

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Krisis atau permasalahan sumberdaya air di Indonesia disebabkan oleh beberapa hal, yang sangat menonjol antara lain : terjadinya degradasi lingkungan sebagai akibat pembabatan hutan yang dilakukan di Daerah Aliran Sungai (DAS) sehingga mengakibatkan penurunan kemampuannya dalam menyimpan air. Pembabatan hutan yang tidak bertanggung jawab tersebut mengakibatkan 58 DAS di Indonesia kritis (Soenarno, 2001), kemudian meningkat menjadi 62 DAS kritis (Tarigan, 2009), dan saat ini, terdapat 108 daerah aliran sungai (DAS) berada dalam kondisi kritis (Sustayo, 2016). Beberapa kriteria penetapan DAS kritis antara lain rendahnya persentase penutupan lahan, tingginya laju erosi tahunan, besarnya rasio debit sungai maksimum dan debit minimum, serta kandungan lumpur yang berlebihan (sediment load). Indikasi DAS kritis tersebut memberi petunjuk bahwa sistem lingkungan yang mendukung proses daur hidrologi sedang dan telah mengalami kerusakan, antara lain berkurangnya areal hutan pada kawasan tangkapan air, tingkat erosi dan sedimentasi yang meningkat, sehingga berakibat banjir, tanah longsor, dan menurunnya kesuburan tanah.

Erosi dan sedimentasi tidak terkendali menimbulkan kerugian yang cukup besar, baik berupa menurunnya produktivitas tanah serta rusaknya bangunan-bangunan air dan terjadinya sedimentasi waduk (Suripin, 2002^a). Proses perkiraan debit sedimen sangat sulit karena variabel input data banyak dan beragam, biasanya data sangat terbatas, karena proses terjadinya erosi sampai debit sedimen mekanismenya cukup kompleks. Analisis debit sedimen biasanya dilakukan dengan pembuatan lengkung sedimen (*Sediment Rating Curve*) yang memerlukan data pengukuran yang cukup panjang yang meliputi berbagai *range* debit kecil sampai besar dan jika dilakukan pengukuran memerlukan waktu, dana dan tenaga. Oleh karena itu perkiraan atau prediksi erosi, debit sedimen pada skala daerah aliran sungai sangat diperlukan untuk perencanaan bendungan dan reservoir, desain konservasi tanah, perencanaan tata guna lahan, manajemen kualitas air dan strategi pengendalian yang efektif mengurangi resiko aliran air, dan melindungi terhadap erosi.

Sejumlah model atau pendekatan untuk prediksi erosi dan debit sedimen sudah banyak dikembangkan. Model erosi-debit sedimen, seperti model WEPP (Nearing et al.,

1989), model KINEROS (Woolhiser et al., 1990), model ANSWERS (Beasley et al., 1980), model AGNPS (Young et al., 1987 and 1989) dan model SWAT (Arnold et al., 1998 ; Borah dan Bera, 2003) mencakup analisis erosi dan debit sedimen pada wilayah lahan daerah aliran sungai yang diakibatkan oleh curah hujan dan aliran permukaan lahan. Kothyari (1996) menerapkan metode *Time-Area* untuk prediksi hasil sedimen dengan variasi waktu. Apip et al. (2007, 2008) dengan *lumped sedimen runoff model* menganalisis aliran sedimen mencakup wilayah di lahan berlereng dan di sungai pada daerah aliran sungai.

Penerapan model atau pendekatan persamaan tersebut membutuhkan ketersediaan data input cukup banyak, beragam dan ekstensif, baik untuk kalibrasi maupun verifikasi. Belum adanya acuan dasar dalam pemilihan model yang sesuai untuk daerah yang akan dikembangkan juga merupakan suatu permasalahan tersendiri. Banyak penelitian menunjukkan bahwa model yang kompleks belum tentu memberikan hasil yang baik bahkan dapat menghasilkan hasil yang kurang akurat dibandingkan dengan model yang sederhana (Chiew et al., 1993 ; Sujono, 1997 ; Nurrochmad et al., 1998). Metode prediksi yang ideal harus memenuhi persyaratan-persyaratan, yaitu harus dapat diandalkan, dapat digunakan secara umum, mudah dipergunakan dengan data yang minimum, komprehensif dalam hal faktor-faktor yang dipergunakan dan dapat mengikuti (peka) terhadap perubahan-perubahan yang terjadi di DAS (Morgan, 1986).

Lee and Singh (2005, 2007) menerapkan model tangki untuk hasil sedimen, dengan analisis menggunakan susunan 3 (tiga) tangki *cascade* dengan parameter model tangki yang sama, baik untuk analisis hujan-aliran berupa debit (Sugawara et al., 1984 dan 1991 ; Sugawara, 1979 ; Phien et al., 1983), maupun analisis hasil sedimen yaitu debit dikalikan dengan konsentrasi sedimen. Penerapan model tangki untuk hasil sedimen ini menggunakan asumsi bahwa konsentrasi sedimen mengalami infiltrasi, perkolasi, dan kondisi sebenarnya kecil kemungkinan terjadi proses demikian, hal ini merupakan kelemahan dalam model. Penelitian tentang model tangki untuk prediksi debit sedimen pada Daerah Aliran Sungai sampai dengan tahun 2016 belum ada kelanjutan penelitiannya.

Menurut Hudson (1971) aliran sedimen dalam sungai terutama disebabkan oleh erosi yang terjadi dalam daerah aliran sungai tersebut. Soewarno (1991) Erosi dan angkutan sedimen adalah termasuk dalam proses hidrologi yang terjadi dalam Daerah Aliran sungai (DAS). Proses hidrologi baik secara langsung atau tidak langsung, akan mempengaruhi

erosi, transpor sedimen, deposisi sedimen di daerah hilir. Proses tersebut berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi debit sedimen.

Proses erosi - debit sedimen pada skala Daerah Aliran Sungai, terjadi di lahan berlereng dan di saluran atau sungai. Diawali dengan kejadian hujan, proses debit sedimen di lahan berlereng dipengaruhi oleh hujan dan aliran permukaan, maka proses tersebut dapat direpresentasikan sebagai tampungan sedimen di lahan berlereng, dan proses debit sedimen di saluran atau sungai yang dipasok oleh bahan sedimen dari lahan berlereng, erosi dasar dan tebing sungai, maka proses tersebut dapat direpresentasikan sebagai tampungan sedimen di sungai atau saluran. Oleh karena itu prediksi debit sedimen pada daerah aliran sungai dapat dilakukan dengan konsep model tampungan yaitu model yang direpresentasikan merespon debit sedimen di daerah aliran sungai. Salah satu model dengan konsep tampungan adalah model tangki.

Lee and Singh (2005, 2007) menerapkan model tangki (susunan 3 tangki *cascade*) untuk hasil sedimen, dengan analisis debit hasil model tangki dikalikan konsentrasi sedimen. Analisis ini menggunakan asumsi bahwa konsentrasi sedimen mengalami infiltrasi, perkolasi, dan kondisi sebenarnya kecil kemungkinan terjadi proses demikian. Kemudian analisis debit sedimen berdasar model hujan- aliran yaitu model tangki dengan memasukkan unsur sedimen belum dilakukan (Apip, 2007). Berdasarkan uraian beberapa model yang ada, suatu model hidrologi berupa model tangki dapat dikembangkan untuk prediksi debit sedimen pada Daerah Aliran Sungai dengan memodifikasi susunan tangki berdasar proses erosi dan debit sedimen pada wilayah Daerah Aliran Sungai dan ini belum dilakukan.

1.2 Identifikasi Masalah

Beberapa permasalahan yang terkait dengan pengembangan Model Tangki untuk Prediksi Debit Sedimen pada Daerah Aliran Sungai dapat diidentifikasi sebagai berikut:

- 1) Degradasi lingkungan yang terjadi di Daerah Aliran Sungai (DAS) mengakibatkan DAS kritis dan saat ini di Indonesia terdapat 108 daerah aliran sungai (DAS) berada dalam kondisi kritis (Sustayo, 2016). Indikasi DAS kritis tersebut antara lain tingkat erosi dan sedimentasi yang meningkat dan menimbulkan dampak negatif baik

langsung maupun tidak langsung seperti menurunnya produktivitas tanah serta rusaknya bangunan-bangunan air dan terjadinya sedimentasi waduk;

- 2) Ketersediaan data erosi dan sedimen sangat diperlukan untuk mendesain bangunan bendungan, konservasi tanah, bangunan irigasi, menentukan pengelolaan DAS, namun pada kenyataannya ketersediaan data tersebut sangat terbatas.
- 3) Data debit sedimen biasanya diperoleh dengan pembuatan lengkung sedimen (*Sediment Rating Curve*) yang memerlukan data pengukuran yang cukup panjang yang meliputi berbagai *range* debit kecil sampai besar dan jika dilakukan pengukuran memerlukan waktu, tenaga, dana yang cukup besar dan sulit untuk berkelanjutan;
- 4) Sejumlah model atau pendekatan untuk prediksi erosi dan debit sedimen sudah banyak dikembangkan, namun penerapan model tersebut membutuhkan ketersediaan data input cukup banyak, beragam dan ekstensif, baik untuk kalibrasi maupun verifikasi;
- 5) Lee and Singh (2005, 2007) menerapkan model tangki untuk hasil sedimen, dengan menggunakan parameter yang sama, baik untuk analisis hujan-aliran (Sugawara et al., 1984 dan 1991 ; Sugawara, 1979 ; Phien et al., 1983), maupun analisis hasil sedimen yaitu hasil keluaran model tangki untuk hujan-aliran berupa debit dikalikan dengan konsentrasi sedimen. Dengan asumsi bahwa konsentrasi sedimen mengalami infiltrasi, perkolasi, dan kondisi sebenarnya kecil kemungkinan terjadi proses demikian, hal ini merupakan keterbatasan dalam model;
- 6) Beberapa model untuk analisis aliran sedimen yaitu model hujan –aliran dengan memasukkan unsur sedimen dengan metode lumped berbasis distributed yang sudah ada, dan sebatas teori belum dilakukan dan diterapkan; dan
- 7) Belum ada model tangki untuk prediksi debit sedimen pada Daerah Aliran Sungai yang merepresentasikan proses erosi dan sedimentasi pada DAS, dengan konsep pemodelan variasi atau konfigurasi model tangki berdasar proses erosi dan sedimentasi.

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang terkait dengan pengembangan model tangki untuk prediksi debit sedimen pada Daerah Aliran Sungai, maka rumusan masalah dapat diuraikan sebagai berikut:

- 1) Apakah model tangki dapat digunakan untuk prediksi debit sedimen pada Daerah Aliran Sungai?
- 2) Bagaimanakah konfigurasi atau susunan model tangki yang paling tepat untuk pemodelan debit sedimen dan bisa memberikan hasil perkiraan yang lebih baik dari model sebelumnya?
- 3) Bagaimana pencarian parameter model tangki yang optimum?

1.4 Maksud dan Tujuan

Penelitian ini dimaksudkan untuk mengembangkan model tangki untuk prediksi debit sedimen pada Daerah Aliran Sungai dengan melakukan optimasi parameter model, sedangkan tujuan yang hendak dicapai melalui penelitian disertasi ini adalah sebagai berikut:

- 1) Mengembangkan model tangki untuk prediksi debit sedimen pada Daerah Aliran sungai
- 2) Mendapatkan dan merumuskan konfigurasi atau susunan model tangki yang optimum dan bisa memberikan hasil perkiraan yang lebih baik dari metode sebelumnya
- 3) Menentukan besaran parameter-parameter model tangki dengan metode optimasi

1.5 Kebaruan (noveltis)

Penelitian dan kajian erosi dan debit sedimen pada Daerah Aliran Sungai telah banyak dilakukan, dengan beberapa pendekatan antara lain pengukuran di lapangan (*sedimen rating curve*) atau pemodelan (WEPP, AGNPS, SWAT). Pendekatan pengukuran lapangan membutuhkan waktu, tenaga dan biaya cukup besar dan pemodelan membutuhkan data cukup banyak, beragam dan ekstensif dan kenyataan ketersediaan data terbatas. Pemodelan dengan ketersediaan data terbatas pada umumnya model sederhana, salah satunya model tangki untuk hasil sedimen (Lee and Singh, 2005 dan 2007), dimana analisisnya seperti model tangki untuk model hujan-aliran dengan susunan tangki paralel secara vertikal yang hasilnya dikalikan dengan konsentrasi sedimen, namun model ini ada keterbatasan berupa asumsi bahwa konsentrasi sedimen mengalami proses infiltrasi, perkolasi. Apip (2007) melakukan analisis aliran sedimen model hujan- aliran dengan memasukkan unsur sedimen. Dalam penelitian ini dikembangkan model hidrologi berupa model tangki dengan memasukkan unsur sedimen untuk prediksi debit sedimen pada Daerah aliran Sungai dengan memodifikasi susunan tangki berdasar proses erosi

debit sedimen pada wilayah Daerah Aliran Sungai, yang terdiri dari model tangki dengan tiga tangki, seri dan *cascade*), dua tangki *cascade*, tiga tangki *cascade*, dan model tangki dengan satu tangki dan penelitian ini belum pernah dilakukan.

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian yang akan dilaksanakan akan memberikan beberapa manfaat sebagai berikut :

- 1) Model hidrologi berupa model tangki dapat digunakan untuk memprediksi debit sedimen pada Daerah aliran Sungai dengan mudah dan tingkat akurasi tinggi.
- 2) Model dengan program bantu dapat meningkatkan efisiensi kalibrasi serta ketelitian model sehingga didapatkan hasil yang baik.
- 3) Model dapat memberikan informasi penunjang untuk perancangan pengelolaan sungai terutama sedimentasi, dan bangunan keairan.

1.7 Pembatasan Masalah

Permasalahan debit sedimen sangat luas dan kompleks, maka dalam penelitian ini diberikan batasan-batasan sebagai berikut :

- 1) Debit sedimen yang dimaksud dalam penelitian adalah hasil erosi yang disebabkan oleh curah hujan (*rainfall*) dan limpasan hujan (*runoff*) di Daerah Aliran Sungai (lahan berlereng, alur dan parit)
- 2) Proses rinci di alur sungai mengenai sifat-sifat aliran dan sifat-sifat sedimen tidak ditinjau atau diperhitungkan dalam model penelitian ini. Proses hitungan debit sedimen di alur sungai didasarkan pada data pengukuran lapangan.
- 3) Analisis debit sedimen orientasi skala waktu adalah *event*
- 4) Satuan waktu yang digunakan dalam model tangki adalah menitan
- 5) Asumsi dengan kondisi *steady state*
- 6) Evapotranspirasi diasumsikan diabaikan, karena kejadian hujan, nilai evaporasi dan evapotranspirasi cukup rendah.

1.8 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan Naskah Disertasi, disajikan dalam 6 (enam) bab yang meliputi :

Bab 1 PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, identifikasi masalah, perumusan masalah, maksud dan tujuan, manfaat penelitian, pembatasan masalah penelitian

dalam pengembangan model hidrologi model tangki untuk prediksi debit sedimen pada Daerah Aliran Sungai dan sistematika penulisan

Bab 2 KAJIAN PUSTAKA DAN KERANGKA BERPIKIR

Berisi tentang kajian pustaka yang relevan dan memberikan dasar bagi materi penelitian dalam pengembangan model hidrologi berupa model tangki untuk debit sedimen pada Daerah Aliran Sungai dan metode optimasi parameter model dalam penelitian ini menggunakan metode Algoritma Genetika dengan bantuan program MatLab, kemudian landasan teori, kajian teori dan pustaka yang mendukung penelitian ini yaitu konsep rumusan model tangki dengan memasukkan unsur sedimen (konsentrasi sedimen) dan analisa debit sedimen berupa tampungan sedimen akibat hujan dan aliran permukaan, menggunakan metode *Lumped* berbasis *distributed* dengan membagi DAS dalam bentuk *grid* atau segmen. Kemudian merumuskan susunan tangki, dalam penelitian ini ada 4 model tangki yang dikembangkan untuk prediksi debit sedimen pada Daerah Aliran Sungai yaitu Model Tangki 1 (3 tangki seri bercascade), Model Tangki 2 (2 tangki cascade), Model Tangki 3 (3 tangki cascade) dan Model Tangki 4 (1 tangki). Setelah itu diikuti dengan uraian kerangka berpikir, dan hipotesa penelitian.

Bab 3 METODE PENELITIAN

Bab ini memberi gambaran tentang proses atau prosedur penelitian yang dilakukan untuk memberikan jaminan bahwa hasil penelitian ini adalah bersifat obyektif dan dapat dipertanggungjawabkan kebenarannya secara ilmiah. Isi bab ini menguraikan metode yang digunakan berupa simulasi komputasi untuk pengembangan model hidrologi yaitu model tangki untuk prediksi debit sedimen pada Daerah Aliran Sungai. Langkah-langkah adalah *setting* eksperimen lapangan untuk mendapatkan data primer sebagai input pada model tangki dan *setting* analisis model tangki dengan optimasi parameter metode Algoritma Genetika dengan bantuan program dengan MatLab, dengan data input model terdiri dari data hujan dan data debit sedimen hipotetik, data observasi di sub DAS Kreo dan data DAS lain meliputi sub DAS Sungai Lesti di Jawa Timur, Sub DAS Naqwa, India dan sub DAS Hirudani di Jepang. Kriteria ketelitian uji model menggunakan koefisien korelasi (R), kesalahan volume (VE), rerata kesalahan relatif (RE) dan akar rata-rata jumlah kuadrat kesalahan (RMSE).

Bab 4 KOMPILASI DAN ANALISIS DATA

Bab ini berisi tentang kompilasi data meliputi data hujan, data konsentrasi sedimen, data debit dan data debit sedimen, kemudian hasil-hasil pengolahan data dari *setting* eksperimen lapangan dan *setting* analisis simulasi model dalam pengembangan model hidrologi model tangki dengan program komputer untuk mendapatkan nilai debit sedimen dan parameter-parameter model yang optimum untuk dicari temuannya. Hasil simulasi model adalah debit sedimen dalam bentuk grafik maupun tabel, dan hasil nilai kriteria ketelitian model.

Bab 5 PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

Dalam bab pembahasan hasil penelitian ini membahas secara mendalam dan ilmiah terhadap apa yang sudah diperoleh dalam analisis data untuk memperoleh model tangki yang tepat untuk prediksi debit sedimen pada Daerah Aliran Sungai dari 4 model tangki yang dikembangkan, kemudian berdasarkan nilai kriteria ketelitian uji model berupa koefisien korelasi (R), kesalahan volume (VE), rerata kesalahan relatif (RE) dan akar rata-rata jumlah kuadrat kesalahan (RMSE), dan perbandingan hasil yang diperoleh dari penelitian ini dengan metode lainnya yaitu metode *Lumped* dan metode *Time Area*.

Bab 6 KESIMPULAN, IMPLIKASI DAN SARAN

Bab ini berisi tentang hasil-hasil dari analisis dan kalibrasi dirumuskan untuk disimpulkan, uraian tentang implikasi atau penggunaan hasil penelitian sesuai manfaatnya serta saran-saran yang bersumber dari hasil penelitian untuk penelitian selanjutnya.