PEMODELAN FLUSHING SEDIMEN BENDUNG LODOYO DENGAN MENGGUNAKAN SEDIMENT SIMULATION IN INTAKE WITH MULTIBLOCK OPTION (SSIIM 2)

SKRIPSI

TEKNIK PENGAIRAN KONSENTRASI SISTEM INFORMASI SUMBER DAYA AIR

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik



UNIVERSITAS BRAWIJAYA FAKULTAS TEKNIK MALANG 2018

DAFTAR ISI

T7 A FT	A DE	Halan	
		NGANTAR	1
		ISI	
		TABEL	
		GAMBAR	
		LAMPIRAN	
		SAN	хi
BAB	I PE	NDAHULUAN	
		Latar Belakang	1
		Identifikasi Masalah	
		Rumusan Masalah	
	1.4.	Datasan nasanan	3
		Tujuan dan Manfaat	3
BAB	II TI	Tujuan dan Manaat	
	2.1.	Transportasi Sedimen	5
		2.1.1. Klasifikasi Angkutan Sedimen	7
	2.2.	2.1.1. Klasifikasi Angkutan Sedimen	7
		2.2.1. Bentuk Endapan Di Waduk	8
	2.3.	Flushing (Penggelontoran)	9
		2.3.1. Klasifikasi <i>Flushing</i>	10
	2.4.	Program Komputer SSIIM	10
		2.4.1. Overview Program Komputer SSIIM	11
		2.4.2. Teori Dasar Program Komputer SSIIM	12
		2.4.2.1. Perhitungan Aliran Air	12
		2.4.2.2. Perhitungan Transprtasi Sedimen	14
		2.4.3. Grid	14
		2.4.4. Input File SSIIM 2	16
		2.4.5. Output File SSIIM 2	17
		2.4.6. <i>Control</i> File dan <i>Timei</i> File	
		2.4.7. Langkah Membuat Grid	18
		2.4.7.1. <i>Input</i> File Geodata ke dalam SSIIM 2	
		2.4.8. Simulasi Velocity Vector	
		2.4.9. Simulasi Sedimen	
		2.4.10. Kalibrasi Pada Model SSIIM 2	
BAR	III N	METODOLOGI	_0
		Lokasi Obyek Studi	27
	3.2.	•	
		3.2.1. Data Teknis Bendung Lodoyo	
	3.3.	Flushing (penggelontoran) pada Bendung Lodoyo	
	3.4.	Operasi Bendung Lodoyo	

	3.4.1. Operasi Pengaturan Air	31
3	5.5. Langkah-Langkah Studi	35
BAB I	V METODOLOGI	
4	.1. Analisa Pemodelan Numerik Program SSIIM	39
4	.2. Proses Running Pada Program SSIIM	43
4	.3. Hasil Pemodelan	52
	4.3.1. Kalibrasi Model	52
	4.3.2. Volume Gerusan	68
	4.3.3. Kesalahan Relatif	68
BAB V	KESIMPULAN	
5	.1. Kesimpulan	75
5	22. Saran	75

DAFTAR PUSTAKA LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul Halan	man
Tabel 4.1.	Data koordinat dan elevasi waduk Bendung Lodoyo tahun 2016	39
Tabel 4.2.	Data Sedimen Bendung Lodoyo tahun 2015	40
Tabel 4.3.	Data Sedimen Bendung Lodoyo Untuk Input Program SSIIM	41
Tabel 4.4.	Data Debit Flushing Bendung Lodoyo 2016	43
Tabel 4.5.	Tabulasi Sebagian Hasil Gerusan Pada Hasil Simulasi SSIIM	68
Tabel 4.6.	Tabulasi Sebagian Hasil Gerusan Pada Pada Kondisi Asli Lapangan	70







DAFTAR GAMBAR

No. Judul H	Ialaman
Gambar 2.1. Angkutan Sedimen pada Penampang Memanjang Saluran	6
Gambar 2.2. Potongan Memanjang Waduk	8
Gambar 2.3. Bentuk Endapan Sedimen di Waduk	9
Gambar 2.4. Grid Orthogonal dan Grid non-orthogonal	15
Gambar 2.5. Non-orthogonal Koordinat Sistem Mengikuti Garis Grid	
Gambar 2.6. Grid Terstruktur dan Grid Tidak Terstruktur	16
Gambar 2.7. File <i>control</i> pada SSIIM	16
Gambar 2.8. File <i>Geodata</i>	18
Gambar 2.9. Program SSIIM dalam satu folder dengan file geodata	18
Gambar 2.10. Tampilan awal SSIIM 2	
Gambar 2.11. Tampilan jendela grid editor	19
Gambar 2.12. Tampilan titik koordinat waduk	20
Gambar 2.13. Membuat blocks persegi untuk grid	20
Gambar 2.14. Layar grid size input	21
Gambar 2.14. Layar grid size input	21
Gambar 2.16. Tampilan grid dengan titik nomovepoints pada sisi atas dan bawah	
Gambar 2.17. Tampilan grid dengan titik nomovepoints yang telah didekatkan pada	
titik koordinat	22
Gambar 2.18. Tampilan grid yang telah selesai	22
Gambar 2.19. Tampilan discharge editor	
Gambar 2.20. Input debit <i>inflow</i>	23
Gambar 2.21. <i>Input debit outflow</i>	24
Gambar 2.22. Tahap komputasi	24
Gambar 2.23. Tampilan hasil komputasi (velocity vector)	25
Gambar 2.24. Tahap komputasi sedimen	25
Gambar 2.25. Tampilan hasil komputasi	26
Gambar 3.1. Peta Lokasi Bendung Lodoyo	
Gambar 3.2. Bendung Lodoyo dilihat dari Google Earth	
Gambar 3.3. Diagram Alir Pengerjaan Skripsi	36
Gambar 3.4. Diagram Alir Pengerjaan Program SSIIM	37
Gambar 4.1. Timei File Bendung Lodoyo	
Gambar 4.2. Sketsa Tampungan Bendung Lodoyo	42
Gambar 4.3. Tampilan Data Koordinat Bendung Lodoyo	44
Gambar 4.4. Tampilan Data Koordinat Bendung Lodoyo Setelah dibuat Grid	
sesuai Batasan Data Koordinat dan Elevasi Waduk	44
Gambar 4.5. Bentuk Dasar Tampungan Bendung Lodoyo Dalam Bentuk Grid	45
Gambar 4.6. Input Debit <i>Inflow</i> Bendung Lodoyo	
Gambar 4.7. Input Debit <i>Outflow</i> Bendung Lodoyo	
Gambar 4.8. Komputasi Waterflow Bendung Lodoyo Sebelum Proses Komputasi	

	Sedimen	46
Gambar 4.9.	Q inflow dan Q outflow pada grid	48
Gambar 4.10.	Batasan grid pada koordinat Bendung Lodoyo	49
Gambar 4.11.	Kontur Tampungan di Bendung Lodoyo Sebelum Flushing (Asli)	50
Gambar 4.12.	Kontur Tampungan di Bendung Lodoyo Setelah Flushing	
	(Hasil SSIIM)	51
Gambar 4.13.	Bed level changes Bendung Lodoyo setelah flushing hasil simulasi	
	SSIIM	53
Gambar 4.14.	Bed level Bendung Lodoyo setelah flushing hasil simulasi SSIIM	54
Gambar 4.15.	Bed level Bendung Lodoyo sebelum flushing	56
Gambar 4.16.	Bed level Bendung Lodoyo setelah flushing hasil pengukuran	
	lapangan	57
Gambar 4.17.	Posisi patok yang akan dijadikan overlay perbandingan perubahan	
	dasar tampungan Bendung Lodoyo	59
Gambar 4.18.	Potongan Melintang Patok LD 1	60
Gambar 4.19.	Potongan Melintang Patok LD 2	62
Gambar 4.20.	Potongan Melintang Patok LD 3	64
Gambar 4.21.	Potongan Melintang Patok LD 4	66

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul	Halam	an
Lampiran 1.	Control file pada SSIIM		77
Lampiran 2.	Grafik hubungan antara ukuran sedimen dan kecepatan jatuh		78
Lampiran 3.	Dokumentasi pelaksanaan <i>flushing</i> di Bendung Lodovo	,,,,,,,,	79







KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur ke hadirat Allah Tuhan Maha Tinggi lagi Maha Kaya IlmuNya, yang telah memberikan limpahan barokah ilmu dan rahmatNya kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Skripsi dengan baik.

Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini.

- 1. Bapak Dr. Very Dermawan, ST, MT dan Bapak Prima Hadi Wicaksono, ST., MT selaku dosen pembimbing dalam penyelesaian skripsi.
- 2. Bapak Dr. Runi Asmaranto., ST., MT dan Ibu Dr. Eng. Evi Nurcahya, ST., MT. selaku dosen penguji yang bersedia meluangkan waktu untuk menguji hasil studi skripsi.
- 3. Ibu Dr. Ir. Ussy Andawayanti, MS. Selaku Ketua Jurusan Teknik Pengairan Universitas Brawijaya.
- 4. Bapak Fahmi Hidayat, ST., MT yang banyak membantu dalam penyediaan data-data lapangan serta memberikan saran dan masukan.
- Kedua orang tua, kakak, adik, seluruh keluarga dan kerabat terdekat, atas doa dan dukungannya.
- 6. Nidaurrahma yang telah memberikan saran dan semangat dalam proses penyelesaian skripsi ini
- 7. Himpunan Mahasiswa Pengairan periode 2014-2015 yang telah membantu berjuang dalam melaksanakan tugas.
- 8. Bobly, Rahmat, Yusuf, Aswin, Pamungkas, Fakhri, Ryan, Imam, dan Sandi atas 3 tahun kebersamaannya di Kontrakan Tata Surya & Joyogrand
- 9. Teman-teman Teknik Pengairan 2011 yang telah memberikan masukan-masukan kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa laporan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, meskipun penulis sudah berusaha sebaik mungkin. Untuk itu, penulis sangat menanti tanggapan, kritik, dan saran yang bersifat membangun dari berbagai pihak atas penyempurnaan laporan skripsi ini. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Agustus 2018





RINGKASAN

Muh. Anugrah Dwiguna, Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2018. Pemodelan *Flushing* Sedimen Bendung Lodoyo dengan Menggunakan *Sediment Simulation In Intake with Multiblock Option* (SSIIM 2). Dosen Pembimbing: Dr. Very Dermawan, ST., MT. dan Prima Hadi Wicaksono, ST., MT.

Bendung Lodoyo merupakan salah satu bendung yang mempunyai tipe sebagai bendung gerak. Bendung Lodoyo mempunyai fungsi sebagai PLTA, pengendali banjir, pariwisata, yang membuat Bendung Lodoyo menerima banyak sedimen mengendap di daerah tampungannya. Sehinnga perlu adanya penanganan untuk menghilangkan atau mengurangi endapan sedimen yang ada pada Bendung Lodoyo. Salah satu caranya dengan melakukan penggelontoran (*flushing*) sedimen.

Pemodelan *flushing* Bendung Lodoyo dilakukan untuk mengetahui bagaimana besaran kondisi sedimentasi pada Bendung Lodoyo sebelum dan sesudah adanya penggelontoran sedimen (*flushing*). Dan dapat dilakukan perbandingan hasil volume gerusan total dari pemodelan menggunakan model *Sediment Simulation In Intake with Multiblock option* (SSIIM) dengan kondisi asli di lapangan.

Dari hasil pemodelan menggunakan *Sediment Simulation In Intake with Multiblock option* (SSIIM) yang telah dilakukan, menunjukkan volume gerusan total di lapangan sebesar 143.449,259 m³ dan pada pemodelan SSIIM sebesar 129.226,630 m³ dengan kesalahan relatif sebesar 9,94%.

Kata kunci: Penggelontoran Sedimen, Pemodelan Penggelontoran Sedimen, SSIIM



SUMMARY

Muh. Anugrah Dwiguna, Department of Water Resources Engineering, Faculty of Enggineering, University of Brawijaya, August 2018. Modelling of Sediment Flushing in Lodoyo Dam by Using Sediment Simulation in Intake with Multiblock Option (SSIIM 2). Academic Supervisor: Dr. Very Dermawan, ST., MT. and Prima Hadi Wicaksono, ST., MT.

Lodoyo Dam is a dam that has a type as a barrage. Lodoyo Dam has a function as a hydropower, flood controller, tourism, which makes Lodoyo Dam receive a lot of sediment deposit in its reservoir area. There should have been treatment to eliminate or reduce sediment deposits in Lodoyo Dam. One of the ways is by flushing sediments.

Flushing modelling of Lodoyo Dam was conducted to find out how the amount of sedimentation conditions in Lodoyo Dam was before and after flushing. And we can compare the results of the total scour volume from the modelling using the Sediment Simulation In Intake with Multiblock option (SSIIM) model with the original conditions in the field.

From the modelling results using the Sediment Simulation In Intake with Multiblock option (SSIIM) that has been carried out, shows total scour volume in the field of 143,449.259 m³ and SSIIM modeling of 129,226,630 m³ with a relative error of 9.94%.

Keywords: Sediment Flushing, Modeling Sediment Flushing, SSIIM.



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Air merupakan salah satu kebutuhan yang penting bagi kehidupan manusia. Pengelolaan sumber daya air yang optimal sangat diperlukan untuk peningkatan kualitas hidup masyarakat Indonesia. Banyak hal yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan sumber daya air. Potensi kekayaan sumber daya air di Indonesia cukup besar, ini dapat dilihat dari banyaknya sungai yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia. Sungai Brantas adalah sungai terbesar kedua di Pulau Jawa setelah Sungai Bengawan Solo, dengan panjang 320 Km mengalir melingkari sebuah gunung berapi yang masih aktif yaitu Gunung Kelud dan mempunyai daerah pengaliran seluas 12.000 Km². Curah hujan ratarata mencapai 2.000 mm per-tahun dan dari jumlah tersebut sekitar 85% jatuh pada musim hujan. Potensi air permukaan pertahun rata-rata 12 miliar m³. Potensi yang termanfaatkan sebesar 2,6-3,0 miliar m³ per-tahun. Sepanjang aliran Sungai Brantas ini membawa banyak sedimentasi, dimana sedimentasi tersebut akan masuk ke dalam tampungan suatu bendungan maupun bendung.

Bendung adalah bangunan yang dibangun melintang sungai yang berfungsi untuk menaikkan muka air sungai, menaikkan tinggi tekan sehingga mudah dimanfaatkan untuk keperluan irigasi. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia 03-2401-1991 tentang pedoman perencanaan hidrologi dan hidraulik untuk bangunan di sungai adalah bangunan ini dapat didesain dan dibangun sebagai bangunan tetap, bendung gerak, atau kombinasinya. Dan harus dapat berfungsi untuk mengendalikan aliran dan angkutan muatan di sungai sedemikian sehingga dengan menaikkan muka airnya, air dapat dimanfaatkan secara efisien sesuai dengan kebutuhannya.

Bendung Lodoyo merupakan salah satu bendung yang mempunyai tipe sebagai bendung gerak (*barrage*). Masalah yang sering di hadapi pada bendung adalah adanya sedimentasi pada bendung tersebut. Begitu pula dengan Bendung Lodoyo yang merupakan bangunan *longstorage* yang mempunyai tampungan sedimen. Sedimen yang diangkut oleh sungai akibat erosi di daerah pengalirannya akan mengendap dan akan berpengaruh terhadap umur tampungan Bendung Lodoyo tersebut. Pada perencanaan pembangunan

suatu tampungan telah diperhitungkan umur rencananya, tetapi karena terjadi kerusakan-kerusakan di daerah aliran sungainya, maka akan mengakibatkan perubahan umur tampungan tersebut. Sampai sekarang masalah sedimentasi akan selalu timbul apabila ada pembangunan bendung. Sedimentasi yang terjadi di tampungan Bendung Lodoyo tidak mungkin dihilangkan sama sekali melainkan hanya dikurangi jumlahnya.

1.2. Identifikasi Masalah

Bendung Lodoyo mempunyai fungsi sebagai PLTA, pengendali banjir, perikanan darat dan pariwisata, serta sebagai pengatur debit air (afterbay) PLTA Wlingi Raya. Hal ini membuat Bendung Lodoyo menerima banyak sedimen dan mengendap di daerah tampungannya. Apalagi ketika penggelontoran sedimen (flushing) dilakukan di Waduk Wlingi, maka secara otomatis sedimen buangan akan terbawa sampai ke Bendung Lodoyo dan akan menambah endapan sedimen di tampungan. Salah satu cara untuk menangani permasalahan sedimen ini adalah dengan melakukan penggelontoran sedimen (flushing) pada Bendung Lodoyo agar dapat membuang sedimen yang mengendap pada tampungan. Setelah adanya penanganan dengan cara penggelontoran (flushing) perlu adanya kajian pada kondisi sedimentasi di Bendung Lodoyo akibat pengelontoran (flushing). Untuk mengetahui seberapa besar kondisi sedimentasi tersebut, akan membutuhkan waktu yang cukup lama dan biaya yang tidak murah sehingga untuk memudahkan kita mengetahui kondisi sedimentasi di Bendung Lodoyo maka perlu adanya kajian dengan suatu alat bantu, yaitu menggunakan Program Komputer Sediment Simulation In Intake with Multiblock option (SSIIM).

Program komputer Sediment Simulation In Intake with Multiblok option adalah model numerik 3 dimensi untuk menghitung gerusan dan sedimen dari sungai hingga ke waduk yang didesain oleh Prof. Nils Reidar B. Olsen seorang akademisi dari Departement Hydraulic and Environmental Engineering, NTNU (Norwegian University of Science and Technology). Model numeris memberikan hasil yang merupakan sebuah prediksi dari kondisi asli pada model fisik.

1.3. Rumusan Masalah

Setelah melihat pembahasan diatas dapat ditemukan rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana hasil perubahan dasar sedimen di Bendung Lodoyo dan pola sebaran sedimen setelah adanya penggelontoran (*flushing*) dengan menggunakan program komputer *Sediment Simulation In Intake with Multiblock Option* (SSIIM)?

2. Bagaimana perbandingan volume gerusan pada tampungan di Bendung Lodoyo sebelum dan sesudah simulasi penggelontoran (*flushing*)?

1.4. Batasan Masalah

Pada pembahasan skripsi ini menitikberatkan pada pembahasan analisa sedimen, sehinga perlu dibuat batasan masalah, yaitu:

- 1. Pemodelan sedimentasi dilakukan dengan menggunakan program komputer Sediment Simulation In Intake with Multiblok option (SSIIM) versi 2.
- 2. Data yang digunakan adalah data sedimen yang merupakan data yang diambil dan diuji di laboratorium oleh Perum Jasa Tirta 1, data koordinat x,y,z yang merupakan hasil dari *echosounding* yang dilakukan oleh Perum Jasa Tirta 1, data debit yang diambil oleh Perum Jasa Tirta 1.
- 3. Hasil analisa berupa kontur sedimen yang didapat dari hasil simulasi SSIIM yang nantinya akan menjadi perbandingan sedimen sebelum dan sesudah adanya *flushing*.

1.5. Tujuan

- Mengetahui hasil perubahan dasar sedimen dan pola sebaran sedimen di Bendung Lodoyo setelah adanya penggelontoran (flushing) dengan menggunakan program komputer Sediment Simulation In Intake with Multiblock Option (SSIIM).
- 2. Mengetahui perbandingan volume gerusan pada tampungan di Bendung Lodoyo sebelum dan sesudah simulasi penggelontoran (*flushing*).

1.6. Manfaat

Manfaat dalam laporan skripsi ini adalah untuk mendapatkan informasi tentang efektivitas penggelontoran sedimen (*flushing*) yang dilakukan sehingga bisa digunakan untuk landasan atau pedoman pelaksanaan *flushing* dimasa yang akan datang.





BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Transportasi Sedimen

Sedimen adalah partikel kecil, seperti pasir, kerikil, tanah liat, dan lumpur. Air di sungai memiliki kapasitas alami mengangkut sedimen, mengingat struktur kecepatan, kedalaman, karakter sedimen dan lain-lain buatan dalam sungai dapat mengubah kapasitas angkutan sedimen selama menjadi bagian dari sungai. Sedimen menyebabkan banyak masalah ketika pembangunan pembangkit listrik tenaga air dan proyek irigasi di negaranegara tropis. Asal sedimen bervariasi sesuai dengan iklim yang berbeda. Dalam negara tropis, batu terurai secara alami.

Air yang berasal dari hujan dan temperatur mengalami fluktuasi, mengalami reaksi kimia secara bersamaan dan menyebabkan retak pada batu. Pelapukan menyebabkan lapisan partikel yang akan dibentuk di atas batuan padat. Partikel yang dekat dengan permukaan memiliki pembongkaran yang panjang untuk pelapukan, dan memiliki butir terkecil. Batu yang lebih besar terbentuk lebih dekat dengan batuan dasar. Seiring waktu, partikel halus dihapus oleh hujan yang menyebabkan erosi batu. Proses ini relatif lambat, karena tutupan vegetasi mencegah erosi lebih cepat. Namun ketika vegetasi tersebut dihilangkan, maka akan mempercepat proses erosi.

Transportasi sedimen merupakan pengetahun yang bertujuan untuk mengetahui suatu sungai dalam keadaan tertentu apakah terjadi penggerusan (*degradasi*), pengendapan (*aggradasi*) atau mengalami angkutan seimbang (*equilibrium transport*), dan untuk memperkirakan kuantitas yang terangkut dalam proses tersebut (Priyantoro, 1987, p.1)

Keadaan-keadaan yang menetukan pengangkutan sedimen:

- 1. Sifat-sifat aliran
- 2. Sifat-sifat sedimen
- 3. Pengaruh timbal balik (*inter-action*)

a. Keseimbangan (Equillibrium)

Sungai disebut dalam keadaan seimbang jika sedimen yang melewati suatu penampang sungai tetap, atau dengan kata lain debit sedimen (sediment discharge) yang masuk sama dengan debit sedimen yang keluar didalam suatu satuan waktu.

6

Dalam keadaan dimana jumlah sedimen yang masuk sama dengan yang keluar didalam satu satuan waktu disebut "Debit Sedimen Seimbang" (Q_{se}) (Priyantoro, 1987:1)

b. Pengendapan (Agradasi)

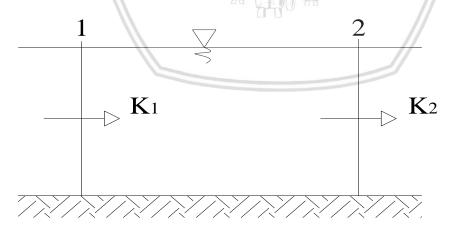
Aggradasi adalah suatu keadaan dimana debit sediman yang masuk (Q_s) lebih besar dari debit sedimen seimbang (Q_{se}) dalam satu satuan waktu. Proses aggradasi ini akan mengurangi kemiringan dasar sungai (pendangkalan) dan mungkin akan menyebabkan terjadinya proses pelebaran sungai.

Sebagai contoh dari proses aggradasi ini adalah:(Priyantoro, 1987, p.2):

- 4. Aggradasi di hulu bangunan bendung/bendungan
- 5. Aggradasi di pertemuan anak sungai dengan sungai induk
- **6.** Aggradasi di muara sungai (delta)
- 7. Aggradasi di hulu bangunan-bangunan pengatur sungai (check dam, sabo dam)

c. Penggerusan (Degradasi)

Degradasi adalah suatu keadaan dimana debit sedimen yang masuk (Q_s) lebih kecil dari debit sedimen seimbang (Q_{se}) dalam satu satuan waktu. Proses ini akan menyebabkan terjadinya penurunan elevasi dasar sungai, sehingga kemiringan dasar sungai akan semakin curam. Peristiwa ini biasanya terjadi pada hilir bangunan bendung atau bendungan atau bangunan-bangunan pengatur sungai. (Priyantoro, 1987, p.2).



Gambar 2.1. Angkutan sedimen pada penampang memanjang saluran Sumber: Priyantoro (1987, p.1)

- a. Bila K1 < K2 Maka terjadi penggerusan
- b. Bila K1 < K2 maka terjadi penggerusan

c. Bila K1 = K2 maka keadaan pengangkutan sembang

K = Kapasitas pengangkutan

2.1.1 Klasifikasi Angkutan Sedimen

Pada dasarnya sedimen yang terangkut oleh aliran dapat diklasifikasikan sebagai berikut:(Priyantoro, 1987, p.3)

1. Wash Load (Muatan Cuci), yaitu Partikel yang sangat halus bergerak melayang di bagian atas aliran dan tidak mengendap di dasar sungai.

7

- 2. Suspended Load (Muatan Layang), yaitu partikel yang bergerak dalam pusaran aliran yang cenderung terus-menerus melayang dengan aliran.
- 3. *Bed Load* (Muatan Dasar), yaitu partikel yang bergerak pada dasar sungai dengan cara berguling, meluncur dan meloncat.

Muatan dasar (*Bed load*) keadaannya selalu bergerak, oleh sebab itu pada sepanjang aliran dasar sungai selalu terjadi proses degradasi dan aggradasi yang disebut sebagai "Alterasi Dasar Sungai". Muatan layang (*Suspended Load*) tidak terpengaruh terhadap alterasi, tetapi dapat mengendap di muara-muara sungai atau pun dasar waduk yang dapat menimbulkan pendangkalan dan akhirnya menyebabkan berbagai masalah.(Priyantoro, 1987, p.3).

2.2 Sedimentasi di Waduk

Sedimen terdiri dari fragmen batuan dan mineral yang dipecah erosi atau pelapukan, dan selanjutnya diangkut oleh air, angin, atau es. Sedimen memiliki kepadatan lebih tinggi dari air dan karena itu sedimen akan tenggelam di dalam air. Di sungai, sedimen akan terpengaruh oleh aliran air dan turbulensi. Sedimen dibawa oleh sungai baik sebagai muatan layang maupun muatan dasar. Kapasitas transportasi sedimen tergantung pada debit sungai. Kecepatan air yang tinggi menyebabkan sedimen lebih banyak terbawa. Ketika kecepatan air menurun, sedimen terberat akan menetap.(Hoven, 2010, p.3)

Proses transportasi sedimen dapat menyebabkan masalah untuk waduk. Anak sungai membawa sedimen masuk ke dalam waduk. Dalam waduk kecepatan air sangat rendah, hal ini mengurangi kapasitas transportasi sedimen, sebagian sedimen menetap dan terjebak dalam waduk. Muatan dasar dan sedimen kasar akan segera mengendap, sedangkan fraksi halus diangkut lanjut ke dalam waduk. Efisiensi penangkapan waduk besar dimana kecepatan air sangat rendah akan mendekati 100%, yang berarti bahwa semua sedimen yang masuk ke dalam waduk akan mengendap. Seiring waktu, perangkap sedimen di waduk akan menyebabkan penurunan signifikan pada volume waduk. Jika tidak ditangani,

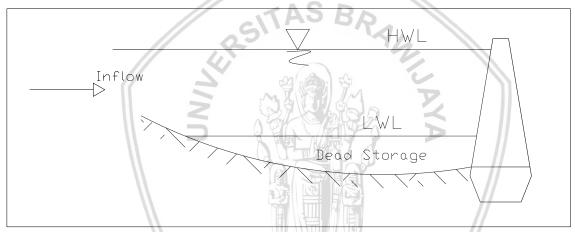
8

pengendapan sedimen dapat menyebabkan waduk benar- benar terisi dengan sedimen dan volume tampungan waduk akan berkurang.(Hoven, 2010, p.3).

Dalam desain bendungan perlu untuk menilai berapa besarnya sedimen yang masuk dalam waduk, permasalahan ini dapat dibagi menjadi 2 bagian:

- 1. Berapa banyak sedimen yang masuk dalam waduk
- 2. Apakah tampungan waduk efisien

Ukuran partikel sedimen juga harus ditentukan untuk mengetahui berapa banyak sedimen yang masuk ke dalam waduk. Untuk tampungan waduk efisien juga perlu dilibatkan lokasi dan distribusi butir sedimen yang masuk dalam waduk. Lokasi sedimentasi ditunjukan oleh gambar di bawah ini. Terdapat tampungan mati yang berada di bawah tingkat terendah air di waduk. Tampungan mati ini tidak mengganggu pengoperasian dari waduk.



Gambar 2.2. Potongan memanjang waduk

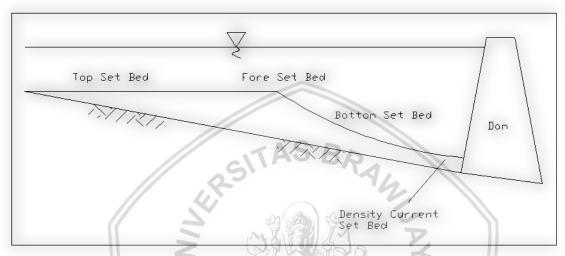
Sumber: Olsen (2012, p.119)

2.2.1. Bentuk Endapan di Waduk

Endapan sedimen di waduk terdiri dari 4 lapisan, yaitu:

- Fore set beds, lapisan sedimen seperti ini akan terbentuk apabila muatan sedimen yang terbawa aliran adalah sedimen kasar. Material ini akan mengendap pada waduk bagian hulu dimana kemiringan akan searah dengan aliran
- 2. *Top set beds*, akibat terbentuknya lapisan *fore set beds*, maka aliran air pada waduk bagian hulu akan tertahan, sehingga kecepatan aliran akan berkurang. Hal ini disebabkan kemiringan dasar dari waduk bagian hulu semakin melandai.

- 3. *Bottom set beds*, lapisan ini terbentuk atas sedimen halus yang terbawa aliran. Lapisan ini umumnya cukup tipis dan tergantung atas banyaknya konsentrasi sedimen dalam air. Sejumlah partikel yang berukuran sangat halus bahkan tidak mengendap karena terbawa aliran keluar waduk.
- 4. *Density current set beds*, lapisan ini adalah lapisan dengan partikel yang halus yang diangkut sepanjang dasar sungai dan diendapkan dekat waduk.



Gambar 2.3. Bentuk endapan sedimen di waduk

Sumber: Priyantoro (1987, p.87)

Sedimen yang terangkut masuk ke dalam waduk tidak selalu diendapkan pada dasar waduk yang paling rendah. Sedimen dengan ukuran butiran yang lebih besar akan terendapkan pada waduk sebelah hulu dibandingkan dengan sedimen yang memiliki butiran yang lebih halus.

Pola distribusi sedimen di waduk dipengaruhi oleh:

- a. Jenis muatan sedimen
- b. Ukuran dan bentuk waduk
- c. Lokasi dan ukuan outlet

2.3. Flushing (Penggelontoran)

Pengendapan sedimen adalah masalah utama yang mempengaruhi masa guna waduk. Untuk menghindari waduk kehilangan kapasitasnya, tindakan harus diambil. Sebuah metode yang umum digunakan adalah *flushing* waduk. Dalam proses *flushing* pintu bendungan dibuka dan tingkat air diturunkan. Hal ini menyebabkan peningkatan kecepatan air di waduk yang akan mendorong air untuk mengikis sedimen dan mengangkut sedimen keluar dari waduk. Air dengan konsentrasi sedimen sangat tinggi dilepaskan dari waduk. Dengan secara teratur *flushing* waduk, akumulasi sedimen dapat

10

dihindari atau setidaknya menurun. Biasanya, waduk dengan masalah sedimen di *flushing* setiap tahun.

2.3.1 Klasifikasi Flushing

Menurut Morris (1998, p.15.9) secara umum *flushing* dapat diklasifikasikan kedalam dua kategori yaitu *Empty or Free-flow Flushing* dan *Flushing with Pertial Drawdown*.

a. Empty or Free-flow Flushing (Penggelontoran dengan pengosongan waduk atau pengaliran bebas)

Yaitu *flushing* yang dilaksanakan dengan cara mengosongkan air waduk, sedangkan aliran air sungai tetap dipertahankan masuk ke dalam waduk, untuk selanjutnya digunakan sebagai penggelontor sedimen keluar waduk melalui *bottom outlet*. Waktu pelaksanaanya ada dua cara, yaitu:

- 1. *Empty Flushing during Flood Season*, *flushing* dilaksanakan pada saat musim hujan atau musim basah.
- 2. *Empty Flushing During Non Flood*, *flushing* dilaksanakan pada saat musim kemarau atau musim kering.

b. Flushing With Partial Drawdown (Penggelontoran dengan penurunan muka air sebagian)

Yaitu penggelontoran sedimen dengan cara elevasi air waduk dipertahankan dalam keadaan tinggi, endapan sedimen diarahkan keluar waduk melalui *bottom outlet*. Dalam pelaksanaanya ada 2 macam cara, yaitu:

- Pressure Flushing, dimana pada saat flushing dilaksanakan elevasi air waduk diturunkan ke elevasi paling rendah yang diijinkan (Minimum Operation Level)
- 2. Flushing With High-Level Outlet, dimana flushing dilaksanakan dengan membuat tanggul air di waduk untuk menaikkan endapan sedimen ke High Level Bypass Channel yang elevasinya lebih tinggi dari elevasi intake.

2.4. Program Komputer SSIIM

SSIIM adalah singkatan untuk *Sediment Simulation In Intake with Multiblock Option*. Program ini dibuat untuk digunakan di sungai, lingkungan, *hydraulic*, dan sedimentasi. Tujuan utama dari pembuatan program ini adalah untuk mensimulasikan gerakan sedimen di sungai. Namun hal ini terbukti sulit untuk dilakukan dalam studi model fisik untuk sedimen halus. Kemudian, penggunaan program ini diperluas ke topik rekayasa hidrolik

11

lainnya, misalnya pemodelan katup, kehilangan tinggi tekan di saluran, hubungan tahapdebit di sungai, serta arus kekeruhan.

Kelebihan utama SSIIM dibandingkan dengan program lain CFD (*Computational Fluid Dynamic*) adalah kemampuan pemodelan transportasi sedimen dengan dasar bergerak dalam geometri yang kompleks. Ini termasuk beberapa ukuran sedimen, menyortir, muatan dasar dan muatan layang, bentuk dasar dan efek dari kemiringan dasar. Modul terbaru untuk pembahasan dan pengeringan di grid terstruktur lebih memungkinkan pemodelan geomorfologi secara kompleks.

Selama bertahun-tahun, SSIIM juga telah digunakan untuk studi habitat di sungai, terutama untuk ikan salmon. Di tahun-tahun terakhir, ganggang mengalir bebas juga telah dimodelkan, sebagai bagian dari memperluas model untuk digunakan dalam rekayasa kualitas air. Namun, fokus utama SSIIM adalah pada transportasi sedimen.

2.4.1. Overview Program Komputer SSIIM

Program SSIIM memecahkan persamaan Navier-Stokes dengan k-ε Model pada jaringan non-orthogonal tiga-dimensi. Metode *control volume* digunakan untuk diskritisasi, bersama dengan skema power-law atau skema upwind di urutan kedua. Metode SIMPLE yang digunakan untuk tekanan.. Kecepatan digunakan ketika memecahkan persamaan konveksi-difusi untuk ukuran sedimen yang berbeda. Hal ini memberikan efisiensi perangkap dan pola pengendapan sedimen.

Ada dua versi utama SSIIM: SSIIM 1 dan SSIIM 2. SSIIM 1 menggunakan grid terstruktur dan SSIIM 2 menggunakan grid unstruktur. Dalam grid terstruktur, setiap sel akan memiliki tiga indeks, sehingga mudah untuk mengidentifikasi lokasi grid. Lokasi dinding dan *inflow / outflow* permukaan kemudian ditentukan dalam file *input*, dimana indeks jaringan termasuk dalam kumpulan data, sedangkan dalam grid *unstructured* ini tidak mungkin, karena sel-sel jaringan hanya memiliki satu indeks, yaitu hampir secara acak. Pengguna kemudian harus menentukan inflow dan outflow daerah oleh penggunaan editor debit grafis. Editor ini tidak ada untuk versi jaringan terstruktur.

Setiap program dibagi dalam dua modul: *user interface* dan algoritma numerik. Program ini juga dapat dikompilasi untuk berjalan dengan atau tanpa DLL (*Dynamic Link Library*).

2.4.2. Teori Dasar Program Komputer SSIIM

2.4.2.1 Perhitungan Aliran Air

A. Persamaan Navier-Stokes

Persamaan Navier-Stokes untuk aliran turbulen dalam geometri tiga dimensi umum dipecahkan untuk mendapatkan kecepatan air. Model K- ε digunakan untuk menghitung turbulensi tegangan geser. Sebuah model turbulensi sederhana dapat digunakan.

Persamaan Navier-Stokes untuk aliran kepadatan non-kompresibel dan konstan dapat dimodelkan sebagai:

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{\iota}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} \left(-P \delta_{ij} - \overline{\rho u_i u_j} \right) \dots (2-1)$$

dengan:

12

U_i = Kecepatan lokal

 x_i = Dimensi ruang

 δ_{ii} = Kronecker delta

 ρ = massa jenis air

P = tekanan

u_i = kecepatan rata-rata

Istilah kiri di sisi kiri persamaan $\left(\frac{\partial U_i}{\partial t}\right)$, adalah istilah transient. Istilah berikutnya $\left(U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j}\right)$, adalah istilah konvektif. Istilah pertama di sisi kanan $\left(\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j}\right)$, adalah istilah tekanan. Istilah kedua pada sisi kanan persamaan $\left(-P\delta_{ij} - \overline{\rho u_i u_j}\right)$, adalah istilah tegangan Reynolds. Untuk mengevaluasi istilah ini, model turbulensi diperlukan.

Untuk model istilah tegangan Reynolds, konsep *eddy viscosity* seperti yang diperkenalkan oleh pendekatan Boussinesq yang digunakan:

$$\overline{-u_i u_j} = v_T \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) + \frac{2}{3} \kappa \delta_{ij}$$
 (2-2)

Istilah pertama di sisi kanan persamaan $(\overline{-u_iu_j})$ memebentuk istilah difusi dalam persamaan Navier-Stokes. Istilah yang kedua $(v_T\left(\frac{\partial v_j}{\partial x_i}+\frac{\partial v_i}{\partial x_j}\right))$, sering diabaikan, Istilah ketiga di sisi kanan $(\frac{2}{3}\kappa\delta_{ij})$ dimasukkan ke dalam tekanan. Untuk menghitung *eddy viscosity* menggunakan turbulensi k- ε , persamaan berikut digunakan:

$$V_T = c_\mu \frac{k}{\varepsilon^2} \tag{2-3}$$

k adalah energy kinetic turbulen, yang didefinisikan oleh:

$$\mathbf{k} = \frac{1}{2}\overline{u_i u_i} \tag{2-4}$$

k dimodelkan sebagai:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon$$
 (2-5)

Dimana P_k diberikan oleh:

$$P_k = v_T \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \left(\frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) \dots (2-6)$$

Disipasi k dilambangkan ε , dan dimodelkan sebagai:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{v_T}{\sigma_k} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\varepsilon l} \frac{\varepsilon}{k} P_k + C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k}$$
 (2-7)

Dalam persamaan di atas, c adalah konstanta yang berbeda. Ini tidak dapat diubah oleh pengguna. Model k-ɛ adalah model turbulensi default di SSIIM.

B. Metode SIMPLE

SIMPLE adalah singkatan dari Metode Semi-Implisit untuk Persamaan Tekanan-Linked (Semi-Implisit Method for Pressure-Linked Equations). Tujuan dari metode ini adalah untuk menemukan bidang tekanan yang tidak diketahui. Tujuan utama adalah untuk menebak nilai tekanan dengan menggunakan kerusakan kontuinitas untuk mendapatkan persamaan untuk tekanan koreksi.

Untuk menurunkan persamaan tekanan koreksi, notasi khusus digunakan. Inisial variabel dihitung tidak memenuhi kontuinitas dilambangkan dengan index *. Variabel koreksi dilambangkan dengan index '. variabel setelah koreksi tidak mempunyai superscript. Proses kemudian dapat ditulis:

$$P = P^* + P'$$
(2-8)

$$U_k = U_k^* + U_k^*....(2-9)$$

P adalah tekanan dan U adalah kecepatan. Indeks k menunjukkan arah pada kecepatan dan berjalan dari 1 sampai 3 untuk perhitungan 3D

Mengingat dugaan nilai untuk tekanan versi diskrtitisasi dari persamaan Navier-Stokes adalah:

$$a_p U *_p = \sum_{nb} a_{nb} U *_{nb} + B_{Uk} - \left(A_k^j \frac{\partial P^*}{\partial \xi}\right)$$
 (2-10)

Metode SIMPLE dapat memberikan ketidakstabilan ketika menghitung bidang tekanan. Oleh karena itu, tekanan koreksi sering dikalikan dengan jumlah di bawah kesatuan sebelum menambah tekanan. Jumlah tersebut adalah koefisien relaksasi. Nilai 0,2 sering digunakan.

14

2.4.2.2. Perhitungan Transportasi Sedimen

SSIIM menghitung angkutan sedimen oleh fraksi ukuran. Dalam file kontrol, masingmasing fraksi ditentukan pada kumpulan data S, di mana kecepatan diameter dan jatuh diberikan.

Ada dua metode untuk menentukan aliran sedimen yang masuk dalam control file. Salah satu metode adalah untuk memberikan arus masuk pada I set data dalam kg/s. Sebuah *I* kumpulan data kemudian harus diberikan untuk masing-masing fraksi. Sebuah distribusi konsentrasi sedimen vertikal sesuai dengan Hunter-Rouse Persamaan kemudian akan digunakan. Konsentrasi sedimen ini akan diberikan atas seluruh hulu penampang (i = 1).

Transportasi sedimen secara tradisional dibagi dalam bed load dan suspended load. Suspended load dapat dihitung dengan persamaan konveksi-difusi untuk konsentrasi sedimen, c (Fraksi volume di SSIIM):

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U_j \frac{\partial c}{\partial x_j} + w \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial c}{\partial x_j} \left(\Gamma_T \frac{\partial c}{\partial x_j} \right)...$$
(2-11)

Kecepatan jatuh partikel sedimen dilambangkan w. Koefisien difusi, Γ , diambil dari model k-ε:

$$\Gamma = \frac{v_T}{s_c} \tag{2-12}$$

Sc adalah jumlah Schmidt, set ke 1,0 digunakan sebagai default. Sebuah nilai yang berbeda dapat diberikan dan diatur dalam control file.

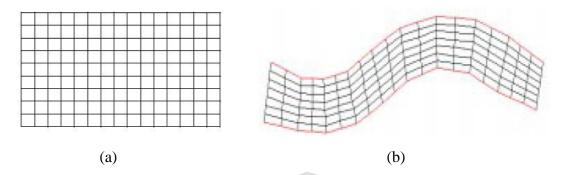
2.4.3. Grid

Langkah pertama dalan pemodelan aliran sedimen di waduk adalah dengan membuat grid pada waduk. Ketika membuat grid, informasi tentang topografi waduk diperlukan. Contohnya adalah data batimetri yang diperoleh dari hasil survey. Untuk SSIIM untuk dapat membaca data topografi, sebuah file yang disebut geodata file harus dibuat.

Grid sendiri dapat diklasifikasikan menurut beberapa karakteristik yaitu:

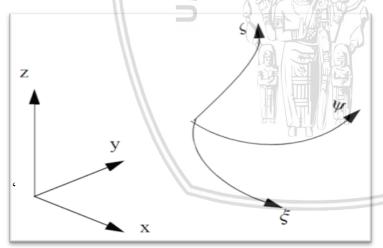
- 1. Bentuk
- 2. Struktur
- 3. Orthogonality
- 4. Blok
- 5. Posisi variabel
- 6. Gerakan grid

Orthogonality dari grid ditentukan oleh sudut antara garis persimpangan grid. Jika sudut adalah 90 derajat, grid adalah orthogonal. Jika berbeda dari 90 derajat maka grid non-ortogonal.



Gambar 2.4. Grid orthogonal (a) dan Grid non orthogonal (b) Sumber: Olsen (2000:8)

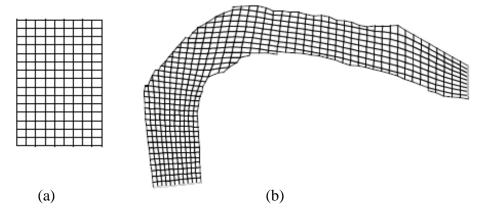
Untuk grid non orthogonal, sebuah sistem non orthogonal sering digunakan untuk menurunkan istilah dalam persamaan. Koordinat kemudian mengikuti garis grid dari grid terstruktur. Tiga koordinat garis non-orthogonal sering disebut ξ , ψ , ζ , sesuai dengan x, y, dan z dalam sistem koordinat orthogonal. Hal ini ditunjukkan pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.5. Non-ortogonal koordinat sistem mengikuti garis grid Sumber: Olsen (2000, p.9)

Grid dapat terstruktur dan non-terstruktur. Seringkali grid terstruktur digunakan dalam metode volume terbatas dan grid non-terstruktur digunakan dalam metode elemen terbatas. Namun ini tidak selalu terjadi. Gambar dibawah ini menunjukkan grid terstruktur dan non-terstruktur. Dalam grid terstruktur mungkin untuk membuat susunan 2 dimensi indeks grid sel.



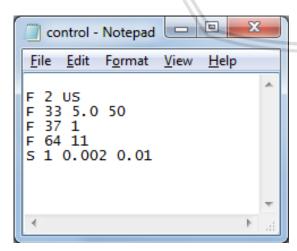


Gambar 2.6. Grid terstruktur (a) dan grid non terstruktur (b)

Sumber: Olsen (2000, p.9)

2.4.4. *Input* File SSIIM 2

Ada beberapa input data dalam SSIIM, yang pertama membuat grid. Dalam membuat grid diperlukan sebuah file *geodata*. Ketika grid telah selesai dibuat, semua data yang berhubungan dengan grid akan tersimpan di dalam program SSIIM 2 dengan nama *unstruc*. Untuk menjalankan program diperlukan seduah data yang yang disebut *control*. Di dalam data ini terdapat semua yang berhubungan dengan parameter untuk melakukan simulasi. Dalam file ini terdapat parameter fisik seperti tinggi muka air (*water level*), debit dan faktor faktor lain (*discharge and friction factors*), namun terdapat juga parameter seperti lama pengaliran (*time step*), nomor-nomor dari iterasi (*number of iterations*) dan parameter-parameter lain yang diperlukan dalam program ini. Data *control* sederhana dapat dilihat dalam gambar berikut.



Gambar 2.7 File control pada SSIIM

Sumber: Hoven (2010, p.23)

Pada gambar di atas dapat dilihat set data yang terdapat pada *control*, set data yang pertama adalah F 2, ini adalah set data yang berfungsi memberi opsi untuk menjalankan program, U berfungsi untuk membaca data *unstruc*, dan S untuk melakukan perhitungan sedimen. Dengan memasukan data set U dan S tersebut maka program SSIIM akan secara otomatis membaca data *unstruc* dan akan memulai sumulasi sedimen ketika program dijalankan. Selanjutnya adalah set data F 33, adalah parameter aliran air sementara. F 33 berisi waktu pengaliran dan nomer dari iterasi tiap waktu. Pada gambar di atas terlihat waktu pengaliran 5 detik dan 50 inner iterasi per waktu pengaliran. Untuk melakukan perhitungan simulasi sedimen dibutuhkan sebuah data yang bernama *timei*. Parameter-parameter yang terdapat dalam data ini adalah tinggi muka air, debit, dan konsentrasi sedimen.

2.4.5. Output File SSIIM 2

Setelah berhasil melakukan simulasi, hasilnya akan tersimpan dengan file yang bernama *result* dan *bedres*. *Result* file berisi tentang simulasi aliran air yang di dalamnyan juga termasuk dengan kecepatan dalam tiga dimensi, k, ɛ, tekanan, dan perubahan aliran. *Bedres* file dapat tersimpan hanya ketika kita telah selesai melakukan simulasi sedimen, dan file ini berisikan informasi tentang *bed sediment*, kekasaran, distribusi butiran sedimen, ketebalan sedimen, dan ketinggian endapan sedimen. *Result* file serta *bedres* file dibaca oleh program SSIIM untuk menampilkan semua gambar grafis dari hasil simulasi.

Jika terdapat masalah dalam melakukan simulasi, dan program SSIIM mengalami *error*, kita dapat melihat semua hal yang menyebabkan program SSIIM mengalami masalah dalam sebuah file yang bernama *boogie* file. *Boogie* file menunjukan semua hasil dari perhitungan di program SSIIM. Ketika program bermasalah, semua alasan dan penyebab kegagalan dalam melakukan simulasi terbaca dalam *boogie* file.

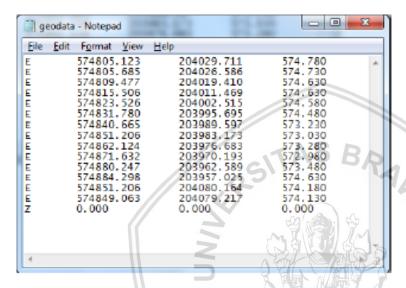
2.4.6. *Control* File dan *Timei* File

Control file berisi tentang parameter-parameter yang akan dimasukkan saat akan melakukan simulasi. Seperti ukuran sedimen, waktu iterasi, koefisien Van Rijn, dan berbagai pemilihan default simulasi dengan grid yang telah dibuat.

Timei file berisi pilihan simulasi untuk elevasi muka air hulu dan hilir sungai, dan debit untuk masing iterasi. Timei file menggunakan data set I dan D. Data set I digunakan untuk memasukkan debit dan elevasi muka air pada pada hulu dan hilir di masing-masing waktu iterasi, sedangkan data set D digunakan untuk menunjukkan pada masing-masing waktu.

2.4.7. Langkah Membuat Grid

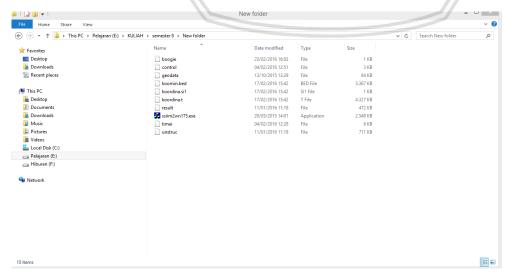
Langkah pertama dalam melakukan pemodelan menggunakan program SSIIM 2 adalah dengan membuat grid dari waduk. Dalam membuat grid, informasi tentang topografi dari waduk sangat dibutuhkan seperti survey batimetri waduk untuk mendapatkan data x,y, dan z yang merupakan koordinat dari dasar waduk. Data tersebut disimpan dalam *notepad* dan dinamai *goedata*. File ini merupakan file yang pertama dimasukkan dalam program SSIIM 2 untuk membuat sebuah grid.



Gambar 2.8 *Geodata* file Sumber: Hoven (2010, p.23)

2.4.7.1 *Input* geodata file ke dalam SSIIM 2

Untuk membuat grid dalam SSIIM perlu memasukan *geodata* file yang disimpan dalam satu folder yang sama agar dapat terbaca oleh SSIIM 2 seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.9 Program SSIIM dalam satu folder dengan file *geodata*

Sumber: Dokumentasi Penulis

Apabila program SSIIM 2 tidak berada dalam satu folder yang sama dengan file *geodata*, maka ketika kita akan memunculkan titik-titik koordinat waduk pada SSIIM 2, titik-titik koordinat tersebut tidak akan terbaca pada program.

Setelah itu program SSIIM 2 di klik dan akan muncul tampilan awal program SSIIM 2 seperti berikut:



Gambar 2.10 Tampilan awal SSIIM 2

Sumber: Dokumentasi Penulis

Setelah itu masukan file *geodata* kedalam program SSIIM 2. Dengan langkah-langkah sebagai berikut:

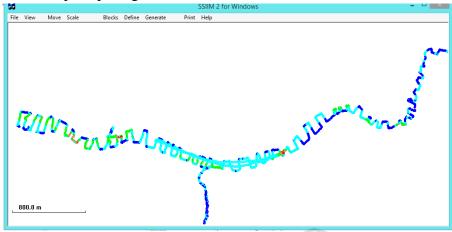
a. Klik menu *View |Grid Editor*, maka akan muncul jendela akan berubah seperti berikut:



Gambar 2.11 Tampilan jendela grid editor

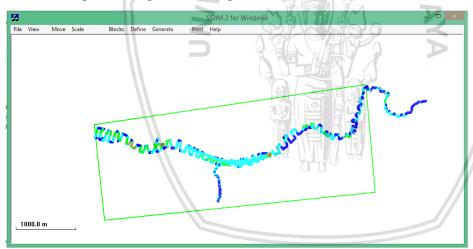
Sumber: Dokumentasi Penulis

b. Klik menu *View* | *Geodata points* maka titik-titik koordinat waduk akan muncul seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.12 Tampilan titik koordinat waduk setelah memasukan file *geodata* Sumber: Dokumentasi Penulis

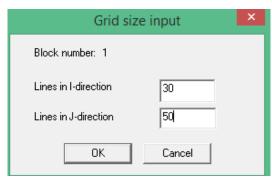
c. Setelah itu klik menu *Blocks* | *Add block* lalu klik kursor mouse di ke-empat sudut koordinat waduk, searah putaran jarum jam membentuk persegi. Dan akan menghasilkan gambar sebagai berikut:



Gambar 2.13 Membuat blocks persegi untuk grid

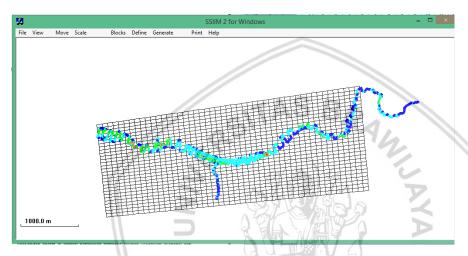
Sumber: Dokumentasi Penulis

d. Klik lagi menu *Blocks* | *Size block*, lalu masukan angka untuk membuat menjadi grid.



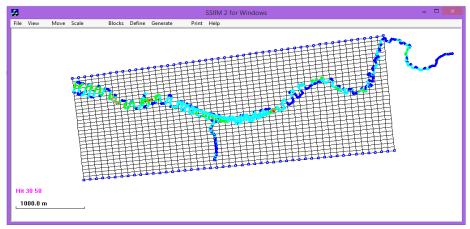
Gambar 2.14 Layar *grid size input* Sumber: Dokumentasi Penulis

e. Lalu akan menjadi grid seperti berikut:



Gambar 2.15 Tampilan grid Sumber: Dokumentasi Penulis

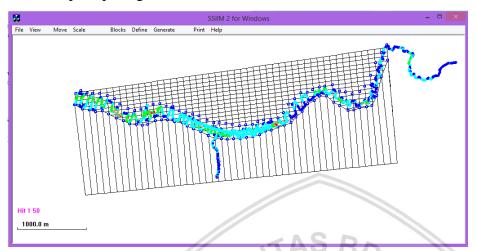
f. Setelah itu sisi grid yang bagian atas dan bawah didekatkan dengan titik-titik koordinat dengan meng-klik menu *Define* | *Set NoMovePoints mode*. Lalu setiap sudut kotak-kotak kecil di bagian atas dan bawah diberi titik *nomovepoints mode* seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.16 Tampilan grid dengan titik *nomovepoints* pada sisi atas dan bawah Sumber: Dokumentasi Penulis

22

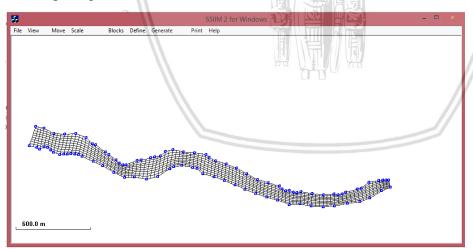
g. Semua titik-titik dibagian atas dan bawah didekatkan ke titik-titik koordinat dengan cara meng-klik titik yang berwarna biru dan di geser mendekati titik-titik koordinat seperti pada gambar berikut:



Gambar 2.17 Tampilan grid dengan titik nomovepoints didekatkan dengan titik koordinat waduk

Sumber: Dokumentasi Penulis

h. Seteleh itu klik menu *Generate* | *Boundary* | Generate | *TransfiniteI* | *Generate* | *TransfiniteJ* untuk membuat grid menjadi rapi. Sehingga akan menjadi seperti pada gambar berikut



Gambar 2.18 Tampilan grid yang telah selesai

Sumber: Dokumentasi Penulis

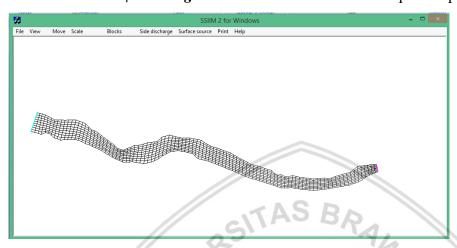
i. Langkah terakhir adalah menyimpan grid tersebut dengan cara meng-klik menu *Generate* | *Bed levels* | *Generate* | *3D Grid* lalu klik menu *File* | *Write unstruc file*. Maka grid tersebut akan tersimpan dan dalam folder SSIIM 2 akan muncul file *unstruc* yang menandakan gird tersebut telah berhasil disimpan.

BRAWIJAN

2.4.8. Simulasi Velocity Factor

Langkah pertama dari komputasi ini adalah memasukkan debit *inflow* dan *outflow* yang akan dimodelkan. Dengan syarat debit *inflow* dan *outflow* harus sama. Langkahlangahnya seperti berikut :

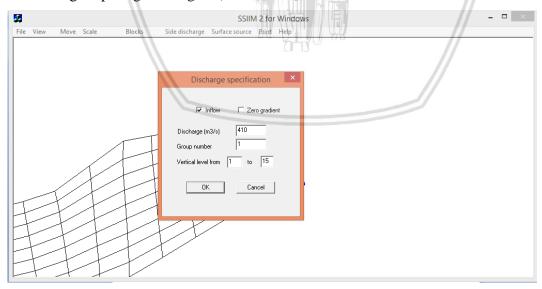
a. Klik View | Discharge Editor maka akan muncul tampilan seperti berikut :



Gambar 2.19 Tampilan discharge editor

Sumber: Dokumentasi Penulis

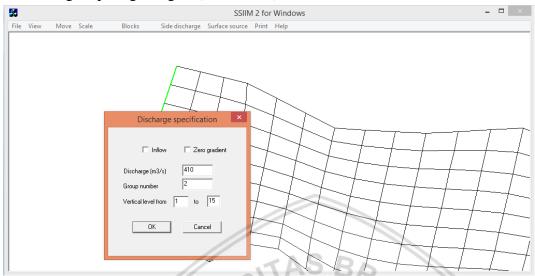
b. Lalu atur debit *inflow* dengan cara meng-klik *Side discharge* | *Group no.* Dan pilih angka 1. Lalu masukkan debit *inflow* sesuai dengan data model lalu klik pada bagian paling kanan grid (hulu model).



Gambar 2.20 Input debit *inflow* Sumber: Dokumentasi Penulis

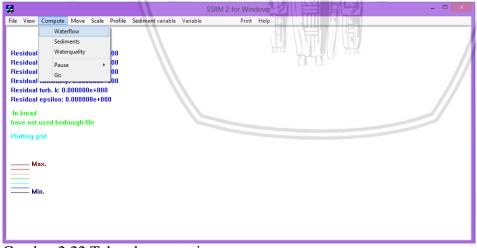
24

c. Selanjutnya mengatur debit *outflow* dengan cara meng-klik *Side discharge* | *Group no.* Dan pilih angka 2. Hilangkan centang pada kotak dialog *inflow* lalu klik pada bagian paling kiri grid (hilir model).



Gambar 2.21 Input debit *outflow* Sumber: Dokumentasi Penulis

d. Tahap selanjutnya adalah pemrosesan perhitungan kecepatan (*velocities*) dengan cara meng-klik *View* | *Text*. Lalu pilih *Compute* | *Waterflow*. Seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.22 Tahap komputasi Sumber: Dokumentasi Penulis

e. Tekan tombol F10 pada keyboard sehingga program menghitung atau *running model* sesuai dengan data geometri dan debit.

f. Untuk melihat hasilnya klik *View | Map* lalu klik *Variabel | Velocity vector* dan akan muncul hasil dari variabel yang telah dimasukkan. Seperti pada gambar berikut:



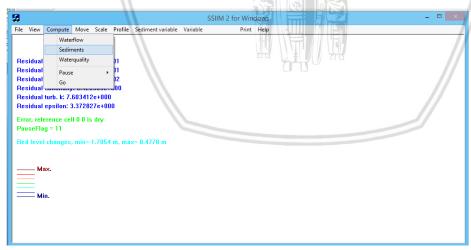
Gambar 2.23 Tampilan hasil komputasi (velocity factor)

Sumber: Dokumentasi Penulis

2.4.9. Simulasi Sedimen

Untuk melakukan simulasi sedimen langkah-langkahnya seperti berikut :

a. Klik View | Text, lalu pilih Compute | Sediments seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.24 Tahap komputasi Sedimen

Sumber: Dokumentasi Penulis

b. Tekan tombol F10 pada keyboard sehingga program menghitung atau *running model* sesuai dengan data geometri dan debit.

26

c. Untuk melihat hasilnya klik View / Map lalu klik Sediment variabel / Bed Canges dan akan muncul simulasi sedimen. Seperti pada gambar berikut :



Gambar 2.25 Tampilan hasil komputasi (bed changes)

Sumber: Dokumentasi Penulis

2.4.10. Kalibrasi Pada Model SSIIM 2

Untuk kalibrasi pada model SSIIM dapat digunakan hasil pengukuran hasil echosounding di lapangan setelah dilakukan flushing dengan hasil simulasi flushing pada program SSIIM 2, sehingga di harapkan dapat menghasilkan angka kesalahan absolut (absolute error) yang kurang dari 10%.

Dalam menghitung kesalahan absolut dapat digunakan persamaan berikut yang merupakan perhitungan sederhana pada metode numerik analisis galat menurut hoven (2010, p.51).

Absolute error =
$$\left| \frac{X \ Numerik - X \ Real \ lapangan}{X \ Real \ lapangan} \right| \times 100\%$$
(2-13)

Dengan:

= Variabel hasil pemodelan numerik $X_{Numerik}$

= Variabel hasil di lapangan X_{Real lapangan}

Proses ini dilakukan untuk menyamakan parameter pada kondisi asli di lapangan ke dalam model numerik. Adapun beberapa beberapa parameter yang dapat diinput ke dalam model antara lain geometrik, diameter butir sedimen, debit pengaliran, dan koefisien kekasaran. Sehingga nantinya apabila hasil absolute error lebih dari 10% maka maka dilakukan perubahan pada parameter-parameter tersebut. Seperti mengubah geometrik (grid) atau mengubah angka diameter butir sedimen dan angka debit pengaliran.

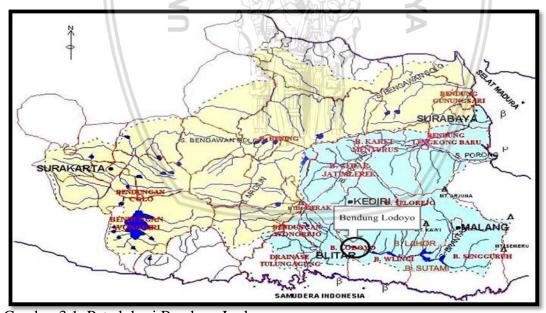
BAB III METODOLOGI

3.1. Lokasi Obyek Studi

Bendung Lodoyo terletak pada aliran sungai Kali Brantas sekitar 7 Km arah hilir PLTA Wlingi atau 130 Km dari hulu Sungai Brantas yang secara administrasi terletak di Desa Lodoyo, Kecamatan Kanigoro, Kabupaten Blitar Propinsi Jawa Timur. Bendung Lodoyo berada pada urutan ke empat dalam riam aliran Sungai Brantas, setelah Bendungan Sengguruh, Bendungan Sutami dan Bendungan Wlingi. Dimana inflow airnya di dapat dari outflow PLTA Wlingi dan Kali Putih.

Fungsi utama Bendung Lodoyo adalah menampung kelebihan debit Bendungan Wlingi untuk mengatasi fluktuasi debit akibat pengoperasian PLTA Wlingi yang dioperasikan pada saat beban puncak, pengendalian banjir, pengendali lepasan aliran ke hilir, pembangkit tenaga listrik, dan sarana rekreasi masyarakat domestik.

Peta lokasi studi disajikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Peta lokasi Bendung Lodoyo

Sumber: http://jasatirta1.co.id/admin/data/upimages/wlyh-krj.jpg



Gambar 3.2 Bendung Lodoyo di lihat dari Google Earth Sumber: Google Earth, 2015

3.2. Data-data yang Diperlukan

Dalam pengerjaan studi ini diperlukan data penunjang dari instansi terkait. Cara memperoleh data biasanya melalui *collecting* data, wawancara, observasi laborat, atau melalui survey langsung. Adapun data-data yang diperlukan dalam studi ini berdasarkan batasan masalah dan rumusan masalah adalah sebagai berikut:

1. Data sedimen

Diperlukan untuk menganalisa sedimen yang keluar dari waduk pada saat *flushing* (penggelontoran). Data yang digunakan adalah data tahun 2016 yang meliputi ukuran butiran sedimen

2. Data Flushing

Diperlukan untuk simulasi dari pemodelan. Data yang digunakan adalah data *flushing* pada tahun 2016

3. Data Koordinat x,y,z waduk

Diperlukan untuk membuat batas dari waduk pada program SSIIM. Data yang digunakan adalah data tahun 2016

3.2.1. Data Teknis Bendung Lodoyo

Berikut data teknis Bendung Lodoyo yang bersumber dari Perum Jasa Tirta I:

a. Waduk

Tinggi muka air banjir : El. 136,00 m

Tinggi muka air normal : El. 135,50 m

Tinggi muka air rendah : El. 125,50 m

Daerah pengaliran : 3.017 km² (termasuk wlingi raya)

Kapasitas penampungan awal:

 $\begin{array}{lll} \text{-} & \text{Bruto} & : 5.200.000 \text{ m}^3 \\ \text{-} & \text{Efektif} & : 5.000.000 \text{ m}^3 \end{array}$

Kapasitas tampungan saat ini:

- Bruto : $2.029.000 \text{ m}^3$

- Efektif : $1.925.000 \text{ m}^3$

Daerah terendam : 0,94 km²

Debit banjir rencana : 3.970 m³/det

b. Bendung

Tipe bendung : Bendung gerak

Elevasi puncak bendung : El. 125.00 m Elevasi dasar sungai : El. 123.00 m

Lebar bendung : 120 m

Lebar bersih bendung (8 pintu @ 12.00 m) : 96 m

Tebal pilar bendung : 3 m

Dimensi pintu gerak : 12 m L X 11,30 m T

Kapasitas pengaliran pada muka air banjir : 3970 m³/s

c. Pintu Pengendali

Tipe pintu : Pintu beroda, dua tingkat dari

baja

Lebar pintu : 12 m

Tinggi pintu : 11,30 m dengan daun atas 6,65 m

dan daun bawah 4,65 m

Jumlah pintu : 8 buah

BRAWIJAY.

3.3. Flushing (penggelontoran) pada Bendung Lodoyo

Waduk Wlingi dan Lodoyo yang terletak di DAS Kali Brantas sangat rawan dipenuhi sedimen yang sebagian besar berasal dari aliran sedimen yang berasal dari Gunung Kelud yang meletus dalam interval 15 tahunan dimana letusan terakhir terjadi pada pada Februari 1990. Sebagai upaya untuk memelihara kapasitas tampungan efektif waduk secara rutin, Perum Jasa Tirta I telah melaksanakan pengerukan sedimen waduk. Selain kegiatan pengerukan sediman waduk, upaya lain yang dilakukan oleh Perum Jasa Tirta I agar waduk tetap memberikan manfaat yang optimal adalah dengan melaksanakan *flushing* (penggelontoran) sedimen. *Flushing* Waduk Wlingi dan Lodoyo pada tahun 2012 dilaksanakan tanggal 13-15 April 2012. Dalam menunjang kegiatan flushing tersebut dilakukan pekerjaan persiapan antara lain : penyusunan jadwal (pelaksanaan) *flushing* waduk, pelaksanaan *echosounding* waduk sebelum *flushing*, penyusunan rencana operasi waduk saat *flushing* koordinasi dengan Dinas/Instansi terkait, koordinasi dengan Biro/ Divisi serta pengaturan tugas dan alokasi sumberdaya.

Pelaksanaan flushing dimulai dengan pengosongan Bendung Lodoyo pada tanggal 13 April 2012 pukul 20.00 WIB. Pada saat itu PLTA masih dapat beroperasi selagi debit inflow dan elevasi muka air memungkinkan. Pada pukul 23.37 WIB tanggal 13 April 2012 operasi PLTA dihentikan. Penghentian operasi PLTA pada Bendung Lodoyo dilakukan selama 95 jam, hal ini lebih lama dari rencana karena PT. PJB PLTA Lodoyo juga melaksanakan kegiatan Annual Inspection (AI) turbin sampai tanggal 17 April 2012. Sementara itu untuk pengosongan Waduk Wlingi dimulai pukul 00.00 WIB tanggal 14 April 2012. Penghentian operasi PLTA Wlingi dilakukan selama 38 jam 10 menit. Sedangkan penghentian layanan Irigasi Lodagung dimulai pada pukul 03.30 WIB pada tanggal 14 April 2012 dengan total waktu penghentian irigasi selama 25 jam. Pada saat pelaksanaan flushing juga dilakukan kegiatan pembersihan sedimen yang ada di intake PLTA Wlingi dan Lodoyo. Untuk pembersihan sedimen di depan intake PLTA Wlingi dilaksanakan tanggal 14 April 2012 dengan menggunakan 6 (enam) set sandpump dan dibantu tenaga manusia yang dikombinasikan dengan pengaturan buka tutup pintu air untuk melongsorkan sedimen yang ada di depan intake. Untuk pembersihan sedimen di depan intake PLTA Lodoyo juga dilakukan pada tanggal 14 April 2012 di lokasi weir intake Kolam Tandon Harian (KTH)

Waduk Lodoyo yang dilaksanakan dengan tenaga manusia dan penyemprotan air dengan *submersible pump*.

Flushing yang dilakukan di kedua waduk adalah untuk pemeliharaan volume tampungan efektif waduk, bukan flushing yang berkaitan dengan pengembalian total volume efektif waduk. Pada saat pelaksanaan *flushing*, sedimen langsung tergelontor ke hilir sehingga dapat menghemat biaya pengerukan, namun upaya ini menyebabkan operasi pembangkitan listrik dan suplai air untuk irigasi terhenti beberapa saat (jam). Kegiatan flushing sangat berperan dalam pembersihan sedimen/sampah yang ada di depan intake PLTA Wlingi dan Lodoyo. Untuk di PLTA Wlingi hal tersebut sangat penting untuk mengoptimalkan beban pembangkitan. Keuntungan lain yang diperoleh adalah PJT I perlu menyediakan spoilbank sebagai tempat pembuangan sedimen. Di samping itu, sedimen yang digelontor diharapkan dapat mengurangi degradasi dasar sungai, khususnya di Kali Brantas bagian tengah dan hilir yang saat ini mengalami penurunan dari dasar sungai rencana.

3.4. Operasi Bendung Lodoyo

3.4.1. Operasi Pengaturan Air

a. Dasar-dasar pengaturan air

- Naik turunnya debit jam-jaman yang diakibatkan oleh beban puncak PLTA Wlingi yang di tampung di Bendung Lodoyo harus dikeluarkan secara konstan dan kontinyu ke hilir Bendung Lodoyo. Debit maksimum akibat beban puncak PLTA Wlingi adalah 300 m³/det.
- 2. Pembangkitan listrik dari PLTA Lodoyo diusahakan secara kontinyu dan semaksimal mungkin. Muka air rendah direncanakan pada elevasi 130,5 m, namun demikian untuk keperluan keamanan operasi, muka air rendah untuk PLTA dapat ditetapkan sendiri. Elevasi 133,00 m merupakan operasi minimum operasi PLTA sehubungan besarnya sedimentasi yang ada di waduk.
- 3. Kapasitas/volume waduk tidak digunakan untuk mengendalikan banjir. Dalam hal permukaan air di waduk naik akibat banjir, maka kelebihan air akan dikeluarkan melalui pintu-pintu pengendali sedemikian sehinnga elevasi air dikendalikan pada elevasi yang ditentukan.
- 4. Satu tahun dibagi dalam dua musim yaitu musim kemarau (Juni s/d November) dan musim hujan (Desember s/d Mei)

- 5. Waktu pengaliran air pada saat normal dari Bendungan Wlingi sampai Bendung Lodoyo berdasarkan percobaan adalah \pm 1/2 jam.
- 6. Batas elevasi muka air waduk.

Muka air tinggi pada musim kemarau : El. 136,0 m Muka air tinggi pada musim hujan : El. 135,0 m Muka air rendah pada kedua musim : El. 130,5 m

7. Kriteria keadaan normal dan keadaan banjir:

Keadaan normal : $debit < 500 \text{ m}^3/det$. Keadaan banjir : $debit \ge 500 \text{ m}^3/det$.

Kriteria debit di atas sewaktu-waktu dapat diubah sesuai dengan kondisi di lapangan, sesuai pedoman siaga banjir yang berlaku.

- 8. Operasi waduk pada keadaan normal.
 - Pada dasarnya Bendung Lodoyo berfungsi sebagai penampung debit dari Waduk Wlingi yang debit keluarnya berfluktuasi besar akibat fungsinya sebagai penyalur beban puncak. Fluktuasi debit ini harus distabilkan/diredam oleh Bendung Lodoyo sedemikian sehinnga air yang keluar adalah rata/konstan setiap jam, yaitu untuk menjaga kestabilan penyediaan air irigasi di hilir.
 - Sebagai pegangan operasi waduk dipakai data yang tercantum di dalam "Pola Operasi Waduk" yang berlaku dan telah disepakati oleh Panitia Tata Pengaturan Air.
 - Untuk meratakan debit keluar pada musim hujan adalah sulit dan pada kenyataannya pada musim hujan air irigasi tidak terlalu membutuhkan suplai yang merata, sebaliknya pada musim kemarau sangat dibutuhkan suplai air yang rata.
 - Karena keterbatasan air, maka Waduk Wlingi pada musim kemarau tidak mengoperasikan beban puncak secara penuh, sehingga Bendung Lodoyo pun tidak perlu dioperasikan sampai elevasi terendah yaitu 130,5 m, namun cukup sampai elevasi ± 132,0 m, tergantung debit keluar dari PLTA Wlingi. (PLTA Lodoyo tidak beroperasi penuh).

BRAWIJAY/

- Debit yang masuk Bendung Lodoyo dapat diperkirakan sama dengan debit rata-rata sehari sebelumnya, jika debit yang keluar dari Waduk Sutami dan Waduk Wlingi besarnya juga sama dengan hari sebelumnya, karena debit Remaining Basin Sutami-Wlingi dan Wlingi-Lodoyo pada musim kemarau dapat dianggap relatif konstan.
- Bila debit keluar Waduk Sutami dan/atau Waduk Wlingi berubah, maka rata-rata harian debit masuk Bendung Lodoyo dapat diperkirakan dari total debit keluar Waduk Wlingi dan debit Remaining Basin sehari sebelumnya.

b. Aturan pembukaan pintu

- 1. Dasar menentukan operasi pintu
 - a. Tinjauan mekanis dari pintu itu sendiri
 - b. Hasil model tes
 - c. Debit masuk ke masing-masing pintu
 - d. Debit keluar dari pintu
 - e. Tinggi air yang diperlukan untuk PLTA
 - f. Sedimentasi

2. Peraturan Pembukaan Pintu

- a. Pada debit kecil, paling sedikit 2 buah pintu dibuka secara bersamaan dan tidak diperbolehkan membuka 1 pintu saja.
- b. Beda tinggi bukaan pintu maksimum yang diijinkan adalah 90 cm.
- c. Jumlah pintu yang harus dibuka diatur oleh besarnya debit seperti berikut:

	<u>Jumlah Pintu :</u>	Debit (m ³ /det)		
-	2 pintu	$-Q \le 200$		
-	4 pintu	$-200 < Q \le 400$		
-	6 pintu	$-400 < Q \le 600$		
-	8 pintu	-Q > 600		

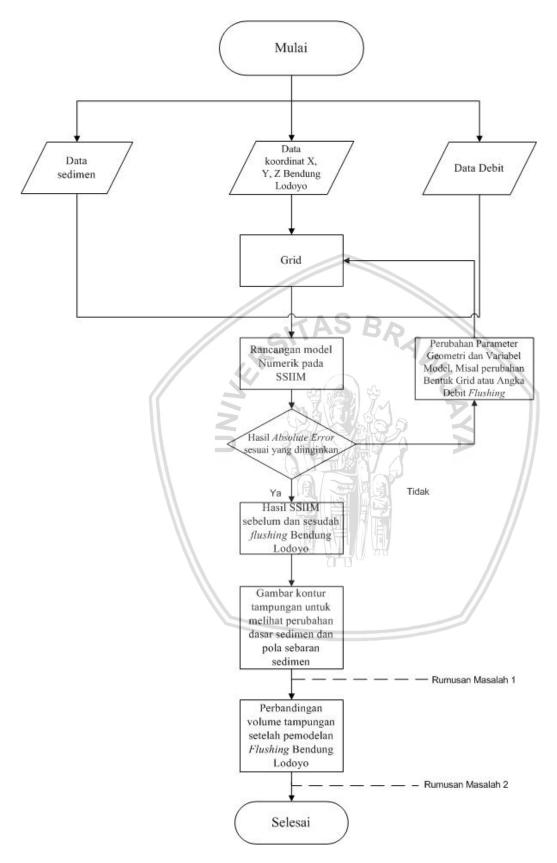
- d. Kombinasi bukaan pintu pada $Q \le 200 \text{ m}^3/\text{det.}$ setiap minggu diatur sebagai berikut:
- Minggu ke 1 : pintu no. 1 dan no. 2

- Minggu ke 2 : pintu no. 2 dan no. 3
- Minggu ke 3 : pintu no. 3 dan no. 4
- Minggu ke 4 : pintu no. 4 dan no. 5
- Minggu ke 5 : pintu no. 7 dan no. 8
- Minggu ke 6: pintu no. 1 dan no. 2 dst
- Pintu no. 6 dipergunakan untuk membuang sampah dengan bantuan fasilitas stoplog.
- Pintu no. 8 digunakan untuk keperluan penggelontoran sedimen 1 x seminggu pada saat debit besar.
- Pada pintu yang tidak beroperasi dilakukan pemanasan 1 (satu) bulan sekali.
- Pola bukaan pintu ini dapat diubah disesuaikan dengan kondisi lapangan sesaat, misalnya diperlukan untuk menggelontor sedimen yang ada pada saat itu.
- Urutan bukaan pintu diatas telah berubah dari aturan semula/aslinya karena pertimbangan sedimentasi yang masuk ke waduk dan adanya sampah di waduk
- e. Bukaan pintu pada $Q > 200 \text{ m}^3/\text{det.}$ Jika diperlukan pembukaan lebih dari 2 pintu, maka pintu yang dibuka yaitu 2 pintu yang bersebelahan atau 2 pintu yang mengapit (bila pintu yang dibuka adalah pintu yang tengah) dengan memperhatikan syarat pada nomor 2)

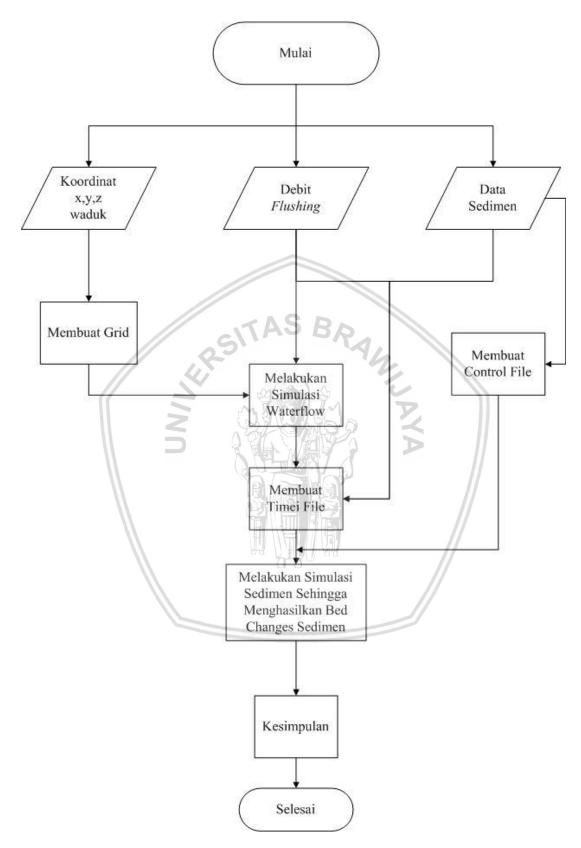
3.5. Langkah-langkah Studi

Secara umum langkah-langkah studi yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut:

- 1. Data koordinat dan elevasi dasar waduk. Data koordinat dan elevasi dasar Bendung Lodoyo digunakan untuk membuat grid serta batasan dari Bendung Lodoyo.
- 2. Setelah data koordinat dan elevasi dasar waduk terbaca oleh program, maka dapat dilanjutkan dengan membuat blok grid untuk membuat batasan dari Bendung Lodoyo sesuai dengan batas data koordinat dan elevasi dasar waduk.
- 3. Data debit *flushing* digunakan untuk komputasi waterflow pada program SSIIM. Data debit flushing akan bisa diinput pada program SSIIM setelah grid telah selesai dibuat.
- 4. Membuat rencana model numerik adalah dengan membuat file bernama control file dan timei file, dimana control file berisi data ukuran sedimen dan parameter default yang dibutuhkan dalam proses running program SSIIM. Sedangakan pada timei file berisi data debit *flushing* dan data ukuran sedimen pada tiap waktu iterasi yang telah ditentukan.
- 5. Setelah komputasi waterflow telah selesai dan control file serta timei file telah dibuat maka komputasi sedimen bisa dijalankan dan akan dihasilkan perubahan dasar dari waduk.
- 6. Penyelesaian. Dari hasil pemodelan maka akan didapatkan hasil perubahan dasar Bendung Lodoyo



Gambar 3.3. Diagram Alir Pengerjaan Skripsi



Gambar 3.4. Diagram Alir Pengerjaan Program SSIIM



BAB IV ANALISA PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Pemodelan Numerik Program SSIIM

Kajian dan analisa pada skripsi ini menggunakan Program Sedimen Simulation in Intake with Multiblock Option (SSIIM). Data yang dimasukkan ke dalam Program SSIIM adalah data koordinat Bendung Lodoyo, data sedimen bendung Lodoyo, data debit flushing Bendung Lodoyo.

Data koordinat yang digunakan adalah data koordinat sebelum dilakukan *flushing* pada Bendung Lodoyo. Berikut merupakan data koordinat Bendung Lodoyo yang dipakai dalam mengerjakan laporan skripsi ini :

Tabel 4.1 Data koordinat dan elevasi waduk Bendung Lodoyo tahun 2016

X	Y	Z	
631327.00	9098801.00	131.99	
631326.00	9098800.00	132.49	
631325.00	9098798.00	133.29	
631324.00	9098797.00	133.69	
631323.00	9098797.00	133.69	
631324.00	9098796.00	133.19	
631325.00	9098796.00	132.99	
631325.00	9098794.00	133.89	
631325.00	9098793.00	134.09	
631323.00	9098793.00	133.19	
631204.00	9098816.00	131.99	
631207.00	9098820.00	131.49	
631210.00	9098820.00	131.29	
631213.00	9098820.00	131.19	
631216.00	9098819.00	131.29	
631219.00	9098818.00	131.29	
631222.00	9098815.00	131.29	
631224.00	9098812.00	131.49	
631224.00	9098808.00	131.89	
631225.00	9098806.00	132.29	

Sumber: Perum Jasa Tirta 1, 2016

Data sedimen yang digunakan adalah data sedimen yang diukur beberapa patok di Bendung Lodoyo. Kemudian dari beberapa ukuran sedimen yang telah diukir, diambil nilai rata-rata pada ukuran sedimen D_{60} .

Tabel 4.2 Data Sedimen Bendung Lodoyo Tahun 2015

Nomor Titik	D.60	
TOHIOI TILIK	mm	
Cross LD. 4 Kanan	0,0630	
Cross LD. 4 Tengah	0,0640	
Cross LD. 4 Kiri	0,0440	
Cross LD. 7 Kanan	0,0118	
Cross LD. 7 Tengah	0,0265	
Cross LD. 7 Kiri	0,0300	
Cross LD. 11 Kanan	0,0600	
Cross LD. 11 Tengah	0,0440	
Cross LD. 11 Kiri	0,0630	
Cross LD. 20 Kanan	0,0480	
Cross LD. 20 Tengah	0,4000	
Cross LD. 20 Kiri	0,1180	
Cross LD. 15 Kanan	0,0170	
Cross LD. 15 Tengah	0,1620	
Cross LD. 15 Kiri	\\ - =	
Cross Kali Bogel	0,0250	
Cross Kali Siwalan	0,1250	

Sumber: Perum Jasa Tirta 1, 2015

Untuk memasukkan data sedimen ke dalam file *control* SSIIM, di ambil rerata dari setiap cross pada Bendung Lodoyo. Berikut merupakan perhitungan rerata pada setiap cross pada Bendung Lodoyo.

Cross LD 4 =
$$(\frac{Cross LD \ 4 \ kiri + Cross \ LD \ 4 \ tengah + Cross \ LD \ 4 \ kanan}{3})$$

= $(\frac{0.0440 + 0.0640 + 0.0630}{3})$
= 0,0570 mm
= 0,0000570 m

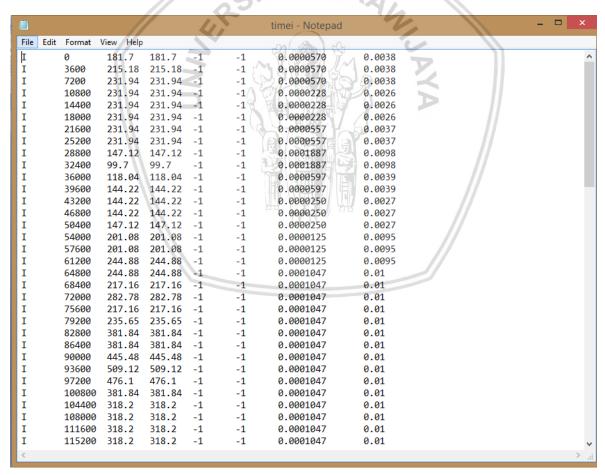
Data Sedimen Bendung Lodoyo untuk input program SSIIM

Untuk perhitungan cross selanjutnya ada pada tabel berikut :

Nomor Titik	Rerata Sedimen		
NOIHOI TILIK	(m)		
Cross LD. 4	0,0000570		
Cross LD. 7	0,0000228		
Cross LD. 11	0,0000557		
Cross LD. 20	0,0001887		
Cross LD. 15	0,0000597		
Cross Kali Bogel	0,0000250		
Cross Kali Siwalan	0,0001250		

Sumber: Hasil perhitungan

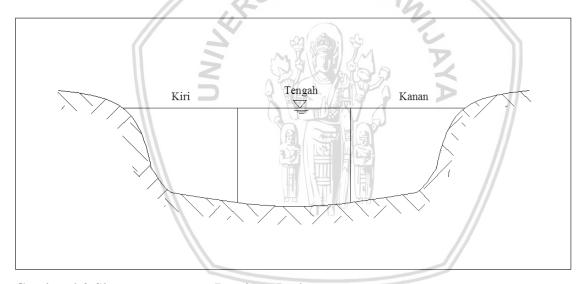
Untuk melakukan simulasi pada program SSIIM diperlukan input data bernama *timei* file yang didalamnya terdapat debit dan sedimen yang digunakan untuk melakukan simulasi. Berikut merupakan *timei* file yang digunakan pada pengerjaan skripsi ini:



Gambar 4.1 Timei File Bendung Lodoyo

Pada gambar diatas, berisi 8 kolom yang berisi angka-angka pada *timei file*. Pada kolom pertama merupakan huruf kapital I yang merupakan data set I pada program SSIIM untuk membaca angka-angka input data *timei file* dalam program SSIIM. Pada kolom kedua merupakan waktu penggelontoran di Bendung Lodoyo yang dirubah ke dalam detik. Pada kolom ketiga merupakan debit inflow Bendung Lodoyo. Pada kolom keempat merupakan debit outflow Bendung Lodoyo. Pada kolom kelima dan keenam terdapat angka -1 yang digunakan agar program SSIIM dapat menghitung nilai inflow dan outflow yang sudah dimasukkan. Pada kolom ketujuh merupakan data sedimen Bendung Lodoyo. Sedangkan pada kolom kedelapan merupakan *fall velocity* yang diperoleh melalui grafik hubungan antara ukuran sedimen dan kecepatan jatuh.

Tampungan pada Bendung Lodoyo merupakan saluran alam. Untuk pengambilan sampel sedimen pada tiap patok atau *cross* dilakukan pada tiga titik yaitu, titik sebelah kanan, tengah, dan titik sebelah kiri. Seperti pada gambar berikut:



Gambar 4.2 Sketsa tampungan Bendung Lodoyo

Data debit *flushing* yang digunakan pada laporan akhr ini adalah data debit *flushing* pada tahun 2016. Data ini berisi tentang lama waktu dilasanakan nya *flushing* beserta dengan besarnya *inflow* dan *outflow* ketika dilaksanakan *flushing*. Berikut merupakan data debit *flushing* pada tahun 2016:

Tabel 4.4 Data Debit *Flushing* Bendung Lodoyo 2016

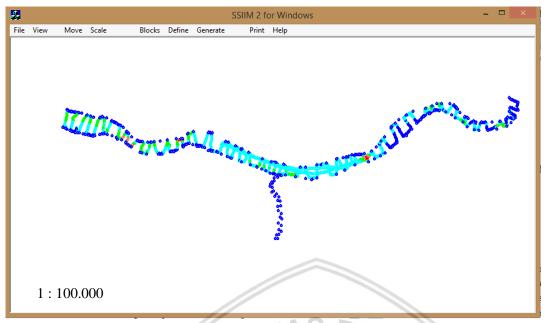
Data Deel	t Flushing E		doye	2010		1
Jam	Tanggal	Q_{Out} (m^3/det)		Jam	Tanggal	Q_{Out} (m^3/det)
1.00		181.70		1.00	1 anggai	
						381.84
2.00		215.18		2.00		445.48
3.00		231.94		3.00		509.12
4.00		231.94		4.00		476.10
5.00		231.94		5.00		381.84
6.00		231.94		6.00 7.00		318.20
7.00		231.94				318.20
8.00	24-Mar-16	231.94		8.00		318.20
9.00		147.12		9.00		318.20
10.00		99.70		10.00		285.18
11.00		118.04	C	11.00	25	285.18
12.00		144.22	2	12.00	25-Mar-16	285.18
13.00		144.22		13.00		285.18
14.00		144.22		14.00		285.18
15.00		147.12		15.00		282.78
16.00		201.08	ļ	16.00		244.88
17.00		201.08		17.00		281.52
18.00		244.88		18.00		206.16
19.00		244.88		19.00		158.86
20.00		217.16		20.00		89.86
21.00		282.78		21.00		93.34
22.00		217.16		22.00		108.90
23.00		235.65		23.00		111.32
24.00		381.84		24.00		113.80

Sumber: Perum Jasa Tirta 1, 2016

4.2. Proses Running Pada Program SSIIM

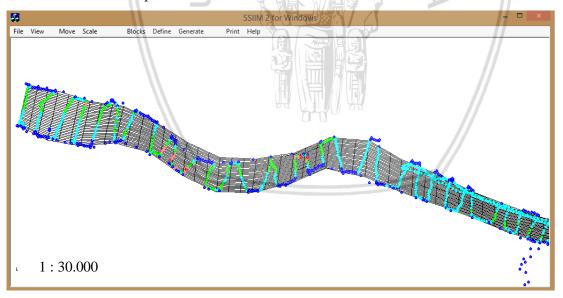
Langkah pertama dalam proses running pada program SSIIM adalah seperti berikut:

Input geodata file yang berisi data koordinat Bendung Lodoyo sebelum *flushing*.
 Data koordinat disimpan dalam *notepad* dan disimpan dengan nama geodata dalam satu folder dengan program SSIIM nanti akan terbaca secara otomatis oleh program SSIIM.



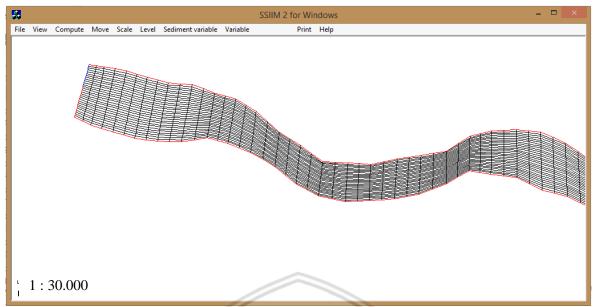
Gambar 4.3 Tampilan data koordinat Bendung Lodoyo

2. Setelah koordinat Bendung Lodoyo di tampilkan maka di buatlah grid untuk batasan dari Bendung Lodoyo menyesuaikan bentuk dari titik koordinat yang telah ditampilkan.



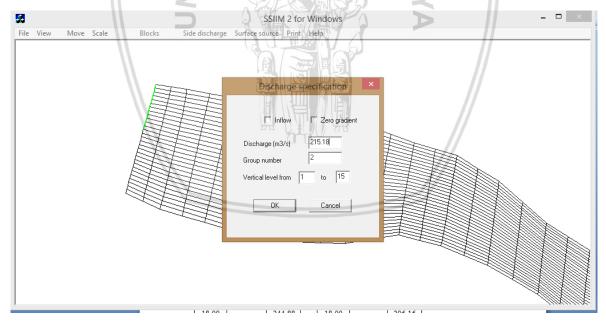
Gambar 4.4 Tampilan data koordinat Bendung Lodoyo setelah dibuat grid sesuai batasan data koordinat dan elevasi waduk

3. Setelah dibuat batasan Bendung Lodoyo pada titik koordinat maka akan didapatkan bentuk dasar dari Bendung Lodoyo yang dilakukan dengan cara **Generate** – **Bed Levels** – **generate** – **3D grid.**



Gambar 4.5 Bentuk dasar tampungan Bendung Lodoyo dalam bentuk grid

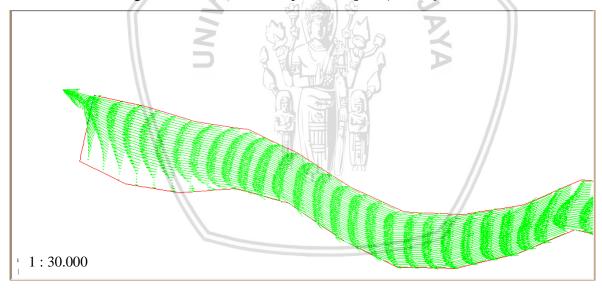
Setelah didapatkan dari bentuk dasar tampungan bendung, akan dimasukkan nilai debit awal dari data debit *flushing* pada program SSIIM untuk perhitungan *waterflow* pada program SSIIM. Untuk inflow menggunakan debit 181,7 m³/detik, sedangkan untuk outflow memaka debit 509,12 m³/detik.



Gambar 4.6 Input debit inflow Bendung Lodoyo

Gambar 4.7 Input debit Outflow Bendung Lodoyo

4. Tahap selanjutnya adalah pemrosesan perhitungan kecepatan (*velocities*) dengan cara meng-klik *View* | *Text*. Lalu pilih *Compute* | *Waterflow*.



Gambar 4.8 Komputasi waterflow Bendung Lodoyo sebelum proses komputasi sedimen

5. Setelah running program *waterflow* pada program SSIIM selanjutnya adalah *running* untuk sedimen pada Bendung Lodoyo. Untuk *running* sedimen data yang digunakan adalah data ukuran sedimen serta *fall velocity* yang dimasukkan dalam *control file* dan *timei file*, dan juga data debit *flushing* pada *timei file* pada tiap jam yang dilaksanakan pada Bendung Lodoyo.Hasil dari komputasi sedimen akan di tampilkan pada sub-bab berikutnya.

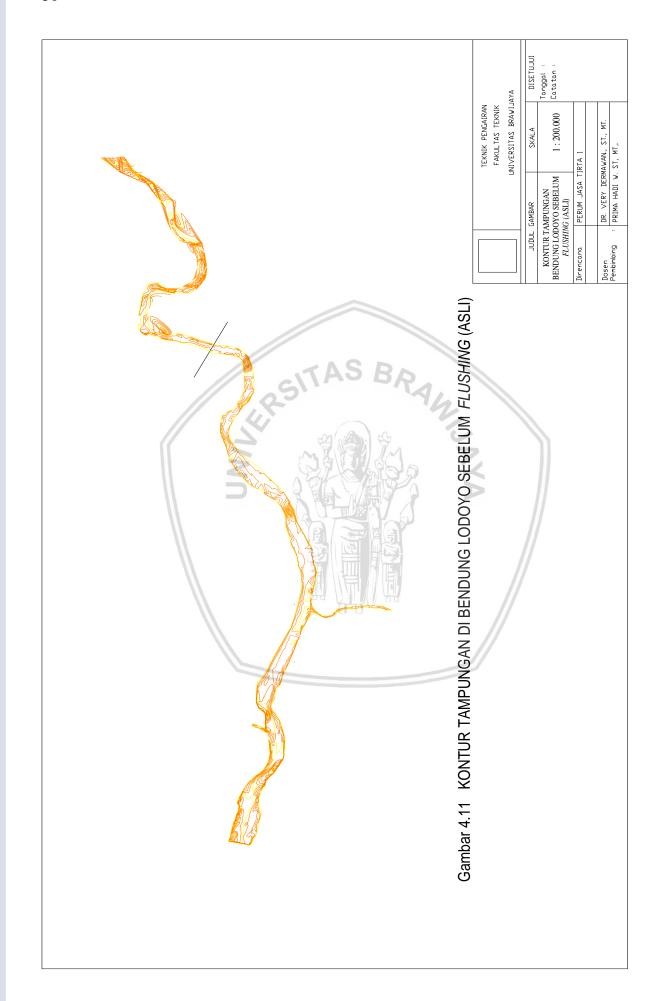
Sebelum melakukan simulasi maka diperlukan membuat batasan grid pada koordinat Bendung Lodoyo yang dipakai, serta ditentukan letak *inflow* dan *outflow* pada grid, dan kondisi aktual kontur tampungan Bendung Lodoyo sebelum dan sesudah *flushing*. Namun untuk kontur tampungan Bendung Lodoyo sebelum *flushing* hanya diambil sampe garis batas yang ada pada gambar dibawah.





Gambar 4.9 Q inflow dan Q outflow pada grid







4.3. Hasil Pemodelan

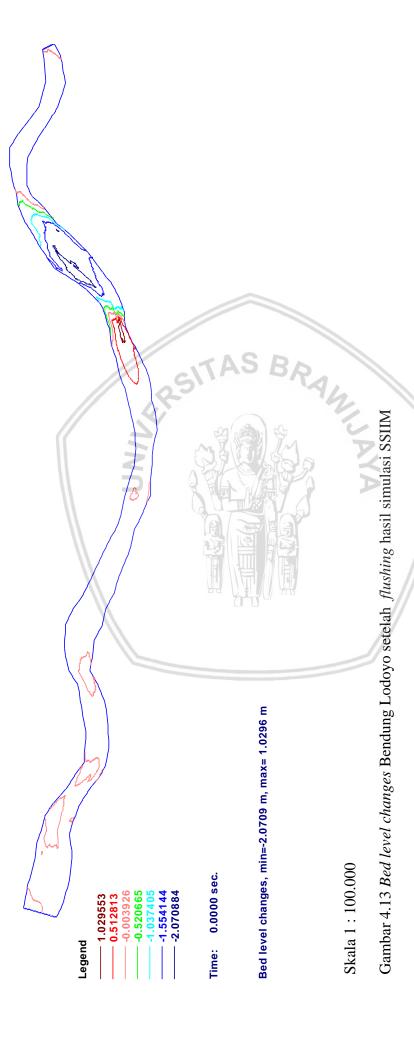
Pemodelan numerik menggunakan program SSIIM untuk windows 32-bit dilakukan dengan mengatur control file yang berisi kebutuhan simulasi antara lain koefisien van rijn, ukuran sedimen, fall velocity, waktu iterasi serta berbagai pilihan default running dengan grid yang telah dibuat. Serta mengatur timei file yang berisi pilihan simulasi untuk debit pada waduk untuk masing-masing waktu iterasi.

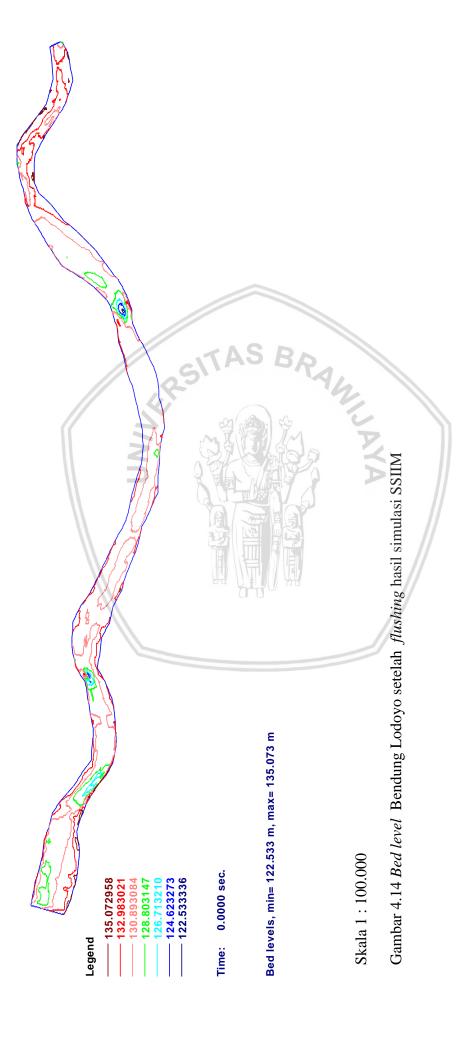
4.3.1. Kalibrasi Model

Kalibrasi model SSIIM menggunakan debit aktual yang terjadi pada tahun 2016 selama 40 jam serta ukuran sedimen D60 pada tahun 2015. Dari hasil pemodelan dengan menggunakan data tersebut didapatkan volume gerusan total di lapangan sehingga diharapkan dapat menghasilkan kesalahan relatif yang dapat di verifikasi.

Berikut adalah hasil komputasi sedimen menggunakan data debit flushing tahun 2016 yang dimulai dari tanggal 22 Maret 2016 pada pukul 20.00 WIB sampai 24 Maret 2016 pukul 09.00 WIB



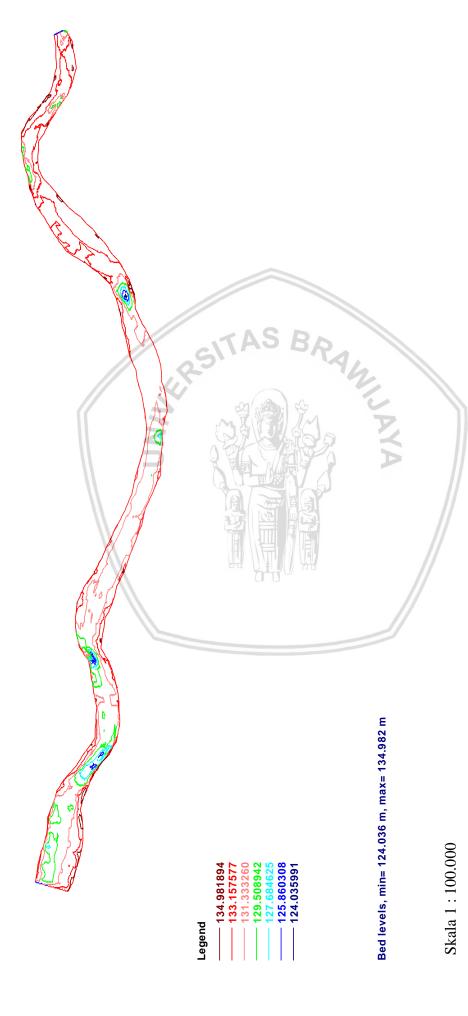




Gambar diatas merupakan hasil simulasi SSIIM pada Bendung Lodoyo setelah *flushing*. Dari hasil simulasi diatas, pada perubahan dasar sedimen didapatkan hasil gerusan maksimum sebesar -2, 0709 m dan endapan maksimum sebesar 1,0296 m. Elevasi terendah setelah adanya *flushing* dengan menggunakan SSIIM adalah pada elevasi +122,533 dan elevasi tertinggi adalah +135,073.

Untuk melakukan perbandingan perubahan dasar tampungan pada Bendung Lodoyo, maka diperlukan juga kondisi sedimen sebelum dilakukan *flushing* dan juga kondisi sedimen setelah *flushing* dari hasil pengukuran lapangan. Berikut merupakan kondisi sedimen sebelum dilakukan *flushing* dan juga kondisi sedimen setelah *flushing* dari hasil pengukuran lapangan yang telah di buat menggunakan SSIIM





Gambar 4.15 Bed level Bendung Lodoyo sebelum flushing

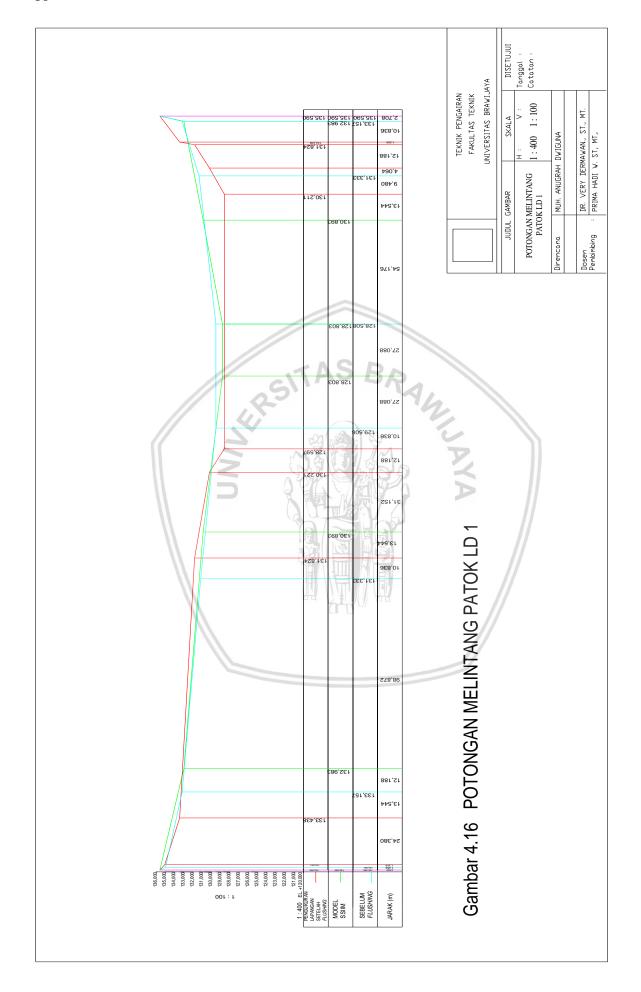


Gambar 4.16 Bed level Bendung Lodoyo setelah flushing hasil pengukuran lapangan

Sebelum adanya *flushing* serta sesudah adanya *flushing* dilakukan pengukuran pada dasar Bendung Lodoyo. Pada pemodelan diatas dilakukan pemodelan pada Bendung Lodoyo sebelum adanya *flushing* untuk membandingkan perbedaan bentuk kontur serta hasil volume gerusan pada pengukuran lapangan dan juga hasil dari pemodelan dengan menggunakan SSIIM. Pada hasil pemodelan antara sebelum *flushing* dan sesudah *flushing* dengan pengukuran lapangan serta dengan menggunakan program SSIIM dibuat *overlay* dari ketiga hasil untuk mengetahui perbandingan perubahan kondisi dasar tampungan dengan lebih jelas. Untuk memudahkan perbandingan, maka dibuat *overlay* tiap patok yang dijelaskan pada gambar di bawah ini.

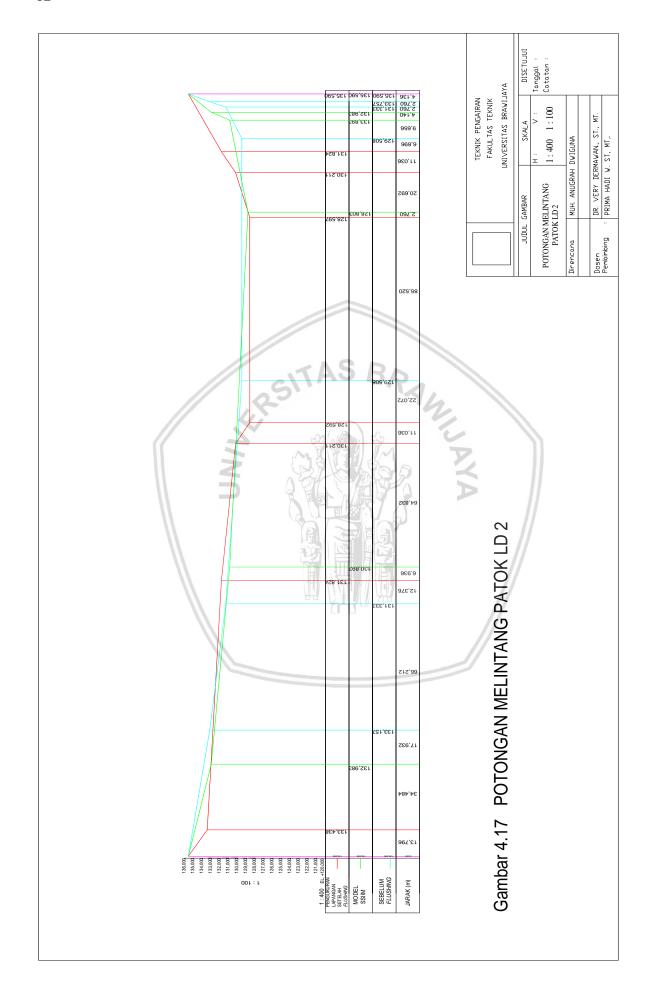


Gambar 4.17 Posisi patok yang akan dijadikan overlay perbandingan perubahan dasar tampungan Bendung Lodoyo



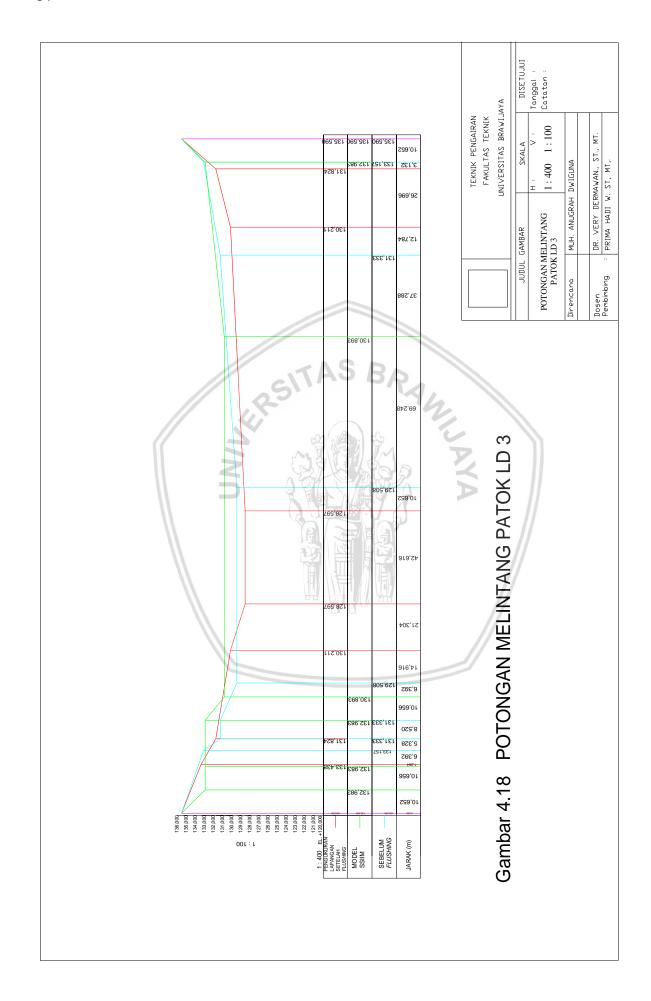
Gambar diatas adalah hasil dari overlay ketiga model pada potongan melintang patok LD 1 yang telah dilakukan, dapat dilihat pada hasil gambar diatas bahwa hasil model dengan menggunakan SSIIM hampir mempunyai bentuk potongan yang menyerupai hasil pengukuran di lapangan, namun masih terlihat bahwa hasil model pada *real* lapangan masih memiliki hasil gerusan yang lebih dalam.





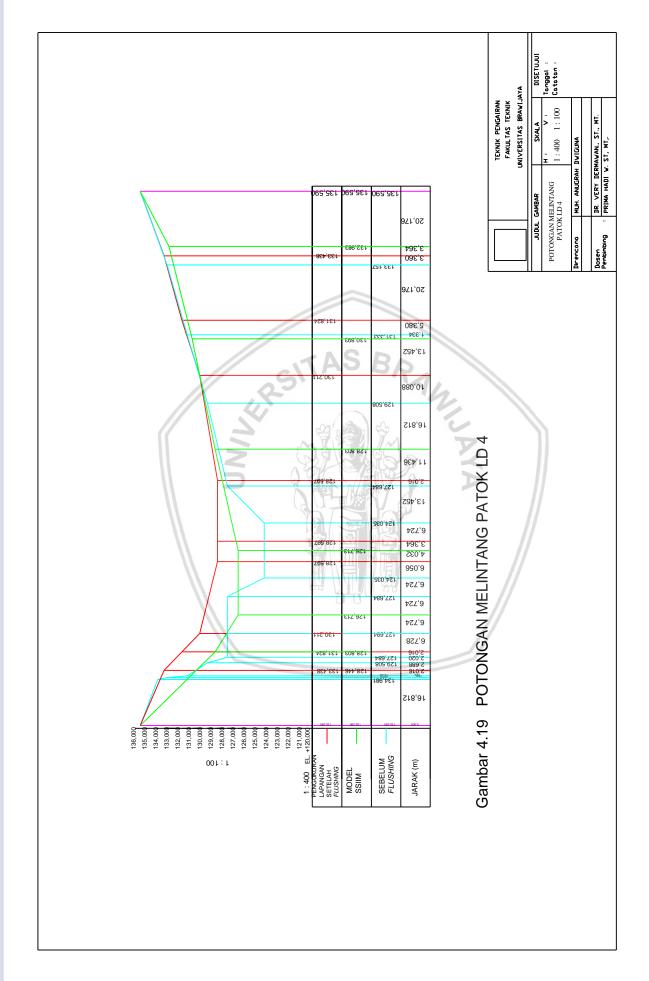
Dari hasil overlay pada potongan melintang pada patok LD 2 Bendung Lodoyo, dapat dilihat bahwa hasil gerusan pada pengukuran lapangan masih lebih besar dari pada hasil gerusan pada model dengan menggunakan *Sediment simulation in intake with multiblock option* (SSIIM).





Dari hasil overlay pada potongan melintang pada patok LD 3 Bendung Lodoyo terliahat perbedaan yang cukup besar, dimana dapat dilihat bahwa hasil gerusan pada pengukuran lapangan jauh lebih besar dari pada hasil gerusan pada model dengan menggunakan *Sediment simulation in intake with multiblock option* (SSIIM).





Dari hasil overlay pada potongan melintang pada patok LD 4 Bendung Lodoyo, dapat dilihat bahwa pada pengukuran lapangan terjadi pengendapan yang cukup tinggi dari sebelum adanya *flushing*.



68

Untuk perhitungan volume gerusan menggunakan program bantu *ArcMap* dengan memasukkan hasil running pada pemodela numerik. Dari perhitungan didapatkan volume gerusan pada pengukuran lapangan sebesar 143.499,259 m³ dan volume gerusan pada

pemodelan numerik dengan debit flushing aktual tahun 2016 sebesar 129.226,630 m³.

4.3.3. Kesalahan Relatif

Kesalahan relative menunjukkan besarnya tingkat kesalahan antara hasil pemodelan numerik dengan pemodelan lapangan dengan membandingkan kesalahan absolute terhadap hasil pemodelan numerik. Untuk menghitung kesalahan relative dapat digunakan persamaan berikut:

$$kesalahan \ relatif = \left| \frac{Xnumerik - Xreal \ lapangan}{Xreal \ lapangan} \right| x 100\%$$

Dengan:

Xnumerik : Variabel hasil pemodelan numerik

Xreal lapangan : Variabel hasil pemodelan lapangan

Untuk mendapatkan variabel hasil pemodelan numerik dan hasil pemodelan lapangan menggunakan bantuan program Arcmap 10.2. dari program tersebut dicari total semua gerusan baik pada pemodelan lapangan maupun pada hasil simulasi program SSIIM. Sehingga dari hasil perhitungan diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.5
Tabulasi sebagian hasil gerusan pada hasil simulasi SSIIM

	8 F		
No. Elemen	X	Y	Gerusam
370921	635253,659290	9098318,341180	-0,00650024414
370922	635256,517034	9098318,341180	-0,00650024414
370923	635259,374778	9098318,341180	-0,00648498535
370924	635262,232522	9098318,341180	-0,00648498535
370925	635265,090266	9098318,341180	-0,00462341309
370926	635267,948010	9098318,341180	-0,00462341309
370927	635270,805754	9098318,341180	-0,00462341309
370928	635273,663498	9098318,341180	-0,00460815430
370929	635276,521242	9098318,341180	-0,00459289551
370930	635279,378986	9098318,341180	-0,00459289551
370931	635282,236730	9098318,341180	-0,00364685059
370932	635285,094475	9098318,341180	-0,00363159180
370933	635287,952219	9098318,341180	-0,00363159180
370934	635290,809963	9098318,341180	-0,00361633301
370935	635293,667707	9098318,341180	-0,00361633301
370936	635296,525451	9098318,341180	-0,00360107422
370937	635299,383195	9098318,341180	-0,00360107422
	·	·	· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·

Sumber: Hasil Perhitungan

RAWIJAYA

Lanjutan Tabel 4.5 Tabulasi sebagian hasil gerusan pada hasil simulasi SSIIM

No. Elemen	X	Y	Gerusam
370938	635302,240939	9098318,341180	-0,00358581543
370939	635305,098683	9098318,341180	-0,00346374512
370940	635307,956427	9098318,341180	-0,00346374512
370941	635310,814171	9098318,341180	-0,00344848633
370942	635313,671915	9098318,341180	-0,00343322754
370943	635316,529659	9098318,341180	-0,00343322754
370944	635319,387403	9098318,341180	-0,00341796875
370945	635322,245147	9098318,341180	-0,00267028809
370946	635325,102891	9098318,341180	-0,00270080566
370947	635327,960635	9098318,341180	-0,00271606445
370948	635330,818380	9098318,341180	-0,00274658203
370949	635333,676124	9098318,341180	-0,00279235840
370950	635336,533868	9098318,341180	-0,00280761719
370951	635339,391612	9098318,341180	-0,00283813477
370952	635342,249356	9098318,341180	-0,00286865234
370953	635345,107100	9098318,341180	-0,00820922852
370954	635347,964844	9098318,341180	-0,00823974609
370955	635350,822588	9098318,341180	-0,00946044922
370956	635353,680332	9098318,341180	-0,00950622559
370957	635356,538076	9098318,341180	-0,00953674316
370958	635359,395820	9098318,341180	-0,00959777832
370959	635362,253564	9098318,341180	-0,00962829590
370960	635365,111308	9098318,341180	-0,00965881348
370961	635367,969052	9098318,341180	-0,00970458984
370962	635370,826796	9098318,341180	-0,01438903809
370963	635373,684541	9098318,341180	-0,01443481445
370964	635376,542285	9098318,341180	-0,01449584961
370965	635379,400029	9098318,341180	-0,01576232910
370966	635382,257773	9098318,341180	-0,01580810547
370967	635385,115517	9098318,341180	-0,01583862305
370968	635387,973261	9098318,341180	-0,01588439941
370969	635390,831005	9098318,341180	-0,02069091797
370970	635393,688749	9098318,341180	-0,02073669434
370971	635396,546493	9098318,341180	-0,02079772949
370972	635399,404237	9098318,341180	-0,02084350586
370973	635402,261981	9098318,341180	-0,02088928223
370974	635405,119725	9098318,341180	-0,02093505859
370975	635407,977469	9098318,341180	-0,02465820313
370976	635410,835213	9098318,341180	-0,02470397949
370977	635413,692957	9098318,341180	-0,02474975586
370978	635416,550701	9098318,341180	-0,02595520020
370979	635419,408446	9098318,341180	-0,02601623535
	Jumlah		-45219,8052978536
Sumber: Hasil			

Sumber: Hasil Perhitungan

70

tabulasi simulasi SSIIM.

Tabel diatas merupakan tabulasi sebagian hasil gerusan pada SSIIM. Terdapat sebanyak 370.979 nomor elemen. Namun, karena terdapat banyak sekali elemen yang dihasilkan maka hanya diambil beberapa elemen saja untuk dimasukkan ke dalam laporan ini. Yaitu dari nomor 370.921 sampai dengan 370.979, hal ini dikarenakan pada elemen 370.921 sampai dengan 370.979 merupakan hasil gerusan semua, tidak tercampur dengan hasil endapan. Tetapi untuk jumlah hasil gerusan merupakan keseluruhan jumlah dari hasil

Dari jumlah hasil gerusan yang terjadi diperoleh hasil sebesar -45.219,8052978536 Untuk mendapatkan volume gerusan, maka hasil gerusan pada tabel dikalikan dengan jumlah *cell size* yang bernilai 2,85774406400323 yang didapat dengan bantuan program Arcmap 10. Sehingga hasil volume gerusan adalah -45.219,8052978536 x 2,85774406400323 = -129.226,630

Tabel 4.6
Tabulasi sebagian hasil gerusan pada kondisi asli lapangan

No. Elemen	X	Y	Gerusan
370233	633287,531374	9098318,341180	-1,23190307617
370234	633290,389118	9098318,341180	-1,19064331055
370235	633293,246862	9098318,341180	-1,09811401367
370236	633296,104606	9098318,341180	-1,05287170410
370237	633298,962350	9098318,341180	-1,00953674316
370238	633301,820094	9098318,341180	-0,95515441895
370239	633304,677838	9098318,341180	-0,91925048828
370240	633307,535582	9098318,341180	-0,88896179199
370241	633310,393326	9098318,341180	-0,88204956055
370242	633313,251070	9098318,341180	-0,87985229492
370243	633316,108814	9098318,341180	-0,91395568848
370244	633318,966558	9098318,341180	-0,85989379883
370245	633321,824303	9098318,341180	-0,84965515137
370246	633324,682047	9098318,341180	-0,78230285645
370247	633327,539791	9098318,341180	-0,68185424805
370248	633330,397535	9098318,341180	-0,68243408203
370249	633333,255279	9098318,341180	-0,68374633789
370250	633336,113023	9098318,341180	-0,67428588867
370251	633338,970767	9098318,341180	-0,67520141602
370252	633341,828511	9098318,341180	-0,75570678711
370253	633344,686255	9098318,341180	-0,81230163574
370254	633347,543999	9098318,341180	-0,86500549316
370255	633350,401743	9098318,341180	-0,91879272461
370256	633353,259487	9098318,341180	-0,94891357422
370257	633356,117231	9098318,341180	-0,97908020020

Sumber: Hasil Perhitungan

Lanjutan Tabel 4.6 Tabulasi sebagian hasil gerusan pada kondisi asli lapangan

No. Elemen	X	Y	Gerusan
370258	633358,974975	9098318,341180	-0,94223022461
370259	633361,832719	9098318,341180	-0,97254943848
370260	633364,690464	9098318,341180	-1,00849914551
370261	633367,548208	9098318,341180	-1,04444885254
370262	633370,405952	9098318,341180	-1,07675170898
370263	633373,263696	9098318,341180	-1,11477661133
370264	633376,121440	9098318,341180	-1,15397644043
370265	633378,979184	9098318,341180	-1,18252563477
370266	633381,836928	9098318,341180	-1,21357727051
370267	633384,694672	9098318,341180	-1,23518371582
370268	633387,552416	9098318,341180	-1,30340576172
370269	633390,410160	9098318,341180	-1,31040954590
370270	633393,267904	9098318,341180	-1,31649780273
370271	633396,125648	9098318,341180	-1,27769470215
370272	633398,983392	9098318,341180	-1,25553894043
370273	633401,841136	9098318,341180	-1,22206115723
370274	633404,698880	9098318,341180	-1,17907714844
370275	633407,556624	9098318,341180	-1,14025878906
370276	633410,414369	9098318,341180	-1,10754394531
370277	633413,272113	9098318,341180	-1,07072448730
370278	633416,129857	9098318,341180	-1,05130004883
370279	633418,987601	9098318,341180	-1,01332092285
370280	633421,845345	9098318,341180	-1,00811767578
370281	633424,703089	9098318,341180	-0,95993041992
370282	633427,560833	9098318,341180	-0,91395568848
370283	633430,418577	9098318,341180	-0,84046936035
370284	633433,276321	9098318,341180	-0,75048828125
370285	633436,134065	9098318,341180	-0,70449829102
370286	633438,991809	9098318,341180	-0,63186645508
370287	633441,849553	9098318,341180	-0,52566528320
370288	633444,707297	9098318,341180	-0,41011047363
370289	633447,565041	9098318,341180	-0,28198242188
370290	633450,422785	9098318,341180	-0,14512634277
370291	633453,280529	9098318,341180	-0,00799560547
	Jumlah	•	-50214,174705509
Sumber: Hasil Perhitungan			

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel diatas merupakan tabulasi sebagian hasil gerusan pada kondisi asli lapangan. Terdapat sebanyak 370.979 nomor elemen. Namun, karena terdapat banyak sekali elemen yang dihasilkan maka hanya diambil beberapa elemen saja untuk dimasukkan ke dalam laporan ini. Yaitu dari nomor 370.233 sampai dengan 370.291, hal ini dikarenakan pada

elemen 370.233 sampai dengan 370.291 merupakan hasil gerusan semua, tidak tercampur dengan hasil endapan. Tetapi untuk jumlah hasil gerusan merupakan keseluruhan jumlah dari hasil tabulasi kondisi asli lapangan.

Dari jumlah hasil gerusan yang terjadi diperoleh hasil sebesar -50.214,174705509. Untuk mendapatkan volume gerusan, maka hasil gerusan pada tabel dikalikan dengan jumlah *cell size* yang bernilai 2,85774406400323 yang didapat dengan bantuan program Arcmap 10. Sehingga hasil volume gerusan adalah -50.214,174705509 x 2,85774406400323 = -143.499,259.

Dari hasil perhitungan jumlah gerusan pada lapangan dan simulasi SSIIM maka dengan menggunakan rumus kesalahan relatif diatas, diperoleh hasil sebagai berikut:

$$kesalahan \ relatif = \left| \frac{Xnumerik - Xreal \ lapangan}{Xreal \ lapangan} \right| x 100\%$$

$$kesalahan \ relatif = \left| \frac{129.226,630 - 143.499,259}{143.499,259} \right| x 100\%$$

Kesalahan relatif= 9,94%

Pada profil melintang Bendung Lodoyo dilakukan juga perhitungan kesalahan relatif dengan menggunakan bantuan program Autocad 2007, dimana pada setiap patok dicari luas area gerusan sehinnga didapatkan hasil seperti pada tabel berikut:

Tabel 4.6 Perhitungan Kesalahan Relatif pada Profil Melintang Bendung Lodoyo

No. Patok	Luas Area Gerusan	Luas Area Gerusan	Kesalahan Relatif
	pada Pemodelan Lapangan	pada Pemodelan Numerik	(%)
LD 1	56,126	11,571	79,38
LD 2	45,561	20,935	54,05
LD 3	56,328	6,998	87,58
LD 4	0,502	15,833	94,83
	Rerata		78,96

Sumber: Hasil Perhitungan

Pada perhitungan kesalahan relatif pada setiap patok potongan melintang Bendung Lodoyo, diketahui hasil kesalahan relatif rerata dari patok potongan melintang sebesar 78,96%. Kesalahan relatif ini tidak digunakan untuk kalibrasi model, karena jika menggunakan perhitungan luasan gerusan serta jarak antar patok untuk mengetahui hasil jumlah volume gerusan tidak akan dapat diverifikasi. Luasan area gerusan pada jarak antar patok tidak memiliki luasan yang sama.

Dalam pengerjaan studi ini, ada beberapa hal yang berpengaruh dalam validitas perubahan volume sedimen yaitu besaran inflow yang masuk, serta posisi sedimen pada tiap patok yang menjadi input data. Dalam studi ini dilakukan penyesuain terhadap posisi sedimen dimana posisi sedimen yang tersebar dibeberapa patok dalam input data ditempatkan bukan pada posisi patok sebenarmya. Sehingga sangat berpengaruh dengan perubahan volume sedimen. Akibatnya trend perubahan sedimen pada tiap patok menjadi berbeda, dimana masih terdapat kesalahan relatif yang sangat besar yaitu 94,83% pada patok LD 4 yang dijadikan sampel untuk potongan melintang.







BAB V KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa yang dilakukan untuk menjawab rumusan masalah diperoleh hasil sebagai berikut:

- 1. Perubahan dasar sedimen pemodelan numerik paling banyak terjadi pada bagian hilir waduk, dengan elevasi terendah +122,533 dan elevasi tertinggi +135,073 sedangkan pola sebaran sedimen juga banyak terjadi di hilir waduk terutama pada bagian kiri dan kanan waduk, terlebih disebelah kanan waduk terdapat PLTA yang semakin membuat banyak sedimentasi pada bagian tersebut. Dan kedalaman gerusan maksimum sebesar -2, 0709 m dan endapan maksimum sebesar 1,0296 m.
- 2. Volume gerusan pada kondisi asli lapangan sesudah *flushing* sebesar 143.449,259 m³ dan pada pemodelan numerik setelah *flushing* yang sudah dilakukan simulasi, volume gerusan sebesar 129.226,630 m³. Kesalahan relatif yang dihitung mendapatkan hasil sebesar 9,94%

5.2. Saran

- 1. Dari hasil pemodelan numerik pada laporan ini, *Sediment Simulation In Intake with Multiblock oprtion* (SSIIM) dapat digunakan untuk pemodelan sedimen setelah *flushing*, karena hasil pemodelan numerik dengan hasil kesalahan relative dibawah 10% namun dengan berbagai penyesuaian.
- 2. *Flushing* diharapkan dilakukan pada setiap tahun, sehingga pemeliharaan waduk dapat terjaga.
- Pada laporan ini juga terdapat keterbatasan data yang dimiliki yaitu pada ukuran sedimen, ukuran sedimen yang dimilik hanya pada tahun 2015. Pada tahun 2016 belum dilakukan pengambilan sample sedimen di Bendung Lodoyo

DAFTAR PUSTAKA

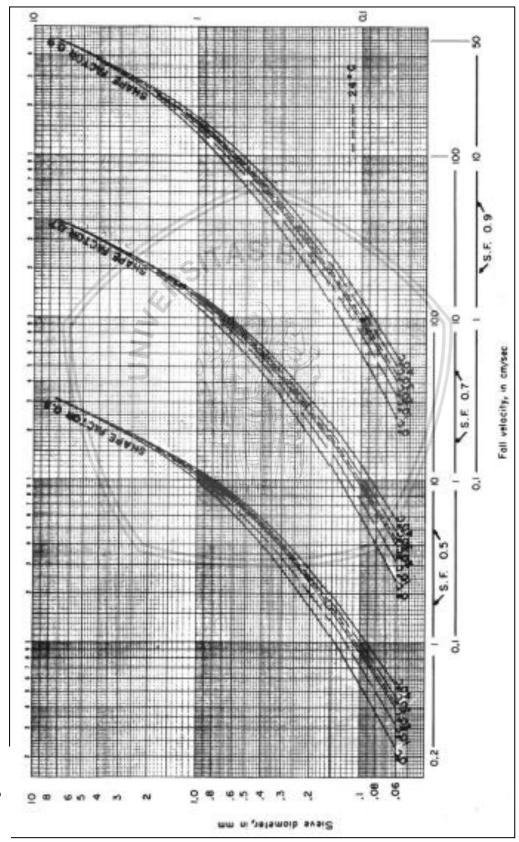
- Hoven, L.E. (2010). Three-dimensional Numerical Modelling of Sediments in Water Reservoirs. *Jurnal Teknologi*. D1-2010
- Morris, Gregory L. & Fan, Jiahua. (1998). *Reservoir Sedimentation Handbook*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Olsen, Nils Reidar B. (2014). A Three-Dimensional Numerical Model For Simulation Of Sediment Movement In Water Intakes With Multiblock Option. Norwegian: Department Of Hydraulic And Environmental Engineering The Norwegian University Of Science And Technology.
- Olsen, Nils Reidar B. (2000). *CFD Algorithms for Hydraulic Engineering*. Norwegian: Department of Hydraulic and Environmental Engineering The Norwegian University of Science and Technology.
- Olsen, Nils Reidar B. (1999). *Computational Fluid Dynamics in Hydraulic and Sedimentation Engineering*. Norwegian: Department of Hydraulic and Environmental Engineering The Norwegian University of Science and Technology.
- Olsen, Nils Reidar B. (2012). *Numerical Modelling and Hydraulics*. Norwegian: Department of Hydraulics and Environmental Engineering The Norwegian University of Science and Technology.
- Priyantoro, D. (1987). *Teknik Pengangkutan Sedimen*. Malang: Himpunan Mahasiswa Pengairan.

BRAWIJAYA

Lampiran 1 Control file pada SSIIM

```
control - Notepad
File Edit Format View
                                  title field
т
F 2
                                run choice
F 4 0.500000 50 0.010000
                                morphology data
F 6 0.025 1.5 0.3
                                coefficient for van Rijn
F 7
                                run options
F 10 R
                                van Rijn formula
F 11 2.650000 -0.047000
                                density of sediments and shields coefficient of
F 16 -2.000000
                                roughness in meters
F 33 420 30
                                time step, inner iterations
F 36 7
                                free water surface
F 37 2
                                transient set calculation
F 64 11
                                grid generation algorithm
F 70 1
                                no wall-laws on sides
F 94 0.3 10.0
                                minimum cellsize
F 102 1
                                wetting/drying
F 105 7
                                water update
F 106 0.5
                                active sediment layer
F 113 7
                                stabilize triangle cells
F 139 8.5 0.1
                                minimum value of u+
F 147 80 0 1 0.2 1.0 1.0
                                extrapolation
F 159 1 2 0 1 5
                                avoiding grid problem
F 164 31
                                consistent solver
F 168 9
                                multigridsolver
F 178 4
                                smoothing function for the water surface
F 179 1 1
                                upwind function for free water surface comp.
F 187 -1
                                special boundary conditions for water surface
F 200 1 0.1 0.1
                                k and epsilon
F 206 2
                                maximum processors
F 219 4
                                flushing
F 222 3
                                avoiding inflow/outflow-area sedimentation
F 224 100.0
                                surface residual
F 233 7
                                depth-averaged pressure field
F 235 10
                                lower relaxation for triangle cell
F 246 1 1 -1 0.01
                                surface limiters
G 1 300 300 11 1
                                grid and array sizes
G 3 121.290000 122.720000 124.150000 125.580000 127.010000 128.440000 129.87000€
5 1 0.0000570 0.0038
                              sedimen fraction size, fall velocity
5 1 0.0000228 0.0026
                                sedimen fraction size, fall velocity
5 1 0.0000557 0.0037
                                 sedimen fraction size, fall velocity
$ 1 0 0001887 0 0098
P 2 1.000000 1.000000 1.000000 0.000000 0.000000
P 3 2 2 2 1
K 1 40000 50000
                                number of iterations for flow
K 2 0 1
                                coeffisien for influence of surface/banks
K 3 0.800000 0.800000 0.800000 0.200000 0.500000 0.500000 relaxation coefficient
K 4 1 1 1 5 1 1
K 5 0 0 0 10 0 0
                                block corection
K 6 1 1 1 0 0 0
                                water flow educations
N 1 1 0.06
                                bed sediments
B 0 0 0 0
```





Grafik hubungan antara ukuran sedimen dan kecepatan jatuh

Lampiran 3



Proses flushing pada Bendung Lodoyo







Pengerukan Sedimen dengan alat bantu pada pintu PLTA



Kondisi Bendung Lodoyo setelah dilakukan flushing