

Prof. Ir. Jamalarn Lumbanraja, MSc., Ph.D.



KIMIA TANAH dan AIR

Prinsip Dasar dan Lingkungan

Prof. Dr. Jenean Limbungan, MSc., Ph.D.

KIMIA TANAH dan AIR

Prinsip Dasar dan Lingkungan

Prof. Ir. Jamalam Lumbanraja, MSc., Ph.D.

KIMIA TANAH dan AIR

Prinsip Dasar dan Lingkungan

ΑURA
ANUGRAH UTAMA RAHARJA

Hak cipta pada penulis
Hak penerbitan pada penerbit
Tidak boleh diproduksi sebagian atau seluruhnya dalam bentuk apapun
Tanpa izin tertulis dari pengarang dan/atau penerbit

Kutipan Pasal 72 :

Sanksi pelanggaran Undang-undang Hak Cipta (UU No. 10 Tahun 2012)

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak melakukan perbuatan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 2 ayat (1) atau Pasal (49) ayat (1) dan ayat (2) dipidana dengan pidana penjara masing-masing paling singkat 1 (satu) bulan dan/atau denda paling sedikit Rp. 1.000.000,00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan atau denda paling banyak Rp. 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah)
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau hasil barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud ayat (1) dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahun dan/atau denda paling banyak Rp. 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah)

Perpustakaan Nasional RI:
Katalog Dalam Terbitan (KDT)

**KIMIA TANAH dan AIR:
Prinsip Dasar dan Lingkungan**

Penulis

Prof. Ir. Jamalam Lumbanraja, MSc., Ph.D.

Editor

Prof. Dr. Ir. Rosma Hasibuan, M.Sc.

Desain Cover & Layout

Team Aura Creative

Penerbit

AURA (CV. Anugrah Utama Raharja)

Anggota IKAPI

No.003/LPU/2013

ISBN: 978-602-6739-20-9

Alamat

Jl. Prof. Dr. Soemantri Brojonegoro, Komplek Unila

Gedongmeneng Bandar Lampung

HP. 081281430268

E-mail : aura_print@ymail.com

Website : www.aura-publishing.com

xxiv + 297 hal : 15,5 x 23 cm

Cetakan, juli 2017

KATA PENGANTAR

Tanah dan air merupakan dua hal yang sangat penting yang tidak terpisahkan di muka bumi dan sangat menentukan keberagaman dan kehidupan makhluk hidup di planet bumi, khususnya bagi manusia. Tanah merupakan tempat pemukiman dan media tumbuh tumbuhan mengkonversi energi radiasi matahari menjadi energi kimia yang menjadi sumber pangan, sandang, papan dan energy; sedangkan air merupakan media pelarut dalam proses kimia baik secara alami di dalam tanah maupun proses biokimia dalam tubuh makhluk hidup. Tanah terbentuk dari (1) bahan induk sebagai hasil pelapukan batuan melalui proses pelapukan kimia, fisik dan biologi. Selain itu, berbagai faktor pembentukan tanah seperti (2) iklim khususnya air sebagai media pelarut dalam proses kimia tanah dan suhu, (3) kemiringan tanah yang berpengaruh pada proses reaksi kimia redoks, proses pencucian dan erosi, (4) organisme yang menghasilkan bahan organik tanah, dan (5) waktu pembentukan tanah sangat berpengaruh pada kimia tanah dan air.

Buku “KIMIA TANAH DAN AIR” ini merupakan hasil karya yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bacaan untuk umum dan khususnya untuk mereka yang mau belajar tentang proses perubahan kimia dalam tanah dan air serta dapat digunakan sebagai referensi, karena selain menjelaskan prinsip dasar proses kimia dalam tanah dan larutan tanah, buku ini juga menjelaskan hasil-hasil penelitian yang berhubungan dengan proses kimia, serta pencemaran dan kualitas tanah dan air. Uraian dalam buku ini telah dilakukan secara mendasar dan komprehensif serta dilengkapi dengan berbagai ilustrasi seperti gambar, tabel, persamaan dan beberapa perhitungan. Informasi, gambar, dan tabel dalam buku ini diambil dari berbagai sumber untuk memperkaya dan memperjelas uraian topik bahasan. Mudah-mudahan setelah mempelajari buku ini, pembaca dapat memahami proses kimia yang terjadi dalam koloid tanah dalam hubungannya dengan ketersediaan unsur hara tanaman, kualitas tanah dan air serta masalah lingkungan yang berhubungan dengan degradasi tanah dan air..

Buku ini terdiri dari 10 Bab yang merupakan jabaran dari tiga kelompok yaitu: bagian pertama tentang prinsip-prinsip kimia dan komposisi tanah yang terdiri dari Bab I Bilangan, Satuan dan Prinsip dasar kimia dan Bab II tentang

Komposisi tanah. Bagian kedua yang merupakan bagian terbesar dari buku ini yaitu tentang proses kimia yang terjadi dalam tanah yang terdiri dari Bab III menjelaskan proses pembentukan tanah dan keseimbangan kimia, Bab IV tentang interaksi fase padat dan cair pada permukaan koloid tanah, Bab V tentang jerapan kation tanah, Bab VI tentang jerapan anion dan molekul tak bermuatan dan Bab VII tentang kinetika dan sistim tanah. Bagian ketiga yaitu tentang sifat-sifat khusus tanah dan air serta hal-hal yang berhubungan lingkungan tanah dan air yaitu Bab VIII tentang tanah masam, alkalin dan salin, Bab IX tentang pencemaran tanah dan air, dan Bab X tentang kimia air.

Edisi pertama ini masih memerlukan banyak penyempurnaan baik penyusunan Bab maupun isinya. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan masukan dari berbagai pihak untuk penyempurnaannya pada edisi brikutnya.

Penulis,

Jamalam Lumbanraja

DAFTAR ISI

Bab	Judul	Halaman
	Kata Pengantar	v
	Daftar Isi	vii
	Daftar Tabel	xi
	Daftar Gambar	xiv
I	PRINSIP – PRINSIP KIMIA	1
	1.1 Bilangan	1
	1.2 Satuan Internasional	5
	1.3 Satuan kimia	7
	1.4 Interaksi ion dan air dalam larutan	11
	1.5 Prinsip asam-basa	18
	1.6 Keseimbangan reaksi reduksi-oksidasi	26
	1.7 Hasil kali kelarutan	28
	Bahan Bacaan	30
II	KOMPOSISI TANAH	31
	2.1 Komposisi padat	35
	2.1.1 Komposisi Fase Padat-Inorganik	35
	2.1.2 Komposisi Fase Padat-Organik	54
	2.2 Komposisi Fase Cair Tanah	57
	2.3 Komposisi Gas	62
	Bahan Bacaan	65
III	PROSES PEMBENTUKAN TANAH DAN KESEIMBANGAN KIMIA	69
	3.1 Faktor-faktor pembentuk tanah	69
	3.1.1 Bahan induk	71
	3.1.2 Iklim	72
	3.1.3 Mahluk hidup	74

	3.1.4 Topografi	77
	3.1.5 Waktu	79
	3.2 Pelapukan mineral tanah	80
	3.3 Reaksi reduksi dan oksidasi	91
	3.4 Sintesa mineral	96
	Bahan Bacaan	99
IV	INTERAKSI FASE PADAT DAN CAIR PADA PERMUKAAN KOLOID	103
	4.1 Muatan permukaan koloid tanah	105
	4.2 Sifat larutan atau atom dekat permukaan koloid	113
	4.3 Pengaruh interaksi padat dan cair terhadap sifat tanah	117
	4.4 Pengaruh interaksi padat dan cair terhadap dispersi, flokulasi, mengembang dan mengkerut	120
	Bahan Bacaan	125
V	JERAPAN KATION TANAH	126
	5.1 Kation dapat ditukar	126
	5.2 Deskripsi kualitatif pertukaran kation	131
	5.3 Model matematika pertukaran kation	132
	5.4 Reaksi pertukaran tiga kation secara simultan	142
	5.5 Pertukaran desorpsi kation	144
	5.6 Selektifitas kation	147
	Bahan Bacaan	151
VI	JERAPAN ANION DAN MOLEKUL TAK BERMUATAN	154
	6.1 Jerapan anion yang tersisihkan oleh muatan negatif tanah	154
	6.2 Jerapan anion oleh muatan positif tanah	156
	6.3 Jerapan molekul organik dan molekul tak bermuatan	158
	6.4 Model matematika jerapan anion	159
	Bahan Bacaan	167

VII	KINETIKA DAN SISTIM TANAH	170
	7.1 Penggunaan data termodinamika	170
	7.2 Reaksi kinetika dan keseimbangan kimia dalam tanah	180
	7.2 Hukum-hukum kinetika	182
	7.3 Reaksi kinetika dalam tanah	186
	7.3.1 Orde kinetika dalam tanah	180
	7.3.2 Pengaruh jenis ekstraksi pada pelepasan unsur dari koloid tanah	187
	7.3.3 Kinetika pertukaran kation	191
	7.3.4 Reaksi kinetika berdasarkan Michaelis-Menten	193
	Bahan Bacaan	201
VIII	TANAH MASAM, ALKALIN DAN SALIN	202
	8.1 Prinsip kemasaman tanah	204
	8.2 Reaksi pengapuran dan pembenah tanah organik	209
	8.3 Sifat beberapa unsur sebagai fungsi pH dalam larutan tanah	214
	8.4 Tanah alkalin dan salin	220
	8.4.1 Pedogenesis tanah alkalin	222
	8.4.2 Hubungan air dengan tanah berkadar garam tinggi	223
	8.4.3 Reklamasi tanah bergaram dan pH tinggi	224
	Bahan Bacaan	225
IX	PENCEMARAN TANAH DAN AIR	226
	9.1 Tanah sebagai komponen lingkungan	228
	9.2 Pengenalan dan prediksi pencemaran tanah dan air	231
	9.3 Sumber pencemaran tanah dan air	233
	Bahan Bacaan	250
X	KIMIA AIR	252
	10.1 Nilai pH	255

10.2 Salinitas	268
10.3 Konsentrasi logam berat dalam air	277
10.4 Kualitas air dari industry pertanian	274
10.5 Kualitas air akibat pencemaran nuklir	276
10.6 Oksigen terlarut	277
10.7 Warna dan kekeruhan	279
10.8 Padatan	279
10.9 Pencemaran tanah dan air akibat ternak, sampah dan sanitasi	280
10.10 Suhu	282
10.11 Kualitas air minum	282
10.12 Kualitas air irigasi	285
Bahan Bacaan	288

DAFTAR TABEL

Nomor	Judul	Halaman
-------	-------	---------

1-1	Notasi bilangan: pangkat, perkalian dan nilai	2
1-2	Logaritma: nilai, pangkat dan logaritma	3
1-3	Awalan, simbol, dan perkalian satuan.	7
1-4	Unit fraksi yang sering digunakan pada konsentrasi	9
1-5	Konstanta fisik	9
1-6	Beberapa satuan konsentrasi yang sering digunakan	11
1-7	Jumlah molekul air pada hidrasi primer untuk beberapa ion.	12
1-8	Panas dan entropi (S) dari hidrasi ion pada 298°K (Bohn <i>et al.</i> 1979)	14
1-9	Contoh asam organik lemah dalam air dan pKa	21
1-10	Beberapa komponen asam basa dalam hal senyawa kimia yang dapat bersifat asam dan atau basa.	23
2-1	Luas permukaan beberapa partikel atau komponen tanah	33
2-2	Mineral bukan mineral silika di dalam tanah	
2-3	Komposisi kimia rata-rata tanah berdasarkan 95% batuan beku, 4% shale (batu liat), 0,75% batu pasir dan 0,25% batu kapur	38
2-4	Hubungan jari-jari ion dengan kemungkinan koordinasi dengan oksigen	42
2-5	Nama-nama mineral yang sering ditemukan dalam tanah	46
2-6	Jari-jari kation yang biasa membentuk mineral liat	49
2-7	Tipe liat dan muatan mineral	50
2-8	Klasifikasi mineral silikat	51
3-1	Persamaan yang dapat digunakan untuk menghitung koefisien aktivitas	87
3-2	Nilai parameter a yang digunakan pada persamaan Debye-Huckle	88
3-3	Nilai koefisien aktivitas dihitung dari Debye-Huckle diperluas pada larutan dengan suhu 25°C	89

3-4	Konstanta keseimbangan (K_{eq}) untuk reaksi redoks $\frac{1}{2}$ sel untuk komponen kimia yang biasa ditemukan dalam tanah	96
4-1	Pengaruh pH larutan terhadap muatan (KTK) fraksi liat dan bahan organik tanah	109
4-2	Gugus fungsional beberapa bahan organik tanah	112
4-3	Total muatan asam humik tanah	113
4-4	Hubungan ketebalan Lapisan Ganda Baur (LGB) dengan kekuatan ion (I) dan muatan	117
4-5	Perbandingan nilai flokulasi mineral smektit pada larutan NaCl dan CaCl_2	117
5-1	Kation utama yang umum yang berhubungan dengan pertukaran kation dalam tanah	127
5-2	Perbedaan nilai tukar kation dan kapasitas tukar kation tanah yang berbeda dengan pengekstrak kation yang berbeda.	130
5-3	Kerapatan muatan beberapa mineral	132
5-4	Luas permukaan beberapa mineral	132
5-5	Beberapa koefisien selektifitas beberapa mineral	148
6-1	Anion yang umum ditemukan dalam tanah yang berhubungan dengan jerapan anion.	157
6-2	Nilai konstanta kemasaman (K_a) beberapa molekul yang penting dalam adsorpsi tanah	158
6-3	Nilai jerapan maksimum (q_0) dan koefisien energy ikatan (k) fosfor (P) tanah dengan perlakuan Fe, konkresi besi dan bahan organik	163
6-4	Persamaan Linier Isotermik Langmuir Jerapan P pada masing-masing perlakuan	164
7-1	Perbandingan ekstraksi P pada kesetimbangan (K) dan kinetika (k) dengan larutan pengekstrak Bray, Mehlich, dan Olsen	189
7-2	Paremeter kinetika perubahan laju pelepasan fosfor dari tanah, batuan fosfat dan kotoran ayam dengan perbedaan ekstraksi Bray, Melich dan Olsen	191
8-1	Kapasitas tukar kation (KTK) beberapa mineral alumino silikat	205

8-2	Komposisi tanah di beberapa daerah tropis	205
8-3	Pengaruh besar butir bahan kapur kalsit terhadap kelarutan	213
8-4	Pengaruh (hubungan) EC terhadap pertumbuhan tanaman	224
10-1	Pengaruh suhu terhadap berat jenis air	254
10-2	Klassifikasi tanah terpengaruh garam	269
10-3	Nilai beberapa parameter baku mutu air minum di WHO dan beberapa Negara	284
10-4	Kriteria kualitas air untuk irigasi	285

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Judul	Halaman
1-1	Ikatan hidrogen molekul air dengan sudut OH 105 derajat.	11
1-2	1.2 Model yang menggambarkan interaksi kation dan anion dalam air. M+ dan A- adalah inti ion yang dapat berpasangan melalui kompleks air yang menyelimuti inti ion sedangkan ion kompleks terjadi dimana inti ion langsung bersentuhan/ikatan yang secara bersama diselimuti oleh kompleks air	17
2-1	Komposisi tanah	32
2-2	struktur kristal garam dapur	35
2-3	Pembagian atom yang terdiri dari inti yang bermuatan positif dan lintasan elektron	39
2-4	Terjadi kecenderungan pelepasan satu elektron pada lintasan terluar untuk atom, sehingga Li bersifat ionik bermuatan positif (+).	39
2-5	Terjadi kecenderungan menerima satu elektron pada lintasan terluar atau memakai elektron secara bersama sehingga terbentuk sifat oktet untuk atom, sehingga F menjadi bersifat lebih stabil yang membentuk ikatan kovalen.	40
2-6	Terjadi kecenderungan Cl menerima satu elektron pada lintasan terluar dan Na melepaskan elektron sehingga terbentuk ikatan Na-Cl yang bersifat ionik.	40
2-7	Terjadi kecenderungan F menerima satu elektron pada lintasan terluar atau menggunakan 2 elektron secara bersama sehingga terbentuk ikatan F -- F yang bersifat kovalen	41
2-8	Terjadi ikatan O-H-O yang lemah, tetapi karena banyak ikatan seperti ini di antara molekul liat, maka ikatan ini menjadi kuat	41
2-9	SiO ₄ tetrahedral (4 muka) yang merupakan rantai Si-O yang dapat membentuk lapisan Si ₂ O ₅ dengan prinsip	45

perbandingan 1 Si : 4 O.

2-10	AlO ₄ (OH) ₂ oktahedral (8 muka) yang merupakan rantai Al-OH yang dapat membentuk lapisan atau rantai Al(OH) ₆ , Al ₂ (OH) ₆ atau Al ₂ (OH)O ₂	45
2-11	Tipe liat 2:1 terbentuk dari 2 lapis tetrahedral SiO ₄ dan satu lapis oktahedral AlO ₄ (OH) ₂ .	47
2-12	Tipe liat 1:1 terbentuk dari satu lapis tetrahedral SiO ₄ dan satu lapis oktahedral AlO ₂ (OH) ₄ .	47
2-13	Skematik susunan oksigen, hidroksil, silika tetrahedral, dan aluminum dioktahedral pada mineral liat tipe 2:1 yang belum mengalami substitusi isomorf	49
2-14	Skematik susunan oksigen, hidroksil, silika pada tetrahedral, dan Al pada dioktahedral mineral liat tipe 1:1 yang tidak mengalami substitusi isomorf	50
2-15	Skematik susunan oksigen, hidroksil, silika pada tetrahedral, dan Mg atau Fe pada trioktahedral mineral liat tipe 2:1 yang belum mengalami substitusi isomorf	50
2-16	Profil tanah dimana terdapat lebih banyak bahan organik di lapisan O dan atau di lapisan A	54
3-1	Ilustrasi yang menggambarkan tahapan pembentukan profil tanah yang digambarkan oleh kedalaman solum (S) mulai dari solum tipis diatas batuan (Tahap 1), kemudian berkembang sampai solum yang lebih dalam (Tahap 4) dengan batuan yang sudah terlapuk	69
3-2	Ilustrasi yang menjelaskan lima (5) faktor pembentuk tanah dalam prosesnya berintegrasi membentuk tanah (profil) yang semuanya dapat mempengaruhi sifat fisik, kimia dan biologi tanah.	70
3-3	Ilustrasi yang menggambarkan posisi profil tanah: Profil A berada pada puncak bukit, profil B pada lahan di bahu bukit, profil C pada lahan yang miring atau curam, profil D pada kaki bukit dan profil E pada tanah limpasan sungai atau dataran banjir.	78
3-4	Ilustrasi yang menjelaskan pengaruh ion yang sama (<i>common ion</i> – SO ₄ ²⁻) dan kekuatan ion (<i>ionic strenght</i>) terhadap kelarutan CaSO ₄	85

3-5	Ilustrasi yang menggambarkan hubungan antara koefisien aktivitas, kekuatan ion dan muatan ion.	86
3-6	Ilustrasi yang menggambarkan pembentukan ion berpasangan suatu mineral pada mineral campuran akan ditentukan oleh K_{sp} mineral yang lain.	90
4-1	Dinamika reaksi keseimbangan kimia dalam lingkungan tanah	104
4-2	Skematik susunan oksigen, hidroksil, silika tetrahedral, dan aluminum dioktahedral pada mineral liat tipe 2:1 yang belum mengalami substitusi isomorf	106
4-3	Skematik terbentuknya muatan negative koloid liat dengan susunan oksigen, hidroksil, silika tetrahedral, dan aluminum dioktahedral pada mineral liat tipe 2:1 yang mengalami substitusi Si oleh Al pada tetrahedral dan Al oleh Mg pada octahedral. Muatan ini tidak dipengaruhi oleh pH larutan (<i>permanent charge</i>).	106
4-4	Skematik terbentuknya muatan positif pada susunan oksigen, hidroksil, silika tetrahedral, dan aluminum dioktahedral pada mineral liat tipe 2:1 yang mengalami patahan ujung dengan kehilangan 1 oksigen. Muatan ini dipengaruhi oleh pH larutan dimana muatan positif akan dominan pada pH rendah dan muatan negatif akan dominan pada pH tinggi (<i>variable charge</i>).	107
4-5	Skematik terbentuknya muatan net negatif pada susunan oksigen, hidroksil, silika tetrahedral, dan aluminum dioktahedral pada mineral liat tipe 2:1 yang mengalami patahan ujung dengan kehilangan 1 oksigen dan satu Si. Muatan ini dipengaruhi oleh pH larutan dimana muatan positif akan dominan pada pH rendah dan muatan negatif akan dominan pada pH tinggi (<i>variable charge</i>).	107
4-6	Skematik oksida hidroksida logam. Muatan ini dipengaruhi oleh pH larutan dimana muatan positif akan dominan pada pH rendah dan muatan negatif akan dominan pada pH tinggi (<i>variable charge</i>).	108
4-7	Bentuk sederhana dari gugus organik yang dapat terprotonasi dan deprotonasi dan skematik terbentuknya muatan negatif dan positif pada susunan pada bahan organik dan humus. Muatan ini	111

	dipengaruhi oleh pH larutan dimana muatan positif akan dominan pada pH rendah dan muatan negatif akan dominan pada pH tinggi (<i>variable charge</i>).	
4-8	Menggambarkan kompleksitas bahan organik tanah yang dalam molekul yang sama dapat bersifat asam dan basa.	112
4-9	Ilustrasi yang menggambarkan distribusi konsentrasi ion dalam larutan dalam hubungannya dengan koloid tanah: (a) kation mendekati ke arah permukaan koloid tanah pada minimum entalpi (ΔH), (b) kation menjauh dari permukaan koloid tanah pada maksimum entropi (ΔS), dan (c) kation menyebar dalam larutan dengan konsentrasi lebih tinggi dekat permukaan koloid tanah dalam keadaan keseimbangan ke arah minimum energi bebas – <i>free energy</i> (ΔG).	114
4-10	Ilustrasi yang menggambarkan hubungan energi dengan jarak antar ion dalam larutan dalam hubungannya dengan koloid tanah; dimana kation mendekati (<i>van der Waals attraction</i>) ke arah permukaan koloid tanah pada minimum entalpi (ΔH), kation menjauh (penolakan elektrostatis) dari permukaan koloid tanah pada maksimum entropi (ΔS), dan resultante dari penolakan dan penarikan yang menyebabkan kation menyebar dalam larutan dengan konsentrasi lebih tinggi dekat permukaan koloid tanah dalam keadaan keseimbangan ke arah minimum energi bebas – <i>free energy</i> (ΔG).	114
4-11	4.11 Ilustrasi yang menggambarkan hubungan distribusi konsentrasi (Y) dengan jarak DDL dari permukaan koloid tanah; gambar sebelah kiri menunjukkan muatan tergantung pH larutan (luas $A > \text{luas } B$); sebelah kanan adalah muatan permanen (luas $A = \text{luas } B$)	115
4-12	4.12 Ilustrasi yang menggambarkan hubungan potensi listrik (Ψ) dengan jarak DDL dari permukaan koloid tanah; gambar sebelah kiri menunjukkan muatan tergantung pH larutan ($\Psi_o = \Psi_o'$); sebelah kanan adalah muatan permanen ($\Psi_o > \Psi_o'$) (van Olphen, 1963).	116

4-13	Ilustrasi keberadaan air tidak jenuh dimana terdapat larutan tanah, udara, unsur hara tanaman, partikel tanah, akar tanaman, dan rambut akar	118
4-14	Ilustrasi pergerakan air dan unsur hara tanaman mulai dari koloid tanah (1) ke larutan (2) diserap oleh akar tanaman melalui akar rambut (3) dan diteruskan ke bagian atas tanaman (4). Selain itu, tanaman melalui akar rambut juga mengeluarkan eksudat (5) berupa ion dan melokul organik lain yang dapat memberi keseimbangan dengan ion yang diabsorpsi.	119
4-15	Ilustrasi dispersi koloid tanah oleh calgon (NaH_2PO_4) yang digunakan untuk menetapkan tekstur tanah. Na^+ tidak mengikat permukaan koloid tanah (-) tetapi berada dalam larutan, sementara H_2PO_4^- mengadakan tolakan dengan koloid tanah sehingga partikel tanah terdispersi. Partikel yang lebih besar akan lebih dahulu mengendap sedangkan koloid liat masih terdispersi setelah 12 jam.	124
5-1	Grafik linear persamaan langmuir, dimana q_0 adalah adsorpsi maksimum ($A_{d_{max}}$), C adalah konsentrasi dalam larutan dan k adalah koefisien affinitas	134
5-2	Grafik pertukaran kalsium (Ca) dan ammonium (NH_4) pada koloid vermikulit dan hidroksi aluminium antar lapisan vermikulit	137
5-3	Grafik pertukaran kalsium (Ca) dan kalium (K) pada koloid vermikulit dan hidroksi aluminium antar lapisan vermikulit	137
5-4	Grafik pertukaran kalium (K) dan ammonium (NH_4) pada koloid vermikulit dan hidroksi aluminium antar lapisan vermikulit.	138
5-5	Kuantitas/Intensitas kalium dimana ExK_0 adalah kation K mudah ditukar, ExK_s adalah K terjerap secara spesifik, KP_K adalah Kapasitas penyangga kation kalium, NA_{K^0} adalah nisbah aktivitas K pada kesetimbangan	140
5-6	Kuantitas/Intensitas kalium dimana slope atau kapasitas penyangga kalium (KP_K) dari Q/I pertukaran kation Ca dengan K pada pH 7,6 lebih tinggi dari KP_K	141

	pada pH 4,29	
5-7	Kuantitas/Intensitas ammonium dimana slope (KP_K) dari Q/I pertukaran kation Ca dengan K pada Binari (ExCa-K = ● ---●) lebih tinggi dari KP_K pada tanah yang diberi ammonium Ca--NH ₄ -K (▲----▲)	143
5-8	Kuantitas/Intensitas ammonium dimana slope (KP_{NH_4}) dari Q/I pertukaran kation Ca dengan NH ₄ pada binari (ExCa- NH ₄ (★ ---★) lebih rendah dari KP_{NH_4} pada tanah yang diberi kalium Ca- K -NH ₄ (ternari -- ● ---●)	144
5-9	Kuantitas/Intensitas (Q/I) ion i yang menunjukkan bahwa (a) mekanisme adsorpsi dengan desorpsi adalah reversible dimana kuantitas adsorpsi K_d sama dengan kuantitas desorpsi sehingga tidak ada ion terfiksasi $X_f=0$ sementara (b) terjadi mekanisme desorpsi irreversible dimana kuantitas desorpsi K_d dan X_f adalah ion terfiksasi	145
5-19	Kuantitas/Intensitas kalium (K) yang menunjukkan bahwa baik binary maupun ternary terjadi mekanisme desorpsi irreversible dimana kuantitas desorpsi K_d lebih besar pada ternari Ca-NH ₄ -K dari kuantitas desorpsi K_d binary Ca-K atau K terfiksasi (X_f) lebih besar pada binari Ca-K dibandingkan dengan K terfiksasi pada ternari Ca-NH ₄ -K	146
5-11	Kuantitas/Intensitas amonium (NH ₄) yang menunjukkan bahwa baik binary maupun ternary terjadi mekanisme desorpsi irreversible dimana kuantitas desorpsi K_d lebih kecil(bahkan tidak terdeteksi) pada ternari Ca—K-NH ₄ dari kuantitas desorpsi K_d binari Ca- NH ₄ atau K terfiksasi lebih kecil pada binari Ca- NH ₄ dibandingkan dengan K terfiksasi pada ternari Ca-K-NH ₄	147
5-12	Pengaruh jenis mineral (vermikulit vs hidroksi Al antar lapisan vermikulit) terhadap selektivitas ammonium (NH ₄) pada pertukaran kalsium (Ca) dengan ammonium (NH ₄) pada koloid mineral dengan larutan	149
5-13	Pengaruh jenis mineral (vermikulit vs hidroksi Al antar lapisan vermikulit) terhadap selektivitas kalium (K) pada pertukaran kalsium (Ca) dengan kalium (K) pada koloid mineral dengan larutan	149

5-14	Pengaruh keberadaan kalium (K) terhadap selektivitas ammonium (NH_4) pada pertukaran kalsium (Ca) dengan ammonium (K) pada koloid vermikulit dengan larutan	150
5-15	Pengaruh keberadaan kalium (K) terhadap selektivitas ammonium (NH_4) pada pertukaran kalsium (Ca) dengan ammonium (K) pada koloid hidroksi aluminium antar lapisan vermikulit dengan larutan	151
6-1	6.1 Ilustrasi yang menggambarkan bahwa konsentrasi anion (-) pada daerah A lebih rendah dari anion (-) yang terdapat di daerah B .	155
6-2	Hubungan antara ion teradsorpsi pada koloid tanah dengan konsentrasi ion tersebut dalam larutan tanah	157
6-3	Hubungan antara ion teradsorpsi pada koloid tanah dengan konsentrasi ion tersebut dalam larutan tanah. $\mathbf{X/m}$ adalah fraksi zat \mathbf{x} yang teradsorpsi terhadap \mathbf{m} maksimum, \mathbf{C} adalah konsentrasi zat dalam larutan	160
6-4	Hubungan antara nisbah konsentrasi ion dalam larutan (c) terhadap fraksi ion teradsorpsi pada koloid tanah ($\mathbf{C/x/m}$) dengan konsentrasi ion tersebut dalam larutan tanah (c) dengan satu lapis adsorpsi.	160
6-5	Hubungan antara nisbah konsentrasi ion dalam larutan (c) terhadap fraksi ion teradsorpsi pada koloid tanah dengan konsentrasi ion tersebut dalam larutan tanah dengan dua lapisan adsorpsi.	161
6-6	Grafik linear persamaan langmuir jerapan Fosfor tanah Ultisol dengan tanpa perlakuan (T), Tanah + FeCl_3 (TF), Tanah + konkresi besi (TK), Tanah + FeCl_3 + Bahan organik (TFB) dan Tanah + konkresi besi + Bahan organik (TKB), dimana \mathbf{q} adalah adsorpsi P (mg kg^{-1}), \mathbf{C} adalah konsentrasi dalam larutan (mg L^{-1})	162
6-7	Grafik hubungan antara indeks jerapan P ($\mathbf{C/X}$) dengan konsentrasi P dalam larutan kesetimbangan (C) dengan perlakuan. A. Urea : 300 kg ha^{-1} ; TSP : 150 kg ha^{-1} ; KCl : 300 kg ha^{-1} ; B. Organonitrofos : $10.000 \text{ kg ha}^{-1}$; C. Urea : 300 kg ha^{-1} ; TSP : 150 kg ha^{-1} ; KCl : 300 kg ha^{-1} ; Organonitrofos 5000 kg ha^{-1} ; D. Urea : 150 kg ha^{-1} ; TSP : 75 kg ha^{-1} ; KCl : 150 kg ha^{-1} ; Organonitrofos : $10.000 \text{ kg ha}^{-1}$; E. Tanpa Pemupukan.	164
6-8	Hubungan antara logaritma fraksi ion teradsorpsi pada	165

	koloid tanah dengan logaritma konsentrasi ion tersebut dalam larutan tanah.	
7-1	Energi potensi sebagai fungsi jarak antara A ⁺ dan B ⁻ pada suhu nol absolut.	172
7-2	Pergerakan suatu gas yang menggambarkan entropi	174
7-3	Grafik kinetika berorde nol untuk persamaan $[XA]_t = [X]_o - kt$	182
7-4	Grafik kinetika berorde satu untuk persamaan $\ln[XA]_t = \ln[XA]_o - kt$	183
7-5	Grafik kinetika berorde dua untuk persamaan $1/[XA]_t = 1/[XA]_o - 2kt$	185
7-6	Grafik kinetika berorde tiga untuk persamaan $1/[XA]_t^2 = 1/[XA]_o^2 + 6 kt$	186
7-7	Grafik kinetika mirip berorde satu untuk persamaan $\ln[Ex-A]_t = \ln[Ex-A]_o - k't$	187
7.8	Kinetik desorpsi fosfor (P) dengan perbedaan pengestrak Bray, Melich dan Olsen pada Tanah Ultisol Natar	188
7-9	Fraksi fosfor (P) pada koloid tanah dengan perbedaan pengestrak Bray, Melich dan Olsen pada Tanah Ultisol Natar	190
7-10	Kinetik seperti berorde satu fosfor (P) pada koloid tanah dengan perbedaan pengestrak Bray, Melich dan Olsen pada Tanah Ultisol Natar	190
7-11	(a) Pelepasan kation K oleh Ca dari koloid vermikulit dan (b) pelepasan kation Ca oleh K dari koloid vermikulit dengan berbagai konsentrasi	191
7-12	Kinetikan seperti berorde satu (a) Pelepasan kation Ca oleh K dari koloid vermikulit dan (b) pelepasan kation K oleh Ca dari koloid vermikulit dengan berbagai konsentrasi	193
7-13	Kurva ideal persamaan linear $1/v$ sebagai fungsi $1/(C^{2+})^{1/2}$	194

7-14	7.14 Kurva ideal persamaan linear $1/v$ sebagai fungsi $1/(C^{2+})^{1/2}$ dengan keberadaan kation B^+ disebut cation B berkompetisi dengan kation C menukar kation A.	195
7-15	Kurva ideal persamaan linear $1/v$ sebagai fungsi $1/(C^{2+})^{1/2}$ dengan keberadaan kation B^+ disebut cation B tidak berkompetisi dengan kation C menukar kation A, tetapi membentuk kompleks $XC_{1/n}B_{1/m}$.	196
7-16	Kurva ideal persamaan linear $1/v$ sebagai fungsi $1/(C^{2+})^{1/2}$ dengan keberadaan kation B^+ disebut cation B selai berkompetisi dengan kation C menukar kation A, dan juga membentuk kompleks $XC_{1/n}B_{1/m}$.	197
7-17	7.17 Kurva ideal persamaan linear V^{-1} (kecepatan desorpsi) ion K, NH_4 , atau Ca dari kolid tanah sebagai fungsi aktivitas $(C^{n+})^{-1/n}$ ion yang menukar K, NH_4 , atau Ca dengan keberadaan kation ternary B^+ (yang berada ditengah (K-Ca- NH_4) disebut cation Ca selai berkompetisi dengan kation NH_4 menukar kation K pada koloid vermikulit	199
7-18	7.18 Kurva ideal persamaan linear V^{-1} (kecepatan desorpsi) ion K, NH_4 , atau Ca dari kolid tanah sebagai fungsi aktivitas $(C^{n+})^{-1/n}$ ion yang menukar K, NH_4 , atau Ca dengan keberadaan kation ternary B^+ (yang berada ditengah (K-Ca- NH_4) disebut cation Ca selai berkompetisi dengan kation NH_4 menukar kation K pada koloid Vermiculit interlapis Aluminum Hidroksi	200
8-1	Perbandingan nilai pH dengan beberapa jenis tanah dan cairan	202
8-2	Hubungan aktivitas ion H^+ , OH^- dengan pH	203
8-3	Hubungan pH tanah dengan ketersediaan unsure dan aktivitas mikroba dalam tanah.	203
8-4	Ilustrasi hubungan perubahan pH tanah pada tanah yang mempunyai KTK tinggi dan tanah yang mempunyai KTK rendah	210
8-5	Hubungan pH tanah dengan kemasaman total atau Al dapat ditukar (Al-dd) pada tiga tanah di Kentucky	210
8-6	Distrbusi fraksi spesies ion fosfat sebagai fungsi pH	215
8-7	Distrbusi fraksi spesies ion karbonat sebagai fungsi pH	216

8-8	Distribusi fraksi spesies ion silikat sebagai fungsi pH	217
8-9	Distribusi fraksi spesies ion amonium sebagai fungsi pH	218
8-10	Distribusi fraksi spesies ion molibdat sebagai fungsi pH	219
8-11	Distribusi fraksi spesies ion sulfat sebagai fungsi pH	220
9-1	Skematik perilaku bahan pencemar (polutan) dalam tanah	228
9-2	Ilustrasi reaksi kimia fotosintesis yang menggambarkan terbentuknya energy kimia misalnya $C_6H_{12}O_6$ yang disimpan dalam tubuh tanaman dari energi matahari yang terjadi di dalam klorofil. Kemudian, dalam proses respirasi baik dalam tumbuhan ataupun hewan, energy kimia tersebut berubah menjadi energy kinetik dan panas.	229
9-3	Deforestasi yang menunjukkan tanah menjadi terbuka untuk terpaan hujan yang dapat terjadi erosi yang menyebabkan degradasi kualitas tanah.	247
9-4	Beberapa kegiatan pertambangan yang dapat berdampak negative terhadap lingkungan seperti terjadi erosi dan pencemaran air permukaan maupun air tanah.	249
10-1	Skema rumus bangun molekul air	252
10-2	Skema rumus bangun molekul air melarutkan garam NaCl	253
10-3	Skema rumus bangun molekul air dalam bentuk es (padat)	255
10-4	Pengaruh pH larutan terhadap fraksi ammonium dan ammonia	258
10-5	Pengaruh pH larutan terhadap spesies karbonat	260
10-6	Pengaruh pH larutan terhadap spesies sulfat	260
10-7	Lahan berpirit di Seputi Surabaya Lampung	262
10-8	Pengaruh pH larutan terhadap spesies fosfat	263
10-9	Skema hubungan nilai pH air dengan pengaruh negatif air terhadap kehidupan dalam air.	265

