
**MODEL ESTIMASI AKTIVITAS Cs-137 DALAM CONTOH TANAH
MELALUI PERSENTASE ORGANIK KARBON
DAN DEBU-LIAT**

Barokah Aliyanta

Pusat Aplikasi Teknologi Isotop dan Radiasi – BATAN, Jakarta

ABSTRAK

MODEL ESTIMASI AKTIVITAS Cs-137 DALAM CONTOH TANAH MELALUI PERSENTASE ORGANIK KARBON DAN DEBU-LIAT. Estimasi aktifitas Cs-137 dalam contoh tanah telah dilakukan di daerah Nganjuk melalui parameter kualitas tanah. Sebanyak 26 contoh tanah yang diambil dari daerah Nganjuk telah digunakan untuk membangun hubungan antara aktifitas Cs-137 dengan parameter kualitas tanah menggunakan program SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*). Parameter kimia contoh jauh lebih bervariasi dari parameter fisiknya. Aktifitas Cs-137 dalam tanah dapat dibangun melalui 2 parameter, yaitu persen total organik karbon dan persen kandungan debu-liat. Meskipun demikian, kedua parameter ini hanya dapat menerangkan 69,3 % aktifitas Cs-137, 30,7 % sisanya berkemungkinan besar disebabkan oleh 10 % dari kesalahan pengukuran, redistribusi tanah saat setelah hujan, sistim pertanian maupun cara olah tanah. Aktifitas Cs-137 di bawah limit deteksi juga dapat diestimasi melalui pendekatan parameter kualitas tanah, yang sangat berguna dalam estimasi kuantitatif laju erosi berdasarkan Model-Cs.

Kata kunci : Cs-137, parameter kualitas tanah, SPSS, Model-Cs

ABSTRACT

ESTIMATION MODEL OF Cs-137 ACTIVITY IN SOIL SAMPLES DERIVES FROM PERCENTAGE OF ORGANIC CARBON AND SILT-CLAY. Estimation of Cs-137 activity in soil samples was conducted at Nganjuk area through its soil organic carbon and silt-clay percentage. Twenty-six soil samples taken from Nganjuk area have been used to establish the relationship of Cs-137 activity and its soil samples quality parameters by using SPSS (Statistical Product and Service Solutions) software. Chemical parameters of samples have higher variation compared to the physical. Estimated of Cs-137 activity in soil samples can be established by two parameters, those are percent of total organic carbon and percent of silt-clay contents. However, these two parameters could only explained 69,3 % of Cs-137 activity, the remaining 30,7 % potentially could be due to 10 % of error measurement, run-on redistribution of soil, farming as well as tillage system. By using the soil quality parameters, the Cs-137 activity under the limit detection could be estimated, hence, its usefulness to estimate the erosion rate through applying the Cs-model.

Key words : Cs-137, soil quality parameter, SPSS, Cs-model

PENDAHULUAN

Erosi atau juga disebut tanah hilang ialah suatu hasil dari interaksi tumbukan curahan hujan terhadap permukaan tanah, dimana bila curahan hujan mempunyai energi kinetik yang cukup untuk melepaskan fraksi tanah (pasir,debu,liat) sebagai kesatuan agregat, maka fraksi-fraksi tanah tersebut bercerai berai terhambur ke segala arah. Fraksi-fraksi tersebut kemudian

terangktut oleh limpasan air di permukaan tanah ke bagian yang lebih rendah dan masuk ke aliran-aliran kecil terdekat menuju ke sungai. Erosi pada suatu lahan tanah dimulai dari partikel penyusun tanah yang paling kecil termasuk zat organik dan zat hara yang umumnya banyak terdapat bersama-sama partikel debu-liat. Oleh karena itu erosi yang berlangsung terus menerus pada suatu lahan akan menyebabkan terjadinya penurunan kesuburan lahan, yang pada akhirnya menurunkan hasil panen di daerah tersebut dan juga akan mengakibatkan pendangkalan sungai di sekitar daerah tersebut. Proses erosi yang berlangsung terus dalam waktu lama, akan menyebabkan hilangnya lapisan tanah permukaan subur yang mengandung unsur hara yang diperlukan untuk pertumbuhan tanaman. Erosi merupakan gejala alam yang tidak dapat dicegah, namun dapat dikendalikan dengan berbagai teknik konservasi tanah hingga batas yang dapat ditoleransi, yaitu dengan cara menekan laju erosi sekecil mungkin. Di Indonesia yang dikenal mempunyai jumlah dan intensitas curah hujan yang tinggi, proses erosi tanah yang paling dominan terjadi adalah erosi tanah oleh air hujan terutama limpasan air hujan daripada erosi oleh angin. Dampak yang begitu besar yang diakibatkan oleh erosi tanah, mendorong pengembangan studi yang berhubungan dengan identifikasi gejala/proses erosi dan atau estimasi laju erosi banyak dilakukan di Indonesia.

Perkembangan penelitian mengenai erosi tanah yang disebabkan oleh air dengan berbagai metoda juga berkembang cukup pesat di seluruh dunia. Teknologi nuklir dengan isotop lingkungan/fallout Cs-137 merupakan salah satu metoda yang cukup pesat berkembang untuk mengidentifikasi proses erosi dalam 4 dasawarsa terakhir^[1]. Isotop ini berasal dari percobaan nuklir mulai dekade 1950-an sampai sekitar tahun 1973, dan secara global terdeposisi ke tanah. Metode ini telah berhasil dan banyak diterapkan di berbagai negara seperti Amerika^[2], Inggris^[3], Australia^[4], Cina^[5] untuk mengidentifikasi gejala erosi lahan secara regional pada berbagai kondisi lingkungan alam dan vegetasi. Survei dengan pengukuran kandungan isotop Cs-137 dalam tanah dapat digunakan sebagai indikator kualitatif lahan tererosi maupun estimasi kuantitatifnya melalui model-Cs^[6]. Cs-137 adalah suatu unsur kimia yang bersifat radioaktif dan memancarkan sinar gamma dengan waktu paruh 30,17 tahun. Radioaktif Cs-137 dimaksud telah ada di dalam tanah dan berasal dari atmosfer sebagai *fallout* bersama dengan hujan. Makin besar erosi makin rendah kandungan Cs-137, dibandingkan dengan kandungan Cs-137 di dalam tanah yang belum pernah mengalami erosi.

Meskipun demikian, untuk mengembangkan dan mengaplikasikan metode Cs-137 secara luas di Indonesia bukanlah hal yang mudah. Hal ini berhubungan dengan pola global deposisi Cs-137 ke tanah, dimana pada jatuhnya Cs-137 di belahan Bumi Selatan secara signifikan lebih rendah

di banding di belahan Bumi Utara, dan daerah lintang rendah (daerah tropis) mempunyai aktivitas jatuhan Cs-137 persatuan luas area (inventori) lebih kecil dibanding dengan lintang menengah (daerah sub tropis)^[7]. Kenyataan ini tidak dapat direduksi karena berhubungan dengan kondisi alam. Sebagai contoh, di beberapa negara seperti China, Pakistan, Eropa dan Amerika Utara^[7,8] nilai inventori berkisar dari 1700 sampai 4000 Bq/m². Sedangkan, inventori di daerah Indonesia, Malaysia dan Vietnam bagian selatan maupun negara tropis lain berkisar dari 270 sampai 400 Bq/m² ^[8]. Dengan curah hujan yang cukup tinggi di kebanyakan negara tropis seperti Indonesia, diperlukan kehati-hatian dalam strategi pengambilan contoh tanah di daerah yang diteliti. Contoh tanah yang diambil haruslah dapat menghasilkan data berupa aktivitas Cs-137 yang diperlukan sebagai indikator kualitatif erosi maupun estimasi kuantitatif laju erosi melalui Cs-model. Hal ini harus diperhatikan sehubungan dengan adanya batas kemampuan deteksi alat maupun lamanya waktu yang diperlukan untuk mengukur satu contoh tanah. Pada lokasi yang berindikasi telah mengalami erosi, acapkali aktivitas Cs-137 pada tanah tidak terukur karena aktivitas Cs-137 di bawah kemampuan deteksi alat atau kurang lamanya waktu pengukuran. Dengan demikian untuk melakukan penerapan dan pengembangan metode Cs-137 dalam skala luas perlu waktu yang lebih lama.

Berdasarkan hal-hal tersebut di atas, penulisan makalah ini bertujuan untuk mencari jalan keluar dalam rangka dapat menggunakan metode Cs-137 baik sebagai indikator kualitatif maupun indikator kuantitatif laju erosi melalui aplikasi Cs-model. Di samping Cs-137 juga dilakukan pendekatan melalui pengukuran parameter kualitas utama tanah seperti pH, total organik karbon (TOC), Fosfor (P), Kalium (K) maupun tekstur tanah. Hal ini diperlukan untuk membangun hubungan antara Cs-137 dengan parameter kualitas tanah melalui paket program SPSS (*Statistical Product and Service Solutions*)^[9] dalam memperkirakan aktivitas Cs-137, khususnya yang berada di bawah kemampuan deteksi alat. Selain itu, melalui pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan peran teknik nuklir dalam studi erosi melalui kerjasama dengan instansi terkait, perguruan tinggi maupun Balitbangda yang umumnya mempunyai fasilitas untuk pengukuran parameter kualitas tanah dimaksud.

BAHAN DAN METODA

Lokasi Pengambilan Contoh

Contoh tanah diambil di daerah Kabupaten Nganjuk pada daerah yang berlereng antara 20 sampai 30 % dan dilaksanakan secara acak meliputi kecamatan Ngetos, Sawahan dan Loceret. Dari informasi yang diperoleh, di daerah ini kegiatan pertanian dilakukan secara intensif.

Contoh tanah diambil sampai kedalaman 30 cm dari permukaan tanah dengan menggunakan coring berdiameter 7 cm. Kedalaman pengambilan contoh ini diterapkan berdasarkan pengalaman studi erosi yang selama ini telah dilakukan. Pada umumnya 95 % aktivitas Cs-137 ditemukan di lapisan tanah permukaan dan relatif terdistribusi secara homogen. Selain mengambil contoh tanah untuk analisis Cs-137, pada titik yang sama diambil juga contoh tanah sampai kedalaman 20 cm untuk analisis sifat fisik tanah, khususnya tekstur dan sifat kimia tanah seperti pH, total organic C, P dan K yang merupakan unsur hara utama bagi tanaman. Jumlah contoh yang diambil untuk analisis baik Cs-137 maupun sifat fisik dan kimia tanah berjumlah 26.

Pengukuran kandungan Cs-137, sifat fisik dan kimia tanah

a. Pengukuran kandungan Cs-137

Pada contoh tanah yang diambil perlu dilakukan beberapa perlakuan sebelum diukur. Penyiapan contoh dilakukan dengan cara menjemur atau mengkering-anginkan dan memecah tanah yang bergumpal secara perlahan dengan cara diremas dengan tangan atau digerus sehingga semua fraksi (pasir, debu, liat) terpisah. Tanah yang sudah kering ditimbang terlebih dahulu sebelum dilakukan penggerusan untuk estimasi kuantitatif laju erosi. Tanah yang telah kering, kemudian diayak menggunakan ayakan dengan bukaan 2 mm untuk memisahkan fraksi pasir kasarnya. Fraksi yang lolos ditimbang dan di masukkan ke dalam kantong plastik sebagai contoh yang siap diukur kandungan Cs-137.

Contoh tanah yang sudah dipersiapkan sebelumnya diaduk dengan cara mengocok secara perlahan didalam kantong plastik. Kemudian sebanyak kurang lebih 220 gr ditimbang dan dimasukkan ke plastik lain dikirim dan diukur di Laboratorium Chinese Academy of Agriculture and Soil Science, Beijing, Cina. Pengukuran kandungan Cs-137 untuk tiap contoh tanah tersebut dilakukan dengan menggunakan instrumen nuklir penganalisis saluran ganda detektor germanium kemurnian tinggi berefisiensi relatif 50 %. Hasil pengukuran kandungan Cs-137 pada contoh tanah dinyatakan dalam satuan Becquerel per kg contoh kering tanah.

b. Pengukuran sifat fisika dan kimia tanah

Pengukuran fisika dan kimia tanah dilakukan untuk contoh yang sama dengan titik pengambilan contoh untuk analisis kandungan Cs-137, tetapi diambil pada kedalaman 20 cm. Contoh yang telah diambil tanpa perlakuan apapun, segera dikirimkan ke Laboratorium tanah

IPB untuk di ukur sifat kimia yaitu pH, total organik C, K dan P serta persen fraksi pasir, debu dan liat untuk mengetahui tekstur tanah melalui diagram trilinear. Sifat kimia tanah tersebut masing-masing diukur dengan menggunakan metode berikut. Nilai pH ditentukan berdasarkan metode perbandingan 1:1 dengan H₂O; organik karbon ditentukan dengan metode Walkley and Black; P dengan metode Bray I dan K (me/100 g) ditentukan dengan NH₄O Ac pH 7,0.

Analisis data

Analisis data dilakukan dengan mengumpulkan data terukur yang diperoleh seperti Cs-137, fraksi debu dan liat, pH, total organik C, K dan P. Selanjutnya dilakukan analisis bivariate antara Cs-137 sebagai variabel tidak bebas dan parameter lain sebagai variabel bebas menggunakan paket program SPSS. Hal ini ditujukan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh parameter bebas tersebut terhadap aktivitas Cs-137, yang dinyatakan sebagai hubungan korelasi maupun tingkat ketergantungan kandungan Cs-137 terhadap masing-masing variabel bebas. Analisis dilakukan baik korelasi bivariate maupun regresi ganda. Dengan hipotesa bahwa Cs-137 ditentukan oleh beberapa parameter di atas secara bersamaan, maka dalam analisis berikutnya digunakan formulasi persamaan multiregresi kandungan Cs-137 sebagai fungsi variabel bebas tersebut terhadap variabel lain. Dalam bentuk sederhana, dituliskan sebagai Cs-137 = f(C, K, P, pH, debuliat). Hasil dari formulasi persamaan multiregresi ini digunakan untuk memprediksi kandungan Cs-137 pada contoh tanah yang tidak dapat terukur.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fraksi tanah

Data pengukuran fraksi tanah pada setiap contoh dapat dilihat pada Tabel-1. Secara keseluruhan, nilai fraksi pasir bervariasi dari 13,45 % sampai dengan 43,02 %, dengan rata-rata 24,84 %; fraksi debu bervariasi dari 1,12 % sampai 46,43 % dengan rata-rata 24,92 %; fraksi liat bervariasi dari 26,36 % sampai 72,03 % dengan rata-rata 50,21 %. Dari hasil analisis tiap contoh tanah, masing-masing contoh mempunyai tekstur lempung berliat sampai berliat atau bertekstur dari agak halus sampai halus, dan ada kecenderungan tekstur berliat lebih dominan. Dengan mempertimbangkan contoh-contoh tanah tersebut sebagai satu kelompok, maka nilai masing-masing fraksi dapat diwakili dengan nilai rata-ratanya. Dengan menggunakan diagram trilinear tekstur dapat diketahui bahwa secara keseluruhan contoh sebagai satu populasi dapat dipertimbangkan bertekstur halus^[10].

Tabel 1. Hasil pengukuran fraksi tanah

Kode	Jenis tanah	komposisi (%)			Klasifikasi
		Pasir	Debu	Liat	tekstur
T1.1	ALCRK	17,63	32,70	49,67	Liat
T1.3	ALCRK	14,56	30,07	55,37	
T1.5	ALCRK	21,16	32,88	45,96	
T2.1	ALCRK	15,51	31,64	52,85	
T2.3	ALCRK	16,28	27,67	56,05	
T2.5	ALCRK	19,52	31,65	48,83	
T2.7	ALCRK	14,51	37,30	48,19	
T2.9	ALCRK	23,36	31,65	44,99	
T22.9	ALCRK	37,99	26,40	35,61	
T4.1	LCK	18,05	33,82	48,13	Liat
T4.3	LCK	30,90	26,17	42,93	Lempung berliat
T5.1	LCK	27,21	46,43	26,36	
T5.3	LCK	29,16	42,24	28,60	
T13.2	LCK	22,38	8,83	68,79	Liat
T13.4	LCK	37,29	1,12	61,60	
T13.6	LCK	29,50	32,52	37,98	
T25.4	LCK	28,27	14,89	56,84	Liat
T25.6	LCK	23,01	4,96	72,03	
T27.1	LCK	18,88	27,81	53,31	Liat
T27.3	LCK	13,45	15,69	70,86	
T10.4	ACK	17,07	12,97	69,96	Liat
T19.2	ACK	34,37	25,65	39,98	Lempung berliat
T19.4	ACK	34,10	31,37	34,53	
T20.2	ACK	27,79	30,68	41,53	Lempung berliat
T20.4	ACK	43,02	19,95	46,03	
T20.6	ACK	33,04	37,52	29,44	

Keterangan:

ALCRK = asosiasi latosol coklat dan regosol kelabu

LCK = latosol coklat kemerahan

ACK = andosol coklat kemerahan

b. Cs-137 dan sifat kimia tanah

Tabel 2. Hasil pengukuran sifat kimia tanah dan Cs-137

Kode	Cs-137 (Bq/kg)	pH	C-org (%)	P (ppm)	K (me/100 g)
T1.1	0,20	6,30	1,66	5,1	0,12
T1.3	0,22	6,20	1,37	3,8	0,08
T1.5	0,38	5,90	1,86	4,3	0,08
T2.1	Ttd	5,70	0,89	7,1	0,18
T2.3	Ttd	5,80	0,89	5,6	0,08
T2.5	0,44	6,10	0,95	5,6	0,10
T2.7	0,45	5,80	0,98	4,1	0,08
T2.9	Ttd	5,30	0,60	5,9	0,24
T22.9	0,31	5,30	1,04	6,2	0,36
T4.1	Ttd	5,40	0,80	4,4	0,05
T4.3	0,22	5,60	0,70	5,7	0,06
T5.1	0,40	6,00	0,75	6,6	0,51
T5.3	0,41	6,30	0,67	8,9	0,39
T13.2	0,34	6,10	1,16	2,9	0,72
T13.4	0,58	6,30	1,58	3,4	1,02
T13.6	0,53	6,50	1,32	3,3	0,14
T25.4	0,36	5,40	1,47	4,3	0,22
T25.6	0,33	5,50	1,19	4,9	0,23
T27.1	0,43	5,30	1,30	5,4	0,10
T27.3	Ttd	5,50	1,00	4,6	0,09
T10.4	Ttd	6,30	0,85	2,5	0,15
T19.2	1,07	6,40	1,95	2,1	0,72
T19.4	1,03	6,10	2,18	3,6	0,56
T20.2	1,10	6,70	2,96	2,1	0,82
T20.4	0,99	6,30	2,01	5,4	0,35
T20.6	0,81	6,20	2,36	4,8	0,36

Keterangan : Ttd = tak terdeteksi

Hasil pengukuran kandungan Cs-137 dan sifat kimia tanah tampak pada Tabel 2. Dari 26 contoh yang diukur, 20 contoh menunjukkan aktivitas Cs-137 yang dapat terukur dengan rentang aktivitas berkisar dari 0,20 sampai lebih dari 1 Bq/kg. Sedangkan, 6 contoh mempunyai kandungan Cs-137 yang rendah, sehingga aktivitasnya berada di bawah kemampuan deteksi alat, yaitu berkisar pada 0,20 Bq/kg^[11]. Secara ringkas untuk data yang terukur kandungan Cs-137 dan karakteristik lainnya ditunjukkan pada Tabel 3. Nilai minimum aktivitas Cs-137 yang terdeteksi adalah 0,20 Bq/kg, dimana nilai ini sesuai dengan batas kemampuan deteksi alat.

c. Statistika dan Regresi ganda

Ringkasan statistik data pengukuran dari masing-masing karakteristik contoh coring tanah diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ringkasan statistik karakteristik contoh dan Estimasi Cs-137

Data diukur dan satuannya	data terukur	minimum	maksimum	rerata	Standard deviasi	Koefisien variasi
Cs-137 (Bq/kg)	20	0,20	1,10	0,5300	0,2984	0,563
Organik C (%)	26	0,60	2,96	1,3265	0,5957	0,449
Fospor (%)	26	2,10	8,90	4,7154	1,5818	0,335
K (me/100 g)	26	0,05	1,02	0,3004	0,2697	0,898
Debuliat (%)	26	62,11	86,55	75,445	7,7742	0,103
pH	26	5,90	6,70	5,9346	0,4185	0,071
Estimasi Cs-137	20	0,196	1,043	0,5294	0,2484	0,469

Tabel 3 memperlihatkan bahwa ada 6 data pengukuran Cs-137 yang tak terukur, dan data terukur bervariasi dari 0,20 Bq/kg sampai 1,1 Bq/kg. Nilai 0,2 Bq/kg ini merupakan batasan aktivitas Cs-137 dalam tanah yang masih dapat terukur^[11].

Koefisien variasi adalah perbandingan antara nilai standar deviasi dengan nilai rerata. Dari Tabel 3 dapat dilihat bahwa koefisien variasi dari parameter kimia Organik Karbon, Fosfor dan K jauh lebih besar dibanding dengan pH. Demikian pula halnya dengan koefisien variasi dari radionuklida fallout Cs-137, lebih dari 56 %, sedangkan parameter fisis debuliat mempunyai koefisien variasi cukup kecil yaitu sekitar 10 %. Nilai koefisien variasi ini semakin besar menggambarkan adanya rentang nilai parameter yang besar yang disebabkan oleh proses erosi. Secara umum, koefisien variasi parameter tanah di atas mempunyai nilai yang berkisar dari 7% sampai 89%, dengan nilai rata-rata ke 5 parameter berkisar 37 %. Regresi ganda telah diterapkan untuk membangun hubungan antara Cs-137 dan karakteristik kimia-fisik tanah dan selanjutnya dipergunakan untuk memprediksi kandungan Cs-137 yang tak terukur. Oleh karena Cs-137 merupakan *radionuklida fallout* sebagai produk dari percobaan senjata nuklir dan jatuh bersama air hujan, maka Cs-137 ditentukan sebagai variabel terikat dan karakteristik kimia-fisika sebagai variabel bebas. Analisis regresi ganda dengan metode *stepwise* digunakan untuk memilih 5 variabel bebas tersebut yang paling baik untuk menerangkan variasi kandungan Cs-137 dan memprediksi aktivitas Cs-137 pada titik yang tak terukur. Analisis dengan metoda *stepwise* ini dilakukan dengan menggunakan program SPSS versi 11. Dengan mengatur tingkat signifikansi koefisien regresi pada 0,05, diperoleh 2 parameter utama yang muncul dan paling mempengaruhi kandungan Cs-137 dalam tanah yaitu persen (%) total organik karbon dan persen (%) kandungan

debuliat. Kedua parameter ini muncul sebagai prediktor aktivitas Cs-137 dengan persamaan berikut :

$$\text{Cs-137- } \epsilon = (1,038 \pm 0,449) + (0,336 \pm 0,069) \text{ TOC} - (0,0137 \pm 0,006) \text{ Debuliat} \quad (1)$$

Masing-masing koefisien regresi ganda dan intresepanya disertakan bersama-sama kesalahan standard. Model regresi ganda ini telah bebas dari multikolinieritas, karena koefisien korelasi TOC (total organik karbon) dan debuliat sangat rendah yaitu -0,12.

Dengan metode *stepwise* di atas diperoleh nilai koefisien regresi $R=0,832$ ($R^2=0,693$), yang mempunyai arti bahwa 69,3 % varian aktivitas Cs-137 pada lokasi lahan olah di daerah Nganjuk dengan kemiringan antara 20 – 30 % dapat diterangkan oleh kedua parameter tersebut secara nyata. Hal ini sesuai dengan hasil uji t (hipotesis H_0) dua sisi untuk menguji tingkat signifikansi konstanta dan variabel tidak bebas. Dari hasil hitung nilai t untuk konstanta, persen organik karbon dan debuliat berturut-turut adalah 2,311; 4,895 dan 2,440. Nilai-nilai tersebut dibandingkan dengan nilai t tabel dengan tingkat signifikansi 0,05 (t tabel = 2,12) mempunyai nilai yang lebih besar, yang berarti bahwa persamaan tersebut dapat digunakan untuk memprediksi nilai Cs-137. Demikian pula jika dilihat berdasarkan probabilitas, yaitu bila probabilitas < 0,05 prediksi di atas dapat diterima. Nilai-nilai probabilitas yang diperoleh untuk konstanta, persen organik karbon dan persen debuliat adalah 0,034, 0,000 dan 0,026. Adapun sisa variannya terkait dengan nilai ϵ . Apabila diasumsikan data tersebut harus mengikuti distribusi normal maka nilai $\epsilon=0$ dan standar deviasinya adalah 0,2482 (Tabel 3). Dengan membandingkan koefisien variasi dari nilai estimasi aktivitas Cs-137 dengan hasil pengukuran didapatkan nilai standar deviasi yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan bahwa estimasi aktivitas Cs-137 pada contoh lahan olah dengan regresi ganda dapat dilakukan berdasarkan karakteristik kimia-fisik, yaitu total organik karbon dan debuliat. Menurut Hien^[12], yang melakukan penelitian sebaran aktivitas Cs-137 pada daerah pembanding (lahan yang tidak mengalami erosi) didapatkan nilai koefisien variasi berkisar 17%-33%. Dengan asumsi koefisien variasi untuk lahan tak tererosi 25% yaitu nilai rata-rata dari 17%-33% dan kesalahan pengukuran sebesar 10%, maka selisih nilai koefisien variasi antara hasil pengukuran Cs-137 pada lahan olah dan lahan tak tererosi adalah 21 %. Dengan kata lain 21% aktivitas Cs-137 pada lahan olah tidak dapat diterangkan dengan asumsi hanya air yang menyebabkan terjadinya erosi melalui *overland flow*. Dengan menganalisis lebih lanjut persamaan 1, diketahui bahwa kedua prediktor hanya dapat

menerangkan 69,3 % bagian dari aktivitas Cs-137. Sedangkan sisanya adalah sekitar 30% merupakan harga yang jauh lebih besar dari nilai kesalahan pengukuran yang berkisar 10 %. Dengan demikian sekitar 20 % variasi aktivitas Cs-137 disebabkan oleh faktor lain selain kedua prediktor. Diduga penyebab potensial yang lain adalah adanya redistribusi Cs-137 pada lahan berkemiringan saat setelah terjadinya jatuhnya dari hujan karena *overlandflow*. Sumber potensial yang lain dapat disebabkan oleh adanya perbedaan curah hujan pada tempat-tempat pengambilan contoh, dimana curah hujan tahunan tidak digunakan sebagai prediktor (diasumsikan sama). Sumber potensial lainnya karena adanya cara olah lahan, sistim penanaman dan saat mulainya pengolahan tanah yang berbeda.

d. Prediksi Cs-137 dalam tanah

Dengan menggunakan persamaan 1, hasil prediksi aktivitas Cs-137 yang tidak terdeteksi dengan pengukuran langsung dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil prediksi Cs-137 yang tak terdeteksi dengan pengukuran langsung

Kode contoh	P (%)	K (me/100g)	Debuliat (%)	pH	Total organik Karbon (%)	Cs-137 prediksi (Bq/kg)
T2.1	7,1	0,18	84,49	5,7	0,89	0,180
T2.3	5,6	0,08	83,72	5,8	0,89	0,190
T2.9	5,9	0,24	76,64	5,3	0,60	0,190
T4.1	4,3	0,05	81,95	5,4	0,80	0,184
T27.3	4,6	0,09	86,55	5,5	1,0	0,188
T10.4	2,5	0,15	83,31	6,3	0,85	0,182

Dari Tabel 4 terlihat bahwa nilai prediksi Cs-137 untuk keenam contoh mempunyai nilai yang lebih kecil dari nilai terkecil kemampuan alat untuk mendeteksi yaitu berkisar 0,20 Bq/kg. Dengan demikian indikasi parameter tanah dapat digunakan sebagai prediktor yang sangat berguna untuk memprediksi aktivitas Cs-137 dalam tanah, khususnya yang tidak terukur dengan alat.

Berdasarkan hasil ini perlu dikembangkan sejumlah data yang lebih banyak melalui pengukuran dan analisis seperti di atas. Melalui estimasi nilai-nilai aktivitas ini dapat dikonversi untuk memprediksi laju erosi berdasarkan Cs model yang telah dikembangkan oleh Prof. DR. D.E. Walling dari Universitas Exeter, Inggris.

KESIMPULAN

Penelitian pendahuluan dengan jumlah contoh 26 buah pada kelerengan lahan antara 20% sampai 30% dilakukan untuk membangun hubungan antara kandungan Cs-137 dan karakteristik contoh tanah, yang meliputi beberapa karakteristik kimia dan fisika. Karakteristik contoh tanah di daerah Nganjuk ini sangat bervariasi dengan koefisien variasi dari 7 % sampai 89 %, yang memberikan gambaran terjadinya mobilitas partikel penyusun tanah yang disertai mobilitas zat hara bersamaan dengan terjadinya erosi di daerah ini yang sangat kompleks. Estimasi kandungan/aktivitas Cs-137 contoh tanah dapat dinyatakan dengan 2 parameter yaitu persentase organik karbon dan persentase kandungan debu-liat, dengan koefisien regresi $R = 0,852$. Secara kuantitatif dapat dikatakan bahwa kedua parameter hanya dapat menerangkan 69,3 % dari keragaman aktivitas Cs-137. Di samping itu, kedua parameter juga dapat digunakan untuk memprediksi kandungan/aktivitas Cs-137 yang tak terdeteksi dengan alat di Laboratorium. Hasil estimasi Cs-137 berdasarkan penggunaan persamaan yang diperoleh dengan 2 parameter tersebut, menunjukkan bahwa ke-enam contoh yang tak terdeteksi secara langsung mempunyai nilai aktivitas yang lebih kecil dari batas minimum yang dapat dideteksi yaitu 0,2 Bq/kg. Dengan demikian, penelitian pendahuluan dengan populasi contoh yang kecil ini memperlihatkan adanya prospek penggunaan yang lebih luas di bidang penelitian erosi melalui kombinasi penggunaan metode radionuklida yang dilakukan peneliti BATAN dan pengukuran karakteristik fisika dan kimia tanah.

DAFTAR PUSTAKA

1. LOUGHRAN, R.J. 1989. The measurement of soil erosion. *Prog. Phys. Geog* 13: 216-233.
2. RITCHIE, J.C., AND J.R. MCHENRY. 1990. Application of radioactive fallout Cs-137 for measuring soil erosion and sediment accumulation rates and pattern; a review. *Journal of Environment Quality* 19: 215-233.
3. WALLING, D.E., AND T.A. QUINE. 1991. Use of Cs-137 measurements to investigate soil erosion on arable fields in the UK: potential applications and limitations. *Journal of Soil Science* 42:147-165.
4. ANDREW, K.K., LOUGHRAN, R.J., AND JETSE, D.K. 2003. The use of Cs-137 to assess surface soil erosion status in a water supply catchment in the Hunter valley, New South Wales. *Journal of the institute of Australian geographers* 41: 73-84.

-
5. LI, Y. et al. 2007. Change in soil organic carbon induced by tillage and water erosion on a steep cultivated hill-slope in the Chinese Loess Plateau from 1898-1954 and 1954-1998. *Journal of geophysical research* 112.
 6. WALLING, D.E., AND Q. HE. 2001. Model for converting Cs-137 measurement to estimates of soil redistribution rates on cultivated and uncultivated soils, and estimating bomb-derived Cs-137 reference inventory; a contribution to IAEA Coordinated Research Programs on soil erosion and sedimentation. Vienna.
 7. LARSEN. R.J. 1985. Worldwide deposition of Sr-90 through 1983. USDOE Environment Measurements Laboratory, New York.
 8. IAEA document. 2005. 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.
 9. Q. HE, D.E. WALLING. 1997. The redistribution of fallout Cs-137 and Pb-210 in undisturbed and cultivated soils. *Journal of Application of Radiation and Isotopes* 48: 677-690.
 10. P.D. HIEN, et al. 2002. Derivation of Cs-137 deposition density from measurements of Cs-137 inventories in undisturbed soils. *Journal of environmental radioactivity* 62: 295-303.
 11. Personal communications.