

Penelusuran Banjir Untuk Optimalisasi Waduk Sampean Baru Kabupaten Bondowoso Lanjutan Tahun Kedua

Wiwik Yunarni Widiarti, Entin Hidayah, Sri Wahyuni
Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jln. Kalimantan 37, Jember 68121
E-mail: wiwikferi@gmail.com

Abstrak

Antisipasi dan kesiapan untuk kejadian banjir skala besar memiliki peran penting dalam mengurangi dampak dan mengoptimalkan perencanaan strategis sumber daya air. Hujan dalam waktu singkat dengan intensitas yang tinggi dan pada kemiringan lereng yang terjal akan menyebabkan banjir bandang dan erosi lahan. Kejadian ini menjadi masalah di DAS Sampean Baru karena akan memicu tampungan waduk penuh. Dengan tingginya muka air di tampungan waduk yang bercampur sedimen akan mengancam stabilitas tubuh bendung. Usaha yang harus dilakukan untuk menjaga keamanan waduk adalah membuang air secara cepat. Mengingat fungsi waduk adalah multi guna untuk irigasi, pembangkit listrik tenaga air dan pengendali banjir, maka tidak dapat begitu saja untuk melimpaskan air, tetapi tetap harus dijaga ketersediaan air untuk fungsi yang lain. Dampak dari flushing air secara mendadak adalah akan menyebabkan banjir bandang di hilir waduk dan selanjutnya mengancam kota Situbondo akan terancam bahaya banjir seperti tahun-tahun sebelumnya. Oleh karena itu tersedianya sistem informasi pengendali banjir yang terintegrasi pada seluruh DAS menjadi penting untuk dikerjakan dalam mengatasi bahaya banjir pada DAS Sampean Baru.

Kata Kunci: antisipasi banjir, erosi, penelusuran banjir, sedimentasi.

Ringkasan Eksekutif

Banjir bandang di kota Situbondo merupakan bencana yang datang secara tiba-tiba dengan waktu singkat yang sulit diprediksi menyebabkan kerusakan infrastruktur air, jebolnya tanggul, jalan, dan jembatan, kemacetan lalu lintas jalur Surabaya-Bali serta penggenangan wilayah pemukiman dan daerah irigasi. Perbaikan atau pemulihan akibat banjir ini membutuhkan biaya yang tidak sedikit jumlahnya jika dirupiahkan. Kejadian ini melanda kota Situbondo secara berulang pada tahun 2002, dan 2008. Banjir secara berulang yang merusak kota Situbondo ini dikarenakan posisi kota Situbondo merupakan hilir waduk Sampean Baru yang dilewati Sungai Sampean (outlet sungai Sampean menuju muara laut).

Penyebab kejadian banjir bandang di hilir waduk ini dikarenakan curah hujan dengan intensitas tinggi yang datang secara bersamaan di tampungan waduk, kemiringan lereng DAS curam (memicu perjalanan air menuju waduk menjadi lebih cepat) dan tidak diikuti pembukaan pintu sebelum aliran air datang sehingga terjadi terakumulasi debit di waduk. Untuk menjaga struktur tubuh bendung tetap aman, maka air di waduk harus dilimpaskan ke sungai Sampean. Pembuangan air dengan debit yang besar dan dalam kurun waktu yang singkat menyebabkan banjir bandang di kota Situbondo.

Selama ini sistem informasi pengendalian banjir di waduk Sampean Baru menggunakan bantuan titik pantau aliran banjir dan titik pantau hujan. Indikator banjir dipantau berdasarkan tinggi muka air di automatic water level recorder (AWLR) yang dipasang di Kelapa Sawit (posisinya 6 km di hulu bendungan Sampean Baru) dan di bendungan Sampean Baru. Selanjutnya indikator curah hujan di hulu DAS dipantau berdasarkan tinggi hujan pada alat ukur manual. Jika tinggi hujan melebihi 40 mm maka penjaga alat penakar hujan harus melaporkan ke posko, agar kejadian banjir di bendungan Sampean Baru mudah terkontrol. Lokasi titik pantau hujan di DAS Sampean Baru seluas 1057 km² ini dibagi menjadi 4 zonasi pemantau hujan. Keempat zonasi tersebut meliputi: sub DAS Gunung Piring, sub DAS Clangap, sub DAS Pakisan dan sub DAS Gubri. Dan tiga titik pengontrol debit di Tenggarang, Kelapa sawit dan Sampean Baru. Sarana komunikasi yang digunakan sebagai informasi pengendali banjir ini adalah handphone untuk komunikasi dari titik pantau ke posko sedangkan dari komunikasi antar posko menggunakan radio komunikasi reg.

Berdasarkan hasil wawancara dengan pihak UPT Sampean Baru di Bondowoso dan pengamatan sistem yang ada maka terdapat beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan dalam pengendalian banjir ini. Penentuan lokasi titik pantau, zonasi dan tinggi hujan sebagai indikator banjir hanya didasarkan pengamatan dan pengalaman lapangan yang belum didasarkan pada hasil simulasi pemodelan hujan-aliran. Pengukuran hujan di lapangan masih menggunakan resolusi rendah skala harian. Untuk keperluan penelusuran banjir yang dibutuhkan data hujan resolusi tinggi. Sehingga besar debit dan waktu datangnya air menuju waduk belum dapat diprakirakan secara tepat. Akurasi parameter model hidrologi merupakan kunci penting untuk menghasilkan variabilitas debit banjir sungai yang akurat (Alfieri et al, 2012).

Selain itu, pedoman operasi dan bukaan pintu bendungan Sampean Baru sebagai acuan early warning sytem tidak menggunakan pendekatan optimasi waduk tetapi hanya didasarkan trial lapangan yang berdasarkan tinggi muka air di waduk. Sehingga jika terjadi hujan di hulu waduk sulit untuk memperkirakan tinggi muka air di waduk yang akan terjadi. Mengingat fungsi waduk adalah multiguna yaitu selain sebagai pengendali banjir juga sebagai suplai irigasi, dan pembangkit tenaga air, maka tinggi muka air di waduk butuh cenderung dipertahankan. Keterlambatan pengambilan keputusan dalam membuka pintu waduk karena terdapat selang waktu perjalanan dari hujan di hulu menjadi

aliran di waduk menyebabkan kegagalan operasi pintu. Dari permasalahan yang ada, antisipasi atau kesiapan terhadap terjadinya banjir di DAS Sampean Baru menjadi penting.

A. TUJUAN

Tujuan umum kegiatan penelitian adalah mengintegrasikan model prediksi banjir dan optimasi waduk multiguna secara real-time selama kondisi banjir untuk mendukung pengambilan keputusan operasional di DAS Sampean Baru. Adapun untuk mencapai tujuan tersebut penyelesaian penelitian ini dilakukan selama 2 tahun.

Tahun pertama akan membuat model prediksi banjir dengan mencari pengaruh banjir puncak terhadap intensitas hujan pada titik pantau, kemiringan lereng, tata guna lahan dan panjang pengaliran. Kegiatan yang dilakukan antara lain :

- a) Mengidentifikasi dan mapping karakteristik fisik DAS meliputi: batas sub DAS, kemiringan lereng, jenis tanah, tata guna lahan dan panjang sungai.
- b) Mendisagregasi data hujan harian menjadi jam-jaman untuk berbagai durasi dan intensitas pada stasiun yang tidak memiliki data hujan jam-jaman.
- c) Mensimulasi model hujan aliran dan penelusuran banjir untuk menentukan peak flow, waktu konsentrasi banjir.

Hasil penelitian tahun pertama akan menjadi integrasi model hujan aliran pada tahap kedua yaitu membuat model optimasi waduk Sampean Baru sebagai pengendali banjir, yang selanjutnya digunakan untuk pengambilan keputusan operasional banjir. Kegiatan tahap kedua yang akan dilakukan antara lain:

- a) Membuat hubungan antara debit, volume waduk, tinggi muka air waduk.
- b) Melakukan optimasi operasi bukaan pintu bendungan.

B. MANFAAT

Manfaat penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan praktis lapangan dan sebagai pengembangan pengetahuan hidrologi maupun manajemen sumber daya air khususnya pengendalian banjir dengan rincian sebagai berikut.

1. Sebagai proteksi banjir di daerah hilir dan hulu bendungan
2. Penyediaan air di musim kemarau dan menjaga kebutuhan ekologi

3. Perkiraan limpasan air di waduk menjadi lebih dapat diandalkan
4. Menjaga stabilitas struktur tubuh bendungan.
5. Acuan dalam operasional dalam pengendalian banjir bagi petugas pengontrol baik di hulu DAS (sebagai acuan informasi hujan) dan bagi pihak penjaga operasional pengendali pintu waduk.
6. Metode pemodel hujan aliran, penelusuran banjir dan optimasi waduk ini dapat digunakan untuk pengembangan pemodelan serupa pada DAS maupun waduk lain dengan karakteristik yang sama.
7. Pengembangan model hidrologi dan optimasi waduk untuk menghadapi perubahan iklim.

C. LUARAN HASIL PENELITIAN

Pada tahun pertama penelitian ini akan menghasilkan penelitian berupa:

- a) Parameter model hujan-aliran dan penelusuran banjir pada DAS Sampean
- b) Debit banjir prakiraan

Pada tahun kedua penelitian ini akan menghasilkan penelitian berupa:

- a) Model Optimasi banjir waduk Sampean Baru
- b) Panduan operasional pengendalian banjir waduk Sampean Baru.

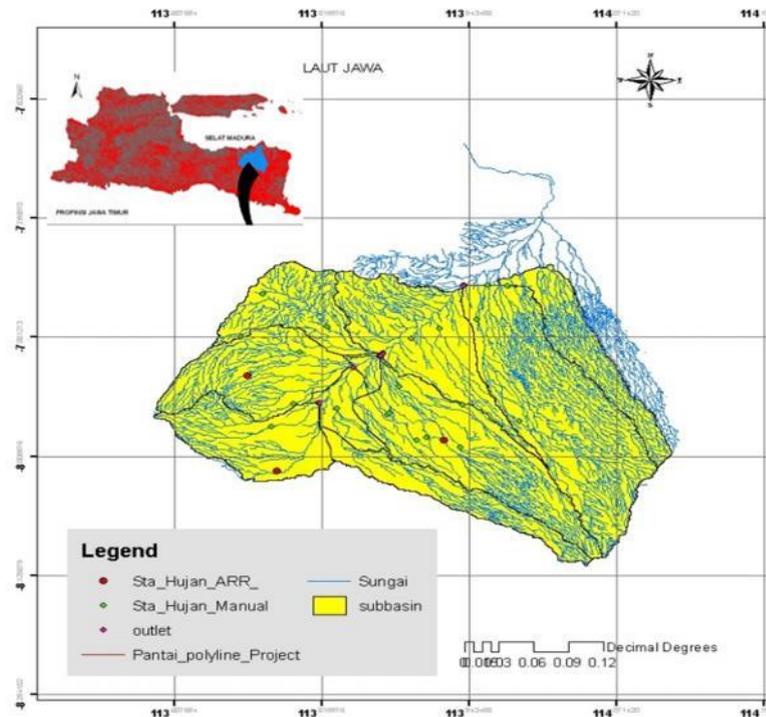
Sebagian data penelitian ini didukung oleh UPT Pengembangan Sumber Daya Air Sampean Baru karena UPT tersebut sangat membutuhkan panduan operasional pengendalian banjir. Selanjutnya, panduan ini akan diusulkan ke Pemerintah Propinsi selaku pejabat yang memberi legalitas sebagai Standart Operasional Prosedur dalam Pengendalian Banjir Waduk Sampean Baru oleh UPT Pengembangan Sumber Daya Air Sampean Baru.

D. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di DAS Sampean Baru di Kabupaten Bondowoso. Secara geografis, DAS ini terletak antara 7°70' - 8°00' Lintang Selatan dan antara 113°60' - 114°12' Bujur Timur. DAS Sampean secara keseluruhan memiliki wilayah seluas 1206 km². Pada DAS ini, terdapat sebanyak: 17 unit alat ukur hujan manual (AUHM) yang

tersebar pada seluruh DAS, 3 unit alat ukur hujan otomatis (AUHO) atau ARR pada bagian hulu yaitu di stasiun Sentral, Maesan dan Pakisan, dan alat pengukur 3 unit pengukur debit atau AWLR. Lokasi AWLR dari hulu ke hilir adalah di Tenggarang, Kelapa Sawit, dan Dam Sampean Baru.



Gambar 1 Peta DAS Sampean Baru

Tahapan Penelitian

Pada tahun ke 1 kegiatan penelitian ini dibagi dalam 2 tahap yaitu: identifikasi dan pengolahan data, dan proses pemodelan hujan aliran dan penelusuran banjir.

- **Identifikasi dan olah data pada tahun 1**

Identifikasi dan olah data pada penelitian ini meliputi sebagai berikut :

- a) Identifikasi dan pengolahan data klimatologi

Identifikasi data klimatologi berupa data curah hujan harian (tahun 2000-2012) dari 17 stasiun hujan manual untuk data harian dan 3 stasiun hujan otomatis untuk data hujan jam-jaman (tahun 2005-2012), kelembaban relatif, kecepatan angin suhu maksimum harian, suhu minimum harian, suhu rata-rata harian dan durasi sinar matahari. Sebagai data pengontrol hasil pemodelan data debit pengamatan pada 3 titik control stasiun AWLR (Tenggarang, Klapa Sawit dan

Tenggarang) juga dibutuhkan. Semua data ini di support oleh UPT Pengelolah Sumber Daya air Sampean Baru.

b) Identifikasi dan pengolahan data fisiografi DAS

Data fisiografi DAS meliputi: data kontur, jenis tanah, tata guna lahan, data (ketinggian) akan diolah menjadi layer batas sub DAS, Digital Elevasi Model (DEM), slope, dan panjang sungai menggunakan Arch GIS 9.3. Data ini diperoleh dari Bakorsutanal yang pengujian dengan ground cheking lapangan

• **Proses pemodelan hujan aliran pada tahun 1**

Langkah awal yang harus dilakukan dalam pemodelan hujan aliran dan penelusuran banjir adalah memastikan bahwa sistim DAS yang dimodelkan dalam HEC-HMS memiliki akurasi yang tepat. Step yang harus dijalankan meliputi:

- a) Kalibrasi dan validasi model, yaitu dilakukan melalui proses kalibrasi dan validasi hasil pemodelan terhadap debit pengukuran AWLR untuk masing-masing lokasi kontrol debit.
- b) Simulasi model hujan aliran dan penelusur banjir dengan menggunakan data real time dan memberi perilaku DAS dengan segala kemungkinan kejadian hujan untuk menentukan perkiraan peak flow dan menentukan waktu perjalanan banjir.

• **Inventarisasi dan pengolahan data tahun 2**

Inventarisasi dan olah data sebagai input optimasi ini meliputi: data kapasitas tampungan maksimum dan minimum, Komulatif kontrol volume air, tinggi batas atas waduk, tinggi gelombang, hubungan luas dan storage dari kurva karakteristik Waduk Sampean Baru, debit air hasil pengukuran, evaporasi, kebutuhan air irigasi, dan kebutuhan air PLTM, tinggi gelombang.

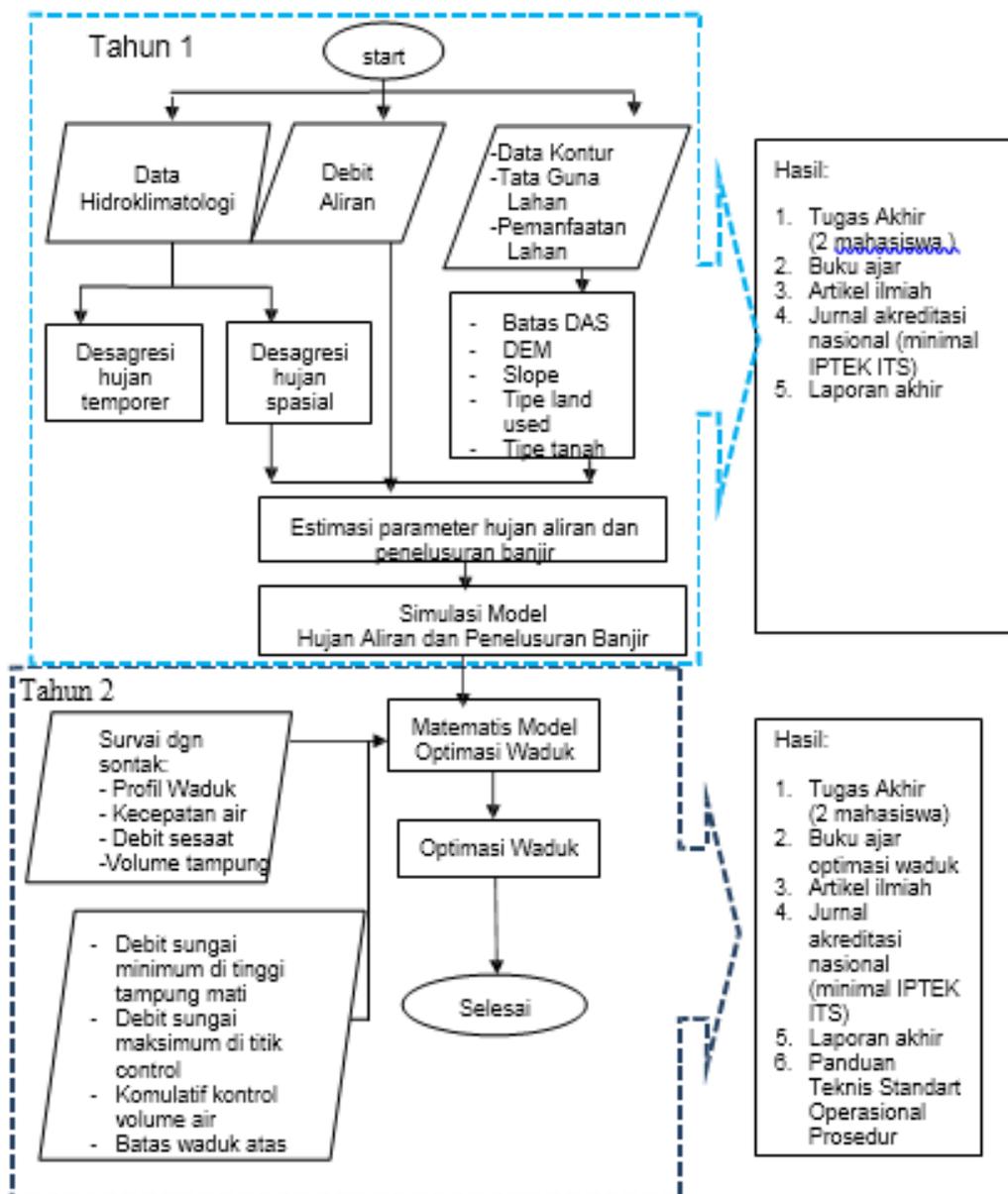
Data kecepatan air dan profil waduk diperoleh melalui survai menggunakan alat Sontek River Surveyor Sistem. Alat ini dilengkapi acoustic Doppler profiler system dengan basis software berbasis Windows (2000/NT/ME/XP). Alat ini mampu untuk mengukur kecepatan aliran secara akurat selain itu dirancang secara cepat untuk mengukur debit sungai dari kapal bergerak. Hasil pengukuran didapatkan potongan melintang waduk sehingga didapatkan hubungan tinggi muka air dengan volume waduk. Proses pengukuran dilakukan untuk setiap 25 m dari potongan memanjang waduk. Berdasarkan data tersebut

didapatkan hubungan antara tinggi muka air, debit dan volume tampungan waduk.

- **Proses Optimasi waduk tahun 2**

Langkah langkah yang dilakukan dalam proses optimasi waduk meliputi:

- Menentukan parameter-parameter yang akan dioptimalkan (dalam studi ini yang akan dioptimalkan ialah kebutuhan air irigasi).
- Menyusun model matematis dengan menentukan fungsi tujuan, dan fungsi kendala sebagai dasar komputasi model.
- Proses running model dengan maksud menormalkan fungsi tujuan untuk menjaga stabilitas optimasi multiobjective.
- Menentukan sensitivitas efisiensi waduk dengan mengacu pada ukuran tinggi air dan dan besar air yang dilimpaskan di spillway,
- Mengevaluasi kinerja waduk



Gambar 2 Bagan alir penelitian dan hasil penelitian

E. PEMBAHASAN

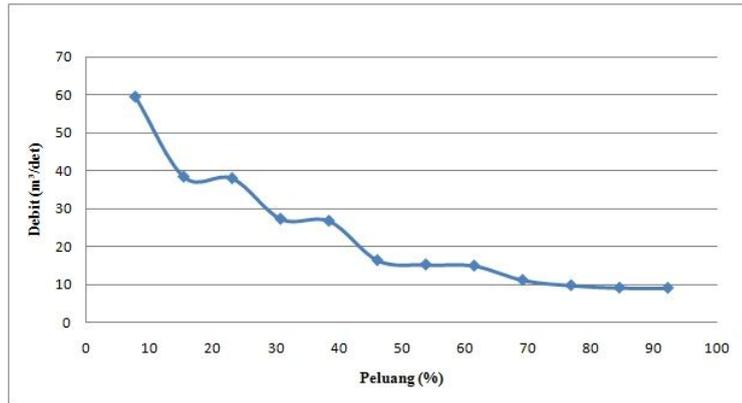
Debit Dominan

Data hidrologi yang dipergunakan sebagai pedoman untuk memperkirakan berapa besarnya debit sungai yang masuk ke Waduk Sampean Baru merupakan data sekunder dari Sungai Sampean, data ini merupakan data debit bulanan selama 24 tahun mulai tahun 1985 sampai tahun 2009. Berdasarkan hasil perhitungan besarnya debit yang mengalir pertahun yaitu 274.862 m³/det. Selanjutnya dilakukan analisis *inflow* debit sungai tahunan dengan peluang untuk mendapatkan gambaran mengenai hubungan antara pengaliran debit dan waktu. Pembuatan grafik aliran tersebut dimulai dari data debit sungai selama 24 tahun yang dirata-rata, kemudian diurutkan mulai dari rata-rata debit yang besar ke yang kecil (dirangking) dan dihitung peluangnya. Berikut adalah perhitungan data debit rata-rata pertahunnya dan grafik alirannya :

Tabel 1 Debit Rata-rata Sungai Sampean

No	Q Rerata m ³ /det	Peluang %
(1)	(2)	(3)
1	59.518	7.692
2	38.388	15.385
3	37.979	23.077
4	27.248	30.769
5	26.706	38.462
6	16.294	46.154
7	15.157	53.846
8	14.845	61.538
9	11.053	69.231
10	9.667	76.923
11	9.040	84.615
12	8.969	92.308
	Jumlah	274.862

Sumber : Hasil Perhitungan

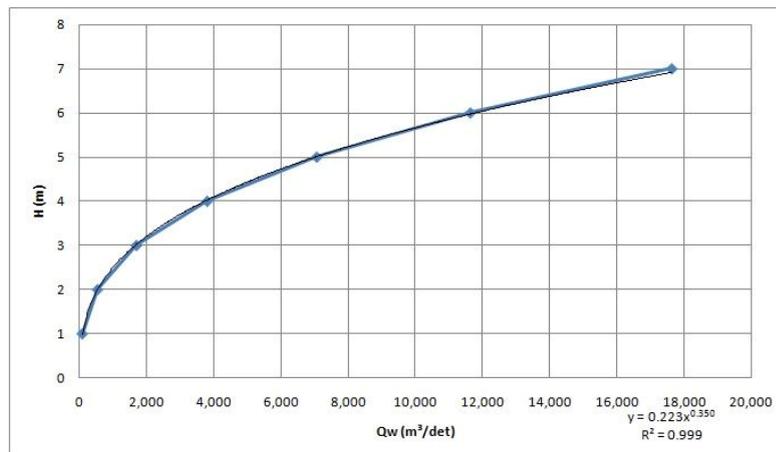


Gambar 3 Grafik Aliran Sungai Sampean

Pada grafik di atas didapatkan debit dominan pada Sungai Sampean 9,416 m³/detik yang berdasarkan peluang terjadinya (probabilitas) yaitu 80% dimana debit terbesar akan menyebabkan jumlah transport sedimen terbesar.

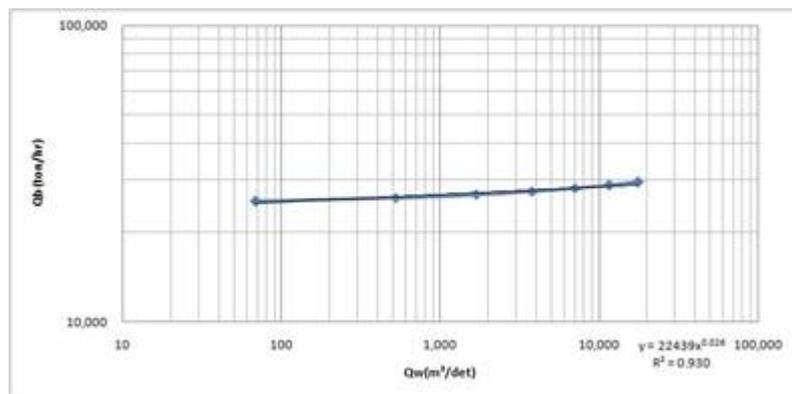
Sedimentasi Waduk Sampean Baru

Perhitungan volume muatan dasar (*bed load*) Sungai Sampean menggunakan rumus MPM (*Meyer – Peter – Muller*) dikarenakan rumus ini mudah digunakan. Hasil perhitungan didapatkan gambar hubungan antara H dan Qw dan persamaan Qw dan Qb. Pada hasil perhitungan didapatkan grafik hubungan antara H dan Qw dengan nilai koefisien determinasinya $R^2 = 0,999$ dan koefisien korelasinya $r = 0,999$ yang menunjukkan bahwa antara ketinggian dan debit air yang mengalir mempunyai hubungan yang positif baik yaitu bahwa semakin besar debit air semakin tinggi kedalaman air di waduk tersebut.



Gambar 4 Grafik Hubungan Antara H dan Qw

Setelah itu didapatkan persamaan dan grafik untuk perhitungan *bed load* yang menunjukkan hubungan antara *bed load* dan debit aliran (Q_b dan Q_w). Didapatkan persamaan yaitu $y = 22439X^{0,02}$ nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,930$ dan koefisien korelasinya $r = 0,964$ ini mempunyai hubungan positif baik dan menunjukkan sedimen yang terbawa arus ke waduk cukup besar volumenya sehingga dapat terjadi pengendapan di dasar waduk. Berikut adalah gambar grafiknya :



Gambar 5 Grafik Antara Q_w dan Q_b

Total Sedimen

Total sedimen yang masuk ke Waduk Sampean Baru berasal dari Sungai Sampean yang bermuara di waduk tersebut. Pada perhitungan MPM di dapatkan persamaan $y = 22439X^{0,02}$ yang menghasilkan jumlah total *bed load* sebesar 670.769 ton lalu dikonversi agar satuannya menjadi m^3 yaitu dibagi dengan berat isi sedimen sebesar $1.620 \text{ kg}/m^3$ yang didapatkan dari uji penelitian laboratorium dan kemudian dikalikan dengan komposisi material endapan sedimen di sungai yaitu pasir (37,1%), lempung (5,5 %) dan lanau (57,5 %) kemudian dibagi dengan spesifik gravitasi waduk pasir (2,65), lempung (2,73), dan lanau (2,73) yaitu yang didapatkan dari uji penelitian laboratorium. Hasil perhitungan tersebut didapatkan total endapan sedimen sebesar 153.226 m^3 yang terjadi di Waduk Sampean Baru.

Analisis Sedimentasi Waduk Sampean Baru

Perhitungan selanjutnya adalah analisis sedimentasi pada Waduk Sampean Baru menggunakan 3 metode empiris, yaitu *Area Increment*, *Empirical Area Reduction*, dan

Moody's Modification. Pada perhitungan total endapan sedimen sebesar 153.226 m³ dihitung dengan masing-masing metode empiris ditinjau dari berapa tahun pengukuran pengerukan. Pengukuran pengerukan pada Waduk Sampean Baru dilakukan pada tahun 2003 dan 2009 (interval 6 tahun).

- **Metode Area Increment**

Metode empiris Area Increment merupakan metode yang digunakan untuk menghitung timbunan dan besarnya sedimen pada tampungan waduk setelah kurun waktu beberapa tahun. Melalui perhitungan dengan metode ini dengan mencoba-coba ho sampai dapat diketahui berapa elevasi timbunan sedimennya saat volume sedimen yang masuk ke waduk (V_0) sama dengan volume sedimen yang tersebar di waduk (V_s). Pada perhitungan terjadi antara elevasi dasar + 103 m sampai elevasi puncak + 125 m yaitu pada elevasi + 116 m dengan volume sedimen sebesar 97.859,83 m³.

- **Metode Empirical Area Reduction**

Metode empiris *Empirical Area Reduction* juga merupakan metode yang digunakan untuk menghitung timbunan dan besarnya sedimen pada tampungan waduk setelah beberapa tahun. Melalui perhitungan dengan metode ini dengan menentukan Klasifikasi Tipe Waduk Sampean Baru didapatkan $m = 1,048$ (Tipe Waduk IV, $m = 1,0 - 1,5$) dari persamaan grafik antara volume dan elevasi. Setelah itu menghitung luas permukaan dengan memasukkan rumus $A_p = C \times P^m \times (1-P)^n$, dimana $C = 1,486$, $m = 0,25$ dan $n = 1,34$; didapatkan Rumus A_p dimana Klasifikasi Tipe Waduk bahwa Waduk Sampean Baru masuk dalam Tipe Waduk IV (1,0 – 1,5). Dengan memasukkan rumus tersebut dapat diketahui berapa elevasi timbunan sedimennya saat volume sedimen tersebut habis. Pada perhitungan tersebut terjadi antara elevasi dasar + 103 m sampai elevasi puncak + 125 m yaitu elevasi +116 m dengan volume sebesar 184.812 m³.

- **Metode Moody's Modification**

Melalui metode empiris yang ketiga *Moody's Modification* juga dapat digunakan untuk menghitung timbunan dan besarnya volume sedimen pada tampungan waduk setelah kurun waktu beberapa tahun. Tapi sebelumnya dibuat dahulu grafik *Moody's* yaitu hubungan antara kedalaman relatif (p) dengan fungsi kedalaman

(h'p) untuk Tipe Waduk Sampean Baru yaitu Tipe IV. Pada perhitungan metode ini akan didapatkan fungsi kedalaman (h'p) sedimen waduk 6 tahun yaitu hasil volume sedimen yang terjadi dikurangi oleh volume kapasitas waduk lalu dibagi dengan hasil ketinggian dikalikan luas permukaan kemudian hasil perhitungan tersebut diplotkan pada grafik Moody's. Setelah diplotkan akan didapatkan titik potong yang merupakan titik kedalaman relatif kemudian diinterpolasi, dari hasil interpolasi tersebut dikalikan dengan ketinggian. Dari perhitungan tersebut didapatkan volume sebesar 97.859 m³ dengan elevasi + 116 m.

Analisis Perhitungan Tiga Metode Empiris

Dari hasil perhitungan ketiga metode empiris tersebut, didapat kesamaan yaitu volume sedimen berhenti pada elevasi +116 m. Volume sedimen pada elevasi +116 m menurut metode *Area Increment* adalah 97.859,83 m³, menurut *Empirical Area Reduction* adalah 184.812 m³ dan menurut *Moody's Modification* adalah 97.859 m³.

Dari hasil di atas diketahui bahwa hasil metode *Area Increment* relatif dekat atau memiliki selisih yang kecil dengan hasil metode *Moody's Modification*. Hal ini karena secara matematis volume sedimen pada metode *Area Increment* sama dengan metode *Moody's Modification* yaitu volume sedimen total dikurangi volume waduk, sedangkan metode *Empirical Area Reduction* secara matematis menkomulatifkan volume sedimen akibat luasan relatifnya. Dari data pengerukan sedimen (informasi volume sedimen pengerukan tanpa elevasi) diketahui volume sedimen adalah 212.566,73 m³ dengan menggunakan asumsi bahwa pengerukan dilakukan pada elevasi paling atas terjadinya sedimentasi (menurut ketiga metode adalah pada elevasi +116 m, maka metode yang mendekati adalah *Empirical Area Reduction*). Ini bisa dilihat dari hasil perhitungan tabel 2 yang paling mendekati adalah rumus empiris *Empirical Area Reduction*, dimana selisihnya paling kecil ketika dibandingkan dengan volume pengerukan yaitu sebesar 27.754,73 m³. Maka dari ketiga metode tersebut yang dapat digunakan untuk memprediksi volume sedimentasi adalah *Empirical Area Reduction* karena pada metode empiris ini menggunakan konstanta-konstanta karakteristik yang disesuaikan berdasarkan tipe waduk yaitu C, m dan n.

Tabel 2 Perhitungan Volume Sedimen Metode Empiris dengan Pengukuran Pengerukan

Metode Empiris	Volume Sedimen Metode Empiris (m ³)	Volume Pengukuran Pengerukan (m ³)	Selisih (m ³)
<i>Area Increment</i>	97.859,83	212.566,73	114.706,90
<i>Empirical Area Reduction</i>	184.812	212.566,73	27.754,73
<i>Moody's Modification</i>	97.859	212.566,73	114.707,73

Sumber : Hasil Perhitungan

F. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan ketiga metode empiris tersebut, didapat kesamaan yaitu volume sedimen terhenti pada elevasi +116 m. Volume sedimen pada elevasi +116 m menurut metode Area Increment adalah 97.859,83 m³, menurut Empirical Area Reduction adalah 184.812 m³ dan menurut Moody's Modification adalah 97.859 m³. Dari hasil di atas diketahui bahwa hasil metode Area Increment relatif dekat atau memiliki selisih yang kecil dengan hasil metode Moody's Modification. Hal ini karena secara matematis volume sedimen pada metode Area Increment sama dengan metode Moody's Modification yaitu volume sedimen total dikurangi volume waduk, sedangkan metode Empirical Area Reduction secara matematis menkomulatifkan volume sedimen akibat luasan relatifnya. Dari data pengerukan sedimen (informasi volume sedimen pengerukan tanpa elevasi) diketahui volume sedimen adalah 212.566,73 m³ dengan menggunakan asumsi bahwa pengerukan dilakukan pada elevasi paling atas terjadinya sedimentasi (menurut ketiga metode adalah pada elevasi +116 m, maka metode yang mendekati adalah Empirical Area Reduction). Dari hasil perhitungan yang paling mendekati adalah rumus empiris Empirical Area Reduction, dimana selisihnya paling kecil ketika dibandingkan dengan volume pengerukan yaitu sebesar 27.754,73 m³. Maka dari ketiga metode tersebut yang dapat digunakan untuk memprediksi volume sedimentasi adalah Empirical Area Reduction karena pada metode empiris ini menggunakan konstanta-konstanta karakteristik yang disesuaikan berdasarkan tipe waduk.

Saran

Untuk penelitian selanjutnya dilakukan pada objek studi yang mempunyai data pembandingan (data volume sedimen yang dilengkapi dengan elevasi atau echosounding) dan dapat membuat model persamaan sehingga dapat memprediksi volume sedimen yang akan mendatang.

G. DAFTAR PUSTAKA

- Alfieri L., Burek P., Dutra E., Krzeminski B., Muraro D., Thielen J., dan Pappenberger F. GloFAS – *global ensemble streamflow forecasting and flood early warning*, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 9, 12293–12332, 2012 www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/9/12293/2012/
- Arsyad, Sitanala. 2010. *Konservasi Tanah Dan Air*. Edisi Kedua. Bogor: IPB Press.
- Asdak, Chay. 2007. *Hidrologi Dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, Cetakan Keempat. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Badan Penerbit Universitas Jember. 2010. *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*. Edisi Ketiga. Jember: Badan Penerbit Universitas Jember.
- Chow, Ven Te. 1997. *Hidrolika Saluran Terbuka*. Jakarta : Penerbit Erlangga.
- Dinas Pengairan. 2010. *Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Sungai Sampean Kabupaten Bondowoso*. Bondowoso: Jawa Timur.
- Erwanto, Zulis.2007. “Pengaruh Tindakan Konservasi Tata Guna Lahan Terhadap Laju Erosi Di Daerah Aliran Sungai (Das) Sampean Baru Bondowoso Menggunakan Sistem Informasi Geografis”. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Jember : Universitas Jember.
- Firmansyah. A., 2012, *Perbandingan Pemodelan Hujan Aliran Berdasarkan Kerapatan Spasial Hujan Menggunakan Mudrain (Studi Kasus Subdas Klopo Sawit Das Sampean)*, Laporan Tugas Akhir Jurusan teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember
- Han (2010a), *Decision support for damrelease during floods using a distributed biosphere hydrological model driven by quantitative precipitationforecasts*, *Water Resour. Res.*, 46,W10544, doi:10.1029/2010WR009502.
- Hidayah E., Anwar N., dan Edijatno, 2011, *Validation of Rainfall Disaggregation Model Using Bayesian (PAR (1)24) Model Coupled with Adjusting And Filtering Procedure*, International Seminar on Water Related Risk Management.

- Hidayah, E., 2012, *Akurasi Data Hujan Hasil Disagregasi Untuk Pemodelan Hidrograf Banjir di Sub DAS Klapa Sawit*, Jurnal Elevasi vol 4 no 16 Desember 2012 ISSN 1858-00921.
- Isnawati. R, 2013, *Aplikasi Model HSS Clark pada Sub DAS Kloplo Sawit Kabupaten Bondowoso*, Laporan Tugas Akhir Jurusan teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember
- Johnson, S. A., J. R. Stedinger, and K. Staschus, 1991, *Heuristic operating policies for reservoir system simulation*, *Water Resour. Res.*, 27(5), 673–685, doi:10.1029/91WR00320
- Khu, S. T., dan H. Madsen (2005), *Multiobjective calibration with Paretopreference ordering: An application to rainfall–runoff model calibration*, *Water Resour. Res.*, 41, W03004, doi:10.1029/2004WR003041.
- Koutsoyiannis, D., 2003, *Rainfall Disaggregation Methods: Theory And Applications*, *Workshop on Statistical and Mathematical Methods for Hydrological Analysis*, Roma.
- Koutsoyiannis, D. dan Onof C., 2001, *Rainfall disaggregation using adjusting procedures on a Poisson cluster model*, *Journal of Hydrology*, 246, 109-122.
- Kordi, Tancung Andi. 2002. *Pengelolaan Kualitas Air*. Jakarta: Penerbit Rineka Cipta.
- Labadie, J. W. (2004), *Optimal operation of multireservoir system: State-of-the-art review*, *J. Water. Resour. Plann. Manage.*, 130, 93 – 111, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9496(2004)130:2(93).
- Maidment, D.R, 1992, *Handbook of hydrology*, Mc.GRAW-HILL. INC, New York.
- Mays, L.W., 1996, *Water Resources Handbook*, hal. 6.16-6.36, McGraw-Hill, New Jersey
- Ngo, L. L., H. Madsen, dan D. Rosbjerg (2007), *Simulation and optimization modelling approach for operation of the Hoa Binh reservoir, Vietnam*, *J. Hydrol.*, 336, 269–281, doi:10.1016/j.jhydrol.2007.01.003.
- Natalia K. P.R, 2008, *Penyusunan Rule Curve Waduk Menggunakan Model Program Dinamik Deterministik*, *Jurnal Teknik sipil Volume 8 No. 3, Juni 2008* : 225 - 236
- Ningsih H. F., 2011, *Analisis Perbandingan Keandalan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu Dengan Hidrograf Satuan Sintetik Limantara Pada Sub Das Kloplo Sawit Kabupaten Bondowoso*, Laporan Tugas Akhir Jurusan teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember

- Onof C., and Arrnbjerg-Nielsen K., , 2009 “*Quantification of anticipated future changes in high resolution design rainfall for urban area*”, Atmospheric Research, 92, 350-363
- Raharjo, Panggih. 2008. “Simulasi Sedimentasi Dan Analisis Umur Waduk Studi Kasus Waduk Saguling”. Tidak Diterbitkan. Skripsi. Bandung : ITB.
- Soewarno. 1995. *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Jilid 2. Bandung : Penerbit Nova
- Saavedra Valeriano, O. C., T. Koike, K. Yang, T. Graf, X. Li, L. Wang, dan X.
- Saavedra Valeriano, O. C., T. Koike, K. Yang, dan D. W. Yang (2010b), *Optimal dam operation during flood season using a distributed hydrological model and a heuristic algorithm*, *J. Hydrol., Eng.*, 15(7),580–586,doi:10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000212.
- Stedinger, J. R., B. F. Sule, and D. P. Loucks (1984), *Stochastic dynamic programming models for reservoir operation optimization*, *WaterResour. Res.*, 20(11), 1499–1505, doi:10.1029/WR020i011p01499