

SUATU UNGKAPAN TENTANG SIFAT TANAH YANG MENUMPU CANDI BOROBUDUR

Tejoyuwono Notohadiprawiro*

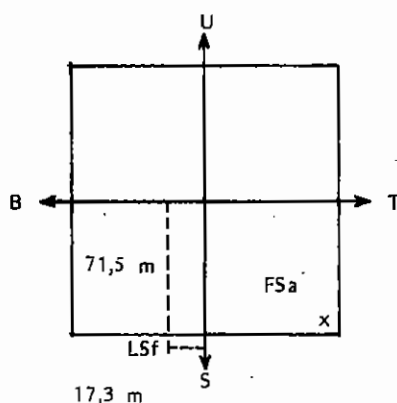
Proyek pemugaran Candi Borobudur telah mengumpulkan sejumlah contoh tanah dari bukit penumpu dan tanah alas Candi Borobudur. Contoh-contoh itu dikirimkan kepada Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, untuk dianalisa. Sayang sekali masing-masing contoh terlalu sedikit, sehingga macam analisa yang dapat dikerjakan sangat terbatas. Bahkan ada analisa yang tidak selesai dikerjakan karena contoh habis.

Seperangkat contoh diambil dari galian pondasi kaki aseli candi, yang berada di sisi selatan, sudut tenggara, pada bidang "a". Lokasi ini diberi tanda sandi FSa. Dari lokasi ini telah diambil 4 buah contoh tanah, masing-masing mewakili selapisan tanah dengan urutan jeluk (depth) sebagai berikut : FSa 1 dari jeluk 15 — 44 cm; FSa 2 dari 44 — 62 cm, FSa 3 dari 62 — 140 cm dan FSa 4 mewakili jeluk 140 — 200 cm. Jeluk diukur dari permukaan lantai batu candi.

Seperangkat contoh yang lain berasal dari galian lereng halaman candi di sisi selatan, dalam kuadran barat-daya, pada koordinat 71,5 m dari sumbu timur-barat dan 17,3 m dari sumbu utara-selatan. Ada 9 contoh yang diambil dari lokasi ini, yang diberi tanda sandi LSf. Urutan jeluk kesembilan contoh itu ialah 0 — 105 cm (LSf 1), 105 — 170 cm (LSf 2), 170 — 211 cm (LSf 3), 211 — 317 cm (LSf 4), 317 — 331 cm (LSf 5), 331 — 356 cm (LSf 6), 356 — 371 cm (LSf 7), 371 — 429 cm (LSf 8) dan 429 — 449 cm (LSf 9). Semua ukuran diambil dari permukaan tanah halaman candi.

Bagan berikut ini dapat menjelaskan letak galian FSa dan LSf tersebut.

*) Sekretaris Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian UGM, dan anggota Staf Ahli Badan Pemugaran Candi Borobudur.



Tatakerja Pengamatan

Contoh tanah yang tersedia untuk analisa laboratorium terlalu sedikit. Oleh karena itu macam sifat yang dapat ditetapkan sangat terbatas. Bahkan itupun ada beberapa sifat yang tidak ditetapkan pada beberapa buah contoh tanah karena jumlah mereka terlalu sedikit sekali. Kita dapat memilih tatakerja renik untuk analisa kimia, akan tetapi untuk analisa fisika hal itu tidak mungkin.

Sifat-sifat yang dapat ditetapkan lengkap pada semua contoh tanah hanyalah kadar lengas kering angin agregat berukuran 0,5 mm atau kurang dan yang berukuran 2 mm atau kurang, sebaran besar butir menurut ketiga fraksi tanah utama, yaitu lempung, debu dan pasir, kadar C-organik (dan kadar bahan organik, yaitu C-organik $\times 1,724$), dan kadar CaCO_3 setara. Batas cair, batas gulung, indeks keliatan dan harga kegiatan lempung hanya dapat ditetapkan pada sebagian contoh tanah saja (lihat Daftar 1).

Untuk menelaah hubungan antar contoh tanah digunakan indeks kemiripan (I_m). Indeks kemiripan ditetapkan menurut semua sifat, menurut sifat kimia saja dan menurut sifat fisika saja (lihat Daftar 2 s/d 5).

Kesudahan Penelaahan

Dalam Daftar 1 terlihat, bahwa pada contoh FSa kadar lengas kering angin agregat $\leq 0,5$ mm dan kadar C-organik cenderung meningkat ke arah bagian bawah profil galian. Kadar lengas kering angin agregat ≤ 2 mm menunjukkan sebaran yang mempunyai harga minimum di bagian tengah profil galian. Bagian tengah profil galian ini justru mempunyai harga CaCO_3 setara maksimum. Menurut sebaran besar butir, profil galian FSa dapat dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama terdiri atas lapisan FSa 1 dan FSa 3, yang dirajai oleh fraksi lempung, dan bagian kedua yang terdiri atas FSa 2 dan 4, yang dirajai oleh fraksi pasir.

Kadar lengas kering angin agregat ≤ 2 mm yang lebih kecil daripada yang terdapat dalam agregat ≤ 0.5 mm pada contoh FSa 2 dan 3 menimbulkan dugaan, bahwa agregat-agregat antara ukuran 0.5 dan 2 mm dapat dikatakan tidak memperlihatkan kegiatan permukaan. Hal ini boleh jadi berkenaan dengan perajaan fraksi itu oleh pasir pada FSa 2 dan keterbatasan agregasi fraksi lempung menjadi agregat-agregat besar pada FSa 3. Sebaliknya, pada FSa 1 dan 4 agregasi fraksi lempung menjadi agregat-agregat besar berlangsung lebih baik. Dengan kata lain, FSa 1 dan FSa 4 mengalami perkembangan struktur yang lebih baik daripada FSa 2 dan 3. Kebaikan perkembangan struktur FSa 4, meskipun dirajai oleh pasir, sangat boleh jadi berkat kadar bahan organik yang nyata lebih tinggi.

Menurut I_m - lengkap, FSa 1 agak mirip dengan FSa 3 dan 4 (lihat Daftar 3). Menurut I_m -fisika (Daftar 4) FSa 1 mirip dengan FSa 3 (dikuasai oleh kemiripan dalam sebaran besar butir). Menurut I_m -kimia FSa 2 mirip dengan FSa 3 (Daftar 5). Dapat disimpulkan sementara, bahwa lapisan tanah 15 — 140 cm berupa timbunan di atas lapisan 140 — 200 cm. Dalam peredaran waktu lapisan 62 — 140 cm memperoleh kemiripan fisika dengan lapisan 15 — 44 cm dan memperoleh kemiripan kimia dengan lapisan 44 — 62 cm.

Mengenai profil LSf dapat dikemukakan hal-hal sebagai berikut. Secara puklurata profil ini berbeda dengan profil FSa dalam hal kadar bahan organik yang lebih tinggi, tekstur lebih kasar dan kadar lengas kering angin agregat $\leq 0,5$ mm lebih tinggi dengan sebaran lebih merata sepanjang profil (lihat Daftar 1). Jika FSa dibandingkan dengan LSf lapisan demi

Daftar 1. Beberapa sifat kimia dan fisika contoh tanah galian Borobudur

No. sandi	% lengas kering angin		C organik %	bahan organik %	CACO ₃ setara %	% sebaran besar butir			batas cair %	batas gulung %	I _p *	A**
	Ø 0,5 mm	Ø 2 mm				lempung	debu	pasir				
FSa 1	1,7	5,3	0,39	0,67	0,6	43,8	30,1	26,1	60,9	37,2	23,7	0,54
2	1,9	1,3	0,40	0,69	1,3	19,8	11,3	68,9	12,5	—	—	—
3	1,7	1,3	0,45	0,78	1,2	44,0	30,8	25,2	td	43,8	td	td
4	7,4	10,2	1,25	2,16	0,7	20,5	21,1	58,4	td	td	td	td
LSf 1	5,0	3,3	1,03	1,78	0,7	15,7	21,3	63,0	28,6	16,9	11,7	0,74
2	4,9	4,0	1,22	2,10	0,9	19,4	33,4	47,2	21,5	20,1	1,4	0,07
3	5,0	3,0	1,02	1,76	0,9	33,1	20,7	46,2	17,8	12,0	5,8	0,18
4	9,7	7,5	1,39	2,40	0,7	29,5	33,1	37,4	39,5	14,9	24,6	0,84
5	4,0	1,2	1,62	2,79	0,5	15,1	9,9	74,9	td	td	td	td
6	2,9	0,9	1,60	2,76	0,6	19,8	17,0	63,2	15,3	td	td	td
7	3,2	1,4	1,00	1,72	0,8	26,5	13,8	59,7	td	19,4	td	td
8	4,0	7,1	1,42	2,45	0,6	24,5	15,3	60,2	td	td	td	td
9	6,1	10,2	1,65	2,84	0,7	35,3	33,4	31,3	63,3	41,5	21,8	0,62

* = indeks keliatan yaitu (batas cair) — (batas gulung)

** = ukuran kegiatan lempung, yaitu $I_p / \% \text{ lempung}$

— = tidak mempunyai sifat itu

td = tidak ditetapkan karena contoh tanah habis

lapisan, hal yang tampak menyolok ialah, selain lapisan FSa 4, tidak ada lapisan lain yang secara merata agak mirip dengan lapisan-lapisan LSf. Kemiripan FSa 4 ini terutama disebabkan oleh kedekatan sifat kimianya pada sifat kimia semua lapisan LSf. Rupa-rupanya lapisan terbawah profil FSa itu sekeluarga dengan profil LSf. Jadi pada jeluk 150 cm di lokasi FSa ditemui perlapisan yang sejenis dengan yang terdapat di lokasi LSf.

Kemiripan antar lapisan LSf jelas lebih tampak daripada antar lapisan FSa. Bahkan di kalangan lapisan LSf tidak sedikit yang mempunyai indeks kemiripan tinggi, khusus dalam sifat kimia. Terlepas dari penyimpangan terbatas yang ada dapatlah disimpulkan secara umum, bahwa lapisan FSa 1 s/d 3 merupakan satu kelompok yang menumpang di atas kelompok lain yang terdiri atas lapisan FSa 4 dan LSf 1 s/d 9. Jadi pada jeluk sekitar 150 cm di bawah permukaan lantai batu candi terdapat batas antara dua macam profil tanah. Mungkin bahan tanah di atas jeluk 150 cm di lokasi FSa ditimbunkan di situ untuk meratakan lantai candi pada waktu pemugaran terdahulu.

Hasil pengamatan kali ini belum dapat memberikan gambaran yang mantap karena penyidikan sifat tanah sangat terbatas oleh jumlah contoh tanah yang tidak mencukupi. Kesudahan pengamatan dapat dimantapkan sedikit dengan menggunakan contoh-contoh tanah yang sifat mereka teramati lebih banyak. Contoh-contoh itu ialah FSa 1, LSf 1 s/d 4 dan LSf 9. Akan tetapi dengan jalan ini ruang lingkup kesimpulan menjadi terbatas dan tidak dapat mencakup keseluruhan profil FSa dan LSf. Yang dapat di-

Daftar 2. Indeks harkat sifat-sifat kimia dan fisika menurut harga masing-masing sifat yang tertera dalam Daftar 1*

No. Sandi	% lengas kering angin		C organik %	CaCO ₃ setara %	% sebaran besar butir		
	Ø 0,5 mm	Ø 2 mm			lempung	debu	pasir
FSa 1	0	47	0	12	99	86	2
2	2	4	1	100	16	6	88
3	0	4	5	88	100	89	0
4	71	100	68	25	19	48	67
LSf 1	41	26	51	25	2	48	76
2	40	33	66	50	15	100	44
3	41	23	50	50	62	46	42
4	100	71	79	25	50	99	24
5	29	3	98	0	0	0	100
6	15	0	96	12	16	34	76
7	19	5	48	38	39	17	69
8	29	67	82	12	32	23	70
9	55	100	100	25	70	100	12

* nilai terkecil dalam suatu lajur diberi indeks 0 dan yang terbesar 100; lainnya diberi indeks secara sebanding.

Daftar 5. Indeks kemiripan menurut sifat kimia yang dianalisa

		FSa				LSf									
		1	2	3	4	1	2	3	4	5	6				
1		23,5	23,9	23,6	28,3	19,5	22,2	21,4	22,7	20,7	25,4	23,4	18,2		
2			91,8	26,8	29,2	46,9	50,6	25,1	0,8	12,7	41,0	13,6	22,9		
3				32,1	35,5	52,6	57,0	30,3	5,1	17,2	47,5	18,6	27,4	FSa	
4					89,9	87,1	77,6	94,4	71,6	80,1	81,9	86,2	85,5		
1						79,1	85,3	84,1	58,6	68,7	90,8	74,5	75,5		
2							92,6	82,5	61,7	69,9	72,7	76,6	75,5		
3								73,4	50,6	60,0	92,4	64,4	66,7		
4									78,6	86,3	77,1	92,6	91,0		
5										93,1	52,7	85,2	87,7	LSf	
6											62,6	92,9	92,9		
7												67,6	69,6		
8													85,9		
9															

Daftar 6 Indeks harkat sifat beberapa contoh tanah galian yang diperluas dengan tambahan beberapa watak konsistensi tanah

No. Sandi	% lengas kering angin		C organik	CaCO ₃ setara	% sebaran besar butir			batas cair	batas gulung	I _p	A
	Ø 0,5 mm	Ø 2 mm			lempung	debu	pasir				
FSa 1	0	31,9	0	0	100	26,0	0	94,7	85,4	96,5	61,0
LSf 1	41,2	41,7	49,2	33,3	0	95,3	100	23,7	16,6	44,4	87,0
2	40,0	13,9	83,0	100	13,2	100	57,2	8,1	27,4	0	0
3	41,2	0	50,0	100	47,3	0	54,5	0	0	19,0	14,3
4	100	62,5	20,6	33,3	49,1	2,4	30,6	47,7	9,8	100	100
9	55,0	100	100	33,3	69,7	100	14,1	100	100	87,9	71,4

