

MINERAL DAN HOMEOSTASIS

(Keseimbangan Ionik dan Tekanan Osmosis)

Hernawati
Jurusan Pendidikan Biologi
FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia
Jl. Dr. Setiabudi No.229 Bandung 40154
Telp./Fax. 022-2001937
Email : hernawati_hidayat@yahoo.com

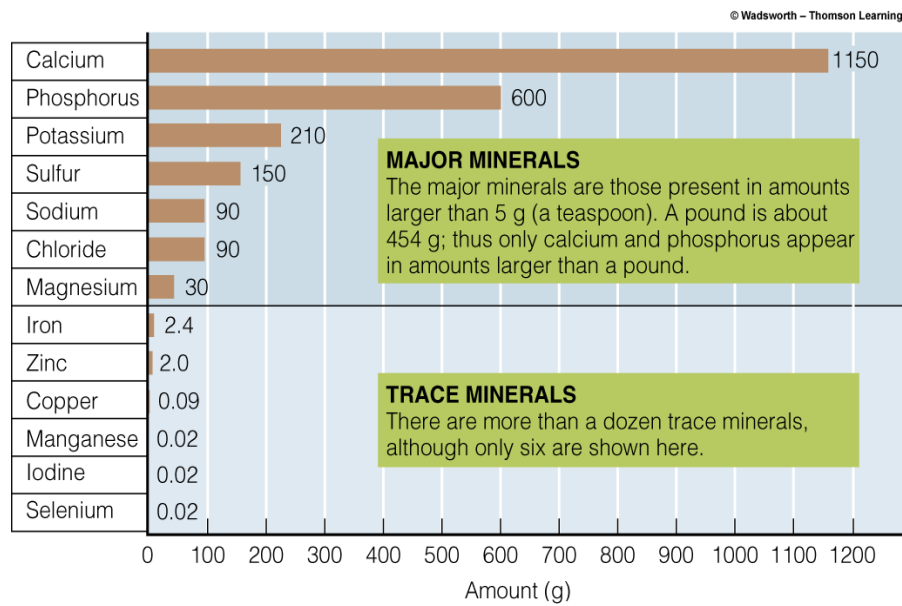
HOMEOSTASIS

Homeostasis adalah suatu keadaan komposisi kimia dan fisiokimia yang konstan pada medium internal organisme. Homeostasis merupakan manifestasi keberadaan sejumlah faktor biologis yang konstan seperti indikasi kuantitatif, karakteristik suatu organisme pada kondisi normal. Termasuk temperatur tubuh, tekanan osmotik pada cairan, konsentrasi ion hidrogen, kandungan protein dan gula, konsentrasi ion dan ratio ion-ion aktif yang berhubungan dengan biologis dan sebagainya. Keberadaan mineral sebagai garam yang larut dalam medium sel, cairan interstitial, darah dan lymph, berperan langsung maupun tidak langsung dalam menjaga parameter-parameter biologis dalam keadaan konstan.

Unsur mineral merupakan salah satu komponen yang sangat diperlukan oleh makhluk hidup di samping karbohidrat, lemak, protein, dan vitamin, juga dikenal sebagai zat anorganik atau kadar abu. Sebagai contoh, bila bahan biologis dibakar, semua senyawa organik akan rusak; sebagian besar karbon berubah menjadi gas karbon dioksida (CO₂), hidrogen menjadi uap air, dan nitrogen menjadi uap nitrogen (N₂). Sebagian besar mineral akan tertinggal dalam bentuk

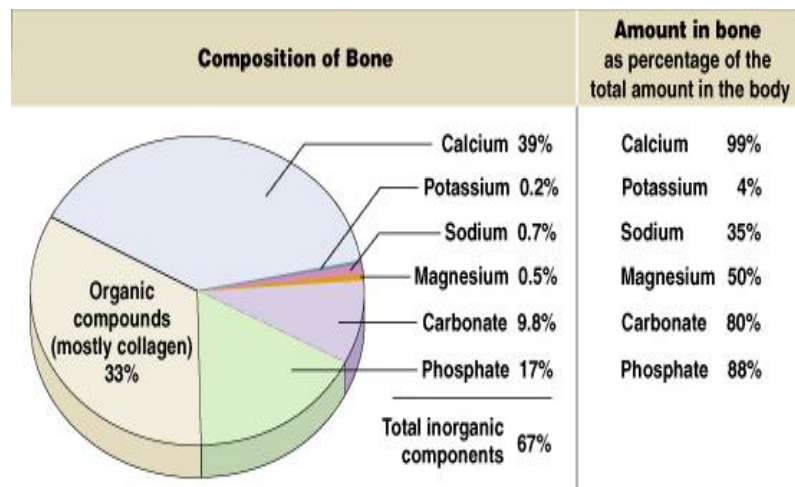
abu dalam bentuk senyawa anorganik sederhana, serta akan terjadi penggabungan antar individu atau dengan oksigen sehingga terbentuk garam anorganik (Davis dan Mertz 1987).

Berbagai unsur anorganik (mineral) terdapat dalam bahan biologi, tetapi tidak atau belum semua mineral tersebut terbukti esensial, sehingga ada mineral esensial dan nonesensial. Mineral esensial yaitu mineral yang sangat diperlukan dalam proses fisiologis makhluk hidup untuk membantu kerja enzim atau pembentukan organ. Unsur-unsur mineral esensial dalam tubuh terdiri atas dua golongan, yaitu mineral makro dan mineral mikro. Mineral makro diperlukan untuk membentuk komponen organ di dalam tubuh. Mineral mikro yaitu mineral yang diperlukan dalam jumlah sangat sedikit dan umumnya terdapat dalam jaringan dengan konsentrasi sangat kecil. Mineral nonesensial adalah logam yang perannya dalam tubuh makhluk hidup belum diketahui dan kandungannya dalam jaringan sangat kecil. Bila kandungannya tinggi dapat merusak organ tubuh makhluk hidup yang bersangkutan. Di samping mengakibatkan keracunan, logam juga dapat menyebabkan penyakit defisiensi (McDonald *et al.* 1988; Spears 1999; Inoue *et al.* 2002).



Gambar 1. Komposisi major mineral dan trace mineral

Beberapa unsur mineral berperan penting dalam penyusunan struktur tubuh, baik untuk perkembangan jaringan keras seperti tulang dan gigi maupun jaringan lunak seperti hati, ginjal, dan otak. Dalam tubuh tulang menyimpan kalsium dalam jumlah yang paling besar dibandingkan dengan mineral-mineral lain. Kalsium adalah mineral yang paling banyak di dalam tubuh. Kandungan mineral dalam tulang dan jumlah total mineral dalam tubuh pada tulang dapat dilihat pada Gambar 2.



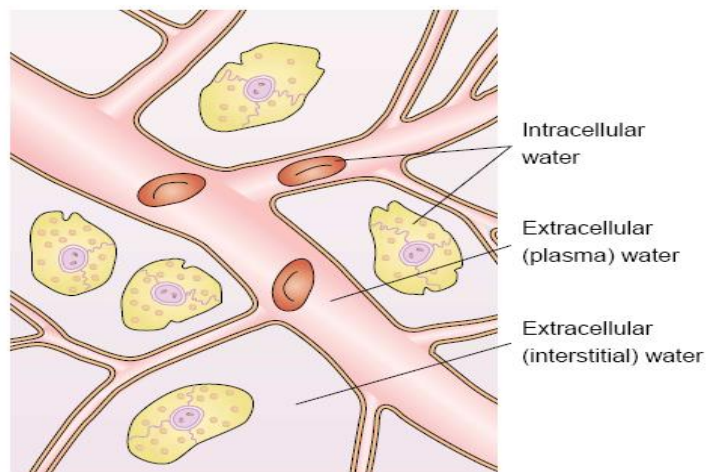
Gambar 2. Kandungan mineral dalam tulang dan jumlah total mineral dalam tubuh pada tulang

Garam mineral ketika berada dalam bentuk cairan sel, baik seluruhnya maupun sebagian berbentuk ion elektron, yaitu kation dan anion. Kation dibentuk oleh metal (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , dll.), sedangkan anion dibentuk oleh residu asam (Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} , H_2PO_4^-). Ion amonium (NH_4^+) termasuk kation, sedangkan asam organik dan protein adalah anion. Pada kondisi normal seluruh cairan di dalam organisme adalah elektrolit netral, dimana jumlah ion positif (kation) ekuivalen dengan jumlah ion negatif (anion). Konsentrasi elektrolit di dalam tubuh biasanya diekspresikan tidak sebagai masa dari substansi per unit volume (mg%), tetapi sebagai milliequivalent per liter (mEq/l). Persamaan untuk ion sederhana yaitu

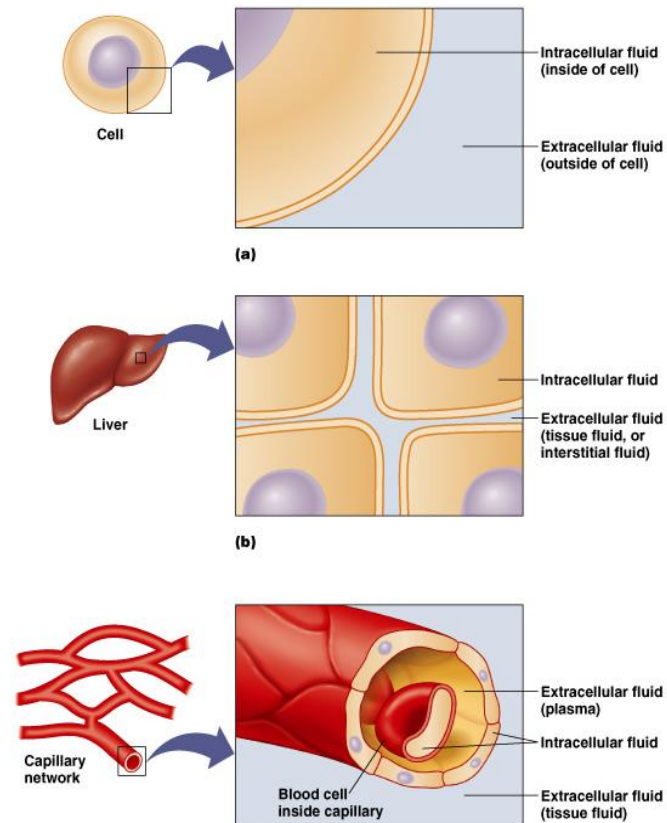
$$\text{mEq/l} = \frac{(\text{mg}\%)(10)(\text{valency})}{\text{berat atom}} \quad ; \quad \text{atau untuk ion HCO}_3^- \quad \text{mEq/l} = \frac{(\text{vol}\%)(\text{CO}_2)(10)}{22.4}$$

Dalam kasus ion kompleks, jumlah milliequivalent dapat dihasilkan dari hubungan valensi.

Air (H_2O) merupakan komponen utama yang paling banyak terdapat di dalam tubuh manusia. Sekitar 60% dari total berat badan orang dewasa terdiri dari air. Namun bergantung kepada kandungan lemak dan otot yang terdapat di dalam tubuh, nilai persentase ini dapat bervariasi antara 50-70% dari total berat badan orang dewasa. Cairan tubuh organisme dapat ditemukan di dalam kompartemen ekstraseluler (plasma dan interstitial) sebesar 1/3 dan intraseluler sebesar 2/3. Kondisi cairan tubuh pada setiap kompartemen tersebut berada dalam keadaan equilibrium dinamik. Rasio kuantitatif dan kualitatif komposisi elektrolit pada bagian membran selalu dipertahankan dalam keadaan equilibrium. Distribusi cairan tubuh selanjutnya dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



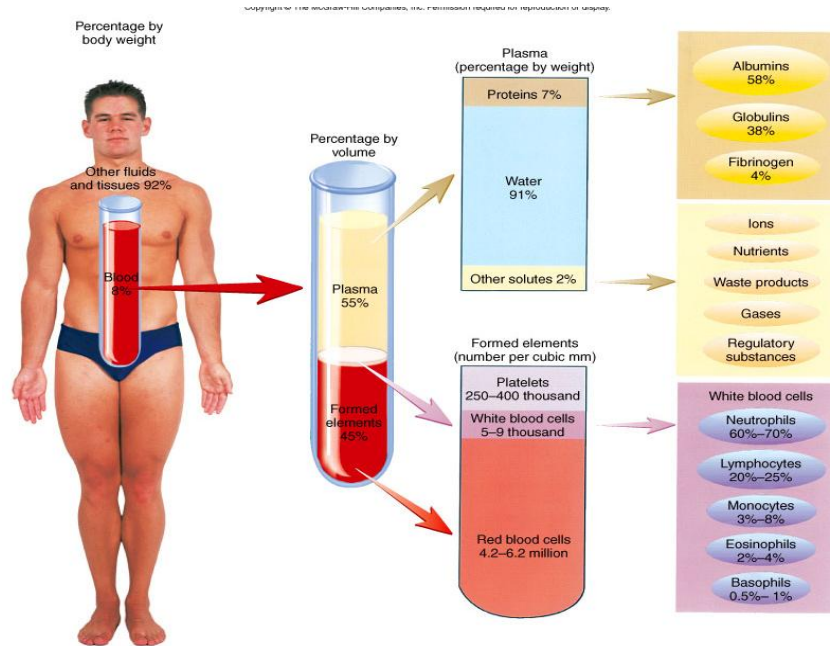
Gambar 3. Distribusi cairan tubuh pada kompartemen ekstraseluler dan intraseluler



Gambar 4. Contoh penampakan cairan ekstraseluler dan intraseluler pada jaringan

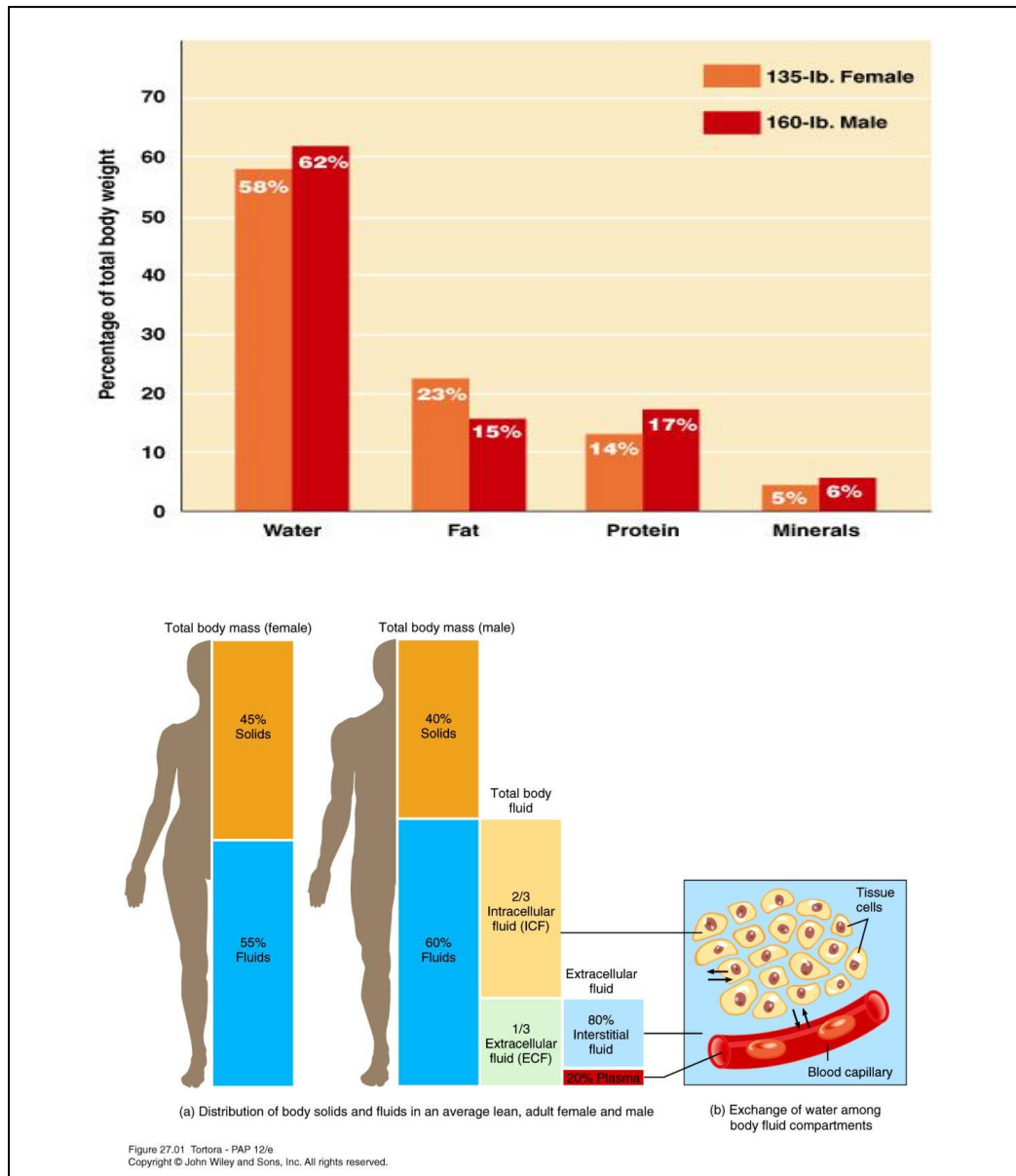
Plasma darah adalah larutan kristaloid yang komponen utamanya adalah sodium klorid, dimana berhubungan dengan ion Na^+ dan Cl^- . Telah dianalisa kira-kira 90% sodium dan 95% potasium berada di dalam plasma. Sejumlah kecil berupa protein dan asam organik. Sebagian besar klorine adalah dalam bentuk ion kloride dan sejumlah kecil terlihat berada disekitar serum albumin. Meskipun hubungan tertutup antara ion Na^+ dan Cl^- (ion-ion konjugate diasosikan dengan elektrolit) tidak berhubungan equivalent. Hal tersebut dijelaskan oleh efek Donnan, bahwa ion-ion protein pada dinding pembuluh mengangkut keluar

dengan cara difusi melewati membran kapiler. Determinasi darah dalam tubuh dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Determinasi darah dalam tubuh

Komposisi cairan tubuh pada manusia berbeda antara laki-laki dan perempuan. Pada laki-laki jaringan lebih sedikit mengandung lemak dan lebih banyak mengandung air, sedangkan pada perempuan sebaliknya. Perbedaan umur juga menunjukkan perbedaan jumlah cairan dalam tubuh, semakin bertambah umur maka cairan tubuh akan semakin banyak dan kandungan lemak semakin sedikit. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Perbedaan komposisi cairan tubuh antara laki-laki dan perempuan

Cairan interseluler (interstitial) adalah ionik equilibrium dengan plasma darah, ultrafiltrat pada plasma yang mengandung sejumlah kecil protein dan konsentrasi terbesar ion-ion Cl^- . Komposisi ion di dalam cairan interseluler dan intraseluler berbeda. Cairan intraseluler mengandung sejumlah besar kation dan anion, bervariasi pada setiap jenis jaringan berbeda (dari 17 mEq/kg di dalam

jaringan otot sampai 203 mEq/kg pada jaringan otak). Meskipun demikian, tidak seperti plasma proporsi ion aktif mungkin lebih tinggi 80%, hal tersebut hanya 35-45% di dalam jaringan. Cairan intraseluler mengandung konsentrasi ion Na^+ , Cl^- , dan HCO_3^- yang rendah. Kandungan yang utama adalah kation K^+ dan Mg^{2+} , anion HPO_4^{2-} dan polielektrolit (protein, asam nukleat, phospholipid, dsb). Suatu alasan dimana elektrolit tidak sama distribusi bentuknya dalam setiap kompartemen sel karena perbedaan di dalam reaksi antara ion dan koloid polielektrolit. Reaksi antara ion dan koloid polielektrolit dideterminasi berdasarkan ukuran dan ion hidrasi. Faktor yang penting pada perbedaan distribusi ion pada dua sisi membran plasma yaitu kekuatan transpor pada sistem pompa (“*pump-type*”). Misalnya pada pompa Na^+/K^+ mempunyai peranan utama dalam menjaga agar K^+ lebih tinggi di dalam sel dan Na^+ lebih tinggi di luar sel

Komposisi elektrolit pada cairan tubuh sangat penting untuk keberlangsungan hidup yang dipresentasikan dalam bentuk ionogram. Pertama kali dibuat oleh Gemble tahun 1951. Ionogram pada plasma dan cairan interseluler pada hewan yang sudah dewasa hampir sama pada spesies berbeda dan tetap tidak berubah pada kondisi kandang dan makanan yang bervariasi. Perbedaan antara kelompok umur lebih jelas, terutama pada hewan ruminansia. Hal tersebut adanya perubahan dalam jenis makanan dan konsekuensinya pada perubahan di dalam komposisi ion pada makanan (pengurangan dalam equivalent fraksi sodium, kalsium, khloride dan fosfat, serta peningkatan dalam fraksi ion

potasium, magnesium dan asam organik). Komposisi ion-ion dalam cairan tubuh dapat dilihat pada Gambar 7.

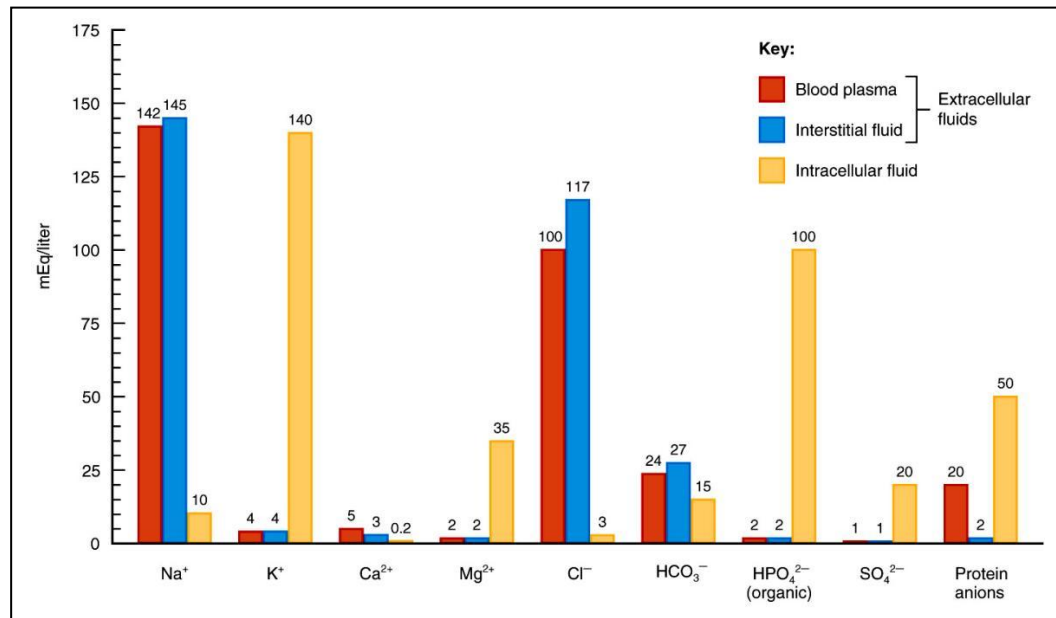


Figure 27.06 Tortora - PAP 12/e
Copyright © John Wiley and Sons, Inc. All rights reserved.

TABLE 33-1 Concentrations of Extracellular and Intracellular Electrolytes in Adults		
Electrolyte	Extracellular Concentration*	Intracellular Concentration*
Sodium	135–145 mEq/L	10–14 mEq/L
Potassium	3.5–5.0 mEq/L	140–150 mEq/L
Chloride	98–106 mEq/L	3–4 mEq/L
Bicarbonate	24–31 mEq/L	7–10 mEq/L
Calcium	8.5–10.5 mg/dL	<1 mEq/L
Phosphate/ phosphorus	2.5–4.5 mg/dL	4 mEq/kg [†]
Magnesium	1.8–3.0 mg/dL	40 mEq/kg [†]

*Values may vary among laboratories, depending on the method of analysis used.

†Values vary among various tissues and with nutritional status.

Gambar 7. Komposisi ion-ion dalam cairan tubuh

Konsentrasi total ion di dalam darah pada hewan ruminansia yang baru lahir adalah sama dengan hewan dewasa, tetapi proporsi ion secara individu berbeda. Di dalam urine terdapat perbedaan secara kualitatif dan kuantitatif. Pada umur kira-kira 6 bulan, ketika fungsi sistem pencernaan menjadi lebih stabil, dan organ-organ ekskresi menjadi berfungsi lebih matang, ionogram dalam dan urine menjadi sama dengan hewan yang dewasa. Ionogram saliva dan susu pada sapi dewasa diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ionogram parotid saliva dan susu pada sapi

Parotid Saliva (mEq/l)				Milk (mEq/l)			
Cations		Anions		Cations		Anions	
Na ⁺	178	HCO ₃ ⁻	104	Na ⁺	23.3	HCO ₃ ⁻	3.4
K ⁺	8	HPO ₄ ²⁻	47	K ⁺	38.3	Cl ⁻	28.2
Ca ²⁺	1	Cl ⁻	17	Ca ²⁺	63.6	HPO ₄ ²⁻	63.8
Mg ²⁺	1	Other ions	20	Mg ²⁺	14.8	SO ₄ ²⁻	2.8
						Organic acids	31.2
						Proteins	10.6
Total	188		188	Total	140		140

TEKANAN OSMOTIK

Ion di dalam cairan tubuh, secara bersama-sama dengan komponen lain, menghasilkan level tekanan osmotik, menjaga equilibrium membran sel, mempengaruhi kondisi koloid jaringan, membantu dalam regulasi equilibrium asam-basa. Di samping itu ion secara individual mempunyai fungsi spesifik di dalam tubuh. Salan satu peranan ion di dalam cairan tubuh yaitu menghasilkan

tekanan osmotik. Osmosis merupakan besarnya difusi cairan dari tempat yang konsentrasi airnya tinggi ke tempat yang konsentrasi airnya lebih rendah. Besarnya tekanan untuk mencegah terjadinya osmosis disebut dengan tekanan osmotik. Skematik tekanan osmotik dapat dilihat pada Gambar 8.

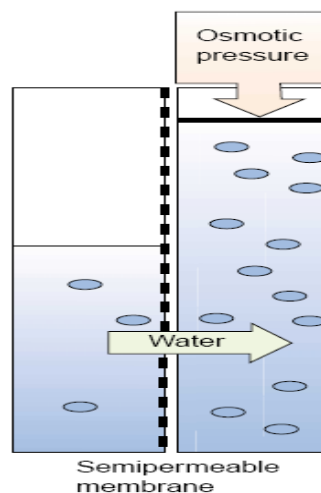


FIGURE 33-2 Movement of water across a semipermeable membrane. Water moves from the side that has fewer nondiffusible particles to the side that has more. The osmotic pressure is equal to the hydrostatic pressure needed to oppose water movement across the membrane.

Gambar 8. Skematik terjadinya tekanan osmotik

Larutan garam menghasilkan tekanan osmotik dalam cairan tubuh. Hal tersebut adalah penting untuk memisahkan ion-ion dalam larutan garam-garam ionik. Peningkatan tekanan osmotik dapat terjadi lebih tinggi pada larutan yang mengandung garam-garam ionik dibandingkan dengan larutan nonelektrolit (urea dan glukosa) di dalam konsentrasi persamaan molar. Hal tersebut fakta bahwa tekanan osmotik dideterminasi oleh seluruh jumlah molekul-molekul yang tidak memisah, partikel koloid dan ion-ion.

Tekanan osmotik dalam organisma adalah faktor fisiologi yang penting dimana membantu pemindahan air dan substansi terlarut di dalam jaringan. Jika komposisi di dalam cairan tubuh diekspresikan di dalam bentuk konsentrasi osmotik dalam suatu equivalent kimia, didapatkan nilai yang sama, kecuali untuk ion polyvalent yang mempunyai pengaruh osmotik yang rendah (Tabel 2)

Tabel 2. Substansi aktif osmolalitas di dalam cairan tubuh

Komponen	Plasma (mmol/l H ₂ O)	Cairan Interseluler (mmol/l H ₂ O)	Cairan Intraseluler (mmol/l H ₂ O)
Na ⁺	144	137	10
K ⁺	5	4.7	141
Ca ²⁺	2.5	2.4	0
Mg ²⁺	1.5	1.4	31
Cl ⁻	107	112.7	4
HCO ₃ ⁻	27	28.3	10
HPO ₄ ⁻ , HPO ₄ ²⁻	2	2	11
SO ₄ ²⁻	0.5	0.5	1
Glukosa	5.6	5.6	-
Protein	1.2	0.2	4
Urea	4	4	4
Subs. Organik lain	3.4	4.4	86.2
Total	303.7	302.2	302.2
Keseluruhan tekanan osmotik pada 37 ⁰ C, mmHg	5455	5430	5430

Dapat dilihat pada Tabel 2. bahwa seluruh level tekanan osmotik di dalam cairan ekstraseluler dijaga keseimbangannya oleh adanya ion-ion sodium, klorin, dan bicarbonat dalam jumlah yang besar. Pada cairan intraseluler terjaga keseimbangannya terutama oleh adanya ion-ion potasium, magnesium dan substansi organik dalam jumlah yang besar. Osmotik yang sebenarnya mempengaruhi cairan tubuh kira-kira 93% secara teori nilai dihitung dari

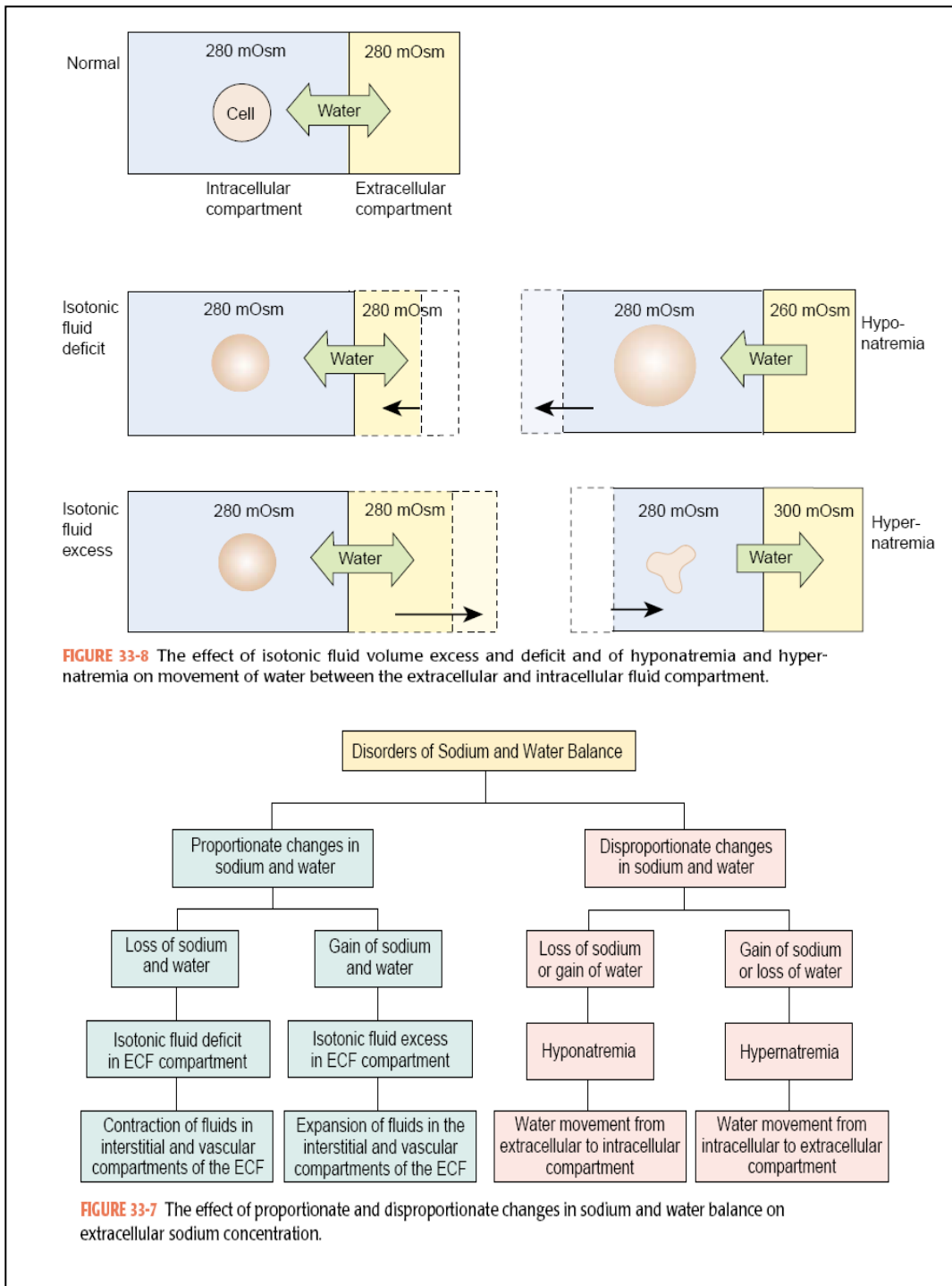
komposisi kimia, kekuatan tarikan intermolekular dan interionik. Aktivitas osmotik tubuh dalam seluruh cairan tubuh di perkirakan sama, kecuali untuk perbedaan yang kecil antara plasma dan cairan interseluler. Perbedaan terutama pada tekanan *oncotic (swelling)* protein plasma, kira-kira hanya 1/200th dari tekanan osmotik total, yaitu mempunyai fungsi untuk menjaga volume darah dan tekanan darah konstan.

Tekanan osmotik pada darah merupakan ekspresi tekanan atmosfer , adalah 7-8 atm. Dalam bentuk equivalen konsentrasi NaCl, darah mamalia mempunyai tekanan osmotik 0,90 %, pada burung 0,93-0,95% dan pada hewan berdarah dingin (*cold-blooded*) 0,70%. Tekanan osmotik mempunyai perubahan yang jelas pada saat terjadi tahanan (retensi) cairan di dalam tubuh, atau pengeluaran (eliminasi) dari dalam tubuh. Pengambilan sejumlah air diteruskan dengan pengeluaran substansi aktif osmotik (terutama NaCl) terjadi melalui ginjal dan kelenjar keringat. Tekanan osmotik pada urin hewan tidak konstan, tetapi berfluktuasi dengan batas yang sedang, bergantung pada konsentrasi sodium klorid. Indikasi kelebihan garam dikeluarkan melalui urin. Tekanan osmotik pada keringat juga bervariasi, tetapi selalu lebih rendah dibandingkan dengan darah. Tekanan osmotik sering terjadi lebih tinggi pada aliran darah.

Jika makanan mengandung sejumlah kelebihan garam, kandungan NaCl di dalam plasma meningkat, dan juga tekanan osmotik meningkat. Plasma menjadi hipertonik, sebagai akibat air melewati dari cairan interstitial ke dalam darah. Ketika itu garam berpindah di bagian intraseluler ke bagian ekstraseluler. Akibatnya konsentrasi ion meningkat di dalam area ekstraseluler. Konsentrasi

kristaloid dan tekanan osmotik di seluruh cairan tubuh pada fase hipertonik meningkat, seiring volume cairan intraseluler menurun. Kondisi ginjal menjadi kompleks yaitu dengan resorpsi ion Na^+ rendah, pengeluaran melalui urine meningkat. Pada saat yang sama kandungan urea dan klorid di dalam urin meningkat.

Jika garam defisien di dalam makanan, plasma darah menjadi hipotonik. Air mulai melewati dari plasma ke dalam ruang interstitial, ketika garam melewati pada arah yang berlawanan. Akibatnya cairan intraseluler menjadi lebih kental; air menembus di dalam sel tanpa garam lewat keluar dari bagian tersebut. Tekanan osmotik di dalam seluruh cairan tubuh menjadi menurun, volume cairan intraseluler meningkat (sel mengalami turgor), ketika volume cairan ekstraseluler menurun. Ion Na^+ dan Cl^- sepenuhnya diserap di dalam ginjal. Defisiensi sodium akan mengganggu fungsi ginjal; filtrasi glomerulus menurun secara tajam, dengan konsekuensi retensi urea di dalam darah. Dalam waktu yang lama defisiensi garam, mekanisme pengaturan tidak menjaga homeostasis lebih lama, dan hewan akan mati. Skematik keadaan hyponatremia dan hiponatremia dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Skematik keadaan hyponatremia dan hypernatremia antara kompartemen cairan ekstraseluler dan intraseluler

DAFTAR PUSTAKA

- Davis, G.K. and W. Mertz. 1987. Copper. p. 301– 364. *In* W. Mertz (Ed.) Trace Elements in Human and Animal Nutrition. Academic Press, Inc. San Diego, CA.
- Georgievskii VI. 1982. General Information on Minerals. In : Georgievskii VI, Annekov BN, Samokhin VT. Mineral Nutrition of Animal. London : Butterworth.
- Inoue, Y., T. Osawa, A. Matsui, Y. Asai, Y. Murakami, T. Matsui, and H. Yano. 2002. Changes of serum mineral concentration in horses during exercise. *Asian Aust. J. Anim. Sci.* 15(4): 531–536.
- McDonald, P., R.A. Edwards, and J.F.D. Greenhalgh. 1988. *Animal Nutrition*. John Willey and Sons Inc., New York. p. 96–105.
- Spears, J.W. 1999. Reevaluation of the metabolic essentiality of minerals. *Asian Aust. J. Anim. Sci.* 12(6): 1.002–1.008.
- Tortora GJ and Derirkson. 2009. *Principles of Anatomy and Physiology*. John Wiley & Sons, Inc.