliran terhadap gerusan maksimal di bangunan jembatan dengan menggunakan program HEC-RAS. *Informasi dan Ekspose hasil Riset Teknik Sipil dan Arsitektur*, 10(2).
- Brunner G. W. (2008). *HEC-RAS River Analisis System User's Manual*. Hydraulic Engineering Center (HEC), US Army Corps of Engineers, Davis, USA.

- Meyer-Peter, E; Müller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. *Proceedings of the 2nd Meeting of the International Association for Hydraulic Structures Research*. pp. 39–64
- PT. Bina Buana Raya, (2015). *Laporan Studi Penanggulangan Sedimenasi dan Pengaturan Penambangan di Sungai Palu*. Kementerian PU Dirjen SDA BWS Sulawesi III.
- PT. JASAKONS Putra Utama, (2010). *Final Laporan akhir Survey Investigasi dan Desain Penanganan Sungai Palu Provinsi Sulawesi Tengah*. Penerbit Kementerian PU Dirjen SDA BWS Sulawesi III.
- Raco, M. G., Jansen, T., & Hendratta, L. A. (2019). Pengaruh Pasang Surut Terhadap Tinggi Muka Air Di Muara Sungai Bailang. *Jurnal Sipil Statik*, 7(6).
- Rante, N. R., Sumarauw, J. S., & Wuisan, E. M. (2016). Analisis Debit Banjir Anak Sungai Tikala Pada Titik Tinjauan Kelurahan Banjer Link. V Kecamatan Tikala Dengan Menggunakan HEC-HMS Dan HEC-RAS. *Tekno*, 14(65).
- Rusdin, A. dkk. (2014). *Hubungan Antara Debit Dan Besaran Angkutan Sedimen Pada Sungai Palu*. Konferensi Teknik Sipil 8.
- Triyanti, A. (2005). Analisis Angkutan Sedimen Pada Muara Sungai Palu. *Jurnal Smartek Palu* 2005