

BENTUK LAHAN SEBAGAI DASAR PENYUSUNAN HIDROMORFOLOGI

KONSEP DAN PEMIKIRAN

1. Salah satu terapan geomorfologi adalah apa yang disebut dengan konsep satuan hidromorfologi (Verstappen, 1978). Satuan bentuklahan sebagai salah satu aspek geomorfologi yang dicirikan oleh relief, litologi termasuk struktur dan genesis tertentu, akan mencerminkan ketersediaan airtanah di suatu daerah.
2. Setiap satuan bentuklahan akan mempunyai respon tertentu terhadap airtanah sehingga satuan bentuklahan dapat dipakai untuk menyusun satuan hidromorfologi (de Rider, 1979; Sutikno, 1989)
3. Aspek-aspek penting yang terkait dengan airtanah adalah : geologi yang mempengaruhi agihan airtanah, hidrologi yang menentukan suplai air ke dalam tanah, dan mekanika fluida yang terkait dengan gerakan airtanah (Soemarto, 1986)
4. Mintakat geologi berperan penting dalam hidrologi (Todd, 1980) karena airtanah menempati rongga-rongga dalam lapisan geologi, Faktor litologi, struktur geologi dan stratigrafi merupakan informasi penting dalam evaluasi sumberdaya airtanah (Todd, 1959; Walton, 1970, Sutikno, 1992). Ketiga faktor tersebut akan berpengaruh terhadap keterdapatan dan agihan airtanah.
5. Perbedaan litologi akan berpengaruh terhadap variasi kualitas airtanah (Hem, 1970) dan litologi juga menentukan koefisien permaabilitas akuifer yang menentukan potensi relatif air tanah (Todd, 1980)
6. Karakteristik airtanah pada suatu wilayah dipengaruhi kuat oleh genesis daerah, lingkungan pengendapan, struktur dan jenis batuan penyusunnya (Langgeng, 1995)
7. Satuan hidromorfologi merupakan satuan bentuklahan yang berisi informasi karakteristik airtanah, yang meliputi : kedalaman muka freatik, kualitas airtanah dan koefisien permaabilitas akuifer (Sutino, 1989,1992), disamping itu juga informasi tipe hidrokimia airtanah (Langgeng, 1995)

8. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap ketersediaan air untuk penyediaan air bersih antara lain : iklim, geologi, geomorfologi, hidrologi, vegetasi dan penggunaan lahan (Sutikno, 1989)
9. Keuntungan menggunakan airtanah sebagai sumber air bersih adalah : kualitas relatif lebih baik dibanding air permukaan dan tidak terpengaruh oleh musim, cadangan besar, dan tidak memerlukan tandon atau jaringan transmisi untuk mendistribusikan air, sehingga lebih murah (Travis, 1977 dalam Sudarmadji, 1990). Sementara kendala airtanah adalah terdapatnya kandungan unsur-unsur kimia yang berlebihan seperti : Fe, Cl, SO_4 , NH_4 atau unsur-unsur lain, sehingga menurunkan kualitas airtanah.
10. Airtanah dangkal pada akuifer dengan material belum termampatkan (*unconsolidated*) di daerah beriklim kering, menunjukkan konsentrasi unsur-unsur kimia yang tinggi, terutama saat musim kering kamarau (Purbo Hadiwijoyo, 1974). Hal ini disebabkan oleh adanya gerakan kapiler airtanah dan tingkat evaporasi yang cukup besar.
11. Besar-kecilnya mineral yang terlarut dalam batuan tergantung lamanya airtanah kontak dengan batuan (Purbo Hadiwijoyo, 1974). Semakin lama air tanah kontak dengan batuan, semakin tinggi unsur-unsur yang terlarut di dalamnya. Di samping itu umur batuan juga mempengaruhi tingkat kegaraman airtanah. Makin tua umur batuan, semakin tinggi kadar garam yang terlarut dalam airtanah.
12. Pada umumnya airtanah mengandung garam-garam terlarut yang berasal dari lokasi setempat dan akibat gerakan airtanah (Todd, 1980). Tipe dan konsentrasi garam terlarut tergantung dari lingkungan pengendapannya, gerakan dan sumber airtanah. Garam yang terlarut dalam airtanah umumnya berasal dari pelarutan mineral batuan. Eikarbonat (HCO_3) merupakan anion utama dalam airtanah yang berasal dari karbondioksida (CO_2) hasil dekomposisi organik dalam tanah.
13. Kegaraman airtanah bervariasi dari permukaan, tergantung dari : material penyusun akuifer, kelarutan mineral dan waktu kontak; nilainya bertambah tinggi seiring dengan kedalaman airtanah dan sumber material di mana airtanah berada (Todd, 1950)

14. Setiap air termasuk airtanah mengandung CO_2 atau bahan-bahan lainnya, akan mudah melarutkan mineral-mineral karbon, akibat ketersediaan CO_2 dalam airtanah, maka karbonat akan diubah menjadi bikarbonat dapat larut (Brown, 1950).
15. Sifat untuk menyatakan kealkalian (keasaman) yang mempengaruhi kondisi air di bumi disebut sebagai kesadahan air (hem, 1970). Kesadahan air disebabkan oleh logam-logam kation bervalensi dua, seperti : Ca^{2+} , Mg^{2+} , Sr^{2+} , Fe^{2+} dan Mn^{2+} . Kalsium dan magnesium merupakan unsur alkali yang sering menyebabkan sifat kesadahan dalam airtanah. Kation-kation kesadahan tersebut biasanya membentuk senyawa dengan anion-anion terlarut, seperti : CO_3^- , HCO_3^- , CH_3^- , NO_3^- , dan SO_4^- . Kesadahan airtanah biasanya lebih besar dibanding dengan air permukaan.

BENTUK LAHAN SEBAGAI DASAR PENYUSUNAN HIDROMORFOLOGI

1. Bentuklahan merupakan bentangan permukaan lahan yang mempunyai *relief* khas karena pengaruh kuat dari *struktur* kulit bumi dan akibat dari *proses* alam yang bekerja pada *batuan* di dalam *ruang dan waktu* tertentu (Strahler, 1983; Whittoon, 1984). Jadi aspek-aspek penyusun satuan bentuklahan adalah : morfologi, proses termasuk struktural dan litologi, serta kronologi.
2. Aspek-aspek tersebut akan berpengaruh terhadap karakteristik dan agihan airtanah (ketersediaan, gerakan, kualitas, tipe hidrokimia, tipe akuifer dan ketersediaan). Dengan kata lain, bahwa bentuklahan akan mempunyai respon tertentu terhadap airtanah, sehingga satuan bentuklahan dapat dipakai sebagai dasar penyusunan satuan hidromorfologi (Verstappen, 1975; de Rider, 1979; Sutikno, 1989,1992; Langgeng, 1995)
3. Morfologi merupakan aspek yang bersifat pemerian (morfografi) suatu daerah, yang dicerminkan oleh morfometrinya (elevasi, beda tinggi, kemiringan lahan, bentuk lereng, bentuk lembah dan pola aliran). Morfologi merupakan aspek utama penciri bentuklahan. Morfologi suatu daerah akan berpengaruh terhadap kedudukan muka airtanah bebas, karena kedudukan muka airtanah mengikuti pola topografi permukaan.

4. Proses geomorfologi merupakan proses yang mengakibatkan perubahan bentuklahan dalam waktu pendek, serta proses terjadinya bentuklahan yang mencakup morfogenesis, yang meliputi :
 - a. Morfo-struktur pasif, yaitu litologi tipe struktur batuan yang berhubungan dengan tingkat pelapukan batuan
 - b. Morfo-struktur aktif, yaitu tenaga endogen yang mempengaruhi pembentukan permukaan bumi; dan
 - c. Morfo-dinamik, berupa tenaga eksogen yang mempengaruhi perubahan morfologi permukaan bumi.
5. Tingkat pelapukan batuan dan aktivitas proses geomorfologi berupa pentorehan, pengangkutan dan pengendapan material, berkaitan dengan pembentukan zona pelapukan di atas batuan induk, sehingga akan mempengaruhi kapasitas infiltrasi dan perkolasi air ke dalam airtanah. Tingkat pentorehan dan beda tinggi memberikan kesan topografi tertentu (relief) dan topografi berkaitan dengan faktor penerimaan air hujan (*recharge area*).
6. Struktur batuan berkaitan dengan susunan, kemiringan dan jenis batuan penyusun di bawah permukaan bentuklahan. Hal ini akan berpengaruh terhadap arah dan kecepatan gerakan airtanah, kedudukan airtanah dan tipe akuifer. Bergeraknya airtanah dalam batuan akan melarutkan mineral-mineral batuan. Semakin lama airtanah kontak dengan batuan induknya, maka semakin tinggi unsur-unsur atau mineral batuan yang larut dalam airtanah. Hal ini akan berpengaruh terhadap konsentrasi unsur-unsur kimia airtanah, yang sangat menentukan nilai DHL, kualitas dan tipe hidrokimia airtanah.
7. Genesis atau asal-usul daerah akan menentukan stratigrafi dan jenis batuan penyusunnya, yang juga berpengaruh terhadap proses pembentukan bentuklahan. Jenis batuan penyusun juga menentukan koefisien permeabilitas akuifer, sehingga berpengaruh terhadap potensi ketersediaan airtanah. Di samping itu, asal-usul bentuklahan juga akan menentukan asal-usul, keberadaan, dan karakteristik airtanah, khususnya kualitas dan tipe hidrokimia airtanah.

8. Aspek kronologi berkaitan dengan perkembangan atau evolusi bentuklahan, yang sangat menentukan umur bentuklahan. Hal ini tentunya juga akan mempengaruhi perkembangan karakteristik airtanah yang ada di dalamnya.
9. Berdasar pemikiran tersebut, jelas bahwa geomorfologi sangat erat kaitannya dengan lingkungan, yaitu sebagai suatu studi yang mempelajari hubungan antara bentuklahan dengan unsur-unsur bentanglahan lainnya, seperti : batuan, struktur geologi, tanah air, vegetasi dan penggunaan lahan (Verstappen, 1983; Karmono, 1986). Oleh karena itu, bentuklahan dapat dipakai sebagai dasar penyusunan satuan hidromorfologi, yaitu kajian bentuklahan yang berisikan informasi karakteristik airtanah (kedudukan muka freatik, BHL, kualitas airtanah, tipe hidrokimia dan koefisien permeabilitas akuifer) (Sutikno, 1989, 1992; Langgeng, 1995).

KIMIA AIR TANAH

1. Keadaan kimia airtanah secara umum dipengaruhi oleh perbedaan sumber zat terlarut, yang meliputi : gas-gas terlarut, pelapukan erosi batuan yang ditempatinya. Pelarutan atau pengendapan dipengaruhi pula oleh aktivitas mikroorganisme maupun manusia (Hem, 1970). Hal ini menyebabkan keadaan kimia airtanah berubah sesuai dengan perubahan tempat, waktu dan cuaca.
2. Airtanah merupakan air yang menempati rongga-rongga batuan dan sebagai bagian dari siklus hidrologi (Todd, 1980). Dalam siklus hidrologi, pergerakan air mulai dari air hujan hingga aliran airtanah dalam akuifer, akan mengalami perubahan komposisi kimia yang berupa penambahan maupun pengurangan unsur-unsur kimia yang terkandung di dalamnya. Hal ini dipengaruhi oleh faktor-faktor : fisik, kimia, biologi dan lingkungan secara umum.
3. Faktor fisik meliputi cuaca dan keadaan batuan. Di dalam batuan airtanah akan mengalami berbagai proses kimia akibat interaksi antara airtanah dengan batuan yang ditempatinya. Proses tersebut antara lain : pertukaran kation (*cation exchange*), penyerapan (*adsorption*), oksidasi-reduksi, pelarutan atau pemecahan ion, pengendapan mineral dan pencampuran air. Proses-proses tersebut dikendalikan oleh waktu, tipe batuan dan temperatur.

4. Faktor biologis merupakan pengaruh aktivitas makhluk hidup terhadap airtanah, seperti : tumbuh-tumbuhan, hewan, mikroorganismenya sampai aktivitas manusia. Pengaruh tumbuhan berupa : penyerapan terhadap unsur-unsur yang dihasilkan oleh tumbuhan berupa unsur hasil dari proses oksidasi dan pernafasan. Aktivitas hewan dan manusia pada umumnya bersifat negatif, yaitu berupa pencermaman airtanah.
5. Faktor alam merupakan faktor dominan yang mempengaruhi asal-usul dan proses yang mengendalikan komponen air di alam, hingga dapat memberikan gambaran tentang asal-usul airtanah dan proses yang menyertainya hingga keadaan saat ini (Hem, 1970; Walton, 1970; Matthes, 1982). Menurut Todd (1959) dan Dam (1966) dalam Ersin Seyhan (1990), asal muasal air tanah dapat dipergunakan sebagai konsep dasar dalam menggolongkan airtanah ke dalam 4 (empat) tipe, yaitu :
 - a. Air meteorit, yaitu air yang berasal dari atmosfer dan mencapai lintang kejenuhan baik secara langsung oleh perembesan vertikal, maupun tidak langsung oleh perembesan influen (air sungai masuk ke dalam airtanah), kemiringan muka airtanah menyusup di bawah aras air permukaan.
 - b. Air Juvenil, yaitu air baru yang ditambahkan pada lintang dari kerak bumi yang dalam, yang terdiri atas air magma (pada kawasan yang dalam dari permukaan bumi) dan air vulkan, serta air kosmik yang terbawa meteor.
 - c. Air diremajakan (*rejuvenated*), yaitu air yang untuk sementara waktu telah dikeluarkan dari daur hidrologi oleh proses pelapukan atau sebab lain, kembali ke daur lagi dengan proses metamorfosis, pemadatan atau proses serupa lainnya.
 - d. Air konat (*connate water*) atau air fosil, yaitu air yang terjebak pada beberapa batuan sedimen pada saat pembentukan batuan tersebut. Air ini dapat berasal dari air laut ataupun air tawar dan banyak mengandung mineral terlarut, karena telah mengalami pertukaran kation.

Dari keempat jenis genesis airtanah tersebut, pada umumnya yang banyak terjadi dan menimbulkan permasalahan airtanah, khususnya dari segi kualitas adalah air

konat. Hal ini diakibatkan oleh lamanya airtanah terjebak dalam batuan dan kontak dengan batuan penyusunnya, sehingga banyak mineral batuan yang larut ke dalam airtanah dan mengalami pertukaran kation. Airtanah ini umumnya berkualitas buruk, dan tidak baik apabila digunakan untuk kebutuhan rumah tangga (Langgeng, 1995)

PROSES PRESIPITASI

1. Anasir iklim yang sangat berpengaruh terhadap kualitas airtanah adalah curah hujan. Air hujan bukan lagi air murni, karena di dalamnya telah terlarut berbagai zat kimia, terutama yang berwujud gas seperti : SO_x , NO_x , dan CO_x . Bila air hujan ini jatuh ke permukaan bumi, dan meresap ke dalam airtanah, maka komposisi kimia airtanah tersebut terpengaruh oleh air hujan.
2. Komponen terpenting air hujan selain gas-gas tersebut antara lain kandungan zat organik, seperti : Na^+ , K^+ , NH_4^+ , Ca^{3+} , Cl^- , NO_3^- (Junge, 1963 dalam Matthes, 1982). Kandungan unsur-unsur gas dan inorganik tersebut berbeda-beda dari satu tempat ke tempat lain, karena perbedaan lingkungan selama proses sebelum terjadinya hujan, yaitu proses perjalanan uap air di angkasa dari sumber asalnya (dalam hal ini sumber terbesar dari penguapan air laut).

EVAPORASI DAN TRANSPIRASI

1. Anasir iklim lain yang berpengaruh terhadap kimia airtanah adalah temperatur air, dan kenaikan temperatur air menyebabkan terjadinya evaporasi dan transpirasi. Kedua proses ini berpengaruh terhadap konsentrasi kimia dalam air, yang berbanding lurus dengan jumlah air yang diuapkan. Proses evaporasi akan meningkat pada daerah-daerah yang mempunyai iklim kering dengan intensitas penyinaran dan suhu tinggi.
2. Air hujan yang jatuh ke permukaan, sebagian langsung diuapkan sebelum menyentuh permukaan, dan sebagian lagi diuapkan setelah berhubungan dengan batuan atau material permukaan. Akibatnya terjadi pengendapan garam-garam terlarut dalam air hujan, dan proses evaporasi meninggalkan garam yang terinfiltresi/ perkolasi ke dalam airtanah. Semakin tinggi konsentrasi garam yang

dapat larut dalam airtanah, sehingga airtanah dapat berasa asin. Unsur terbesar yang ditinggalkan akibat evaporasi adalah garam sulfat dan klorida yang keduanya merupakan penyebab kesadahan tetap.

PENYERAPAN ION DAN PERTUAKARAN KATION

(ADSORBSION AND CATION EXCHANGE)

1. Penyerapan ion terjadi pada permukaan berbagai macam padatan, baik organik maupun anorganik. Koloid-koloid basalt dan lempung pada struktur kristal yang mengalami proses pergantian ion dengan ion bervalensi lebih rendah, akan mengandung muatan dengan kemampuan yang besar untuk menyerap ion, terutama lempung dengan daerah permukaan yang luas. Karena lempung terbentuk dan terseusun oleh mineral-mineral yang bermuatan negatif, maka mampu menarik kation dengan kuat. Ion-ion yang terserap tersebut, selanjutnya akan menggantikan kedudukan ion-ion yang dilepaskan dari setiap padatan. Proses ini dikenal dengan pertukaran kation.
2. Dalam proses hidrolisis akan selalu terjadi pertukaran ion (*ion exchange*). Ion yang mempunyai daya serap kuat "*exchange*" akan menggantikan ion yang mempunyai daya serap kurang kuat "*exchanged*". Daya pertukaran antara alkali (kation) berdasar besarnya nilai urutan penggantian adalah :

$Cs^+ \quad Rb^+ \quad K^+ \quad Na^+ \quad Li^+$ monovalen (valensi satu)

—————→ Semakin lemah

 Semakin kuat ←—————

$Ba^{2+} \quad Sr^{2+} \quad Ca^{2+} \quad Mg^{2+}$ divalen (valensi dua)

Ion bervalensi dua mempunyai daya serap lebih kuat dari pada ion valensi satu.

Reaksi kimia pertukaran kation secara umum dapat ditulis dalam persamaan kesetimbangan kimia :



Dalam reaksi tersebut nampak bahwa sodium (natrium) terbatas, sedang kalsium terikat dan membentuk senyawa CaX

3. Dalam pertukaran ion terjadi variasi besarnya kapasitas penyerapan, yang tergantung pada besarnya jangkauan dan derajat hidrasi (Hem, 1970). Kapasitas pertukaran kation berbeda-beda untuk setiap mineral, yang dinyatakan dalam miliequivalen/ 100 gram (meq/ 100 gr), seperti tabel berikut (Carrol., 1959 dalam Mitthess, 1982)

Mineral	Kapasitas Tukar Kation (KTK)	Mineral	Kapasitas Tukar Kation (KTK)
Talc	0.2	Glaucanite	11-20
Basalt	0.5-2.8	Diatomite	25-54
Pumice	1.2	Allophane	70
Tuff	32-49	Monmorillonite	70-100
Quartz	0.6-5.3	Vermiculite	100-150
Feldspar	1.0-2.0	Zeolites	230-620
Pyrophyllite	4.0	Leucite	460
Illite	10-40	Neosean	880
Chlorite	10-40	Sodalite	920
Shales	10-41	Cancrinite	1090

4. Proses pertukaran kation akan merubah komposisi kimia airtanah, yang akhirnya juga merubah tipe airtanah. Kation yang sering mengalami pertukaran antara sodium dengan kalsium maka kalsium akan terusir dari lempung dan digantikan oleh sodium. Berkurangnya kandungan kalsium dalam airtanah, mengakibatkan naiknya pH. Hal ini disebabkan karena kalsium dalam air berfungsi sebagai penyangga (*buffer*)

OKSIDASI DAN REDUKSI

1. Proses oksidasi-reduksi merupakan proses penting dalam geokimia, yang bersamaan dengan aktivitas ion hidrogen (H^+) akan menentukan kelarutan atau keterdapatannya unsur-unsur dalam airtanah. Air yang mengalami infiltrasi atau perkolasi akan membawa oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) ke dalam tanah

sebagai hasil pengikatan selama berhubungan dengan atmosfer (Kloosterman, 1986)

2. Proses oksidasi merupakan proses pengikatan oksigen, karena bereaksi dengan suatu mineral dan membentuk senyawa baru. Reaksi oksidasi biasa disebut reaksi pembakaran (memerlukan oksigen). Contoh proses oksidasi besi sulfida :



Reaksi ini menghasilkan FeSO_4 yang bersifat tidak stabil dalam suasana anaerob dan akan mudah tereduksi oleh mikroorganisme.

3. Proses reduksi merupakan reaksi yang melepaskan oksigen. Contohnya adalah reduksi sulfat menjadi sulfur dalam suasana anaerob oleh aktivitas bakteri :



Proses reduksi mengakibatkan berkurangnya kandungan sulfat dalam air. Airtanah bebas sulfat terdapat pada kedalaman > 600 meter (Mithess, 1982). Pada permukaan airtanah relatif lebih kontinyu kontak dengan atmosfer, sehingga tingkat oksidasi dan pelarutan juga lebih kontinyu.

4. Besarnya pH merupakan petunjuk adanya kedua proses diatas. Rendahnya nilai pH sebagian air, biasanya ditentukan oleh adanya lantan gas asam dan oksida dari unsur-unsur sulfur; sedang nilai pH yang tinggi terjadi akibat pelepasan gas asam dan reduksi sulfat.

PELARUTAN

1. Pelarutan adalah proses penguraian suatu senyawa menjadi ion-ionnya, karena senyawa tersebut dimasukkan ke dalam suatu pelarut (solven). Bila solven diuapkan, maka senyawa akan kembali pada wujud semula.
2. Proses pelarutan mineral akan membebaskan ion-ion dari senyawa, akhirnya larut ke dalam airtanah. Contohnya pelarutan mineral karbonat. Oleh karena itu, komposisi kimia airtanah akibat proses pelarutan ditentukan oleh sifat mudah-tidaknya batuan larut dalam airtanah. Contoh pelarutan karbonat (Kloosterman, 1986) :



PENGENDAPAN MINERAL

1. Pengendapan merupakan lawan dari pelarutan, yaitu proses yang terjadi akibat penggabungan ion-ion akibat zat pelarutnya terupakan atau akibat reaksi kimia yang membentuk garam yang tidak mudah larut.
2. Pengendapan mineral akan mempengaruhi tipe kimia airtanah. Mineral yang mudah mengendap selama proses evaporasi anatar lain : kalsit, gypsum, klorida, dan percampuran di antara unsur-unsur tersebut.

PERCAMPURAN AIR

1. Percampuran air dari air-air yang berneda konsentrasinya jelas akan merubah komposisi kimia air yang bercampur tersebut. Percampuran biasanya terjadi pada zona yang mempunyai perbedaan karakteristik, seperti : perbedaan batuan atau lingkungan fisik lainnya.
2. Percampurab air dapat berakibat lebih lajut, yaitu trejadinya reaksi kimia antara unsur-unsur kimia yang terlarut. Contohnya : terjadinya intrusi air laut.