

PEWATAKAN KIMIWI TANAH-TANAH YANG BERKEMBANG DI ATAS BATUAN KARBONAT JALUR BARON – WONOSARI

CHARACTERISTICS OF SOIL CHEMISTRY DEVELOPED ON CARBONATE ROCK OF BARON – WONOSARI TRANSECT

Djoko Mulyanto

*Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Petanian UPN “Veteran” Yogyakarta
JL. SWK 104 (Lingkar Utara) Condongcatur Yogyakarta, 55283.
djkmulyanto@yahoo.co.id*

ABSTRACT

Soils developed on carbonate rock of Baron – Wonosari transect have both chemical character and soil color difference. Red soils developed on karst topography and bioclastic limestone, whereas black soils on bioclastic limestone and marl. Most of red soils have pH, exchangeable Ca, sum of cations, cation exchange capacity, base saturation, totally Ca and Mn which much lower in comparison with black soils. Totally Al and crystalline Fe concentration of red soils are higher than on black soils, but totally Fe concentration of both soils are similar. Soils on karst topography have a unique character that is concentration of Mn on table top and slope much higher than on doline and also of cation exchange capacity and pH, but concentration of totally Fe and Al lower than on doline. Crystallinity of iron oxides on karst topography area restricted by organic carbon, but organic carbon have a role on increasing cation exchange capacity.

Key words : carbonate rock, karst topography, red soils, black soils, crystallinity, oxides

ABSTRAK

Tanah-tanah yang berkembang di atas batuan karbonat Jalur Baron – Wonosari mempunyai keragaman sifat kimia dan warna. Tanah-tanah merah berkembang baik di kawasan batugamping dengan topografi karst maupun bioklastis, sedangkan tanah-tanah hitam berkembang di atas batugamping bioklastis maupun napal. Hampir semua tanah-tanah merah memiliki pH, Ca tertukar, jumlah kation, kemampuan pertukaran kation, kejenuhan basa, Ca dan Mn total yang lebih rendah dibandingkan dengan tanah-tanah hitam. Konsentrasi Al total dan Fe kristalin tanah-tanah merah lebih tinggi dibanding tanah-tanah hitam, walaupun konsentrasi Fe total keduanya relatif sama. Tanah-tanah di kawasan topografi karst mempunyai sifat yang unik yaitu konsentrasi Mn pada bagian puncak dan lereng jauh lebih tinggi dibandingkan dolin demikian pula nilai kapasitas pertukaran kation dan pH yang lebih tinggi, tetapi konsentrasi Fe dan Al total lebih rendah dibandingkan dolin. Kristalinitas oksida-oksida besi di kawasan topografi karst dihambat oleh bahan organik namun demikian bahan organik juga berperan dalam meningkatkan kemampuan pertukaran kation.

Kata kunci : batuan karbonat, topografi karst, tanah-tanah merah, tanah-tanah hitam, kristalinitas, oksida-oksida.

PENDAHULUAN

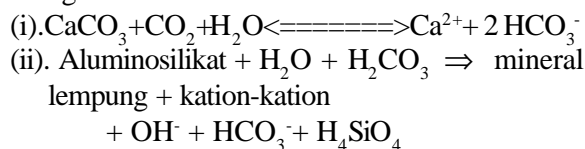
Tanah-tanah dari bahan karbonat mempunyai dua kenampakan yang dapat dibedakan dari tanah-tanah yang terbentuk dari bahan induk lain yakni : a). sebagian besar batuan dasar hilang dalam

larutan, tanah yang terbentuk lebih merupakan residu, b). karena wilayah karst mempunyai sistem drainase dalam (interior), tanah yang terbentuk terdrainase dengan baik dan proses pencucian dapat terjadi lebih efisien daripada lingkungan kebanyakan tanah (White, 1988). Wooding and

Robinson (1951) menduga bahwa pencucian dan penghilangan basa-basa merupakan proses yang penting dalam perkembangan tanah-tanah merah di atas batugamping. Pengembalian kalsium pada profil tanah melalui evaporasi dan gangguan pencucian oleh lambatnya permeabilitas gamping lunak merupakan faktor-faktor utama yang mencegah perkembangan dan kematangan tanah (Tarzi and Paeth, 1974). Banyak studi menyatakan secara tidak langsung atau berpostulasi bahwa bila tanah berkembang dari bahan gampingan, karbonat harus dihilangkan lebih dulu untuk mobilisasi lempung (Levin *et al.*, 1989).

Wooding and Robinson (1951) mengatakan bahwa tanah yang berasal dari bahan gampingan dapat mengarah ke berbagai tipe. Kondisi lingkungan pelapukan yang dapat mempertahankan status kejenuhan basa tetap tinggi, memungkinkan pembentukan tanah berwarna keabuan dengan kompleks pelapukan relatif kaya silika serta tipe warna hitam dari humus. Kondisi lingkungan yang sebaliknya, yaitu bila mengalami desaturasi dan desilikasi lewat pencucian, akan terbentuk tanah-tanah dengan warna merah – coklat yang mengandung seskuioksida bebas. Tipe pertama terjadi pada batugamping lunak sedangkan yang kedua terjadi pada batugamping keras, seperti yang disampaikan oleh Jenny, 1941; 1980; Tarzi and Paeth, 1974.

Pelapukan kimia pada batugamping bila dicermati terjadi pelarutan yang menyeluruh (*congruent dissolution*) dibandingkan dengan pelapukan pada aluminosilikat yang bersifat tidak menyeluruh (*incongruent dissolution*) (Birkeland, 1984). Gamping akan larut dan menghasilkan ion kalsium dan bikarbonat yang keduanya larut dalam air sehingga peka terhadap pelindian, sedangkan aluminosilikat menghasilkan kation-kation larut air dan mineral lempung yang tidak larut. Reaksi tersebut dapat dilukiskan sebagai berikut :



Dari reaksi tersebut terlihat bahwa tanah yang terbentuk dari bahan gampingan sangat

dipengaruhi oleh jumlah pengotornya. Joffe (1949) berpendapat bahwa tanah yang terbentuk dari batugamping sangat tergantung kepada komposisi pengotornya. Bila tanah yang terbentuk berasal dari batugamping tentunya dibutuhkan bahan dengan volume yang sangat besar. Hal tersebut sangat berbeda dengan bahan yang berasal dari mineral silikat karena sumbangan unsur Si dan Al sebagai kerangka tanah sangat melimpah.

Topografi menentukan pergerakan air secara cacak melalui bahan pelapukan dan berperan dalam mengontrol pergerakan air tanah. Jenny (1941) jauh sebelumnya mengatakan bahwa pergerakan air ke bawah merupakan salah satu faktor utama dalam transformasi bahan induk menjadi tanah. Sifat tanah bervariasi baik ke arah cacak maupun lateral, dan variasi tersebut mengikuti perubahan secara sistematis menurut posisi bentanglahan (*landscape*) dan faktor pembentuk tanahnya (Wilding and Drees, 1983). Salah satu faktor lingkungan yang mempengaruhi sifat-sifat tanah adalah posisi dalam bentang lahan. Posisi tersebut mempunyai peran penting dalam menentukan agihan tanah-tanah pada suatu bentanglahan sehingga setiap perubahan dalam proses geomorfik akan mempengaruhi proses pedogenik (Gerard, 1981; Ovalles and Collins, 1986).

Warna tanah dapat menggambarkan tahapan proses genesis yang sedang berlangsung. Warna merah dapat menunjukkan lingkungan pelapukan yang lebih intensif dan oksidatif. Hal tersebut dapat dijelaskan melalui deret mobilitas ion yang dikemukakan oleh Hudson (1995) dengan urutan yang menurun yakni $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{+2} > \text{Mg}^{+2} > \text{K}^+ > \text{SiO}_4 > \text{Fe}_2\text{O}_3 > \text{Al}_2\text{O}_3$. Proses pelindian yang semakin intensif menyebabkan terlindinya basa-basa dan Si hasil pelapukan serta meningkatnya konsentrasi besi dan aluminium secara relatif. Peningkatan konsentrasi besi dalam suasana bertata udara bagus menyebabkan terbentuknya persenyawaan besi dalam bentuk ferri yang menimbulkan warna kuning – merah pada tanah. Lingkungan pelapukan yang berpelindian lemah menyebabkan terhambatnya laju penyingkiran basa-basa khususnya Mg dan silika. Kondisi ini menyebabkan pH lingkungan

cukup tinggi, yang sangat kondusif terbentuknya lempung montmorillonit dan vertisol yang berwarna hitam/ kelam. Tanah-tanah seperti ini biasanya terbentuk pada daerah yang datar dan berbentuk basin atau berkemiringan $< 5\%$ (Wilding *et al.*, 1983). Berdasarkan mekanisme pembentukan tanah dengan gejala kewarnaannya secara logika telah terjadi proses alih tempat yang bersifat pengayaan ataupun pemiskinan konstituen-konstituen tertentu. Proses tersebut akan berdampak pada sifat-sifat tanah yang terbentuk khususnya sifat-sifat kimianya.

METODE PENELITIAN

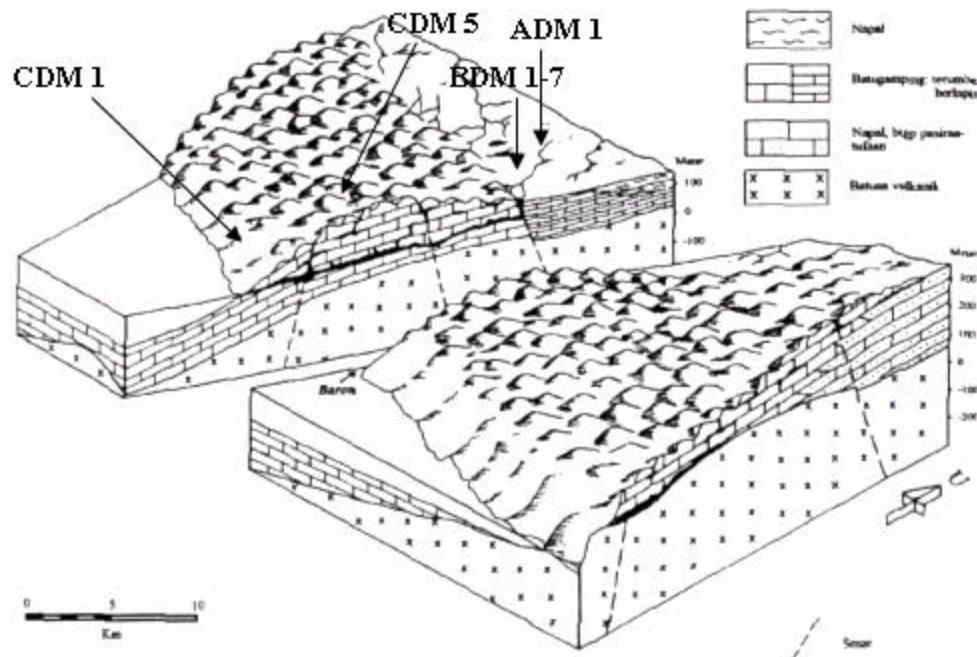
Bahan

Contoh tanah yang dianalisis berasal dari lapisan-lapisan tanah terpilih dalam satu profil. Profil perwakilan dari dua sekuen perbukitan di kawasan karst yang berketinggian ± 60 m dpl. (sekuen CDM 1) dan ± 200 m dpl. (sekuen CDM 5). Sekuen CDM 1 terdiri atas CDM 1(dolin, $\alpha = 0-3\%$); CDM 1B (tepi dolin, $\alpha = 5 - 8\%$); CDM

1T (lereng perbukitan, $\alpha = 30 - 45\%$) dan CDM 1A (puncak perbukitan, $\alpha = 0 - 5\%$). Sekuen CDM 5 terdiri tiga profil yakni CDM 5 (dolin, $\alpha = 5 - 8\%$); CDM 5T (lereng perbukitan, $\alpha = 30 - 45\%$), dan CDM 5A (bagian atas, $\alpha = 5 - 8\%$). Tanah-tanah di kawasan karst dirajai oleh tanah-tanah merah dengan hue 5 YR atau lebih merah (Mulyanto *et al.*, 2006). Contoh profil tanah ADM 1 dan BDM 1 secara berturut-turut mewakili golongan tanah-tanah merah dan hitam di lingkungan batugamping bioklastis, sedangkan BDM 6 dan BDM 7 merupakan golongan tanah-tanah hitam di napal. Keempat profil tersebut dengan ketinggian ± 150 m dpl.

Metode

1. Analisis sifat fisik tanah : tekstur dengan Metode Pemipetan.
2. Analisis kimia tanah : pH H₂O dan pH KCl (1:2.5) – Metode Potensiometrik, C-organik, KPK dan kation tertukarkan (Ca, Mg, K, dan Na) dengan ekstraksi NH₄Oac. pH 7 (Blakemore *et al.*, 1987).



Gambar 1. Diagram blok hidrogeologi Gunungsewu (disederhanakan) (Kusumayudha, 2000), dan perkiraan posisi contoh profil tanah

3. Pelarutan selektif : Ada tiga metode ekstraksi dalam pelarutan selektif yang dilaksanakan : 1). 0.1 M natrium pirofosfat, 2). 0.2 M ammonium oksalat pH 3.0 Metode Tamm, 1922 (Blakemore *et al.*, 1987), 3). Na-ditionit sitrat pH 7.3 (Mehra and Jackson, 1960). Ekstraksi pirofosfat untuk mengekstrak Fe yang berikatan dengan C-organik. Ekstraksi oksalat dimaksudkan untuk mengekstrak oksida-oksida besi non kristalin (*poorly crystalline*). Ekstraksi ditionit dimaksudkan untuk mengekstrak oksida-oksida besi kristalin ditambah fraksi yang terekstrak oleh ekstraksi oksalat (McKeague and Day, 1966). Analisis pelarutan selektif dalam penelitian ini dilakukan terhadap bagian contoh tanah (*sub sampel*) secara terpisah dari contoh yang sama, masing-masing contoh diekstrak dengan larutan pirofosfat, oksalat dan ditionit.

Kombinasi dari berbagai cara yang dapat memperkirakan perbedaan bentuk-bentuk Fe dan Mn.

- 1). Fep digambarkan oleh McKeague (1967) dalam Blakemore *et al.* (1987) sebagai Fe yang berikatan dengan bahan organik.
- 2). Dalam mendapatkan asumsi-asumsi tersebut, *poorly ordered* Fe sama dengan (Feo – Fep). Penggunaan nisbah Feo/Fed telah digunakan beberapa peneliti sebagai petunjuk proporsi relatif bentuk-bentuk Fe amorf terhadap kristalin (McKeague and Day, 1966) dan umur relatif tanah (Ogunsola *et al.*, 1989; Aniku *et al.*, 1990).
- 3). Schwertmann *et al.* (1977) menggambarkan bahwa perbedaan Fed – Feo secara murad berkorelasi dengan jumlah gutit yang ditetapkan dengan XRD atau DTA, sedangkan Sutanto (1988) mengatakan sebagai besi kristalin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variasi sifat tanah pada berbagai timbulan di lingkungan topografi karst

Sekuen Baron CDM 1 memperlihatkan variasi konsentrasi beberapa sifat kimia tanah di berbagai timbulan (Tabel 1). Kation Ca⁺⁺ tertukar

paling tinggi terdapat di lereng bukit (CDM 1T) yang secara relatif hampir sama pada posisi puncak (CDM 1A) kemudian menurun di bagian kaki (CDM 1B) dan bagian dolin (CDM 1). Perbedaan agihan ion kalsium tersebut sejalan dengan jeluk tanah. Jeluk tanah yang semakin dangkal semakin dekat dengan sumber batuan yang secara menerus diduga menyuplai unsur tersebut ke dalam tanah. Kadar Ca tertukar yang rendah di bagian dolin dibandingkan bagian atas disebabkan oleh pelindian kation tersebut yang lebih efektif dibandingkan pada bagian atas, sedangkan di lereng perbukitan mengalami hambatan pergerakan ion kalsium dengan terbentuknya *mull* yakni persenyawaan Ca-humus yang cukup kuat dan berwarna kelam yang terakumulasi di bagian atas/ lereng perbukitan (Duchaufour, 1982). Hal tersebut sejalan dengan nilai koefisien korelasi (r) antara Ca total dan Ca tertukar dengan C-organik yang secara berturut-turut : 0.59** dan 0.80**. Kondisi ini akan memberikan dampak terhadap kenaikan pH tanah dan warna menjadi gelap di bagian atas dan lereng perbukitan.

Ion kalsium merajai kation-kation tertukarkan yang ditunjukkan oleh nilai r = 0.99** antara ion tersebut dengan jumlah kation tertukarkan ± 20 cmol kg⁻¹. Konsentrasi Ca⁺⁺ daerah penelitian jauh lebih tinggi dibandingkan hasil penelitian Nizeyimana dan Bicki (1992) yang menunjukkan kadar Ca⁺⁺ pada beberapa contoh tanah di Rwanda, ±5 cmol kg⁻¹. Kadar Mg tertukar tanah pada berbagai posisi timbulan adalah sebagai berikut : CDM 1 > CDM T > CDM1B > CDMA. Kondisi ini dapat dijelaskan sebagai berikut : mobilitas ion Mg cukup tinggi sehingga terjadi akumulasi di bagian dolin khususnya pada lapisan bawah. Konsentrasi K⁺ relatif sama antara kaki dan bawah serta lebih rendah dibandingkan bagian atas dan lereng perbukitan.

Hal ini dapat disebabkan oleh KPK yang jauh lebih tinggi di bagian atas dan lereng ataupun oleh penjerapan kisi-kisi lempung terutama di bagian kaki dan dolin. Konsentrasi Na tertukar tertinggi di bagian puncak kemudian di bagian lereng, bagian kaki dan bagian bawah (CDM1B > CDMA > CDMT > CDM1) .

Tabel 1. Hasil analisis sifat kimia contoh tanah terpilih Jalur Baron – Wonosari

NO.	CONTOH	pH		C- org. %	CaCO ₃ %	Kation tertukar				JML.	KPK	V	Ca	Al
		H ₂ O	KCl			Ca	Mg	K	Na				total	
		Cmol(+) kg ⁻¹						%						
1	CDM 1I	5.87	4.94	0.69	0.52	13.69	1.78	0.1	0.15	15.72	22.22	71	0.38	13.66
2	II	6.23	5.15	0.26	1.96	15.05	1.63	0.1	0.15	16.94	23.62	72	0.45	14.17
3	III	6.47	5.31	0.82	1.28	15.11	2.06	0.1	0.19	17.48	23.52	74	0.42	14.42
4	IV	6.44	5.32	0.43	0.55	15.25	2.36	0.1	0.3	18.01	26.91	67	0.4	13.6
5	V	6.34	5.34	0.61	0.54	15.04	2.7	0.1	0.28	18.12	23.86	76	0.34	13.67
6	VI	6.31	5.33	0.51	0.90	14.26	2.74	0.1	0.25	17.35	23.42	74	0.37	14.46
7	VII	6.12	5.14	0.51	0.56	15.06	2.89	0.1	0.27	18.32	23.36	78	0.32	13.82
8	CDM1 A/I	7.08	6.08	2.09	0.01	30.78	0.67	0.17	0.31	31.9	37.56	85	2.05	9.6
9	CDM1 A/II	7.62	6.8	2.20	1.55	35.1	0.31	0.17	0.37	35.95	35.76	100	2.54	11.07
10	CDM 1T	7.86	7.02	2.24	15.04	36.64	1.01	0.17	0.21	36.03	33.89	100	5.28	9.8
99	CDM 2I	6.95	5.84	1.99	0.56	18.96	0.67	0.12	0.36	20.11	25.75	78	0.56	12.3
100	II	6.94	5.77	1.95	1.22	17.5	0.54	0.1	0.34	18.48	26.61	69	0.42	13.07
101	III	6.91	5.84	1.12	0.55	18.37	0.66	0.1	0.23	19.36	28.17	69	0.4	10.43
102	IV	7	5.83	0.61	1.24	18.83	0.64	0.1	0.25	19.62	26.2	76	0.42	10.88
39	CDM 5I	6.48	5.58	1.30	1.13	13.37	1.76	0.17	0.2	15.5	19.13	81	0.73	14.46
40	II	6.08	4.9	1.18	0.46	11.88	1.14	0.07	0.18	13.27	19.49	68	0.33	13.97
41	III	6.14	5.03	1.02	0.52	12.38	0.97	0.05	0.15	13.55	18.74	72	0.31	15.22
42	IV	6.58	5.44	0.51	1.17	14.29	0.67	0.1	0.11	15.17	19.87	76	0.36	14.25
43	CDM 5A	6.94	5.92	2.47	7.16	28.96	1.26	0.12	0.15	30.51	34.57	88	0.84	11.55
44	CDM 5TI	7.06	6	2.16	0.99	27.1	1.4	0.14	0.15	28.79	34.9	82	1.34	13.13
45	II	7.3	6.02	1.65	0.51	24.26	0.42	0.12	0.15	24.95	26.87	93	1.02	13.72
46	III	7.22	5.99	1.64	0.28	23.27	0.41	0.1	0.15	23.93	26.62	90	0.81	14.14
82	ADM1I	5.87	4.72	1.56	0.44	13.75	2.21	0.09	0.15	16.2	22.3	73	0.37	13.16
83	II	5.91	4.69	1.01	0.89	13.23	1.32	0.05	0.15	14.75	20.35	72	0.37	13.66
84	III	5.94	4.84	0.93	0.60	13.21	0.95	0.07	0.22	14.45	21.21	68	0.36	15.5
85	IV	6.04	5.02	1.35	1.58	13.13	0.72	0.05	0.2	14.1	21.58	65	0.31	13.03
86	V	6.05	5.07	0.93	0.43	13.18	0.64	0.07	0.2	14.09	20.97	67	0.43	16.22
87	VI	6.05	5.07	0.93	0.60	13.13	0.47	0.07	0.19	13.66	23.33	59	0.28	11.24
88	VII	6.58	5.52	0.98	0.70	15.95	0.39	0.07	0.18	16.59	23.36	71	0.37	12.12
47	BDM 1I	7.25	5.83	1.12	0.89	31.54	2.66	0.1	0.23	34.53	43.75	79	1.13	6.93
48	II	7.1	5.58	1.13	0.43	31.95	2.58	0.05	0.25	34.83	32.47	100	1.21	10.6
49	III	7.09	5.66	1.17	0.41	33.25	2.61	0.07	0.27	36.16	34.03	100	1.18	10.93
50	IV	6.98	6.24	1.28	1.70	34.56	2.34	0.1	0.25	37.25	42.92	87	1.33	10.63
69	BDM 6I	6.75	5.35	1.41	1.75	35.92	4.16	0.17	0.34	40.59	34.92	100	1.17	9.73
70	II	6.94	5.35	0.36	0.92	37.45	3.52	0.1	0.31	41.38	36.89	100	1.3	10.47
71	III	7.17	5.67	1.08	1.74	39.05	3.31	0.1	0.3	42.76	41.88	100	1.26	9.93
72	IV	7.2	5.54	0.90	1.19	38.59	3.19	0.1	0.31	42.19	53.23	79	1.31	9.62
73	V	8.05	6.83	0.85	44.52	38.27	1.66	0.09	0.18	40.4	24.7	100	14.55	5.62
74	BDM 7I	8	6.72	1.33	1.61	41.96	0.99	0.1	0.19	43.24	37.27	100	2.67	10.95
75	II	7.83	6.55	1.24	1.28	43.4	1.02	0.1	0.23	44.75	47.79	94	1.8	10.46
76	III	7.65	6.37	1.63	0.97	41.55	0.97	0.1	0.47	43.09	41.25	100	1.57	10.7
77	IV	7.88	6.7	2.00	8.07	79.09	1.19	0.1	0.31	80.69	46.54	100	4.91	8.15
105	C	7.98	6.94	1.19	53.85	70.06	0.99	0.12	0.3	71.47	31.41	100	16.25	3.41

Tabel 2. Hasil analisis spesifik Fe dan Mn contoh tanah terpilih Jalur Baron – Wonosari

NO	KODE	Mn-	Mn-	Mn-	Mna	Mnk	Mk/	Mn-	Fe-	Fe-	Fe-	Fe-	Fe-	Fd/	Fk/	Fe-
		p	o	d			Ma	T	p	o	d	a	k	Fo	Fa	T
Kadar (%)																
1	CDM1A/I	0.03	0.07	0.08	0.04	0.01	0.25	0.09	0.07	0.75	4.04	0.68	3.29	5.39	4.84	8.65
2	II	0.01	0.07	0.08	0.06	0.01	0.17	0.09	0.05	0.77	3.96	0.72	3.19	5.14	4.43	9.08
3	III	0.01	0.06	0.07	0.05	0.01	0.20	0.08	0.05	0.76	4	0.71	3.24	5.26	4.56	8.17
4	IV	0.01	0.06	0.08	0.05	0.02	0.40	0.09	0.04	0.76	3.98	0.72	3.22	5.24	4.47	8.53
5	V	0	0.06	0.08	0.06	0.02	0.33	0.09	0.04	0.39	4.2	0.35	3.81	10.77	10.9	8.48
6	VI	0	0.05	0.05	0.05	0	0.00	0.06	0.04	0.76	4.1	0.72	3.34	5.39	4.64	8.28
7	VII	0	0.04	0.05	0.04	0.01	0.25	0.06	0.04	0.71	3.98	0.67	3.27	5.61	4.88	8.22
8	CDM1A/II	0.03	0.11	0.12	0.08	0.01	0.13	0.17	0.04	1.04	2.91	1	1.87	2.80	1.87	6.21
9	CDM1A/III	0.02	0.11	0.14	0.09	0.03	0.33	0.17	0.03	0.96	3.2	0.93	2.24	3.33	2.41	6.08
10	CDM1T	0.01	0.11	0.13	0.1	0.02	0.20	0.16	0.02	0.91	2.81	0.89	1.9	3.09	2.13	5.46
99	CDM2/I	0	0.07	0.11	0.07	0.04	0.57	0.13	0.02	0.87	3.52	0.85	2.65	4.05	3.12	7.9
100	II	0	0.06	0.09	0.06	0.03	0.50	0.11	0.03	0.9	3.12	0.87	2.22	3.47	2.55	8.04
101	III	0	0.06	0.08	0.06	0.02	0.33	0.09	0.02	0.83	3.19	0.81	2.36	3.84	2.91	7.08
102	IV	0.01	0.03	0.07	0.02	0.04	2.00	0.08	0.02	0.78	3.21	0.76	2.43	4.12	3.20	7.11
39	CDM5/I	0.01	0.06	0.07	0.05	0.01	0.20	0.09	0.03	0.97	4.07	0.94	3.1	4.20	3.30	8.7
40	II	0.01	0.07	0.08	0.06	0.01	0.17	0.09	0.03	0.96	3.89	0.93	2.93	4.05	3.15	8.26
41	III	0.01	0.06	0.07	0.05	0.01	0.20	0.08	0.02	0.92	3.9	0.9	2.98	4.24	3.31	8.92
42	IV	0	0.06	0.07	0.06	0.01	0.17	0.08	0.04	0.81	3.89	0.77	3.08	4.80	4.00	8.28
43	CDM5A	0.01	0.16	0.21	0.15	0.05	0.33	0.24	0.02	1.01	3.35	0.99	2.34	3.32	2.36	6.52
44	CDM5T/I	0.07	0.18	0.22	0.11	0.04	0.36	0.28	0.06	1	3.53	0.94	2.53	3.53	2.69	7.27
45	II	0.08	0.18	0.27	0.1	0.09	0.90	0.29	0.04	0.99	3.7	0.95	2.71	3.74	2.85	7.91
46	III	0.02	0.18	0.28	0.16	0.1	0.63	0.3	0.03	1.01	3.79	0.98	2.78	3.75	2.84	8.06
82	ADM1/I	0.03	0.11	0.12	0.08	0.01	0.13	0.15	0.05	0.99	3.19	0.94	2.2	3.22	2.34	8.67
83	II	0.01	0.1	0.14	0.09	0.04	0.44	0.16	0.03	1.08	3.12	1.05	2.04	2.89	1.94	9.38
84	III	0.01	0.1	0.16	0.09	0.06	0.67	0.18	0.02	1.07	3.24	1.05	2.17	3.03	2.07	10.8
85	IV	0	0.11	0.12	0.11	0.01	0.09	0.14	0.03	1.16	3.21	1.13	2.05	2.77	1.81	8
86	V	0	0.11	0.17	0.11	0.06	0.55	0.19	0.03	1.15	3.3	1.12	2.15	2.87	1.92	9.77
87	VI	0	0.1	0.12	0.1	0.02	0.20	0.14	0.02	1.12	3.36	1.1	2.24	3.00	2.04	7.33
88	VII	0	0.08	0.13	0.08	0.05	0.63	0.15	0.02	1.12	3.28	1.1	2.16	2.93	1.96	7.83
47	BDM1/I	0.01	0.66	0.92	0.65	0.26	0.40	1.03	0.03	1.11	3.09	1.08	1.98	2.78	1.83	8.04
48	II	0	0.47	0.99	0.47	0.52	1.11	1.02	0.08	1.09	3.14	1.01	2.05	2.88	2.03	9.11
49	III	0	0.64	1.03	0.64	0.39	0.61	1.09	0.37	1.07	3.17	0.7	2.1	2.96	3.00	9.08
50	IV	0	0.65	1.01	0.65	0.36	0.55	1.03	0.15	1.08	3.13	0.93	2.05	2.90	2.20	8.59
69	BDM6/I	0	0.58	0.62	0.58	0.04	0.07	0.64	0.13	1.16	2.92	1.03	1.76	2.52	1.71	8.04
70	II	0.01	0.44	0.58	0.43	0.14	0.33	0.6	0.21	1.08	2.81	0.87	1.73	2.60	1.99	8.28
71	III	0	0.49	0.57	0.49	0.08	0.16	0.59	0.28	1.06	1.85	0.78	0.79	1.75	1.01	6.39
72	IV	0	0.65	0.98	0.65	0.33	0.51	1	0.37	0.92	2.23	0.55	1.31	2.42	2.38	8.68
73	V	0	0.11	0.18	0.11	0.07	0.64	0.2	0.03	0.37	1.77	0.34	1.4	4.78	4.12	4.22
74	BDM7/I	0	0.28	0.36	0.28	0.08	0.29	0.38	0.02	0.39	2.35	0.37	1.96	6.03	5.30	8.03
75	II	0.01	0.29	0.31	0.28	0.02	0.07	0.34	0.02	0.91	2.46	0.89	1.55	2.70	1.74	7.97
76	III	0.01	0.3	0.45	0.29	0.15	0.52	0.47	0.19	0.85	2.36	0.66	1.51	2.78	2.29	8.05
77	IV	0	0.38	0.65	0.38	0.27	0.71	0.68	0.03	0.79	2.26	0.76	1.47	2.86	1.93	6.2
105	BDM7/C	0	0.02	0.02	0.02	0	0.00	0.03	0.02	0.15	1.24	0.13	1.09	8.27	8.38	2.14

Sifat ion Na di alam sangat mobil, terjadi akumulasi ion tersebut di bagian kaki bukit. Kadar Na tertukar yang rendah di bagian paling bawah

(CDM1) karena telah banyak yang hilang terlindi baik secara lateral maupun cacak, hal tersebut dapat dilihat dengan semakin tingginya konsentrasi

ion tersebut di bagian bawah profil. Status Na tertukar nampaknya sejalan dengan nilai KPK. Jumlah kation tertukar pada CDMT > CDMA > CDM 1B > CDM 1, sama dengan tingkat konsentrasi Ca tertukar pada posisi timbulan yang sama. Nilai KPK tertinggi pada CDMA \approx CDMT > CDM 1B > CDM 1, diduga dipengaruhi oleh konsentrasi bahan organik/ humus yang ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi, r dengan C-organik = 0.72**. Kandungan unsur-unsur total pada setiap timbulan bervariasi. Kadar Ca total paling merajai di bagian lereng kemudian bagian puncak, kaki dan profil dolin. Variasi tersebut sangat dipengaruhi oleh kedekatan batugamping yang membawahnya, hubungan kadar Ca total dengan kadar CaCO_3 tanah ditunjukkan oleh nilai r yang cukup tinggi yakni 0.79**.

Kandungan Fe total mengikuti pola CDM 1 > CDM 1B > CDMA > CDMT yang menunjukkan bahwa bagian dolin mempunyai nilai tertinggi (Tabel 2). Pola tersebut nampaknya mengikuti tingkat perkembangan tanah. Tingkat perkembangan tanah yang semakin tinggi diikuti oleh peningkatan konsentrasi oksida besi secara relatif. Kandungan Al total pada berbagai timbulan berpola sama dengan Fe total. Mobilitas kedua unsur tersebut di alam sangat rendah (Hudson, 1995). Sifat mobilitas Al yang lebih rendah daripada Fe, maka semakin tinggi tingkat perkembangan tanah akan diikuti pembentukan oksida-oksida aluminium. Kemiripan sifat mobilitas kedua unsur tersebut ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi yang sangat tinggi yakni dengan $r = 0.90^{**}$. Konsentrasi Mn total tertinggi di bagian puncak yang secara relatif sama dengan di bagian lereng kemudian menurun pada bagian kaki bukit serta dolin. Akumulasi unsur Mn di bagian puncak dan lereng perbukitan bolehjadi terkait dengan bahan organik sebagaimana yang disampaikan oleh McDaniel and Buol (1991) bahwa Mn banyak terakumulasi pada horison Ap yang mempunyai kadar bahan organik relatif tinggi. Mn total terhadap C-organik mempunyai nilai $r = 0.725^{**}$. Nilai pH yang lebih tinggi di bagian puncak dan lereng dapat menyebabkan pengendapan unsur tersebut sehingga menurunkan mobilitasnya yang ditunjukkan oleh nilai $r = 0.64^{**}$. Mobilitas Mn

terhadap Fe (nisbah Mn-d/Fe-d) pada berbagai timbulan menunjukkan pola yang sama yakni CDM 1 > CDM 1B > CDMA > CDMT. Urutan tersebut nampaknya berlawanan dengan hasil penelitian McDaniel and Buol (1991) pada suatu landsekap tanah-tanah masam (Ultisols) berbatu induk gneis (pH tanah 4.4 – 6) yang menunjukkan bahwa nisbah Mn-d/ Fe-d tertinggi di bagian bawah, hal tersebut diduga oleh sifat Mn yang mempunyai mobilitas lebih tinggi di lingkungan tanah-tanah masam. Kandungan besi amorf paling merajai di bagian puncak yang secara relatif sama dengan di bagian lereng, kemudian bagian kaki dan dolin. Variasi tersebut sangat boleh jadi berkaitan dengan kadar C organik yang ditunjukkan oleh nilai $r = 0.71^{**}$. Hal tersebut nampaknya sesuai dengan konsentrasi Fe-k yang berpola berlawanan yaitu tertinggi di bagian bawah/ dolin. Kedua hal tersebut menunjukkan bahwa bahan organik dapat menghambat kristalinitas oksida-oksida besi bebas dengan, r antara C-organik terhadap Fe-k = - 0.79**. Bahan organik juga berperan dalam menghambat tingkat pemerahan tanah di kawasan topografi karst yang ditunjukkan oleh nilai r antara tingkat pemerahan tanah (RR – TD) dengan c-organik = - 0.73**, yang dapat dilihat dari nilai RR T-D bagian perbukitan = 3.05 – 8.17 yang bagian dolin 21.79 – 46.21 (Mulyanto *et al.*, 2006). Secara umum fenomena sifat-sifat kimia tanah pada sekuen CDM 5 mirip dengan sekuen CDM 1.

Perbedaan sifat kimia tanah di lingkungan tanah-tanah merah dan hitam

Perbedaan secara umum sifat-sifat kimia pada tanah-tanah merah dan tanah-tanah hitam adalah sebagai berikut : tanah-tanah merah mempunyai konsentrasi Ca tertukar, jumlah kation tertukar, Ca total dan CaCO_3 lebih rendah. Hal ini terkait dengan intensitas pelindian dan proses dekalsifikasi yang lebih intensif. Nilai kemampuan penukaran kation (KPK) pada tanah-tanah hitam jauh lebih tinggi \pm dua kali lipat di banding tanah-tanah merah. Perbedaan yang mencolok tersebut disebabkan oleh tipe lempung yang sangat berbeda. Hal tersebut dapat dilihat dari nilai koefisien korelasi, r antara C-organik dengan KPK tanah

secara keseluruhan yang menunjukkan nilai yang rendah, yakni = 0.33. Pada tanah-tanah hitam dirajai oleh smektit (monmorillonit) sedangkan tanah-tanah merah oleh lempung kaolin. Hal tersebut ditunjukkan oleh hasil analisis XRD fraksi lempung (Mulyanto, 2006). Perbedaan konsentrasi Fe dan Mn total juga terjadi pada kedua macam tanah. Unsur besi relatif lebih banyak terdapat pada tanah-tanah merah sedangkan Mn merajai tanah-tanah hitam. Hal ini sangat terkait dengan mobilitas kedua unsur tersebut. Pada tanah-tanah merah telah terjadi peningkatan oksida-oksida besi secara relatif dibandingkan tanah-tanah hitam. Mobilitas unsur Mn secara umum lebih tinggi daripada besi terutama dalam bentuk Mn^{++} , namun di lingkungan bahan karbonatan yang mempunyai permeabilitas kecil menurunkan laju penyinkiran basa-basa yang mengakibatkan nilai pH tetap terjaga tinggi. Nilai pH yang tinggi menyebabkan mobilitas Mn sangat rendah. Perbedaan konsentrasi besi total pada kedua macam tanah relatif sama, namun perannya dalam menimbulkan warna merah sangat terbatas oleh kehadiran Mn dengan konsentrasi yang tinggi di lingkungan tanah-tanah hitam. Konsentrasi Al total pada tanah-tanah merah jauh lebih tinggi disebabkan oleh terakumulasinya unsur tersebut secara relatif yang sejalan dengan tingkat perkembangan tanah-tanah merah yang lebih tinggi. Konsentrasi Fe dan Mn kristalin nampaknya mengikuti pola Fe dan Mn total, demikian pula Mn amorf yaitu Fe lebih dominan pada tanah-tanah merah sedangkan Mn pada tanah-tanah hitam. Kadar bahan organik tanah-tanah hitam dan merah secara umum relatif sama.

KESIMPULAN

Kation tertukar tanah yang paling merajai di lingkungan batuan karbonat, adalah Ca sehingga kompleks pertukaran tanah dijenuhi oleh kation tersebut. Tanah-tanah merah mempunyai nilai KPK, pH, Ca dan jumlah kation tertukar, Ca total, $CaCO_3$, dan kejenuhan basa lebih rendah dibandingkan dengan golongan tanah-tanah hitam. Kadar Al total tanah-tanah merah lebih tinggi, Fe relatif sama walaupun tingkat kristalinitasnya Fe

jauh lebih tinggi dibandingkan golongan tanah-tanah hitam. Tingginya nilai KPK tanah-tanah hitam tidak disebabkan oleh bahan organik, namun diduga oleh jenis lempung smektit.

Fenomena sifat-sifat tanah di lingkungan topografi karst adalah sebagai berikut : KPK, Ca total dan tertukar, jumlah kation tertukar, kejenuhan basa, pH, Mn total, dan C-organik di bagian perbukitan (puncak dan lereng) lebih tinggi dibanding dolin, namun kadar Fe total dan Al total lebih rendah. C-organik dapat berperan dalam meningkatkan KPK dan menghambat kristalisasi oksida-oksida besi. Ada hubungan yang sangat murad secara positif antara pH dengan kejenuhan basa.

DAFTAR PUSTAKA

- Aniku, J.R.F., and Michael J. Singer. 1990. Pedogenic Iron Oxide Trends in a Marine Chronosequence. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 54:147-152
- Birkeland, and W. Peter. 1984. *Soil and Geomorphology*. Oxford University Press, New York, Oxford.
- Blakemore, L.C., P.L. Searle, and B.K. Daly. 1987. *Methods for Chemical Analysis of Soils*. NZ Soils Bureu Lower Hutt, New Zealand
- Duchaufour, P. 1982. *Pedology. Pedogenesis and Classification*. George Allen & Unwin. Boston, Sydney
- Gerard, L. 1981. *Soil and Landforms*. George Allen & Unwin Ltd., London
- Hudson, B.D. 1995. Reassessment of Polinov's Ion Mobility Series. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 59:1101-1103.
- Jenny, H. 1941. *Factors of Soil Formation. A System of Quantitative Pedology*. Mc Graw Hill Book Company, Inc., New York and London
- Jenny, H. 1980. *The Soil Resource. Origin and Behavior*. Springer – Verlag, New York, Heidelberg, Berlin
- Joffe, J.S. 1949. *The A B C of Soils*. Pedology Publication. Somerset Press, Inc., Somerville, N.J

- Kalpage, F.S.C.P. 1974. *Tropical Soils. Classification, Fertility and Management*. The Macmillan Company of India Limited.
- Kusumayudha, S.B. 2000. *Kuantifikasi Sistem Hidrogeologi dan Potensi Airtanah Daerah Gunungsewu, Pegunungan Selatan, DIY (Didekati dengan Analisis Geometri Fraktal)*. Disertasi Doktor ITB.
- Levine, S.J., D.M. Hendricks, and J.F. Schreiber, Jr. 1989. Effect of Bedrock Porosity on Soils Formed from Dolomitic Limestone Residuum and Eolian Deposition. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 53:856-862.
- McDaniel, P.A., and S.W. Buol. 1991. Manganese Distribution in Acid Soils of the North Carolina Piedmont. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 55:152-158.
- McKeague, J., and J.H. Day. 1966. Dithionite and Oxalate Extractable Fe and Al as Aids in Differentiating Various Classes of Soils. *Can.J.Soil Sci.* 46:13- 22.
- Mehra, O.D., and Jackson, M.L. 1960. Iron Oxide Removal from Soils and Clays by a Dithionite Citrate System Buffered with Sodium Bicarbonate. *Clays and Clay Miner.* 7:317-327.
- Mulyanto, D., T. Notohadikusumo, dan B.H. Sunarminto. 2006. Hubungan Tingkat Pemerahan Tanah dengan Komponen-Komponen Pembentuknya. *J. Habitat.* 17 (3) : 235-245
- Mulyanto, D. 2006. *Genesis dan Keragaman Warna Tanah di Atas Batuan Karbonat Jalur Baron – Wonosari*. Disertasi Doktor Sekolah Pascasarjana UGM.
- Nizeyimana, E., and Thomas J. Bicki. 1992. Soil and Soil Landscape Relationships in the North Central Region of Rwanda, East-Central Africa. *Soil Sci.* 153(3) : 225-236.
- Ogunsola, O.A., J.A. Omueti, O. Olade, and E.J. Udo. 1989. Free Oxide Status and Distribution in Soils Overlying Limestone Areas in Nigeria. *Soil Sci.* 147(4) :245-251.
- Ovalles, F.A. and M.E. Collins. 1986. Soil-Landscape Relationships and Soil Variability in North Central Florida. *Soil Sci.Soc.Am.J.* 50:401-408.
- Paton, T.R. 1978. *The Formation of Soil Material*. George Allen & Unwin, London, Boston, Sydney,
- Schwertmann, U., Reginald and M. Taylor. 1977. *Iron Oxides*. In : Dixon, D.B., and S.B. Weed (Eds.) *Minerals in Soil Environments*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin USA
- Sutanto, R. 1988. *Mineralogy, Charge Properties and Classification of Soils on Volcanic Materials and Limestone in Central Java (Indonesia)*. Dissertation of State University of Ghent, Belgium.
- Tarzi, J.G. and R.C. Paeth. 1974. Genesis of Mediteranean Red and a White Rendzina Soil from Lebanon. *Soil Sci.* 120(4) : 273-277
- White, W.B. 1988. *Geomorphology and Hidrology of Karst Terrains*. Oxford University Press. New York
- Wilding, L.P., and L.R. Drees. 1983. Spatial Variability and Pedology. P: 83 – 116. In LP Wilding (ed.). *Pedogenesis and Soil Taxonomy: Concepts and Interactions*. Vol. 1 Elsevier Sci. Publ., New York.
- Wilding, L.P. N.E. Smeck, and G.F. Hall. 1983. *Pedogenesis and Soil Taxonomy. I. Concepts and Interactions*. Elsevier, Amsterdam, Oxford, New York
- Wooding, G., Robinson. 1951. *Soils. Their Origin, Constitution and Classification. An Introduction to Pedology*. The Woodbridge Press, L.T.D. Oslow Street, Guildford