

Status hara tanah terpengaruh lumpur tsunami dan implikasi pengelolaannya

Fahmuddin Agus dan IGM. Subiksa

Balai Penelitian Tanah, Bogor

Pesan kunci:

- Dengan berlangsungnya proses pencucian garam secara alami oleh air hujan, masalah salinitas telah mengalami penurunan secara nyata, terutama pada daerah dengan curah hujan tinggi dan tekstur tanah agak kasar. Dengan demikian aktivitas pertanian sudah dapat dimulai kembali pada sebagian besar lahan yang terpengaruh tsunami.
- Lapisan tanah yang terbentuk oleh lumpur tsunami mengandung berbagai macam hara, terutama Ca, dan Mg, dan sejumlah kecil K dan P, namun pengayaan hara ini tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan sebagian besar tanaman atau hara tersebut berada dalam keadaan yang tidak berimbang. Dengan demikian pemupukan P dan K, di samping N, pada umumnya tetap diperlukan.

Pendahuluan

Peristiwa tsunami tanggal 26 Desember 2004 secara langsung maupun tidak langsung berdampak besar terhadap kondisi fisik, kimia dan biologi tanah. Secara langsung, gelombang tsunami menyebabkan lapisan tanah tergerus, tertimbun lumpur laut, dan menghancurkan petak sawah, sarana irigasi dan sarana/prasarana pertanian lainnya. Gelombang dahsyat tersebut juga menghancurkan berbagai vegetasi, termasuk tanaman pertanian. Air laut mempengaruhi lingkungan pertanian dan menyebabkan tanaman, misalnya kakao, walaupun tidak roboh juga mati keracunan karena kadar garam yang tinggi. Secara tidak langsung, lahan pertanian banyak yang terlantar karena pemiliknya menjadi korban atau belum terurus karena masih banyaknya pekerjaan di luar bidang pertanian yang menjanjikan pendapatan langsung.

Tulisan ini membahas secara singkat mengenai beberapa fakta di lapangan menyangkut kadar garam dan perubahan kesuburan tanah pada lahan yang terkena dampak tsunami.

Salinitas tanah

Salinitas tanah adalah keadaan tinggi rendahnya garam di dalam tanah. Garam dapur (NaCl) merupakan garam yang dominant, namun garam-garam Na_2SO_4 , MgSO_4 , NaHCO_3 , Na_2CO_3 , CaSO_4 , CaCO_3 , juga menentukan salinitas tanah. Semakin tinggi konsentrasi garam-garam ini pada larutan tanah, semakin tinggi pula daya hantar listrik (DHL) larutan tanah. Tanah dengan daya hantar listrik >4 dS/m tergolong tanah salin.

Tanaman memiliki daya toleransi yang berbeda-beda terhadap kadar garam. Tanaman yang sensitif seperti kacang hijau, buncis, asparagus, kacang panjang, dan bayam hanya akan tumbuh baik bila DHL berkisar antara 0-2 dS/m. Tanaman padi, talas, bawang merah, dapat bertahan pada DHL antara 2-4 dS/m (Balittanah, 2004).

Pada saat bencana tsunami datang, gelombang tsunami membawa air laut bercampur lumpur dengan DHL > 40 dS/m sampai 5 km dari bibir pantai (DHL air laut sekitar 60 dS/m). Air laut menggenangi daratan sampai 5 jam sebelum akhirnya kembali surut. Namun pada bagian tanah yang cekung, air garam menggenangi lahan lebih lama sehingga tanah tersebut lebih lama dan lebih parah terpengaruh garam.

Garam NaCl yang dibawa air laut akan terperap oleh tanah, namun jerapan tersebut sangat lemah dibandingkan jerapan tanah terhadap Ca, Mg dan K. Dengan demikian Na lebih mudah tercuci. Pencucian lebih mudah terjadi bila tanah mempunyai kapasitas tukar kation (KTK) yang rendah, tekstur kasar, dan curah hujan tinggi.

Hasil analisis tanah di Kabupaten Aceh Barat pada bulan Juni 2006 (1.5 tahun setelah tsunami) menunjukkan bahwa DHL tanah dan air tanah pada umumnya sudah berada pada batas aman (dengan DHL < 2 dS/m) untuk berbagai usaha pertanian (Tabel 1). Garam-garam yang mencemari lahan pertanian dengan cepat tercuci karena curah hujan di Aceh Barat cukup tinggi (>2500 mm/tahun) dan tekstur tanah pada umumnya lempung berpasir. Namun pada bagian tanah yang cekung dan berdrainase buruk (pada beberapa laguna di pinggir pantai), DHL air tanah dan air permukaan tetap relatif tinggi.

Daerah dengan salinitas yang masih tinggi untuk sementara waktu perlu dihindari dari penanaman menjelang pencucian alami berlanjut. Perbaikan sistem drainase, akan dapat mempercepat proses pencucian. Langkah lain adalah dengan melakukan pencucian secara artifisial, namun proses ini akan memakan tenaga kerja dan biaya yang tinggi serta memerlukan air tawar dalam jumlah banyak.

Tabel 1. Daya hantar listrik tanah, air tanah dan air permukaan di beberapa titik pengamatan di Aceh Barat berdasarkan pengamatan pada bulan Juni 2006.

Lokasi	DHL (dS/m)		
	Tanah	Air tanah	Air permukaan
Arongan	0		2,4
Kubu		0,2**	
Seunebok Teungoh	0,05	0,1**	
Kuala Bubon	-	4,2**	12
Paya Lumpat	0,29	-	-
Aloe Raya	2,79*	-	-
Suak Nie	0,25	0,01	-
Gunung Kleng	0,16	0,7	2,04
Gunung Kleng 2	0,17	0,7 – 1,0	1,05
Peunaga Cot	0,1	0,3	0,05

*timbunan lumpur laut; ** sumur penduduk

Sumber: Subiksa et al. (2006)

Pengaruh garam terhadap struktur tanah

Apabila Na mendominasi kompleks pertukaran kation akan terjadi dispersi agregat tanah. Dispersi agregat tanah merupakan suatu keadaan yang tidak menguntungkan buat sistem pertanian lahan kering, namun dikehendaki untuk sistem sawah karena sawah harus dilumpurkan.

Untuk lahan kering, tanah yang terdispersi akan mengalami penyumbatan pori sehingga infiltrasi tanah terhambat dan permukaan tanah mengalami pengkerakan (*crusting*) yaitu terbentuknya bongkahan lapisan keras di atas permukaan tanah. Selain mengganggu infiltrasi, kerak dapat menghalangi perkecambahan tanaman. Pengolahan tanah, pencucian garam Na, dan pencampuran bahan organik pada permukaan tanah dapat membantu mengurangi kerak di permukaan tanah. Penggunaan gipsum (CaSO_4) dapat mempercepat pencucian Na dan mengurangi salinitas tanah.

Perubahan kesuburan tanah

Air laut dan lumpur tsunami, selain mengandung Na, juga mengandung kation-kation Ca, K, Mg, serta berbagai ion dan senyawa kimia lainnya. Kation-kation ini kemudian terjerap dalam tanah dengan menggantikan kation yang terjerap sebelumnya. Dengan demikian apabila terjadi penutupan tanah oleh lumpur tsunami, kesuburannya cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan tanah yang tidak tertutup lumpur tsunami. Namun beberapa bulan pertama sesudah tsunami, kadar garam mudah

larut yang terlalu tinggi menyebabkan tekanan osmosis media lebih tinggi dibandingkan dengan tekanan osmosis dalam sel tanaman. Akibatnya tanaman tidak mampu menyerap air dan unsur hara. Ekspresi yang muncul pada tanaman adalah mudah layu, kerdil dan gejala defisiensi hara, walaupun dalam tanah tersedia cukup hara.

Tabel 2 menggambarkan keadaan kesuburan tanah 5 bulan sesudah tsunami pada tiga profil tanah. Profil NAD3 adalah profil tanah yang tidak terpengaruh tsunami, terletak sekitar 3 km dari pantai. Profil NAD 2 dan NAD4 terpengaruh oleh lumpur tsunami dan masing-masing berjarak 3 km dan 0,2 km dari pantai. Horison tanah O₁ untuk NAD2 dan Horison I untuk NAD4 adalah lapisan tanah baru yang diangkut oleh gelombang tsunami.

Untuk Profil NAD2, pH tanah, kandungan C organik, kation tukar (K, Ca, Mg, dan Na) dan P total nyata lebih tinggi pada lapisan lumpur tsunami dibandingkan dengan lapisan di bawahnya. Namun untuk profil NAD4 yang lapisan tanah tsunaminya didominasi oleh pasir, peningkatan ini tidak kelihatan, kecuali untuk pH. Untuk Profil NAD3, kandungan bahan organik, N total, P dan beberapa basa hanya sedikit lebih tinggi pada lapisan atas (horison Ap) dibandingkan horison di bawahnya dan perbedaan ini pada umumnya disebabkan oleh pengelolaan tanah yang dilakukan pada horison Ap.

Untuk NAD2 peningkatan kation cukup nyata pada lapisan tanah yang baru dan ini berarti bahwa (kalau pengaruh natrium sudah berkurang) pemupukan K dapat dikurangi untuk beberapa tahun ke depan. Untuk hara P, walaupun terjadi peningkatan P total, namun P tersedia tidak nyata meningkat pada tanah lapisan atas. Dengan demikian pada tanah yang terpengaruh tsunami pemupukan P masih sangat diperlukan.

Keseimbangan kation

Keseimbangan kation dalam kompleks jerapan berdasarkan kejenuhan kation idealnya adalah Ca 65%, Mg 10%, K 5% dan H 20% (McLean, 1977). Kation Na tidak didefinisikan karena idealnya memang harus sangat rendah.

Tabel 2 menunjukkan bahwa kation Na dan Mg tergolong cukup tinggi dalam kompleks jerapan. Sebaliknya kation K dan Ca relatif rendah. Artinya bahwa tsunami berpengaruh besar terhadap keseimbangan kation dalam tanah. Dengan meningkatnya kadar kation pesaing (Na dan Mg), maka tanaman berpotensi mengalami defisiensi K, karena serapan hara tidak hanya ditentukan oleh jumlah kation, tetapi juga rasio hara tersebut terhadap hara lainnya. Untuk itu pemberian pupuk K tetap direkomendasikan. Demikian pula halnya dengan kation Ca, terutama untuk tanaman

yang memerlukan Ca tinggi seperti kacang tanah agar polongnya tidak menjadi hampa.

Respon tanaman tahunan

Hasil analisis daun kelapa yang tidak terkena tsunami menunjukkan kadar hara Ca, Mg, S dan Cu berada di bawah batas kritis (Tabel 3) dan daun kelapa tersebut memperlihatkan gejala menguning yang kemungkinan besar disebabkan defisiensi Mg dan S. Setelah tsunami, air laut dan lumpur laut yang menggenangi tanaman membawa unsur hara yang kurang tersebut. Beberapa fakta dan pernyataan petani di lapangan menunjukkan bahwa tanaman tahunan, seperti kelapa, sawo dll., pertumbuhan dan produksinya menjadi lebih baik setelah terpengaruh lumpur tsunami. Daun menjadi lebih hijau dan produksinya semakin tinggi. Petani mengemukakan bahwa mereka mendapatkan “pupuk tsunami”.

Untuk pohon kelapa yang menguning (yang tidak terpengaruh lumpur tsunami) pemberian beberapa unsur unsur (terutama Ca, Mg dalam bentuk kapur pertanian, dan S) serta kemungkinan unsur mikro Cu (dalam bentuk terusi, CuSO_4), diharapkan dapat memperbaiki keadaan.

Respon tanaman semusim

Fakta lain menunjukkan bahwa lahan sawah yang terkena tsunami banyak yang mengalami gagal panen karena gabahnya hampa. Hal ini bisa terjadi terutama pada sawah yang mendapat timbunan lumpur laut yang kaya bahan organik, atau sawah yang lapisan atasnya terkikis dan hanya menyisakan lapisan tanah berpasir, terutama sawah yang jaringan irigasi dan drainasenya belum dipulihkan. Bahan organik lumpur laut yang jenuh Na akan menjerap unsur bervalensi tinggi pada tanah seperti Cu, Zn sehingga unsur ini menjadi tidak tersedia. Tanaman yang mengalami kehampaan gabah diperkirakan karena mengalami defisiensi berat unsur Cu, namun diperlukan penelitian untuk memverifikasi dugaan ini.

Pada beberapa daerah yang terkena tsunami, kacang tanah terlihat tumbuh subur, namun polongnya hampa. Hal ini dapat disebabkan karena kekurangan Ca (karena tidak seimbangnya kation ini relatif terhadap Mg dan Na) dan/atau karena kekurangan unsur mikro.

Tabel 2. Sifat kimia profil tanah yang terpengaruh dan tidak terpengaruh lumpur tsunami di beberapa lokasi di Kabupaten Aceh Besar, NAD berdasarkan analisis contoh tanah pada tanggal 30 May 2005.

Kode Contoh	Kedalaman	Tekstur (pipet)			Ekstrak 1:5		Terhadap contoh kering 105 °C														
		Pasir	Debu	Liat	pH		Bahan organik			Total		Tersedia		Nilai Tukar Kation (NH ₄ -Acetat 1N, pH7)							
					H ₂ O	KCl	C	N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Olsen P ₂ O ₅	Bray 1 P ₂ O ₅	Ca	Mg	K	Na	Jmlah	KTK	KB *	
cm	%																				%
Tanah yang tidak tertutup lumpur tsunami di Desa Beradeun, Kecamatan Peukan Bada, Kabupaten Aceh Besar (Profil NAD3; 05°30'09"LU dan 95°16'28"BT; sekitar 3 km dari pantai)																					
Ap	0-16	47	33	20	5.2	4.3	13.5	1.0	14	90	80	17	4.8	4.03	1.17	0.07	0.13	5.40	10.97	49	
Bw ₁₋₂	16-40	52	29	19	5.2	3.8	4.5	0.3	15	30	40	11	4.4	1.84	0.73	0.00	0.16	2.73	8.61	32	
2Bw ₁₋₂	40-95	35	31	34	5.2	3.7	2.6	0.3	9	20	60	10	4.7	2.75	1.43	0.04	0.31	4.53	15.39	29	
2BC ₁₋₂	96-146	4	32	64	7.0	5.6	1.3	0.1	13	30	130	13	3.4	16.99	7.73	0.04	2.83	27.59	27.11	100	
Tanah yang tertutup lumpur tsunami di Desa Beradeun, Kecamatan Peukan Bada, Kabupaten Aceh Besar (Profil NAD2; 05°30'06"LU dan 95°16'21"BT; sekitar 3 km dari pantai)																					
O ₁	0-9	42	23	35	8.0	7.5	97.6	0.39	25	360	370	38	13.6	27.84	12.77	0.49	3.59	44.69	31.78	>100	
Ap ₁₋₂	9-29	22	41	37	5.8	4.8	14.6	0.13	11	80	120	14	4.2	7.63	2.61	0.09	2.11	12.44	15.57	80	
Bw ₁	29-52	20	37	43	5.0	4.0	5.9	0.07	8	50	100	10	3.6	7.24	3.23	0.07	0.86	11.40	17.17	66	
Bw ₂₋₃	52-83	17	24	59	6.0	4.6	3.3	0.04	8	20	120	8	3.4	14.82	6.73	0.09	1.36	23.00	27.95	82	
BC ₁₋₂	83-149	44	24	32	6.7	5.7	1.0	0.01	10	50	70	9	3.9	6.72	3.29	0.04	0.79	10.84	12.23	89	
Tanah yang tertutup lumpur tsunami di Desa Surah, Kecamatan Peukan Bada, Kabupaten Aceh Besar (Profil NAD4; 05°32'25"LU dan 95°16'05"BT; sekitar 0.2 km dari pantai)																					
I	0-17	93	2	5	8.4	8.0	1.0	0.1	10	1100	370	23	29.7	5.38	2.13	0.22	1.69	9.42	6.84	>100	
Ap	17-24	21	42	37	6.3	5.7	11.4	0.9	13	450	450	41	5.4	11.00	11.86	0.45	8.03	31.34	26.67	>100	
Bwg ₁	24-43	17	52	31	6.6	5.3	3.9	0.3	13	840	180	11	3.4	18.62	16.51	0.15	1.49	36.77	26.12	>100	
Bwg ₂	43-83	30	50	20	7.4	5.8	1.7	0.2	9	950	200	11	3.7	16.91	15.62	0.11	0.48	33.12	24.71	>100	
Bwg ₃	83-122	21	59	20	7.5	5.7	1.4	0.1	14	1050	210	16	6.1	16.86	16.71	0.08	0.48	34.13	26.30	>100	
Bwg ₄	122-149	53	35	12	7.1	5.4	1.1	0.1	11	1140	230	20	10.5	13.00	13.25	0.04	0.34	26.63	18.21	>100	

Sumber: Subagyo (2005, tidak dipublikasi)

Untuk padi sawah, selain memberikan pemupukan N, P, dan K, sesuai dengan rekomendasi yang didapatkan dari bagan warna daun dan perangkat uji tanah sawah, kemungkinan diperlukan pula pemupukan Cu dan Zn pada sawah yang kadar bahan organiknya tinggi. Perbaikan sistem irigasi dan drainase juga akan mempercepat penurunan salinitas tanah. Untuk lahan kering kemungkinan pemupukan K dapat dikurangi, sedangkan pemupukan N dan P perlu diberikan seperti pada tanah yang tidak terpengaruh tsunami. Untuk lokasi tertentu mungkin diperlukan penambahan Ca dan unsur mikro.

Tabel 3. Hasil analisis daun kelapa yang tidak terkena tsunami dengan gejala daun menguning (contoh daun diambil pada bulan Juni 2006).

Hara Makro			Hara Mikro		
Hara	Pengamatan ¹⁾	Batas kritis ²⁾	Hara	Pengamatan	Batas kritis ³⁾
N (%)	1,51	1,7	Fe (ppm)	94	80
P (%)	0,11	0,10	Al (ppm)	59	-
K (%)	1,45	0,45	Mn (ppm)	59	50
Ca (%)	0,15	0,50	Cu (ppm)	4	7
Mg (%)	0,24	0,35	Zn (ppm)	31	21
Na (%)	0,16	-			
S (%)	0,02	0,15			

Sumber: 1) Subiksa et al. (2006); 2) De Geus, - ; 3) Jones et al, 1991

Daftar pusaka

De Geus, J.G., - . Fertilizer guide for tropical and subtropical Farming. Centre d'Eude del'Azote, Zurich.

IRRI, 2002. A Practical guide to nutrient management. International Rice Research Institute. DAPO Box 7777 Metro Manila, Philippines.

Jones, J. Benton, Benjamin Wolf, and Haay A. Mills, 1991. Plant analysis handbook, a practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro Publishing, Inc.

McLean, E.O., 1977. Contrasting concepts in soil test interpretation: sufficiency levels of available nutrient versus basic cation saturation ratios. In Peck et al. Soil Testing : Correlating and Interpreting the Analytical Results. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America Inc.

Subiksa, I.G.M., F. Agus, dan D. Erfandi. Pencucian garam dan perubahan kesuburan tanah setelah tsunami. Presented at a Multi-stakeholder Workshop, 30 November 2006, Meulaboh. ICRAF South East Asia, Bogor.

Nutrient status of tsunami-affected soils and the management implications

Fahmuddin Agus dan IGM. Subiksa

Indonesian Soil Research Institute, Bogor

Key messages

- Leaching by rainfall has significantly reduced salinity in tsunami-affected soils, especially in areas with high rainfall and dominated by coarse-textured soil, so farming activities have resumed on most tsunami-affected land.
- Tsunami mud contains various nutrients, especially calcium, magnesium and, to a lesser extent, potassium and phosphorus, but they are not balanced or in high enough quantities to support plant growth, so most crops on tsunami-affected soils still require phosphorus and potassium in addition to nitrogen fertilisation.

Introduction

The tsunami that devastated Nanggroe Aceh Darussalam Province on 26 December 2004 has affected the physical, chemical, and biological condition of agricultural land. The waves undermined the soil surface and covered it with sea mud, and damaged paddy fields, irrigation networks, and other infrastructure. The waves physically damaged vegetation, including agricultural crops, and the seawater killed salt-sensitive crops such as cacao. Some agricultural lands are temporarily abandoned because the owners were killed or are engaged in non-farm post-tsunami activities. This article explains briefly salinity and soil fertility changes on tsunami-affected soils.

Soil salinity

Soil salinity is the property describing the concentration of salts in soils. Table salt (NaCl) is one of the dominant salts in coastal areas, but other salts, including Na₂SO₄, MgSO₄, NaHCO₃, Na₂CO₃, CaSO₄, CaCO₃, also determine soil salinity. The higher the salt concentration the higher the electrical conductivity (EC) of the soil is. Soils with the EC >4dS/m are considered saline.

Crops have different tolerances to salinity levels. Sensitive crops such as mung bean, common bean, asparagus, string bean, and

spinach can only grow well on soils with EC 0-2 dS/m. Rice, taro, and onion can tolerate EC 2-4 dS/m (Balittanah 2004).

The tsunami carried mud containing seawater with an EC >40 dS/m as far as five kilometres inland from the coastline (EC of the seawater is usually around 60 dS/m). The seawater inundated the land for about five hours before it receded, except in some concave lagoons where the soil was flooded for longer so was more severely salt-affected.

Part of sodium chloride in seawater is adsorbed on the soil's exchange site, but this adsorption is weaker compared with calcium, magnesium and potassium, so sodium is more easily leached. Sodium leaching also occurs easily in soils with low cation exchange capacity (CEC) and in coarse-textured soils in high rainfall areas.

Soil analysis in West Aceh District conducted in June 2006 (1.5 years after tsunami) indicated that the salt content in soil, soil water and surface water had decreased to levels that most crops can tolerate (EC < 2 dS/m, Table 1). The salts leached relatively rapidly because of high rainfall (>2500 mm) and the sandy loam soil texture. However, in the old and newly formed lagoons, surface and soil water salinity still remains high.

Areas with high soil salinity should not be farmed, to allow more time for further leaching of salts. Improving the drainage system can speed up the leaching process. Artificial leaching is another option, but requires high capital and labour costs, and large volumes of fresh water.

Salt effects on soil structure

When sodium dominates the exchange site, soil aggregates collapse into individual soil particles, a process known as dispersion. Dispersion is undesirable in upland soils, but is ideal for lowland paddy systems which depend on puddled, compacted soils.

In upland soils, the dispersed soil particles clog soil pores, leading to lower infiltration capacity and soil surface crusting. These crusts prevent water infiltration and obstruct crop germination. Soil tillage, leaching of sodium and incorporation of organic matter into topsoil can reduce formation of surface crusts. The use of gypsum (CaSO₄) can also enhance sodium leaching and thus decrease soil salinity.

Table 1

Electric conductivity of soil, soil water, and surface water at selected sites in West Aceh, based on June 2006 observations.

Site	EC (dS/m)		
	Soil	Soil water	Surface water
Arongan	0		2.4
Kubu		0.2**	
Seunebok Teungoh	0,05	0.1**	
Kuala Bubon	-	4.2**	12
Paya Lumpat	0.29	-	-
Aloe Raya	2.79*	-	-
Suak Nie	0.25	0.01	-
Gunung Kleng	0.16	0.7	2.04
Gunung Kleng 2	0.17	0.7 – 1.0	1.05
Peunaga Cot	0.1	0.3	0.05

Source: Subiksa et al (2006) *Accumulation of sea mud ** from well

Changes in soil fertility

The seawater and the mud that flooded the coast of Aceh contained cations such as calcium, potassium, magnesium, sodium and various other chemicals. These cations were adsorbed on the exchange sites, replacing some of the previously adsorbed cations and increasing soil fertility of tsunami-affected soils compared with unaffected soils. However, for a few months after the tsunami, the very high concentration of soluble salts caused an increase in the osmotic potential in plant growth media and a lower osmotic potential in plant cells, so plants could not absorb water or nutrients. So, although the soil had enough nutrients, the plants were wilted, stunted, and showed nutrient deficiency syndromes.

Table 2 shows soil fertility in three soil profiles five months after the tsunami. Profile NAD3 is unaffected soil, located about 3 km from the coast. Profiles NAD2 and NAD4 were affected by tsunami mud and located 3 and 0.2 km from the coast respectively. Horizon O1 for NAD2 and Horizon I for NAD4 are the new surface layers generated by the tsunami wave.

For Profile NAD2, soil pH, organic carbon content, exchangeable cations (potassium, calcium, magnesium and sodium) and total phosphorus were significantly higher in the new surface layer than the underlying layer. However, for Profile NAD4 where the new layer was dominated by sand particles, this increase was not observed, except for soil pH. For Profile NAD3, organic matter, total nitrogen, phosphorus and bases were only slightly higher on the surface Ap horizon compared with the lower horizons and these differences are attributed to soil management effects.

Table 2. Chemical properties of soil profiles of affected and unaffected soils by tsunami mud at a few sites in Kabupaten Aceh Besar, NAD base don analysis - 30 May 2005.

Horizon	Depth	Texture (pipette)			Extract 1:5		Based on oven dry samples (105 °C; 24 hr)														
		Sand	Silt	Clay	pH		Organic matter			Total		Available		Cation exchange capacity (NH ₄ -Acetat 1N, pH7)							
					H ₂ O	KCl	C	N	C/N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Olsen P ₂ O ₅	Bray 1 P ₂ O ₅	Ca	Mg	K	Na	Total	CEC	BS *	
cm	%						g kg ⁻¹			mg kg ⁻¹		mg kg ⁻¹			cmol(+)/kg					%	
The unaffected soil in Beradeun Village, Kecamatan Peukan Bada, Kabupaten Aceh Besar (Profile NAD3; 05°30'09"N and 95°16'28"E; about 3 km from the coast)																					
Ap	0-16	47	33	20	5.2	4.3	13.5	1.0	14	90	80	17	4.8	4.03	1.17	0.07	0.13	5.40	10.97	49	
Bw ₁₋₂	16-40	52	29	19	5.2	3.8	4.5	0.3	15	30	40	11	4.4	1.84	0.73	0.00	0.16	2.73	8.61	32	
2Bw ₁₋₂	40-95	35	31	34	5.2	3.7	2.6	0.3	9	20	60	10	4.7	2.75	1.43	0.04	0.31	4.53	15.39	29	
2BC ₁₋₂	96-146	4	32	64	7.0	5.6	1.3	0.1	13	30	130	13	3.4	16.99	7.73	0.04	2.83	27.59	27.11	100	
The soil covered by tsunami mud in Beradeun Village, Kecamatan Peukan Bada, Kabupaten Aceh Besar (Profile NAD2; 05°30'06"N and 95°16'21"E; about 3 km from the coast)																					
O ₁	0-9	42	23	35	8.0	7.5	97.6	0.39	25	360	370	38	13.6	27.84	12.77	0.49	3.59	44.69	31.78	>100	
Ap ₁₋₂	9-29	22	41	37	5.8	4.8	14.6	0.13	11	80	120	14	4.2	7.63	2.61	0.09	2.11	12.44	15.57	80	
Bw ₁	29-52	20	37	43	5.0	4.0	5.9	0.07	8	50	100	10	3.6	7.24	3.23	0.07	0.86	11.40	17.17	66	
Bw ₂₋₃	52-83	17	24	59	6.0	4.6	3.3	0.04	8	20	120	8	3.4	14.82	6.73	0.09	1.36	23.00	27.95	82	
BC ₁₋₂	83-149	44	24	32	6.7	5.7	1.0	0.01	10	50	70	9	3.9	6.72	3.29	0.04	0.79	10.84	12.23	89	
The soil covered by tsunami mud in Surah Village, Kecamatan Peukan Bada, Kabupaten Aceh Besar (Profile NAD4; 05°32'25"N and 95°16'05"E; about 0.2 km from the coast)																					
I	0-17	93	2	5	8.4	8.0	1.0	0.1	10	1100	370	23	29.7	5.38	2.13	0.22	1.69	9.42	6.84	>100	
Ap	17-24	21	42	37	6.3	5.7	11.4	0.9	13	450	450	41	5.4	11.00	11.86	0.45	8.03	31.34	26.67	>100	
Bwg ₁	24-43	17	52	31	6.6	5.3	3.9	0.3	13	840	180	11	3.4	18.62	16.51	0.15	1.49	36.77	26.12	>100	
Bwg ₂	43-83	30	50	20	7.4	5.8	1.7	0.2	9	950	200	11	3.7	16.91	15.62	0.11	0.48	33.12	24.71	>100	
Bwg ₃	83-122	21	59	20	7.5	5.7	1.4	0.1	14	1050	210	16	6.1	16.86	16.71	0.08	0.48	34.13	26.30	>100	
Bwg ₄	122-149	53	35	12	7.1	5.4	1.1	0.1	11	1140	230	20	10.5	13.00	13.25	0.04	0.34	26.63	18.21	>100	

Source: Subagyo (2005, unpublished)

For Profile NAD2, there was a significant increase of cations in the newly formed layer, indicating that following the reduction of sodium, potassium fertiliser applications may be able to be reduced. However, phosphorus is required, because while there was some increase in total phosphorus, the amount of available phosphorus on the soil surface was basically unchanged.

Cation balance

The ideal proportion of cations on the exchange complex is 65% calcium, 10% magnesium, 5% potassium and 20% hydrogen (McLean 1977). The proportion of sodium is not included because it is supposed to be a very low constituent in the exchange complex.

Table 2 shows that concentrations of sodium and magnesium in the tsunami-affected soils were relatively high, while concentrations of potassium and calcium were relatively low, indicating that the tsunami mud influenced the cation balance in the soil. With the increase of competing cations (sodium and magnesium), this imbalance may lead to potassium deficiency, because not only the total amount of cations determine the amount of plant uptake, but also the proportion of the exchangeable cations. Thus potassium fertilisation is recommended despite the enrichment. The same thing applies for calcium, especially for high calcium-consuming crops like peanuts to avoid empty pods.

Perennial crop response

Analysis of yellowish coconut leaves from areas unaffected by the tsunami showed that calcium, magnesium, sulphur and copper concentrations are lower than the critical levels (Table 3), so the yellowing leaves could be related to magnesium and sulphur deficiencies. Nutrients in the tsunami seawater may have corrected some of the deficiency problems because field observations and farmers' comments indicated that some perennial crops such as coconut, sapodilla, etc performed and yielded better after receiving the tsunami mud. Farmers claimed they had been given the "tsunami fertiliser". The non-tsunami affected soils with yellowing coconut leaves could be improved by the application of calcium and magnesium (in the form of agricultural lime), sulphur, and perhaps copper (in the form of blue vitriol, CuSO_4).

Annual crop response

Some paddy fields affected by the tsunami have produced empty grains. This occurred in fields inundated by sea mud with high organic matter content and fields that were badly eroded leaving only sandy soil, particularly where irrigation and drainage systems have not been restored. The organic tsunami mud saturated with sodium

may have absorbed high-valence cations such as copper, zinc and iron and formed the ligand complex, making these cations unavailable to plants. The unfilled grains in rice crops seem to have copper deficiency, but further research is needed to verify this hypothesis.

In some tsunami-affected areas, peanuts' vegetative growth thrived, but the pods were empty. This seems to be caused by calcium deficiency because of imbalance of calcium relative to magnesium and sodium and/or micronutrient deficiency.

For lowland paddy soils with high organic matter content, copper and zinc may be needed along with nitrogen, phosphorus and potassium as recommended by the leaf colour chart and the soil test. Improvement of irrigation and drainage systems is expected to speed the rate of leaching and reduce the salinity problem. For upland rice, applications of potassium may be reduced, but phosphorus and nitrogen should be applied as for unaffected soils. For some locations, application of calcium and micronutrients may be needed.

Table 3. Yellowish, tsunami unaffected, coconut leaves analysis, analysed in June 2006.

Macro nutrients			Micro nutrients		
Nutrient	Observed Value ¹⁾	Critical level ²⁾	Nutrient	Observed value ¹⁾	Critical level ³⁾
N (%)	1,51	1,7	Fe (ppm)	94	80
P (%)	0,11	0,10	Al (ppm)	59	-
K (%)	1,45	0,45	Mn (ppm)	59	50
Ca (%)	0,15	0,50	Cu (ppm)	4	7
Mg (%)	0,24	0,35	Zn (ppm)	31	21
Na (%)	0,16	-			
S (%)	0,02	0,15			

Sources: 1 Subiksa et al (2006) 2 De Geus 3 Jones et al 1991

References

De Geus JG (no date). Fertiliser guide for tropical and subtropical farming. Centre d'Eude del'Azote, Zurich.

IRRI 2002. A practical guide to nutrient management. International Rice Research Institute. DAPO Box 7777 Metro Manila, Philippines.

Jones JB, Wolf B, Mills HA 1991. Plant analysis handbook: A practical sampling, preparation, analysis and interpretation guide. Micro-Macro Publishing Inc.

McLean EO 1977. Contrasting concepts in soil test interpretation: sufficiency levels of available nutrient versus basic cation saturation ratios. In Peck et al Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America Inc.

Subiksa IGM, Agus F, Erfandi D. The salt leached out and the soil fertility changes after tsunami.. Presented at a multi-stakeholder workshop, 30 November 2006, Meulaboh. ICRAF South East Asia, Bogor.