

# ANALISIS PENINGKATAN GENANGAN AKIBAT PEMBANGUNAN PLTA SALU URO, KABUPATEN LUWU UTARA SULAWESI SELATAN

Reski Rafidah\* Alimuddin Hamzah dan Paharuddin  
Program Studi Geofisika, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin

\*E-Mail : [rafidahreski9@gmail.com](mailto:rafidahreski9@gmail.com)

## ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan peningkatan muka air dan luas genangan akibat pembangunan bendung PLTA Salu Uro, Kabupaten Luwu Utara, Sulawesi Selatan. Debit dengan berbagai kala ulang diperoleh dengan menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III dan hidrograf satuan sintesis nakayasu. Data spesifikasi bendung dan informasi debit diolah menggunakan model HEC-RAS yang dikolaborasikan dengan *software* ArcGIS. Pemodelan geometri sungai dilakukan dengan model Hec Geo RAS yang merupakan plug-in ArcGIS untuk menghasilkan simulasi profil muka air salu uro. Pemodelan peta simulasi peningkatan genangan akibat pembangunan bendung PLTA yang dihasilkan pada HEC-RAS selanjutnya ditampilkan kembali di ArcGIS. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebaran area banjir terluas pada Desa Marampa, Kecamatan Limbong, Kabupaten Luwu Utara dengan luas genangan sebesar 2365,44 Ha. Hasil perbedaan luas genangan sebagai skenario desain tinggi mercu dengan dua ketinggian berbeda, pada ketinggian 17m dan 20m tidak begitu signifikan.

**Kata Kunci:** PLTA Salu Uro, HEC-RAS, ArcGIS, Genangan.

## I. PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Sungai sejak jaman purba menjadi suatu unsur alam yang sangat berperan di dalam bentuk corak kebudayaan suatu bangsa. Ketersediaan airnya, lembah yang subur, dan lain-lain potensinya menarik manusia untuk bermukim di sekitarnya. Kehidupan sehari-hari tidak akan lepas dari memanfaatkan sungai dengan konsekuensi manusia akan melakukan rekayasa terhadapnya yang perlu untuk lebih banyak dapat mengambil manfaatnya. Di lain pihak terjadi beberapa kekurangan dalam hal tersebut, jadi dapat disimpulkan bahwa dalam merekayasa sungai seharusnya dilakukan secara lebih bersahabat, agar tidak timbul dampak yang akan merugikan di kemudian hari. Sebagai unsur alam yang lain, segala tindakan terhadapnya akan menimbulkan dampak perubahan sifat dan keadaannya sebagai penyesuaian terhadap perlakuan

yang diterimanya adapun dampak yang timbul ini dapat bersifat sangat merugikan terhadap manusia (Mulyanto,2007).

Singkat kata, air sebagai sumber kehidupan, juga berpotensi besar terhadap bencana yang sangat merugikan. Bertolak dari permasalahan tersebut diperlukan usaha agar meminimalkan kerugian, meningkatkan daya guna air serta memperbaiki dan konservasi lingkungan. Analisis hidrologi diperlukan dalam perencanaan berbagai macam bangunan air seperti bendungan, bangunan pengendali banjir, dan bangunan irigasi (Suripin, 2003).

Pembangunan PLTA merupakan salah satu perencanaan bangunan air yang memerlukan perencanaan serta analisis hidrologi. Dalam pembangunan bendung ada beberapa dampak lingkungan yang akan terjadi, salah satu yang dapat terjadi pada saat bendung telah dioperasikan ialah

peningkatan genangan, hal ini merupakan aspek yang perlu diperhatikan agar dapat meminimalisir kerugian ataupun dampak lainnya secara berlebihan dengan melakukan penelitian dalam bentuk pemodelan.

Pembangunan PLTA Salu Uro Luwu Utara adalah salah satu diantara beberapa perencanaan bangunan air, sehubungan dengan hal tersebut maka perlu dilakukan penelitian yang menghasilkan informasi mengenai peningkatan genangan yang ditimbulkan.

### Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk membuat layout pemodelan peta simulasi peningkatan genangan akibat pembangunan PLTA Salu Uro, Kabupaten Luwu Utara, Sulawesi Selatan. Analisis menggunakan data debit kala ulang maksimum sungai serta data perencanaan bendung yang diolah menggunakan *HEC-RAS* untuk menghasilkan simulasi profil muka air salu uro.

### Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Memperkirakan peningkatan muka air akibat pembangunan bendung PLTA,
2. Mensimulasikan luas genangan dari hasil simulasi pada debit rencana 2, 5, 10, 25, 50, 100 dan 200 tahun,
3. Menghasilkan skenario luas genangan dari hasil desain tinggi mercu bendung tertentu.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### Penentuan Kekasaran Manning

Pada HecRAS Nilai kekasaran (Manning) berhubungan dengan aliran yaitu apabila semakin banyak aliran yang masuk kedalam tanah maka semakin sedikit aliran di permukaan. Aliran dari permukaan yang masuk kedalam tanah dinamakan infiltrasi. Infiltrasi terjadi pada lapisan tanah. Jika lapisan tanah sukar menyerap air bisa dikatakan hujan yang turun di daerah tersebut menjadi air permukaan. Sehingga infiltrasi lapisan tanah ini dihubungkan dengan Nilai Koefisien *Manning* berdasarkan lahan ialah sebagai berikut :

Tabel 1. Koefisien kekasaran manning (*Army Corps of Engineers USA, 1998*)

Penggunaan Lahan	Nilai Manning
Bandara/Pelabuhan	0,06
Permukiman	0,08
Sawah	0,04
Semak Belukar	0,035
Hutan	0,05
Tubuh Air	0,033
Lahan Terbuka	0,035
Pertanian	0,045

### Hec-RAS

Analisis hidrolika sungai berguna untuk menganalisis profil muka air banjir di sungai. Perhitungan analisis hidrolika sungai dalam penelitian ini menggunakan software Hydrologic Engineering Centre-River Analysis Sistem (*HEC-RAS*), yang dikembangkan oleh Hydrologic Engineering Centre milik US Army Corps of Engineers. *HEC-RAS* sebagai sistem perangkat lunak terpadu mempunyai tiga komponen analisis hidrolika satu dimensi untuk:

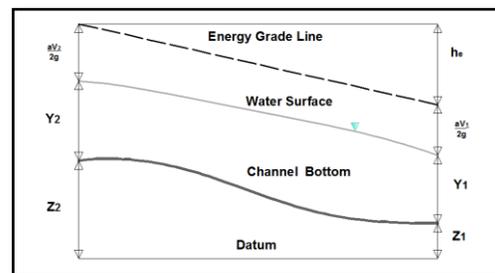
1. Perhitungan profil permukaan air steady flow (aliran permanen).
2. Simulasi unsteady flow (aliran tak permanen)
3. Perhitungan transport sedimen batas yang movable dan desain bangunan air.

Kehilangan energi tersebut dapat diformulasikan sebagai berikut (*IHD-6, 1975*) :

$$Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 v_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{a_1 v_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

Dimana :

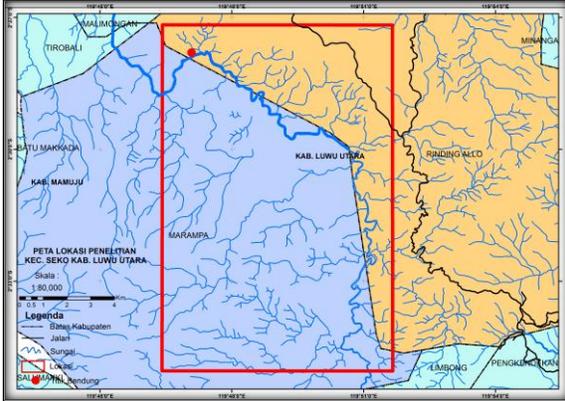
- $Y_1, Y_2$  : Tinggi tekanan (m)
- $Z_1, Z_2$  : Tinggi tempat (m)
- $\frac{v_2^2}{2g}, \frac{v_1^2}{2g}$  : tinggi kecepatan (m)
- $\alpha_1, \alpha_2$  : Koefisien kecepatan
- $h_e$  : kehilangan energi



Gambar 1. Persamaan Energi Aliran permanen beraturan pada saluran terbuka (IHD-6, 1975)

### III. BAHAN DAN METODE

Daerah yang menjadi lokasi penelitian meliputi wilayah PLTA Salu Uro, Kabupaten Luwu Utara, Sulawesi Selatan.



Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

Secara geografis koordinat lokasi bendung PLTA Salu Uro yaitu terletak pada (02°27'47.95"LS; 119°47'05.01"BT).

#### Bahan

##### Kebutuhan Data

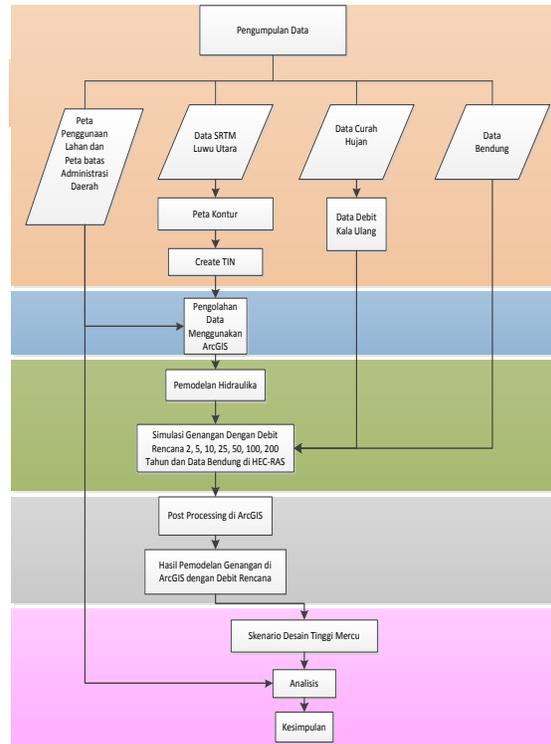
1. SRTM 30 daerah Luwu Utara
2. Peta penggunaan lahan citra satelit bing maps (google earth)
3. Data curah hujan sungai salu uro selama 37 tahun untuk diolah menjadi data debit kala ulang. Sumber data dari kajian Pra feasibility Study Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air Salu Uro di Kecamatan Seko Kabupaten Luwu Utara. PT. Tirta Energi Cemerlang. Jakarta (Anonim, 2013).

##### Kebutuhan Peralatan

Beberapa perangkat lunak (*software*) pendukung seperti Global Mapper 16, HEC-RAS, HEC GEORAS, dan Arcgis 10.0 (Esri, 2012) yang digunakan untuk mengolah data.

#### Metode

##### Flowchart Penelitian



##### Keterangan :

- = Tahap pengumpulan data
- = Tahap pemodelan geometri
- = Tahap pemodelan hidraulika
- = Tahap pembuatan peta
- = Tahap analisis

##### Menyiapkan Data

Data morfologi sungai diperoleh dari data SRTM 30 yang dikonversi dalam bentuk TIN untuk memperoleh model elevasi kemudian dibuat set geometri dengan menggunakan HEC-GeoRAS seperti *stream center line, banks, overbank, flowpath, cross section* dan *extract N Value*. Menghitung debit Sungai Salu Uro dengan berbagai kala ulang diperoleh dengan menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III dan hidrograf satuan sintesis nakayasu

##### Pemilihan Skenario Aliran

Terdapat 2 skenario aliran yang digunakan pada Software HECRAS yaitu Aliran Steady dan aliran Unsteady. Aliran Steady ialah suatu aliran fluida yang tidak memiliki perubahan kecepatan terhadap semua titik dalam aliran tersebut dan Aliran Unsteady ialah ketika dalam aliran tersebut terjadi

perubahan kecepatan terhadap waktu. Untuk kasus analisis peningkatan genangan akibat pembangunan PLTA Salu Uro skenario yang digunakan ialah Aliran Unsteady

#### IV. HASIL DAN DISKUSI

##### 1. Hasil Perhitungan Debit

Debit aliran sungai, diberi Q, adalah jumlah air yang mengalir melalui tampang lintang sungai tiap satu satuan waktu, yang biasanya dinyatakan dalam meter kubik per detik ( $m^3/d$ ). Debit sungai distribusinya dalam ruang dan waktu, merupakan informasi penting yang diperlukan dalam perencanaan bangunan air dan pemanfaatan sumberdaya air. Mengingat bahwa debit aliran sangat bervariasi dari waktu ke waktu, maka diperlukan data pengamatan debit dalam waktu panjang.

Debit di suatu lokasi yang ditinjau dapat juga diperkirakan berdasar data hujan. Debit aliran di sungai berasal dari hujan yang jatuh di DAS, sehingga dengan mengetahui kedalaman hujan dan kehilangan air seperti infiltrasi, maka akan dapat diperkirakan debit aliran. (Triatmodjo, 2014)

Kondisi batas pada hulu (Upstream) merupakan data debit rencana kala ulang maksimum 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun, 50 tahun, 100 tahun dan 200 tahun yang telah dihitung menggunakan metode log person III dan hidrograf satuan sintetis banjir rencana metode nakayasu berdasarkan data curah hujan. Pada penelitian ini digunakan skenario aliran steady (aliran permanen).

Data hujan harian yang digunakan ialah data curah hujan maksimum di pos selama 37 tahun, Adapun hasil perhitungan dengan menggunakan metode log person III ialah Sebagai berikut :

$$\text{Log } X = 73.329$$

$$(\log X - \overline{\log x})^2 = 1.210$$

$$(\log X - \overline{\log x})^3 = 0.186$$

$$\text{Mean } \overline{\log x} = \frac{\sum x}{n}$$

$$= \frac{73,329}{37}$$

$$= 1.9818$$

$$\begin{aligned} \text{Standar deviasi (S Log X)} &= \sqrt{\frac{\sum(\text{Log } xi - \text{Log } X)^2}{n-1}} \\ &= \sqrt{\frac{1,210}{36}} \\ &= 0,1833 \end{aligned}$$

Koefisien *Skweness* (Cs)

$$= \frac{n}{(n-1)(n-2) \cdot S^3} \sum(\text{Log } Xi - \overline{\text{Log } X})^3$$

$$= \frac{37}{(37-1)(37-2) \cdot 0,1833^3} \cdot 0.186$$

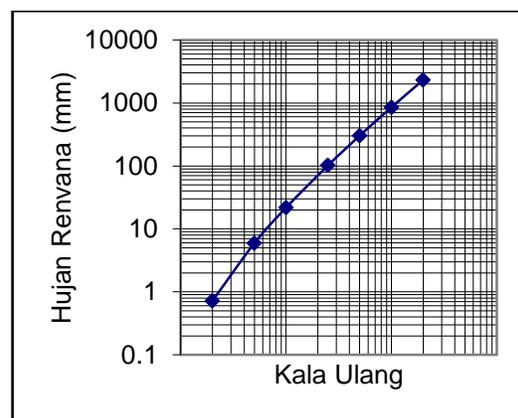
$$= 0.8864$$

Tabel 2. Hasil Perhitungan Hujan Rencana Metode Log Person III

Dari table hasil perhitungan hujan rencana metode

Tahun	G	log X (m3/dt)	X (m3/dt)
2	-0.142	1.956	90.329
5	0.773	2.124	132.918
10	1.338	2.227	168.722
25	2.008	2.350	223.877
50	2.48	2.437	273.240
100	2.931	2.519	330.545
200	3.365	2.599	397.009

log person III dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya rentang waktu periode kala ulang, maka akan semakin meningkat pula hujan rencana.



Gambar 3. Grafik Hasil perhitungan Curah Hujan Rencana Metode Log Person III

Untuk melakukan perhitungan hidrograf satuan sintetis, maka hasil perhitungan curah hujan rencana

maka dilakukan perhitungan distribusi hujan efektif 2, 5, 10, 25, 50, 100 dan 200 tahun.

Dimana :

- Hujan efektif (mm) = hujan rencana x koefisien pengaliran
- Distribusi hujan efektif = hujan efektif (mm) x  $\frac{ratio\ n}{100}$

### Hidrograf Satuan Sintetis Metode Nakayasu

Parameter yang telah dihitung ialah sebagai berikut:

$$L = 49 \text{ km}$$

$$A = 379,39 \text{ km}^2$$

$$t_g = 0,4 + 0,058 \times 49 = 0,4 + 0,058 \times 49 = 3,24 \text{ jam}$$

$$t_r = 0,75 \times 3,24 = 2,4315 \text{ jam}$$

$$T_p = 3,24 + 0,8 \times 2,43 = 5,1872 \text{ jam}$$

$$T_{0,3} = 2 \times 3,24 = 6,484 \text{ jam}$$

$$Q_p = \frac{1}{3,6} \times \frac{279,39 \times 0,3}{0,3 \times 5,1872 + 6,484} = 9,6523 \text{ m}^3/d$$

Setelah perhitungan parameter selesai, maka selanjutnya menentukan bentuk hidrograf satuan, tabel ordinat hidrograf satuan dan hasil perhitungan

Tabel 3. Hasil Perhitungan Debit Maksimum Banjir Rencana

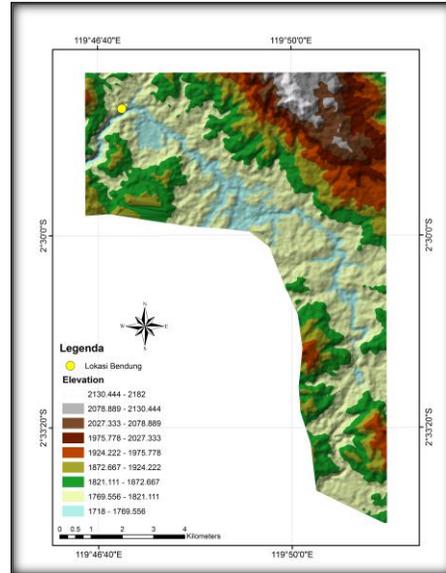
Periode ulang	Puncak Banjir (m <sup>3</sup> /dt)
	Metode Nakayasu
2	905.60
5	1332.58
10	1691.54
25	2244.50
50	2739.40
100	3313.92
200	3980.25

Dari hasil perhitungan debit maksimum banjir rencana dapat dilihat bahwa adanya peningkatan secara signifikan dari 2 sampai 200 tahun kala ulang, grafik debit ialah sebagai berikut :

## 2. Hasil Pengolahan Data Morfologi Sungai

Triangulated Irregular network (TIN) adalah model data topologi berbasis vector yang digunakan untuk mempresentasikan rupa bumi (terrain) dengan tiga

dimensi (x,y,z) dan diatur dalam suatu jaringan segitiga non overlapping/tidak bertampalan. Data TIN diperoleh dari hasil mengkonversi data DEM (SRTM 30) Daerah Luwu Utara menjadi kontur. Digital elevation Model (DEM) merupakan salah satu model untuk menggambarkan bentuk topografi permukaan bumi sehingga dapat divisualisasikan kedalam tampilan 3D (tiga dimensi). Data TIN lokasi penelitian dalam interval kontur 1 meter ialah pada gambar berikut :



Gambar 4. TIN Lokasi Penelitian

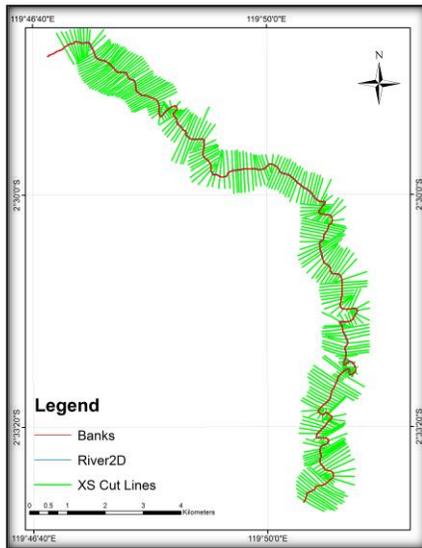
## 3. Geometri Sungai Salu Uro

Geometri sungai salu uro berupa data profil memanjang, melintang sungai dan profil bendung dari hasil digitasi pada data TIN yang didasari dari peta penggunaan lahan dan data bendung yang dilakukan menggunakan Software ArcGIS melalui fungsi dari Hec-GeoRAS. Hec-GeoRAS toolbar memiliki empat menu (RAS Geometri, RAS Mapping, ApUtilities, Help) tujuh alat/tombol (Assign River Code/Reach Code, Assign From Station / To Station, Assign Line Type, Construct XS Cutlines, Plot Cross Section Line, dan Assign Levee Elevation). Menu RAS Geometri merupakan fungsi yang digunakan untuk pra-pengolahan data GIS untuk selanjutnya diinput ke HEC-RAS. Menu RAS Mapping ialah yang digunakan untuk pasca pengolahan hasil dari HEC-RAS untuk menghasilkan peta genangan banjir.

Terdapat tiga lapisan arah pada profil memanjang sungai satu uro yaitu centerline yang merupakan pendigitasian garis tengah sungai, over bank kiri dan overbank kanan yang digunakan untuk membedakan saluran utama dari daerah dataran banjir overbank. Selanjutnya flowpath yang merupakan garis aliran yang digunakan untuk menentukan panjang jangkauan hilir antara lintas bagian dalam saluran utama dan daerah bank.

Penampang atau cross section adalah salah satu masukan kunci untuk HEC-RAS. Potongan garis penampang digunakan untuk mengekstrak data elevasi dari medan untuk membuat profil tanah di aliran saluran. Panjang sungai yang diamati adalah sepanjang 2,2 km yang terhitung dari hulu sungai uro berakhir hingga titik bendung primer PLTA. Jarak tersebut dibagi-bagi menjadi 279 data cross section.

Setelah proses pembentukan data dilakukan oleh Hec GeoRAS selesai maka langkah selanjutnya data tersebut dianalisis menggunakan software Hec RAS.



Gambar 5. Hasil Import Data GIS

#### 4. Data Steady Flow

Data steady flow merupakan data boundary condition (kondisi batas) pada hulu yang merupakan data debit maksimum 2, 5, 10, 25, 50, 100 dan 200 tahun yang sebelumnya telah dihitung.

Koefisien manning diperoleh dari peta penggunaan lahan. Angka manning pada bantaran kiri dan kanan sungai ialah 0.05 dimana angka tersebut merupakan nilai manning (Hutan lahan kering sekunder dan hutan lahan kering primer). Angka manning pada saluran utama adalah 0.033 yang merupakan tubuh air.

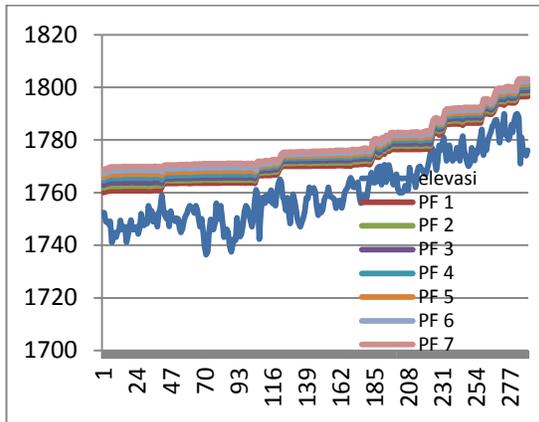
#### 5. Data Geometri Bendung

Data geometri bendung ialah data penampang dari bendung PLTA yang berada pada lokasi penelitian yaitu jarak dari tampang lintang hulu ialah 80 m, tinggi bendung 15 m, lebar mercu 45 m (ambang lebar), koefisien pengaliran untuk mercu ambang ogee ialah 3.1 dan kemiringan bagian hilir bendung adalah 1:1.00. Data geometri bendung merupakan kondisi batas pada hilir sungai lokasi penelitian.

#### 6. Hasil Running HEC-RAS

Program HEC-RAS akan menghitung sendiri kapasitas penampang sungai dengan memasukkan data topografi sungai, debit rencana dan geometri bendung, sehingga dapat diketahui bentuk penampang sungai, tinggi muka air dan kapasitas sungai mencakupi atau tidak. Hasil dari running program HEC-RAS yang menampilkan kapasitas dan tinggi muka air ialah sebagai berikut :

Dari grafik yang ditampilkan oleh HEC-RAS dapat dilihat bahwa genangan yang terjadi akan semakin meningkat seiring pertambahan debit kala ulang. Dapat dilihat bahwa elevasi muka air tertinggi pada Q200 yaitu berada pada ketinggian 1803.28 m sedangkan elevasi terendah pada Q2 yaitu berada pada ketinggian 1796, 50 m sehingga dapat diperkirakan bahwa tinggi muka air dari Q2 ke Q200 meningkat sebanyak 6,78 m. Adapun grafik tinggi muka dalam bentuk line chart ialah sebagai berikut :



Gambar 6. Chart Line Hasil Tinggi Muka Air (meter)

## 7. Analisis Genangan Berdasarkan Debit Kala Ulang

Hasil analisis debit kala ulang dan luas genangannya di beberapa kecamatan secara detail ialah sebagai berikut :

Tabel 4. Luas Daerah Genangan di Bantaran Sungai Lokasi Penelitian

Kala Ulang	Luas Genangan (Ha)	
	Rinding Allo	Marampa
Q2	170.514198	262.8319278
Q5	190.4545	290.5925
Q10	203.3930267	310.7874581
Q25	219.75	336.0818
Q50	233.4556	360.9116
Q100	246.949	387.9769
Q200	262.2434	416.2632
Jumlah	1526.759725	2365.445386

## 8. Skenario Desain Tinggi Mercu Bendung

Dari hasil skenario yang telah dilakukan terdapat peningkatan genangan pada setiap penambahan dari nilai H yang ditambahkan. Simulasi pada skenario di atas dapat digunakan untuk keperluan pengerjaan bendung PLTA sebagai referensi yang berguna untuk meminimalisir dampak lingkungan yang terjadi dengan memperhatikan penambahan luas genangan dan daerah genangan. Hasil luas genangan yang didapatkan menunjukkan bahwa peningkatan yang terjadi tidak begitu spesifik jika ditinjau dari tinggi mercu bendung yang berbeda dalam kala ulang yang sama. Hal ini dapat dilihat dari jumlah penambahan luas pada kala ulang 100 tahun pada tinggi mercu 17 m ke 20 m hanya meningkat

sebanyak 3,235 Ha, sedangkan jika dibandingkan untuk kala ulang 200 tahun, peningkatan genangan justru begitu spesifik. Terjadi peningkatan genangan sekitar 44 Ha dari 100 tahun ke 200 kala ulang untuk masing-masing tinggi mercu skenario.

Tabel 5. Luas Genangan Skenario Desain Tinggi Mercu Bendung

Kala Ulang	Tinggi Mercu Bendung	
	17 m	20 m
	Luas (Ha)	
100 Tahun	637.58	640.8154
200 Tahun	681.2551	684.4231
<b>Jumlah</b>	<b>1318.8351</b>	<b>1325.2385</b>

## V. KESIMPULAN

1. Akibat pembangunan bendung PLTA pada koordinat (02°27'47.95"LS; 119°47'05.01"BT) menyebabkan terjadinya peningkatan genangan pada sungai Salu Uro. Area banjir terluas pada Desa Marampa, Kecamatan Limbong, Kabupaten Luwu Utara. Elevasi muka air tertinggi pada Q200 yaitu berada pada ketinggian 1803.28 m, sedangkan elevasi terendah pada Q2 yaitu berada pada ketinggian 1796, 50 m sehingga dapat diperkirakan bahwa tinggi muka air dari Q2 ke Q200 meningkat sebanyak 6,78 m.
2. Dari hasil simulasi pada debit rencana 2, 5, 10, 25, 50, 100 dan 200 tahun didapatkan penambahan luas genangan. Luas genangan untuk kala ulang Q2 tahun yaitu sebesar 433,346 Ha, Q5 tahun sebesar 481,047 Ha, Q10 514,180 Ha, Q25 tahun sebesar 555,831 Ha, Q50 tahun sebesar 594,367 Ha, Q100 tahun sebesar 634,925, Q200 tahun sebesar 678,506 Ha.
3. Hasil skenario desain tinggi mercu bendung, didapatkan penambahan luas genangan pada H2 = 17 m sebesar 1318,835 Ha dan pada H3 = 20 m sebesar 1325,238 Ha.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Allah SWT, Orang Tua dan semua pihak yang telah membantu dalam terwujudnya paper ini.

## REFERENSI

- [1] Anonim. 2013. *Pra feasibility Study Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air Salu Uro di Kecamatan Seko Kabupaten Luwu Utara*. PT. Tirta Energi Cemerlang. Jakarta

- [2] Chow, 1970. *Hidrolika Saluran Terbuka (Open Channel Hydraulics)*. PT. Gelora Aksara. Jakarta
- [3] ESRI. 2009. HEC-Geo RAS and ArcGis
- [4] Heywood, Ian. 2000. *An Introduction to Geographical Information System Second Edition*. Prentice Hall. New Jersey
- [5] Husni, Sabar. *Catatan Kuliah Waduk dan Tenaga Air*. Bandung: ITB
- [6] International Hydrological Decade 6. 1975. A united state of contributions to the International Hydrological Decade
- [7] Istiarto. 2014. *Modul Pelatihan Simulasi Aliran 1-Dimensi dengan Bantuan Paket Program Hidrodinamika HEC-RAS*. Yogyakarta: UGM
- [8] Kodoatie Robert J dan Sjarief Roestam. 2005. *Pengelolaan Sumberdaya Air Terpadu*. Yogyakarta: Andi
- [9] Mulyanto, H.R. 2007. *Sungai Fungsi & Sifat-Sifatnya*. Yogyakarta: Graha Ilmu
- [10] Prahasta. Eddy. 2002. *Sistem Informasi Geografis, Konsep - Konsep Dasar Informasi Geografis*. Bandung. Informatika Bandung
- [11] Soemarto C,D., 1987. *Hidrologi Teknik*. Penerbit Usaha Nasional. Surabaya
- [12] Soewarno. 1995. *Hidrologi, Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*. Penerbit Nova. Bandung
- [13] Strahler Arthur N dan Strahler Alan H. 1976. *Elements of Physical Geography*. New York: John Wiley & Sons
- [14] Sudjarwadi. 1987. *Teknik Sumberdaya Air*. Yogyakarta: UGM-Press
- [15] Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi
- [16] Triatmodjo Bambang. 2014. *Hidrologi Terapan*. Beta offset Yogyakarta. Yogyakarta
- [17] US Army Corps of Engineers. 1998. *HEC-RAS river Analysis System*. Washington DC