

UPAYA PENINGKATAN UMUR GUNA WADUK MELALUI PENANGGULANGAN EROSI SECARA MEKANIK (STUDI KASUS: DAS WADUK KEULILING ACEH BESAR PROVINSI ACEH)

Azmeri¹, Alfiansyah Yulianur¹, Maimun Rizalihan¹ dan Shafur Bachtiar²

¹Jurusan Teknik Sipil FT Universitas Syiah Kuala, Jalan Syech Abdurrauf Darussalam B. Aceh 23123

²Pengairan Dinas Pekerjaan Umum Kabupaten Pidie Jaya

Email: azmeri73@yahoo.com dan shafurbachtiar@gmail.com

Abstrak

Sesuai dengan rencana pada saat desain awal, Waduk Keuliling yang berada pada Kecamatan Cot Glie, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh memiliki umur rencana 50 tahun. Namun dilihat dari kondisi penurunan tata guna lahan di DAS, sangat rentan umur rencana tersebut dapat dicapai. Untuk menganalisis secara tepat dampak dari perubahan tata guna lahan terhadap bahaya laju erosi di DAS Waduk Keuliling tersebut, diperlukan studi untuk penanggulangan bahaya erosi pada waduk terbesar di Aceh ini. Hasil kalibrasi didapat nilai debit hasil simulasi telah mendekati nilai debit observasi dari Bagpro PDSA-DPU Aceh. Dari uji kalibrasi melalui regresi linier diperoleh koefisien determinasi (R^2) = 0.810 dan nilai koefisien korelasinya (R) = 0.900. Nilai koefisien korelasi ini menunjukkan bahwa kedua data memiliki kesamaan waktu kejadian hidrologi dan valid. Berdasarkan hasil analisis limpasan permukaan rerata bulanan diperoleh informasi bahwa limpasan tinggi terjadi pada bulan November ($0,82 \text{ m}^3/\text{dt}$) dan Desember ($0,87 \text{ m}^3/\text{dt}$), di mana curah hujan yang terjadi pada kedua bulan ini juga cukup tinggi. Untuk bulan Mei-Agustus curah hujan sedikit, tetapi masih terjadi limpasan permukaan. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya limpasan permukaan yang terjadi antara lain luas Sub DAS, jenis tanah dan kemiringan lahan. Sebaran nilai rerata erosi lahan bulanan selama kurun waktu 10 tahun memberikan informasi bahwa erosi lahan paling besar terjadi pada bulan Desember sebesar $5,55 \text{ ton/ha/bulan}$. Nilai laju erosi yang tinggi ini disebabkan oleh limpasan permukaan yang tinggi. Selain itu, dipengaruhi oleh kemiringan lahan dan jenis tanah pada lokasi tersebut. Faktor penting lain yang menyebabkan besarnya erosi yang terjadi adalah jenis penutupan lahan/penggunaan lahan pada lokasi tersebut. Berdasarkan kondisi eksisting umur guna waduk hanya selama 23 tahun, tidak dapat mencapai umur rencana sampai 50 tahun. Usaha konservasi lahan yang direkomendasikan dilakukan pada Sub DAS 3, Sub DAS 5, Sub DAS 7, Sub DAS 9 dan Sub DAS 11 dengan kriteria Tingkat Bahaya Erosi (TBE) “sedang” berupa konservasi mekanik melalui pembuatan teras guludan. Melalui pengelolaan Sub DAS tersebut dapat menurunkan jumlah sedimen dan dapat meningkatkan umur guna waduk sampai dengan 64 tahun. Penurunan sedimen tersebut disebabkan penurunan laju limpasan permukaan, sehingga daya rusaknya (erosi) dapat berkurang dan untuk menjaga agar kondisi DAS tetap stabil.

Kata kunci: Erosi, sedimentasi, kalibrasi, debit limpasan, regresi, umur guna.

Pendahuluan

Banyak penelitian yang berkonsentrasi pada manajemen konservasi lahan dan air pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Faktor-faktor yang dikaji terkait dengan lingkungan alam, termasuk curah hujan, tipe tanah dan batuan, kecuraman lereng, vegetasi yang berperan terhadap laju erosi. Selain hal tersebut, kegiatan manusia seperti budidaya di lereng curam, relokasi dan rekayasa konstruksi cukup berperan menghasilkan erosi tanah yang intensif (CUI Peng, 2011). Untuk menganalisis laju erosi secara akurat, permasalahan utama model empiris erosi adalah kurangnya akurasi dalam memproses sejumlah besar data yang harus digitalisasi dengan Geography Information System (GIS) dan dianalisis dengan model matematika (Fazel, 2010). Terdapat beberapa model matematika dalam perhitungan laju erosi, diantaranya model USLE, MUSLE, dan RUSLE. Model RUSLE terintegrasi dengan teknik GIS memiliki

potensi besar untuk menghasilkan erosi dan hasil sedimen peta risiko yang akurat dan murah (Arekhi, 2012).

Dengan adanya waduk pada sebuah sungai, maka akan memperkecil kecepatan aliran sungai. Pengurangan kecepatan aliran tersebut menyebabkan terjadinya sedimentasi yang cepat. Konsep rasio pengiriman sedimen untuk erosi berasal dari masing-masing unit lahan menuju ke outlet tangkapan (dalam hal ini waduk). Proses pengiriman sedimen dari sel-sel jaringan ke outlet tangkapan diwakili oleh karakteristik topografi dari tiap unit lahan (Rabin, 2010)

Keberadaan Waduk Keuliling yang berada pada Kecamatan Cot Glie, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh, pengoperasiannya untuk memenuhi kebutuhan pengembangan areal persawahan di daerah irigasi Keuliling Hulu dan irigasi Keuliling Hilir, menyuplai kekurangan air di daerah irigasi Krueng Aceh Extension dan Krueng Aceh Jreue, dan yang terakhir telah dibangun Pembangkit Listrik Mikrohidro. Demikian besar peran Waduk Keuliling tersebut bagi roda kehidupan masyarakat. Namun akibat perubahan kebutuhan ruang di berbagai bidang menyebabkan perubahan yang cepat pada tata guna lahan di DAS Waduk Keuliling yang semakin meningkatkan laju erosi di DAS. Dampak perubahan alam dan lingkungan, sangat mempengaruhi tingkat sedimen yang masuk waduk, sehingga mengganggu pengoperasian waduk.

Sesuai dengan rencana pada saat desain awal, Waduk Keuliling memiliki umur rencana 50 tahun. Namun dilihat dari kondisi penurunan tata guna lahan di DAS, sangat rentan umur rencana tersebut dapat dicapai. Langkah Pemerintah daerah melalui Dinas Pengairan Provinsi Aceh untuk melakukan konservasi di DAS Waduk Keuliling, sangat perlu didukung oleh sarana model yang akurat secara spasial dan temporal sebagai sistem informasi bencana dengan menggunakan model laju erosi-sedimentasi yang berbasis Geographic Information System (GIS). Untuk menganalisis secara tepat dampak dari perubahan tata guna lahan terhadap bahaya laju erosi di DAS Waduk Keuliling tersebut, maka dirasakan sangat mendesak diperlukannya studi untuk penanggulangan bahaya erosi yang akan mempertahankan konservasi Waduk Keuliling yang merupakan waduk terbesar di Aceh.

Alasan yang menyebabkan studi kasus dilakukan pada DAS Waduk Keuliling karena pada DAS waduk tersebut telah mengalami degradasi yang kompleks, memiliki data historis yang lengkap, dan relatif mudah dijangkau untuk pengambilan data observasi sebagai verifikasi model. Sehingga dengan model verifikasi yang diperoleh dan telah diuji keabsahannya, maka dapat diaplikasikan pada waduk lainnya. Dengan diperolehnya model yang telah valid, maka untuk sasaran jangka panjang dapat diaplikasikan untuk pengurangan risiko bencana di Provinsi Aceh. Provinsi Aceh sedang dalam pembangunan waduk-waduk yang besar, diantaranya Waduk Rajui dan Tiro (Pidie). Dan pada kenyataan telah terjadi perubahan tata guna lahan di setiap DAS waduk-waduk tersebut. Model yang dihasilkan sangat aplikatif untuk dikembangkan sebagai manajemen bencana waduk-waduk yang ada di Provinsi Aceh khususnya dalam pengurangan risiko bencana.

Metode Studi

Penelitian akan terdiri atas analisis teoritis, analisis model laju erosi, serta analisis GIS untuk menghasilkan manajemen konservasi lahan dalam mengatasi permasalahan laju erosi pada setiap unit lahan di seluruh kawasan DAS Waduk Keuliling. Penelitian diawali dengan studi literatur, selanjutnya dilakukan pengumpulan data fisik dan karakteristik DAS Waduk Keuliling. Dilakukan penyiapan data model; data yang telah dikumpulkan, diedit, dan diolah, kemudian disiapkan untuk disusun menjadi data masukan model.

Kegiatan yang dilakukan meliputi:

- a) Identifikasi dan karakterisasi titik keluaran DAS;
- b) Analisis perubahan tutupan lahan;
- c) Analisis korelasi antara perubahan lahan dengan faktor-faktor yang terkait yaitu curah hujan, pengelolaan tanah oleh penduduk, topografi DAS;
- d) Simulasi debit harian, laju erosi, dan sedimentasi menggunakan aplikasi model berbasis GIS.
- e) Analisis umur guna waduk

Hasil dan Pembahasan

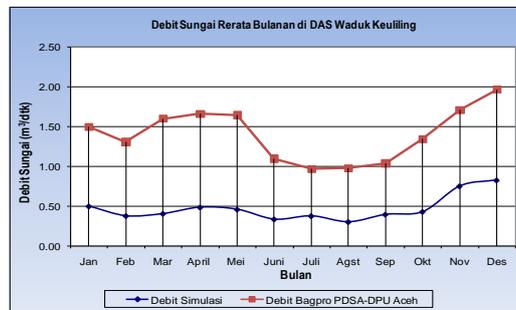
A. Simulasi Model

Simulasi model dilakukan tiap periode per-tahun pada 15 Sub DAS. Parameter simulasi:

1. Periode simulasi (*Periode of Simulation*): Januari 1998–31 Desember 2007
2. *Rainfall/Runoff/ Routing: Daily/CN/Daily*
3. Distribusi Hujan (*Rainfall distribution*): *Skewed normal*
4. Perhitungan ET Potensial: *Pennman-Monteith method Crack flow*: Tidak aktif
6. Metode Routing pada Saluran: Muskingum

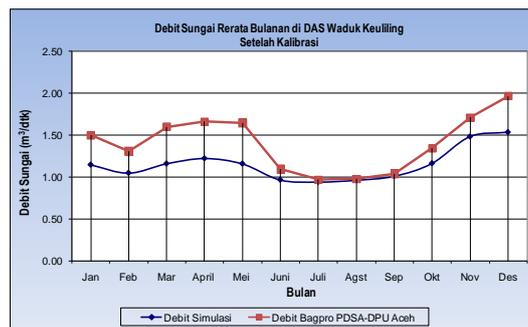
7. Dimensi Saluran: Tidak Aktif
8. Kualitas Air pada Aliran: Tidak Aktif
9. Kualitas Air pada Danau: Tidak Aktif
10. Frekuensi Keluaran: Harian

Simulasi dilakukan sesuai dengan jumlah data hujan yaitu selama 10 tahun. Kalibrasi data debit hasil simulasi dengan data debit Bagpro PDSA-DPU Aceh.



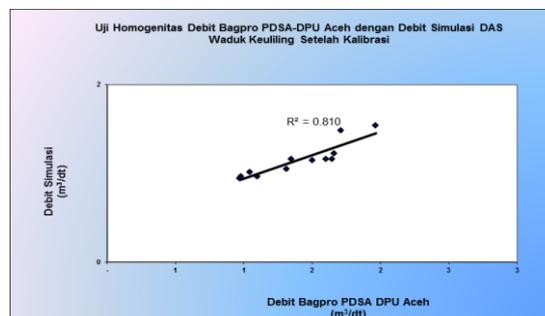
Gambar 1. Grafik Hasil Debit Simulasi dan Debit Bagpro PDSA-DPU Aceh

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa kedua debit memiliki *trend* yang sama, dimana debit simulasi lebih kecil dari debit observasi. Kalibrasi dilakukan untuk menyesuaikan debit simulasi agar sesuai dengan debit observasi. Hasil simulasi debit setelah kalibrasi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Hasil Debit Simulasi dan Debit Bagpro PDSA-DPU Aceh (Kalibrasi)

Dari grafik dapat dilihat bahwa setelah dilakukan kalibrasi, didapat nilai debit hasil simulasi mendekati nilai debit Bagpro PDSA-DPU Aceh. Selanjutnya hasil debit simulasi setelah kalibrasi diuji dengan model regresi linear sederhana. Variabel hidrologi yang digunakan dalam analisis regresi adalah data debit hasil simulasi setelah kalibrasi dengan data debit Bagpro PDSA-DPU Aceh seperti pada grafik uji homogenitas disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Uji Kalibrasi Debit Simulasi dan Debit Bagpro PDSA-DPU Aceh

Dari uji kalibrasi di atas, didapat nilai koefisien determinasi (R^2) = 0.810 dan nilai koefisien korelasinya (R) = 0.900. Nilai koefisien korelasi ini menunjukkan bahwa kedua data memiliki kesamaan waktu kejadian hidrologi. Dengan demikian, data hasil simulasi tersebut dapat diterima.

B. Limpasan Permukaan

Besaran limpasan permukaan dalam studi ini tersebar di 15 Sub DAS. Kemudian hasil simulasi pemodelan disajikan dalam satuan skala debit pada Gambar 4.

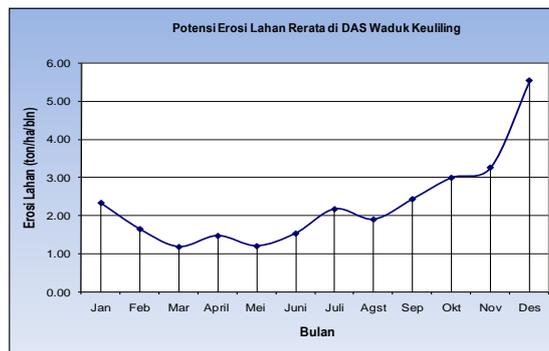


Gambar 4. Grafik Limpasan Permukaan Rerata Bulanan (m³/dt)

Dari grafik limpasan permukaan rerata bulanan dapat dilihat bahwa limpasan tinggi terjadi pada bulan November (0,82 m³/dt) dan Desember (0,87 m³/dt), di mana curah hujan yang terjadi pada kedua bulan ini juga cukup tinggi. Bulan Mei-Agustus curah hujan yang terjadi sedikit, tetapi masih terjadi limpasan permukaan akibat terdapatnya aliran air tanah. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya limpasan permukaan yang terjadi antara lain luas Sub DAS, jenis tanah dan kemiringan lahan.

C. Nilai Erosi

Dari hasil simulasi dengan menggunakan metode *USLE* dapat diketahui nilai rerata erosi lahan pada tiap sub DAS Waduk Keuliling seperti pada Gambar 5.

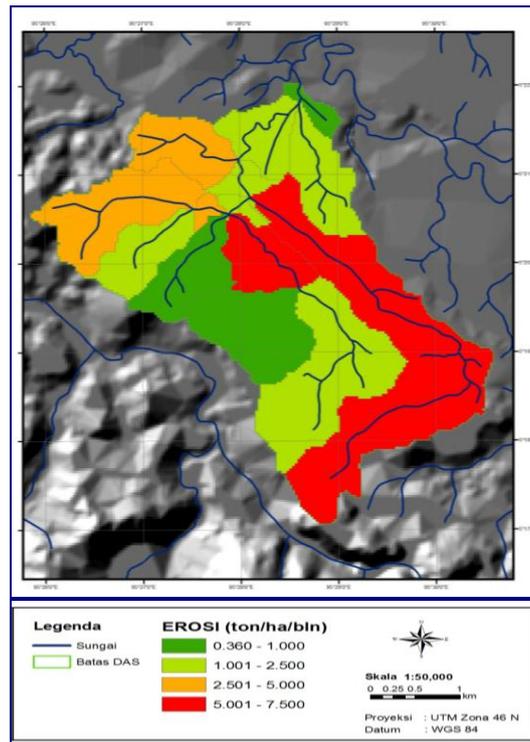


Gambar 5. Grafik Sebaran Nilai Rerata Erosi Lahan Bulanan DAS Waduk Keuliling

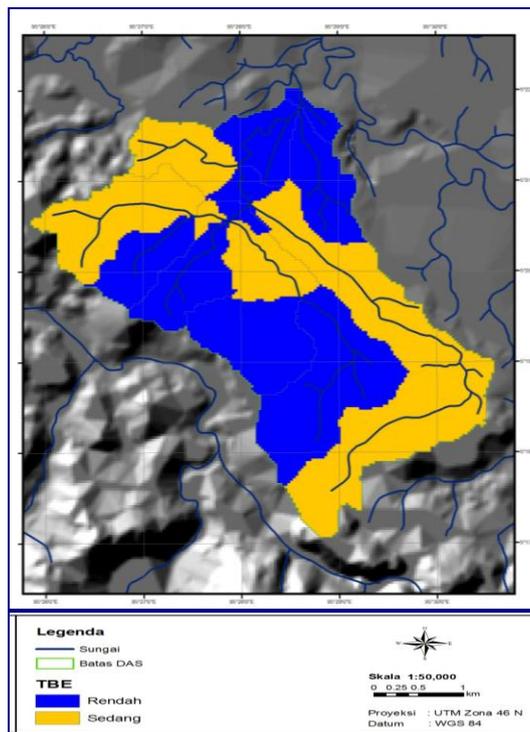
Dari hasil simulasi dapat dilihat bahwa laju erosi lahan yang paling besar terjadi pada Sub DAS 5 (5,60 ton/ha/bln) dan Sub DAS 11 (5,70 ton/ha/bln). Dari grafik sebaran nilai rerata erosi lahan bulanan selama kurun waktu 10 tahun dapat dilihat bahwa erosi lahan paling besar terjadi pada bulan Desember. Nilai laju erosi yang tinggi ini dapat disebabkan oleh limpasan permukaan yang tinggi. Selain itu, dipengaruhi oleh kemiringan lahan dan jenis tanah pada lokasi tersebut. Faktor penting lain yang menyebabkan besarnya erosi yang terjadi adalah jenis penutupan lahan/penggunaan lahan pada lokasi tersebut.

D. Erosi dan Tingkat Bahaya Erosi (TBE)

Dengan membandingkan nilai laju erosi yang terjadi dengan nilai erosi yang diperbolehkan yang berkisar antara 27 – 29 ton/ha/thn (Corry, 2009), maka dapat diperoleh nilai TBE. Nilai tersebut dikelompokkan sesuai dengan kriteria yang ada. Peta sebaran nilai erosi lahan tiap Sub DAS Waduk Keuliling diberikan pada Gambar 6 dan Peta Sebaran TBE pada Gambar 7.



Gambar 6. Peta Sebaran Nilai Erosi Lahan DAS Waduk Keuliling



Gambar 7. Peta Sebaran TBE DAS Waduk Keuliling

Tingkat bahaya erosi rendah terjadi pada Sub DAS 1, Sub DAS 2, Sub DAS 4, Sub DAS 6, Sub DAS 8, Sub DAS 10, Sub DAS 12, Sub DAS 13, Sub DAS 14 dan Sub DAS 15. Tingkat Bahaya Erosi sedang terjadi pada Sub DAS 3, Sub DAS 5, Sub DAS 7, Sub DAS 9 dan Sub DAS 11. Hal ini disebabkan karena penggunaan lahan yang rentan terhadap terjadinya erosi. Di samping itu, penggunaan lahan tersebut belum dilakukannya kegiatan konservasi.

E. Usaha Konservasi Lahan

Melihat Sub DAS 3, Sub DAS 5, Sub DAS 7, Sub DAS 9 dan Sub DAS 11 dengan kriteria TBE sedang, maka usaha konservasi yang dilakukan disesuaikan dengan sebaran nilai erosi lahan yang terjadi serta kondisi penggunaan lahan pada daerah tersebut.

Beberapa parameter yang dikaji dalam penelitian ini untuk memilih alternatif usaha konservasi terhadap suatu lahan adalah sebagai berikut.

- Kondisi lereng pada wilayah tersebut
- Penggunaan lahan
- Jenis tanah
- Nilai erosi, dalam hal ini yang dijadikan dasar pemilihan adalah sebaran nilai erosi lahan (ton/ha/th).

Beberapa alternatif usaha konservasi yang direkomendasikan pada lokasi Sub DAS Waduk Keuliling diberikan di bawah ini:

1. Alternatif Usaha Konservasi pada Sub DAS 3

Kondisi Topografi pada Sub DAS 3 relatif datar 0.047 % (< 15%), besarnya faktor P pada kondisi tersebut adalah 0,5. Untuk mengurangi tingkat erosi maka alternatif usaha konservasi yang dilakukan di Sub DAS 3 berupa pembuatan teras guludan dengan besar faktor P adalah 0,01. Alternatif ini dapat memperkecil laju limpasan permukaan, sehingga daya rusaknya (erosi) dapat berkurang.

Tabel 1. Alternatif Usaha Konservasi Sub DAS 3

No	Landuse	Jenis Tanah	Rekomendasi Konservasi
1	SMBK	Aluvium Muda	Pembuatan Teras Guludan
2	SMBK	Komplek Indrapuri	

2. Alternatif Usaha Konservasi pada Sub DAS 5

Pada Sub DAS 5 terdapat beberapa jenis tanah dan penggunaan lahan serta topografi yang landai maka rekomendasi usaha konservasi yang dilakukan di Sub DAS 5 berupa pembuatan teras guludan.

Tabel 2. Alternatif Usaha Konservasi SubDAS 5

No	Landuse	Jenis Tanah	Rekomendasi Konservasi
1	SMBK	Formasi Seulimuem	Pembuatan Teras Guludan
2	SMBK	Formasi Meucampli	
3	HUTN	Formasi Meucampli	-
4	HUTN	Komplek Indrapuri	-

3. Alternatif Usaha Konservasi pada Sub DAS 7

Kondisi topografi Sub DAS 7 curam (> 15%). Hal ini menyebabkan potensi terjadinya erosi tinggi. Dengan penggunaan lahan yang masih relatif menutupi tanah, tingkat bahaya erosi yang terjadi masih dalam kriteria rendah. Akan tetapi, diperlukan suatu tindakan pencegahan agar kondisi Sub DAS terus stabil. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara pembuatan teras guludan dan pembuatan teras bangku.

Tabel 3. Alternatif Usaha Konservasi SubDAS 7

No	Landuse	Jenis Tanah	Rekomendasi Konservasi
1	SMBK	Aluvium Muda	Pembuatan Teras Guludan
2	SMBK	Komplek Indrapuri	Pembuatan Teras Guludan
3	HUTN	Formasi Meucampli	-

4. Alternatif Usaha Konservasi pada Sub DAS 9

Kondisi Topografi Sub DAS 9 relatif datar 0.058 % (< 15%) disertai penggunaan lahan yang relatif menutupi lahan, maka rekomendasi usaha konservasi yang dilakukan di Sub DAS 9 juga berupa pembuatan teras guludan.

Tabel 4. Alternatif Usaha Konservasi SubDAS 9

No	Landuse	Jenis Tanah	Rekomendasi Konservasi
1	SMBK	Aluvium Muda	Pembuatan Teras Guludan
2	SMBK	Komplek Indrapuri	

5. Alternatif Usaha Konservasi pada Sub DAS 11

Kondisi topografi Sub DAS 11 dengan kemiringan lahan 10,2 % menyebabkan potensi terjadinya erosi tinggi. Dengan penggunaan lahan yang masih relatif menutupi tanah, tingkat bahaya erosi yang terjadi masih dalam kriteria rendah. Penanganan yang dibutuhkan berupa pembuatan teras guludan dan pembuatan teras bangku agar kondisi DAS terus stabil. Selain itu, untuk mendukung usaha konservasi yang dilakukan diperlukan tindakan edukasi kepada masyarakat mengenai tindakan-tindakan konservasi lahan.

Tabel 5. Alternatif Usaha Konservasi SubDAS 11

No	Landuse	Jenis Tanah	Rekomendasi Konservasi
1	SMBK	Aluvium Muda	Pembuatan Teras Guludan
2	SMBK	Komplek Indrapuri	Pembuatan Teras Guludan
3	HUTN	Formasi Meucampli	-
4	HUTN	Komplek Indrapuri	-

F. Jumlah Sedimen, SDR, dan Umur Guna Waduk

Dari data teknis Waduk Keuliling diketahui bahwa umur guna waduk ditentukan 50 tahun dengan kapasitas tampung sedimen sebesar 3.761.690,24 m³. Berat jenis tanah DAS Waduk keuliling 1,3 ton/m³. Rasio pengantaran sedimen (SDR) di DAS Waduk Keuliling menggunakan persamaan (3) yaitu $SDR = 0,41 \times (35,74)^{-0,3} = 0,14$. Dengan demikian diperoleh jumlah sedimen dan perbandingan umur waduk tanpa pengelolaan dan dengan pengelolaan secara mekanik pada Tabel 6 berikut:

Tabel 6. Hasil Analisis Sedimen dan Umur Guna Waduk

Pengelolaan DAS	Luas (Ha)	Erosi (ton/ha/thn)	Sedimen (ton/th)	SDR	Jumlah Sedimen (ton/th)	Berat Jenis Tanah (ton/m ³)	Jumlah Sedimen (m ³ /th)	Volume Tampungan Sedimen (m ³)	Umur Guna Waduk (thn)
Tanpa Pengelolaan	3574	415,56	1485175,70	0,14	209017,96	1,3	160783,05	3761690,24	23
Dengan Pengelolaan	3574	152,77	546017,61	0,14	76567,44	1,3	58898,03	3761690,24	64

Dari tabel di atas terlihat bahwa dengan kondisi eksisting umur guna waduk yang direncanakan sampai 50 tahun tidak dapat tercapai. Namun melalui pengelolaan DAS secara mekanik dapat menurunkan jumlah sedimen dan dapat meningkatkan umur guna waduk sampai dengan 64 tahun.

Kesimpulan dan Saran

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian dan pembahasan yang telah diuraikan sebelumnya dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari uji kalibrasi debit, didapat nilai koefisien determinasi (R^2) = 0.810 dan nilai koefisien korelasinya (R) = 0.900. Nilai koefisien korelasi ini menunjukkan bahwa kedua data memiliki kesamaan waktu kejadian hidrologi. Dengan demikian, data hasil simulasi tersebut dapat diterima.
2. Dari analisis limpasan permukaan rerata bulanan diperoleh informasi bahwa limpasan terbesar terjadi pada bulan November (0,82 m³/dt) dan Desember (0,87 m³/dt), di mana curah hujan yang terjadi pada kedua bulan ini juga cukup tinggi. Untuk bulan Mei-Agustus curah hujan sedikit, tetapi masih terjadi limpasan permukaan. Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya limpasan permukaan yang terjadi antara lain luas Sub DAS, jenis tanah dan kemiringan lahan.

3. Sebaran nilai rerata erosi lahan bulanan selama kurun waktu 10 tahun memberikan informasi bahwa erosi lahan paling besar terjadi pada bulan Desember. Nilai laju erosi yang tinggi ini dapat disebabkan oleh limpasan permukaan yang tinggi. Selain itu, dipengaruhi oleh kemiringan lahan dan jenis tanah pada lokasi tersebut. Faktor penting lain yang menyebabkan besarnya erosi yang terjadi adalah jenis penutupan lahan/penggunaan lahan pada lokasi tersebut.
4. Usaha konservasi lahan yang direkomendasikan dilakukan pada Sub DAS 3, Sub DAS 5, Sub DAS 7, Sub DAS 9 dan Sub DAS 11 berupa pembuatan teras guludan. Alternatif tersebut pada umumnya dapat memperkecil laju limpasan permukaan, sehingga daya rusaknya (erosi) dapat berkurang dan untuk menjaga agar kondisi DAS tetap stabil.
5. Berdasarkan kondisi eksisting umur guna waduk yang direncanakan sampai 50 tahun tidak dapat tercapai. Namun melalui pengelolaan DAS secara mekanik dapat menurunkan jumlah sedimen dan dapat meningkatkan umur guna waduk sampai dengan 64 tahun.

B. Saran

1. Studi ini dibangun secara spasial dengan GIS sehingga dapat memudahkan instansi untuk mengetahui daerah-daerah kritis yang perlu direhabilitasi. Oleh karena itu disarankan kepada instansi yang terkait untuk menyempurnakan kelengkapan inventaris data observasi untuk memperoleh hasil yang lebih mendekati kenyataan.
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan berdasarkan penggunaan lahan dengan waktu yang lebih panjang agar dapat diketahui dampak perubahan penggunaan lahan terhadap kondisi daerah aliran sungai.

Ucapan Terima Kasih

Penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Universitas Syiah Kuala yang telah membiaya kajian ini. Kajian ini merupakan bagian dari Skim Penelitian Strategis Nasional pada Lembaga Penelitian Universitas Syiah Kuala melalui Dana Dikti Tahun Anggaran 2014.

Daftar Pustaka

- Budiyanto, E., (2005), "*Sistem Informasi Geografis Menggunakan ARC VIEW GIS*". Yogyakarta, Penerbit Andi.
- CUI Peng, GE Yonggang, (2011), "Soil Erosion and Sediment Control Effects in the Three Gorges Reservoir Region", *China Journal of Resources and Ecology Vol 2*, (4), pp.289-297.
- Fazel, A., (2010), "Estimate of Erosion and Sedimentation in Semi-arid Basin using Empirical Models of Erosion Potential within a Geographic Information System", *Air, Soil, Water Research*, pp. 37-44.
- Neitsch *et al.*, (2002), "*Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation and User's Manual, Version 2000*", Agricultural Research Service and the Texas Agricultural Experiment Station.
- Rabin, B., (2007), "Estimation of Soil Erosion and Sediment Yield Using GIS at Catchment Scale", *Springer Link Water Resources management, Volume 21*, pp. 1635-1647.
- S. Arekhi, (2012), "Soil erosion and sediment yield modeling using RS and GIS techniques: a case study, Iran", *Springer Link Water Resources management, Volume 5*, pp. 285-296.