
ESTIMASI LAJU EROSI LAHAN BERLERENG DI KABUPATEN NGANJUK DENGAN TEKNIK ^{137}Cs

Barokah Aliyanta¹ dan Rahmadi Suprpto²

¹Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi, Badan Tenaga Nuklir Nasional
Jl. Lebak Bulus Raya No. 49, Kotak Pos 7002 JKSKL, Jakarta 12440
Telp. 021 7690709, Fax. 021 7691607
E-mail : barokahaliyanta@yahoo.com

²Dinas Kehutanan Kabupaten Nganjuk, Jawa Timur

Diterima 04 Maret 2009; disetujui 09 Juli 2009

ABSTRAK

ESTIMASI LAJU EROSI LAHAN BERLERENG DI KABUPATEN NGANJUK DENGAN TEKNIK ^{137}Cs . Penelitian erosi dengan menggunakan teknik ^{137}Cs telah dilakukan di daerah Nganjuk. Penelitian dilakukan dalam cakupan daerah Kecamatan Sawahan, Ngetos dan Loceret, dengan luas area yang diteliti lebih dari 11000 ha. Pengambilan contoh tanah dilakukan dengan pendekatan pengelompokan berdasarkan lokasi, peta jenis tanah, peta tataguna lahan, peta topografi dan peta drainase. Dari tiap kelompok tanah, contoh tanah diambil secara *sloping* transek dengan kedalaman 30 cm. Adapun contoh pembanding diambil pada empat lokasi yaitu 2 dari lokasi hutan lindung, 1 dari teras kebun penduduk dan 1 dari lerengan bukit (*hill slope*) dengan ciri tertutup secara baik dengan tanaman rumput. Hasil inventori pembanding rerata adalah 281 Bq/m², dan nilai ini digunakan untuk menghitung laju erosi rata-rata tahunan dari rentang waktu tahun 1963 sampai 2006. Estimasi laju erosi yang didapat bervariasi dari transek T1 sampai transek T28 yaitu antara 2 sampai lebih dari 100 ton/ha/th, dan nilai SDR dari 17 % sampai 100 %.

Kata kunci : laju erosi, teknik ^{137}Cs , lahan berlereng

ABSTRACT

ESTIMATION OF EROSION RATES ON THE SLOPE LAND IN NGANJUK DISTRICT USING ^{137}Cs TECHNIQUE. Erosion investigation was conducted by using natural radionuclide of ^{137}Cs on the slope land in Nganjuk district, East Java. The investigated area covers Sawahan; Ngetos and Loceret sub-district with approximately an area more than 11000 ha. Soil samples were collected and grouped based on soil type, location, land use, topography and drainage maps. Soil samples were taken from each group in sloping transects. Meanwhile, the reference samples were taken from four locations, namely 2 locations at the protected forest, 1 location at the terraces garden and 1 location at the hill slope that is well covered by grass. The result shows that the average reference inventory is 281 Bq/m². This value is used to calculate annual erosion rate at period from 1963 to 2006. Estimated erosion rate is ranging from 2 up to more than 100 ton/ha/yr, and the SDR vary from 17 % to 100 %, at the T1 to T28 transects.

Key words : erosion rate, ^{137}Cs technique, slope land

PENDAHULUAN

Potensi daerah berlereng (*slope land*) di Indonesia berperan besar dalam pengembangan kegiatan pertanian. Namun, pemanfaatan lahan berlereng yang kurang memperhatikan kesesuaian lahan telah mengakibatkan terjadinya kerusakan lahan oleh erosi tanah. Menteri Kehutanan [1] mengutarakan bahwa terdapat 61 dari 459 daerah aliran sungai (DAS) dalam keadaan terdegradasi di seluruh wilayah Indonesia belakangan ini. Dari 61 daerah terdegradasi tersebut, 16 diantaranya terdapat di pulau Jawa, dan salah satunya adalah daerah aliran sungai Brantas. Daerah Nganjuk, dimana penelitian ini dilakukan termasuk dalam Sub DAS Brantas Hulu.

Meskipun, erosi merupakan gejala alam yang tidak dapat dicegah, namun dapat dikendalikan dengan berbagai teknik konservasi tanah hingga batas yang masih dapat ditoleransi. Oleh karena itu, pengupayaan kegiatan pertanian di daerah hulu haruslah memenuhi kaedah konservasi lahan [2]. Kabupaten Nganjuk, sebagaimana umumnya daerah Indonesia bagian barat, mempunyai intensitas curah hujan sekitar 2000 mm per tahun. Dengan demikian, pemanfaatan lahan di daerah ini perlu mendapat perhatian khusus. Tinjauan visual daerah ini memberikan gambaran umum dengan kesan pertama-tama yang diperoleh adalah bahwa telah banyak perbukitan yang tutupan lahannya mengindikasikan adanya gejala erosi yang dipercepat, yang boleh jadi sudah di atas ambang batas toleransi. Meskipun, sebagian besar wilayah telah menerapkan teknologi konservasi lahan secara mekanik yaitu penterasan lahan, namun, hal itu belum cukup dari segi konservasi lahan dan air. Pencegahan secara mekanik harus juga diikuti dengan pencegahan secara vegetasi, pola tanam dan kesesuaian tanaman. Menurut informasi penduduk sekitar dan Dinas Kehutanan Nganjuk, pembuatan teras bangku sebagian besar wilayah ini telah ada sejak dekade 1950-an. Namun demikian, karena penterasan yang ada tidak diikuti dengan sistim budidaya tanaman yang sesuai, maka masih terlihat belum dapat menekan erosi sampai tingkat yang dapat ditoleransi.

Gejala erosi ini akan nampak sekali saat musim hujan datang, dimana, erosi tanah mengakibatkan aliran limpasan dan air sungai sangat keruh. Kekeruhan dapat digunakan sebagai indikator tentang kondisi erosi secara kualitatif pada suatu sub

Daerah Aliran Sungai (DAS). Apabila kejadian ini berlangsung dalam waktu yang lama, maka lapisan tanah atas akan semakin menipis dan lambat laun akan habis. Oleh karena itu erosi yang berlangsung terus menerus pada suatu lahan akan menyebabkan terjadinya penurunan kesuburan lahan, di daerah *on-site* dan naiknya beban angkutan sedimen di sungai dan pendangkalan di daerah *off-site*.

Teknologi nuklir dengan radionuklida alam ^{137}Cs merupakan salah satu metode yang cukup efektif untuk mengidentifikasi proses erosi, dan telah banyak dimanfaatkan dalam 4 dasawarsa terakhir. Metode ini telah sukses dan banyak diterapkan di berbagai negara seperti Amerika, Inggris, Australia, dan China untuk mengidentifikasi gejala erosi lahan secara regional. Kandungan isotop ^{137}Cs dalam tanah dapat digunakan sebagai indikator kualitatif lahan tererosi maupun estimasi laju erosi [3, 4]. Isotop ^{137}Cs mempunyai sifat mudah teradsorpsi oleh debu dan tanah liat secara cepat dan kuat, sehingga ^{137}Cs dapat digunakan sebagai alat untuk mengetahui kondisi lahan yang mengalami erosi maupun deposisi. Aktivitas ^{137}Cs pada daerah tererosi mempunyai nilai yang lebih rendah jika dibandingkan dengan aktivitas ^{137}Cs di dalam tanah yang belum pernah mengalami erosi, makin besar erosi makin rendah aktivitas ^{137}Cs . Pada lokasi tertentu dapat pula diperoleh aktivitas ^{137}Cs di dalam tanah lebih besar dari pada aktivitas ^{137}Cs pada lokasi yang belum pernah mengalami erosi. Hal ini menunjukkan bahwa pada lokasi ini tidak terjadi gejala erosi, akan tetapi terjadi gejala agradasi tanah dengan proses deposisi dari tanah tererosi. Adanya agradasi tanah dengan proses semacam deposit sedimen menunjukkan bahwa tidak semua produk erosi masuk ke dalam suatu aliran-aliran kecil yang terdapat di permukaan tanah sebelum masuk ke dalam aliran sungai terdekat. Pada umumnya agradasi tanah terdapat pada wilayah-wilayah rendah dengan kemiringan lereng tertentu pada suatu lahan (*toe slope*) atau pada cekungan yang ada.

Oleh karena itu, untuk mengetahui status erosi dan proses redistribusi tanah pada cakupan wilayah di atas maka perlu dilakukan kerjasama penelitian erosi menggunakan metode ^{137}Cs antara PATIR dan Dinas Kehutanan Nganjuk. Adapun tujuan akhir dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kondisi erosi tiap kecamatan yang disurvei, dan mendapatkan hasil estimasi erosi secara kuantitatif dan *sedimen*

delivery ratio. Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai referensi atau masukan dalam usaha perencanaan konservasi lahan maupun penelitian erosi dengan menggunakan metode lain.

ESTIMASI LAJU EROSI

Berbagai model matematika dan empiris telah dikembangkan untuk mengestimasi laju erosi tanah. Diantaranya adalah metode ^{137}Cs yang dikembangkan oleh WALLING and HE [5] menggunakan model persamaan keseimbangan massa. Model ini digunakan untuk menghitung erosi dan deposit sedimen melalui model konversi berdasarkan nilai inventori ^{137}Cs dalam tanah.

Model keseimbangan massa I

Secara umum model keseimbangan massa didasarkan pada pengurangan aktivitas ^{137}Cs dalam tanah terhadap waktu adalah bergantung pada masukan ^{137}Cs jatuhan dari air hujan, sifat meluruhnya radioaktif maupun laju erosi rata-rata dan kedalaman olah tanah, yang dinyatakan dalam bentuk persamaan differential umum sebagai berikut :

$$\frac{dA(t)}{dt} = I(t) - (\lambda + P \frac{R}{d})A(t) \quad (1)$$

dimana : $A(t)$ = aktivitas kumulatif per unit luas (Bq/m^2) atau sering disebut inventori;
 $I(t)$ = flux deposisi ^{137}Cs ($\text{Bq m}^{-2} \text{yr}^{-1}$);
 R = laju erosi ($\text{kg m}^{-2} \text{yr}^{-1}$);
 D = massa total kering kedalaman tanah persatuan luas yang mewakili sebagai kedalaman tanah olah (kg m^{-2});
 λ = konstanta peluruhan ^{137}Cs (yr^{-1}) dan
 P = faktor koreksi ukuran partikel = 1

Model keseimbangan massa 1 ini dikembangkan oleh Zhang *et al.* [6] dengan asumsi bahwa total jatuhan ^{137}Cs terjadi pada tahun 1963, meskipun kejadiannya telah terjadi sejak pertengahan 1950-an sampai 1970-an. Tempat yang mempunyai nilai inventori ^{137}Cs lebih kecil dari nilai inventori pembanding disebut sebagai tempat tererosi dan sebaliknya disebut sebagai tempat deposisi.

Untuk tempat tererosi, dengan mengasumsikan laju erosi R ($\text{kg}/\text{m}^2/\text{th}$) adalah tetap, total inventori ^{137}Cs pada tahun t (th) atau saat disampling dapat dinyatakan sebagai :

$$A(t) = A_{ref} \left(1 - P \frac{R}{dl}\right)^{t-1963} \quad (2)$$

dimana : A_{ref} adalah inventori ^{137}Cs pembanding atau pada titik yang tidak mengalami erosi dan dl adalah tebal tanah olah (m).

Persamaan 2 dapat disusun kembali dengan menghubungkan parameter-parameter diatas dengan laju erosi dan persen hilangnya ^{137}Cs sebagai berikut :

$$Y = \frac{10dlB}{P} \left[1 - \left(1 - \frac{X}{100}\right)^{1/(t-1963)} \right] \quad (3)$$

dimana : Y = rata-rata tahunan laju erosi ($\text{ton ha}^{-1} \text{yr}^{-1}$);
 dl = kedalaman olah tanah (m);
 B = bulk density of soil (kg m^{-3}) didapat dari sample core;
 X = persen berkurangnya inventori ^{137}Cs terhadap inventori pembanding
 P = factor koreksi ukuran partikel diasumsikan sama dengan satu.

Dengan X didapat dari :

$$X = (A_{ref} - A) / A_{ref} \times 100 \% \quad (4)$$

Untuk tempat-tempat deposisi ($A(t) > A_{ref}$), dengan asumsi laju deposisi konstan R' ($\text{kg m}^{-2} \text{yr}^{-1}$) pada titik sampling, laju deposisi sediment dapat diestimasi dari konsentrasi ^{137}Cs sedimen terdeposisi $C_d(t')$ (Bq kg^{-1}) sebagai berikut :

$$R' = \frac{A_{ex}(t)}{\int_{1963}^t C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt'} = \frac{A(t) - A_{ref}}{\int_{1963}^t C_d(t') e^{-\lambda(t-t')} dt'} \quad (5)$$

dimana : $A_{ex}(t)$ = excess ^{137}Cs inventori pada titik sampling terhadap inventori pembanding pada tahun t (Bq m^{-2});
 $C_d(t')$ = konsentrasi ^{137}Cs pada tahun t' (Bq kg^{-1});
 λ = konstanta peluruhan ^{137}Cs (yr^{-1});
 P' = factor koreksi ukuran butiran diasumsi sama dengan satu

Secara umum, konsentrasi ^{137}Cs $C_d(t')$ pada sediment terdeposisi dapat diasumsikan terwakili oleh rata-rata konsentrasi ^{137}Cs dari sediment dari daerah di

atasnya yang berkontribusi. Dengan demikian $C_d(t')$ dapat dihitung dari persamaan berikut :

$$C_d(t') = \frac{1}{\int_S R dS} \int_S P' C_e(t') R dS \quad (6)$$

dimana : S (m^2) luasan lereng atas yang berkontribusi dan $C_e(t')$ ($Bq\ kg^{-1}$) adalah konsentrasi ^{137}Cs dalam sedimen termobilisasi dari titik tererosi yang dapat dihitung dari persamaan 2.

$$C_e(t') = P \frac{A(t')}{d} = \frac{P}{d} A_{ref}(t') \left(1 - P \frac{R}{d}\right)^{t'-1963} = \frac{P}{d} A_{ref}(t) e^{\lambda(t-t')} \left(1 - P \frac{R}{d}\right)^{t'-1963} \quad (7)$$

dimana : $A_{ref}(t) = A_{ref}$

LOKASI DAN METODE

Lokasi

Penelitian dilakukan di wilayah kabupaten Nganjuk yang meliputi wilayah berbukit, bergelombang, berombak sampai datar yaitu Kec. Sawahan, Ngetos dan Loceret dengan koordinat berkisar dari $07^{\circ} 40' 45''$ sampai $07^{\circ} 45' 45''$ LS dan $111^{\circ} 45' 45''$ sampai $111^{\circ} 53' 00''$ BT, dengan total luasan daerah yang diteliti kurang lebih 11000 ha.

Metode

Strategi pengambilan contoh tanah

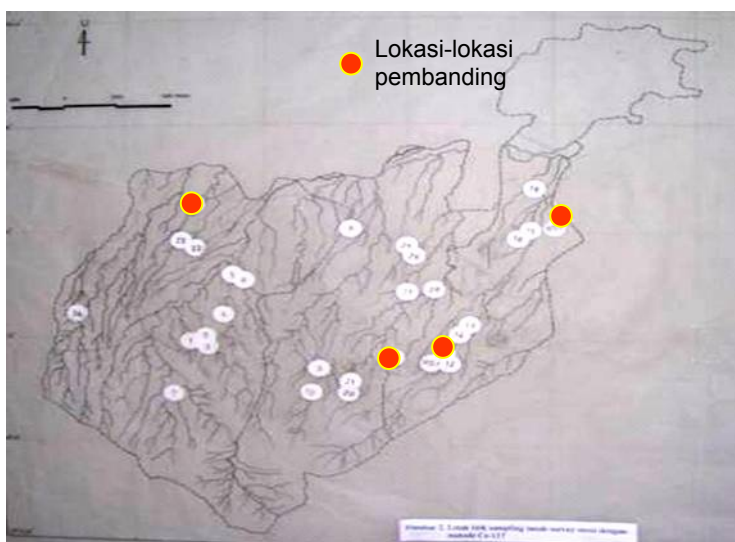
a. Pengambilan contoh tanah pada lokasi pembanding

Berdasarkan peninjauan ke lapangan, pengalaman studi erosi tim Batan dan informasi dari tim yang dibentuk oleh Pemda Nganjuk, maka empat lokasi yang diduga dapat dipertimbangkan sebagai lokasi pembanding yaitu di lokasi hutan lindung Patus Barend (lokasi I, 10 core), sisi hutan lindung Bajulan (lokasi II, 5 core), dan pada teras kebun penduduk di desa Geneng Genjeng (lokasi III, 3 core) serta 4 contoh tanah *hillslope transect* di desa Talamjudes (lokasi IV). Contoh tanah diambil sedalam 30 cm. Pada lokasi I topografinya relatif datar; pada lokasi II berada di daerah kaki lereng yang tertutup rapat dengan pepohonan; pada lokasi III merupakan kebun penduduk

yang berteras dan lokasi IV merupakan lereng (*hill slope*) dengan tutupan lahan yang baik oleh rumput, dan tanaman utama pohon Pinus.

b. Pengambilan contoh daerah yang diteliti secara transek

Pengambilan contoh tanah pada daerah yang diteliti disesuaikan dengan keadaan topografi, tataguna lahan, jenis tanah serta kerapatan drainase [7, 8]. Dengan pendekatan demikian, pengambilan contoh pada berbagai parameter tersebut diatas, dilakukan melalui transect *hill slope* sebagai representasi tempat-tempat yang ingin diketahui erosinya. Masing-masing contoh tanah diambil sampai kedalaman 30 cm dengan alat core. Pengambilan contoh tanah secara transect diperkirakan dapat mewakili kondisi daerah yang ditinjau secara keseluruhan. Dengan demikian, hasil estimasi laju erosi berdasarkan model konversi keseimbangan massa dari inventori ^{137}Cs terukur, pendekatan geomorfologi daerah yang ditinjau maupun data sekunder lain, dapat memberikan gambaran kondisi/tingkat erosi lahan pada luasan area yang terwakili. Secara keseluruhan titik titik transek pengambilan contoh dapat dilihat pada Gambar 1, sedangkan karakteristik lokasi pengambilan contoh transek dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Lokasi pengambilan tanah di lokasi pembanding (hitam) dan lokasi transek (putih)

Tabel 1. Karakteristik lokasi pengambilan contoh transek

| No. | Transek | Kemiringan Lereng % | Vegetasi | Topographi | Lokasi (dusun, desa, kecamatan) | Jenis tanah |
|-----|----------|---------------------|----------------------------------|------------------------|---------------------------------|-------------|
| 1. | T1 | 15-25 | Pinus, singkong | Teras bangku "bos" | Patus, Bareng Sawahan | ALCRK |
| 2. | T2 | 15-25 | Rotasi tanaman | Teras bangku "bos" | Makuto, Bareng Sawahan | ALCRK |
| 3. | T4 | 15-25 | Kebun campuran | Teras kredit | Glagahombo, Margopatut Sawahan | LCK |
| 4. | T5 | 15-25 | Kebun campuran | Teras bangku "bos" | Turi, Margopatut Sawahan | LCK |
| 5. | T6 | 25-40 | Kebun campuran | Teras kredit | Turi, Margopatut Sawahan | LCK |
| 6. | T7 | >40 | Rotasi tanaman | Teras bangku "boal" | Ngliman, Sawahan | ACK |
| 7. | T8 | 25-40 | Jati, Singkong | Teras kredit | Kweden Ngetos | LCK |
| 8. | T9 | 25-40 | Jati, Akasia, singkong | Teras konstruksi sipil | Kepel, sobo, Ngetos | ACK |
| 9. | T10 | 25-40 | Mangga, Mahoni, bera | Teras konstruksi sipil | Kepel, sobo, Ngetos | ACK |
| 10. | T11 | 15-25 | Pinus, Sono, bera | Lahan berlereng | Pinusan, Bajulan, loceret | LCK |
| 11. | T13 | 15-25 | Jati, semak | Teras konstruksi sipil | Gabah, Bajulan, Loceret | LCK |
| 12. | T15 | 25-40 | Akasia Johar, Singkong | Teras konstruksi sipil | Geneng, genjeng, loceret | MCK |
| 13. | T19 (RS) | 15-25 | Pinus, rumput lebat, jagung | Lahan berlereng | Talamjudeg, Klodan, Ngetos | ACK |
| 14. | T20 | 25-40 | Mahoni, Jambuan, serasah, pisang | Lahan berlereng | Talamjudeg, Klodan, Ngetos | ACK |
| 15. | T21 | 25-40 | Kebun campuran | Lahan berlereng | Talamjudeg, Klodan, Ngetos | ACK |
| 16. | T22 | 25-40 | Jati, singkong | Lahan berlereng | Banjarsari, Sawahan | ALCRK |
| 17. | T24 | 25-40 | Pinus, Mahoni, Jagung, singkong | Teras, berlereng | Bendolo, Sawahan | LCK |
| 18. | T25 | 15-25 | Kebon campuran | Teras kredit | Patuk, Ngetos | LCK |
| 19. | T27 | 15-25 | Sono kecil, singkong, bera | Lahan berlereng | Suru, Ngetos | LCK |
| 20. | T28 | <15 | Sono, singkong | Lahan berlereng | Macanan, Loceret | LCK |

Catatan : "bos" = bidang olah sempit; "boal" = bidang olah agak lebar
 ALCRK = asosiasi latosol coklat dan regosol kemerahan; LCK = latosol coklat kemerahan;
 ACK = andosol coklat kemerahan; MCK = mediteran coklat kemerahan

c. Pengukuran aktivitas ^{137}Cs

Penyiapan contoh dilakukan dengan cara menjemur atau mengering-anginkan setiap contoh tanah sampai kering kemudian memecah tanah yang bergumpal meremas secara perlahan atau menggerus sehingga semua fraksi (pasir, debu, liat) terpisah. Tanah yang sudah kering ditimbang terlebih dahulu sebelum dilakukan penggerusan bila diperlukan. Tanah kemudian diayak dengan menggunakan ayakan dengan bukaan 2 mesh untuk memisahkan fraksi pasir kasarnya. Fraksi yang lolos tersebut dihomogenisasi, diambil sebanyak 250 gr dan dikirim ke Laboratorium Chinese Academy of Agriculture and Soil Science, Beijing, China untuk dilakukan pengukuran kandungan ^{137}Cs dengan detektor low energy gamma berefisiensi relatif 50 % [9].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran ^{137}Cs dan inventori

a. Lokasi pembanding

Hasil pengukuran ^{137}Cs pada keempat lokasi pembanding dapat dilihat pada Tabel 2. Keempat lokasi pembanding tersebut masing-masing adalah Hutan Lindung di Dusun Jatirejo, Desa Duren, Kecamatan Sawahan (RS I); Hutan Lindung di kawasan Desa Bajulan (RS II), kebun di dekat pemukiman penduduk di Dusun Geneng, Desa Genjeng, Kecamatan Loceret (RS III) dan *reference hillslope* di Dusun Talamjudes, Desa Klodan Kecamatan Ngetos (RS IV).

Lokasi pertama terdiri dari 10 titik contoh core dengan nilai inventori rata-rata contoh adalah $268,7 \text{ Bq/m}^2$. Dari lokasi pembanding pada lokasi kedua yang merupakan kawasan Hutan Lindung di desa Bajulan Kecamatan Loceret diperoleh nilai inventori rata-rata adalah 292 Bq/m^2 . Nilai rata-rata inventori ^{137}Cs pembanding pada lokasi ketiga diperoleh sebesar 259 Bq/m^2 dan pada *hill slope* adalah $288,86 \text{ Bq/m}^2$. Mengingat cakupan daerah penelitian yang cukup luas. maka nilai inventori yang telah diperoleh pada keempat lokasi tersebut dijadikan sebagai satu nilai inventori pembanding. Nilai inventori rata-rata tersebut diperoleh sebagai nilai tunggal yang

selanjutnya digunakan sebagai nilai inventori pembanding dalam cakupan daerah yang diteliti yaitu : 281 Bq/m².

Tabel 2. Hasil Pengukuran dan Inventori pembanding di 4 lokasi secara core $dl = 30$ cm

| Kode contoh | Berat kering (kg) | A (Bq/kg) ¹³⁷ Cs | Inventori (Bq/m ²) | Jenis tanah |
|------------------------------|----------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| RS I-1 | 1,294 | 1,17 | 417,07 | Latosol coklat kemerahan |
| RS I-2 | 1,3454 | 0,64 | 237,2 | |
| RS I-3 | 1,2767 | 0,62 | 218 | |
| RS I-4 | 1,2446 | 0,58 | 198,86 | |
| RS I-5 | 1,015 | 1,23 | 343,9 | |
| RS I-6 | 1,1119 | 0,63 | 193 | |
| RS I-7 | 1,0396 | 1,26 | 360,8 | |
| RS I-8 | 1,2148 | 0,59 | 197,4 | |
| RS I-9 | 1,2252 | 0,74 | 249,8 | |
| RS I-10 | 1,533 | 0,62 | 261,8 | |
| Rata-rata I | | | 268,7 | |
| RS II - 1 | 1,1504 | 1,05 | 332,7 | Latosol coklat kemerahan |
| RS II - 2 | 1,1386 | 0,91 | 285,40 | |
| RS II - 3 | 1,0802 | 0,84 | 250,00 | |
| RS II - 4 | 1,2394 | 0,89 | 303,80 | |
| RS II - 5 | 1,2894 | 0,80 | 289,16 | |
| Rata-rata II | | | 292 | |
| RS III -1 | 1,4404 | 0,57 | 226,2 | Mediterranean coklat kemerahan |
| RS III -2 | 1,3686 | 0,71 | 268,00 | |
| RS III-3 | 1,3428 | 0,77 | 284,8 | |
| Rata-rata III | | | 259,6 | |
| <i>Hill Slope</i> | | | | |
| RS IV-1 | 1,1486 | 0,96 | 302,18 | Andosol coklat kemerahan |
| RS IV-2 | 0,8332 | 1,7 | 390,20 | |
| RS IV-3 | 1,1084 | 0,53 | 161,83 | |
| RS IV-4 | 1,0616 | 1,03 | 301,23 | |
| Rata-rata IV | | | 288,86 | |
| Rata-rata keseluruhan | | | 281 | |

Nilai ini tidak begitu jauh berbeda dengan nilai inventori daerah Bogor yang berkisar antara 286 sampai 290 Bq/m^2 [10]. Adapun rentang nilai yang ada memang cukup signifikan, yaitu berkisar dari 161,8 sampai 417 Bq/m^2 disebabkan oleh mikrovariabilitas yang ada. Pada umumnya, semakin banyak pohon yang tinggi, menyebabkan jatuhnya ^{137}Cs bersama air hujan tidak langsung jatuh ke tanah, melainkan ada yang melalui daun dan ranting bahkan batang pohon terlebih dahulu, sehingga akan menyebabkan terjadinya mikrovariabilitas tersebut.

b. Hasil pengukuran ^{137}Cs contoh tiap transek

Hasil pengukuran aktivitas ^{137}Cs tiap titik contoh dinyatakan dalam Bq/kg . Agar dapat digunakan dalam model konversi, aktivitas tersebut dikonversi dalam bentuk aktivitas kumulatif persatuan luas (inventori) dengan satuan Bq/m^2 . Dari hasil pengukuran contoh tanah, banyak didapatkan aktivitas ^{137}Cs yang tidak terdeteksi. Hasil pengukuran keseluruhan contoh tanah ditunjukkan pada Lampiran 1. Contoh tanah yang tidak terdeteksi (ttd) memberikan arti bahwa aktivitas ^{137}Cs mempunyai nilai $<0,2 \text{ Bq/kg}$, sehingga perlu diberikan nilai tertentu sesuai dengan limit deteksi alat yang digunakan yaitu $0,2 \text{ Bq/kg}$ [11] (dengan angka yang diarsir pada kolom 2). Dengan mengkonversi aktivitas ^{137}Cs ke inventori tiap contoh dalam satu transek dapat dijadikan sebagai indikator langsung secara kualitatif titik contoh yang mengalami erosi atau deposisi. Apabila nilai inventori contoh lebih kecil dari inventori pembanding (281 Bq/m^2), maka pada titik contoh tersebut telah mengalami erosi, sedangkan inventori yang lebih tinggi menunjukkan telah terjadi deposisi pada titik contoh tersebut.

Laju erosi dan deposisi

Estimasi laju erosi dan deposisi ditentukan melalui konversi keseimbangan massa I dan dihitung berdasarkan persamaan (3) dan (7) dari masing-masing inventori yang didapat tiap titik contoh. Pada model konversi ini, fallout ^{137}Cs diasumsikan terjadi sekaligus pada tahun 1963 dan distribusi ^{137}Cs secara homogen sampai kedalaman 30 cm. Apabila terjadi erosi, misal setebal 2 cm tanah maka kedalaman yang mengandung ^{137}Cs tinggal 28 cm. Akan tetapi karena tanah diolah secara terus-menerus, dan pada akhir pengolahan setelah terjadinya erosi, maka aktivitas ^{137}Cs yang

terdapat pada tanah olah setebal 28 cm akan terdistribusi ke dalam tebal tanah olah 30 cm. Dengan gambaran seperti ini maka aktivitas ^{137}Cs (Bq/kg) didalam tanah akan berkurang karena laju erosi tahunan dan akibat bercampurnya lapisan tanah dibawahnya yang tidak mengandung ^{137}Cs . Dengan mengolah tanah secara terus menerus kejadian percampuran demikian akan berulang sehingga hilangnya ^{137}Cs bersama tanah tererosi tidak serta merta berbanding lurus, oleh karena itu digunakan model keseimbangan massa tersebut.

Contoh hasil pengukuran aktivitas ^{137}Cs dan perhitungan laju erosi beberapa titik contoh pada transect diperlihatkan pada Lampiran 1, sedangkan laju bersih erosi tiap transek diperlihatkan pada Lampiran II. Hasil-hasil yang diperoleh menunjukkan aktivitas ^{137}Cs (Bq/kg) pada beberapa contoh tanah tidak dapat terdeteksi, karena aktivitas ^{137}Cs dalam contoh tanah adalah sangat kecil. Sebagaimana terlihat pada Lampiran 1 (daerah yang diarsir) bahwa besar nilai aktivitas $^{137}\text{Cs}=0.2$ Bq/kg dipakai untuk menggantikan nilai aktivitas yang tak terdeteksi, sehingga nilai laju erosi yang didapatkan harus diartikan lebih besar dari nilai laju erosi yang tertera. Terlihat juga bahwa ada beberapa transek yang menggambarkan adanya proses erosi dan deposisi yaitu pada T13, T7 dan T20. Hal ini menunjukkan bahwa tidak semua tanah tererosi pada tiap segmen lahan dalam transek akan menuju aliran air.

Besarnya laju erosi pada satu transek diperoleh dari nilai rata-rata tiap titik contoh yang menunjukkan nilai erosi. Pada transek dengan indikator erosi dan deposisi, laju net erosi yang terjadi merupakan pengurangan dari rata-rata nilai gross erosi dengan nilai gross deposisi, seperti dijumpai pada T7, T13 dan T20. Hal ini menggambarkan adanya proses erosi deposisi pada suatu lereng sangat tergantung dari bentuk/elemen lereng secara mikro. Secara umum, pada lahan berlereng erosi akan terjadi pada lerengan yang tidak ada cekungannya dan deposisi terjadi pada lerengan yang ada cekungannya. Hal demikian mungkin tidak terlihat saat sampling dilakukan karena perubahan bentuk lereng akibat dinamika erosi-deposisi tersebut. Saat dilakukan sampling kemiringan permukaan tampak seragam sebagai akibat adanya elemen cekungan yang telah terisi sebagai tempat deposisi seperti pada transek 20 (T20).

Laju erosi terhadap kelerengan lahan

Dengan mengklasifikasikan kemiringan lereng/kelerengan lahan antara 15 % sampai 25 % nilai laju erosi sangat bervariasi dari kisaran 37,7 ton/ha/th (T13) sampai >117,7 ton/ha/th (T11) pada jenis tanah latosol coklat kemerahan (LCK). Nilai erosi terkecil pada transek T13 bertopografi lahan teras berkonstruksi sipil dengan tanaman utama Jati dan perdu (*shrub*). Sedangkan laju erosi terbesar >117,7 ton/ha/th (T11) terjadi pada lahan bera dengan (sangat sedikit tanaman) kondisi topografi berlereng dan tanaman utama benih sono (kecil) serta ketela pohon.

Dari pengelompokkan kelerengan 25 % sampai 40 % terdapat 9 contoh transek mencakup ke 4 jenis tanah dan laju erosi berkisar 2,3 ton/ha/th (T20) sampai >119,3 ton/ha/th. Laju erosi terkecil terdapat pada lahan berlereng dengan tanaman utama pohon Jambuan, Mahoni, serasah dan Pisang, sedangkan laju erosi tertinggi terdapat pada teras bangku dengan tanaman utama Mangga, Singkong dan kondisi lahan bera.

Pada lahan dengan kelerengan <15 % dan >40 % masing-masing hanya diambil 1 contoh transek yaitu T28 untuk lereng dengan kemiringan <15 % serta T7 untuk lereng dengan kemiringan >40 %. Laju erosi yang didapatkan masing-masing berkisar 62 ton/ha/th (T28) di desa Suru dengan tanaman keras sono dan tanaman semusim singkong dan 54 ton/ha/th (T7) di desa Ngliman dengan tanaman jeruk, cengkeh, jagung, sayuran serta kondisi lahan berteras dengan penanaman bunga mawar sebagai *hedgerose* (tanaman penguat teras), serta bidang olah bervariasi dari agak lebar sampai lebar.

Dari uraian di atas dapat diketahui bahwa proses erosi dapat terjadi baik pada topografi lahan berteras bangku, teras kredit maupun lahan berlereng. Erosi umumnya terjadi pada kondisi lahan bera (tutupan lahan minim) maupun intensifnya penanaman tanaman semusim. Untuk memperjelas permasalahan dalam rangka mencari solusi penanganan/pengendalian erosi pada daerah berlereng, perlu diteliti lebih lanjut lagi tentang pengaruh lebar bidang olah pada lahan berteras terhadap laju erosi. Disamping itu diperoleh informasi data yang cukup jelas bahwa meskipun sebagian besar lahan telah berteras, erosi tetap terjadi. Dengan kata lain, untuk mencegah erosi dipercepat pada pemanfaatan lahan berlereng yang masih potensial di Indonesia, tidak cukup

hanya dengan cara mekanik, akan tetapi harus juga dilakukan teknik pengendalian menggunakan vegetasi serta budidaya tanaman yang sesuai harus dilakukan bersama-sama.

Rasio penghantaran sedimen (*sediment delivery ratio/SDR*)

Rasio penghantaran sedimen didefinisikan sebagai perbandingan antara erosi bersih (tanah tererosi yang meninggalkan bidang lerengan) dengan gross erosi (jumlah material tererosi dikurangi dengan jumlah deposisi dalam bidang lereng). Oleh karena material tererosi dalam daerah berlereng boleh jadi tidak semuanya meninggalkan bidang miring. Akan tetapi, ada sebagian yang juga terdeposisi pada tempat yang memungkinkan karena topografi, seperti pada *toe slope* atau cekungan yang ada sebagai kantong sedimen. Khususnya pada tempat yang sekarang teramati sebagai lahan berlereng, karena pada saat pengambilan contoh tidak dapat diketahui bagaimana topografi jauh sebelum kondisi yang ada saat ini. Dengan analisis tiap titik contoh pada transek dapat diketahui bahwa pada tempat-tempat tersebut ada yang mengalami erosi atau deposisi seperti terlihat pada transek T7, T13 dan T20. Dengan demikian, apabila pada bidang lereng tidak ada tempat deposisi nilai SDR sama dengan 100 %. Nilai SDR dari transek T13, T7 dan T20 adalah 80 %, 91 % dan 17 %, sedangkan nilai SDR untuk transek lainnya adalah 100 %.

KESIMPULAN

Dalam melakukan estimasi laju erosi lahan berlereng dalam cakupan area yang diteliti telah diambil 4 lokasi pembanding. Lokasi tersebut adalah lokasi hutan lindung di dusun Jatirejo, desa Duren, Kecamatan Sawahan; kawasan hutan lindung di Bajulan; Kebun penduduk berteras di daerah Geneng Genjeng dan *hill slope* dengan tutupan lahan yang baik. Nilai rata-rata inventori keempat lokasi di atas digunakan sebagai nilai inventori tunggal pembanding untuk melakukan estimasi laju erosi pada skala sub DAS. Model keseimbangan massa telah diaplikasikan untuk mengestimasi laju erosi rata-rata dalam rentang waktu dari tahun 1963 sampai dengan 2006.

Berdasarkan hal tersebut di atas dapat diketahui, bahwa secara umum erosi terjadi baik pada daerah berlereng maupun berteras, sehingga dapat dikatakan bahwa penterasan yang ada, belum cukup efektif untuk menekan laju erosi. Hal ini disebabkan karena penterasan tidak dilakukan bersama-sama dengan metode vegetasi maupun tata usaha tani yang sesuai. Proses erosi terjadi pada semua jenis tanah dengan laju erosi berkisar dari 2 ton/ha/tahun sampai lebih dari 100 ton/ha/tahun dan rasio penghantaran sedimen dari 17% sampai 100%. Penelitian ini juga memberikan gambaran bahwa sebagian besar sedimen hasil erosi langsung masuk dalam sistim aliran.

DAFTAR PUSTAKA

1. KORAN TEMPO, 61 Daerah Aliran Sungai Kritis, 18 Juli 2008, hal. A19 (2008).
2. PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN TANAH DAN AGROKLIMAT; Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan, BPPP-Departemen Pertanian, (2002).
3. BROWN, R.B., CUTSHALL, N.H., KLING, G.F.; Agricultural erosion indicated by cesium-137 redistribution, I , Levels and distribution of cesium-137 activity in soils, *J. Soil Sci. Soc. of Am.*, **45**, (1981).
4. DE JONG, E., BEGG, C.B.M., KACHANOSKI, R.G.; Estimation of soil erosion and deposition for some Saskatchewan soils, *Canadian Journal of Soil Science*, **63**, (1983).
5. WALLING, D.E., and HE, Q., "Model for Converting ¹³⁷Cs Measurement to Estimates of Soil Redistribution Rates on Cultivated and Uncultivated Soils. and Estimating Bomb Derived ¹³⁷Cs Reference Inventories", A Contribution to the IAEA Coordinated Research Programmes on Soil Erosion and Sedimentation, University of Exeter. UK, (2001).
6. ZHANG, X.B., Higgitt D.L., and Walling D.E., "A preliminary assessment of the potential for using ¹³⁷Cs to estimate rates of soil erosion in the Loess Plateau of China", *Hidrological Science Journal*, **35**, 267-276 (1990).
7. DEPARTEMEN KEHUTANAN; Peta Indeks Panjang dan Kemiringan Lereng (LS), SUB DAS WIDAS, Daerah Aliran Sungai Brantas, (2002).

-
8. DEPARTEMEN KEHUTANAN, Peta Jenis Tanah dan Peta Erodibilitas Tanah (K), SUB DAS WIDAS, Daerah Aliran Sungai Brantas, (2002).
 9. LI YONG., "Private communication", Institute of Agro-Environment dan Sustainable Development Beijing, China.
 10. BAROKAH A., *Et al.*, IAEA document of the IAEA/RCA Project final review meeting, "Restoration of soil fertility and sustenance of agricultural productivity", measuring soil erosion/sedimentation and associated pesticide contamination, RAS/5/039 part 2, (2005).
 11. LI JUN JI., "Private Communication", Institute of Agro-Environment dan Sustainable Development Beijing, China.

Lampiran 1. Contoh hasil pengukuran ^{137}Cs dan laju erosi tiap contoh

| Kode contoh | $A(^{137}\text{Cs})$ (Bq/kg) | DW (kg) | $A(^{137}\text{Cs})$ (Bq/m ²) | Laju erosi (ton/ha/th) (Th 1963-2006) |
|-------------|---------------------------------|------------|--|--|
| TI-1 | 0,2 | 0,9956 | 54,85 | -122,91 |
| TI-2 | 0,31 | 1,1774 | 100,55 | -77,86 |
| TI-3 | 0,22 | 1,1546 | 69,98 | -104,89 |
| TI-4 | 0,22 | 1,1094 | 67,24 | -107,85 |
| TI-5 | 0,38 | 1,0604 | 111,01 | -70,45 |
| T2-1 | 0,2 | 1,1838 | 65,22 | -115,92 |
| T2-2 | 0,45 | 1,1552 | 143,21 | -53,99 |
| T2-3 | 0,2 | 1,047 | 57,69 | -125,48 |
| T2-4 | 0,2 | 1,2198 | 67,21 | -113,58 |
| T2-5 | 0,44 | 1,1836 | 143,47 | -53,84 |
| T2-6 | 0,41 | 1,3136 | 148,37 | -51,17 |
| T2-7 | 0,45 | 1,3456 | 166,81 | -41,84 |
| T2-8 | 0,51 | 1,3424 | 188,60 | -32,04 |
| T2-9 | 0,2 | 1,1302 | 62,27 | -119,53 |
| T4-1 | 0,2 | 1,0708 | 59,00 | -120,63 |
| T4-2 | 0,42 | 1,192 | 137,92 | -55,55 |
| T4-3 | 0,22 | 1,1482 | 69,59 | -108,08 |
| T4-4 | 0,38 | 1,1008 | 115,24 | -69,43 |
| T5-1 | 0,4 | 1,3108 | 144,44 | -57,31 |
| T5-2 | 0,2 | 1,18 | 65,01 | -124,9 |
| T5-3 | 0,41 | 1,3092 | 147,87 | -55,31 |
| T5-4 | 0,2 | 1,177 | 64,85 | -125,12 |
| T6-1 | 0,20 | 1,2856 | 70,83 | -126,32 |
| T6-2 | 0,20 | 1,375 | 75,76 | -120,25 |
| T6-3 | 0,20 | 1,2674 | 67,91 | -130,12 |
| T6-4 | 0,34 | 1,3836 | 129,59 | -71,44 |

Catatan : nilai dengan arsiran menunjukkan aktivitas tak terdeteksi dengan alat

Lampiran 2. Ringkasan laju erosi dan rasio pengantaran sedimen tiap transek

| Transek | Jumlah contoh | Rata-rata deposisi dalam transek (ton/ha/th) | Rata-rata erosi dalam transek (ton/ha/th) | Laju erosi bersih (ton/ha/th) | Persen pengantaran sedimen (%) |
|---------|---------------|--|---|-------------------------------|--------------------------------|
| T1 | 5 | 0 | -96,8 | -96,8 | 100 |
| T2 | 9 | 0 | -78,6 | -78,6 | 100 |
| T4 | 4 | 0 | -88,4 | -88,4 | 100 |
| T5 | 4 | 0 | -90,7 | -90,7 | 100 |
| T6 | 4 | 0 | -112 | -112 | 100 |
| T7 | 10 | 5,6 | -60,6 | -54 | 91 |
| T8 | 6 | 0 | -117,4 | -117,4 | 100 |
| T9 | 6 | 0 | -117,4 | -117,4 | 100 |
| T10 | 8 | 0 | -119,4 | -119,4 | 100 |
| T11 | 11 | 0 | -117,7 | -117,7 | 100 |
| T13 | 6 | 9,4 | -47,1 | -37,7 | 80 |
| T15 | 4 | 0 | -96,3 | -96,3 | 100 |
| T20 | 6 | 10,8 | -13,1 | -2,3 | 17 |
| T21 | 2 | 0 | -104 | -104 | 100 |
| T22 | 6 | 0 | -76,2 | -76,2 | 100 |
| T24 | 8 | 0 | -91,4 | -91,4 | 100 |
| T25 | 6 | 0 | -96,8 | -96,8 | 100 |
| T27 | 7 | 0 | -108,3 | -108,3 | 100 |
| T28 | 4 | 0 | -62 | -62 | 100 |