

Air, pH & Elektrolit

Oleh : Suyatno, Ir. M.Kes

(Bagian Gizi - FKM UNDIP Semarang)

Contact:

Hp. 08122815730

Blog : suyatno.blog.undip.ac.id

E-mail: suyatno_undip@yahoo.com

Pendahuluan

Air dapat dianggap sebagai unsur makanan yang paling penting.

Manusia dapat hidup tanpa makanan selama 20 sampai 40 hari, tetapi tanpa air manusia mati dalam 4 sampai 7 hari.

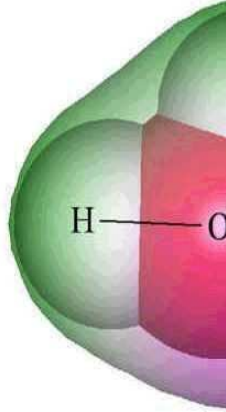
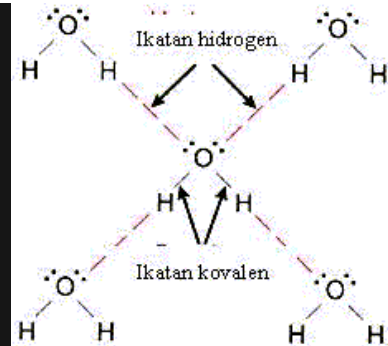
Lebih dari 60 persen berat tubuh manusia terdiri dari air (M > F)

Sekitar 61 persen adalah intraselular dan sisanya ekstra selular (termasuk plasma + 25%)

Fungsi

- Air: media semua reaksi kimia biomolekul organik & anorganik polar dlm sel hidup
- Air melarutkan & mengubah struktur biomolekul (asam nukleat, protein & karbohidrat) membentuk ikatan hidrogen dengan gugus fungsional polarnya
- Biomolekul non-polar (spt lipid) mengubah struktur air
- Mekanisme homeostasis → mempertahankan lingkungan intrasel tetap konstan (pH, volume cairan & elektrolit/mineral)

Sifat Kimia



Air → pelarut biologis ideal

- * bentuk molekul: tetrahedron
- * molekul membentuk dipol (muatan listrik/ elektron tersebar sama)
- * membentuk ikatan hidrogen
 - ikatan paling lemah
 - berpotensi menguraikan molekul lain

Air terdissosiasi membentuk proton/ ion hidrogen (H^+) & ion hidroksil (OH^-)

Properties of water

Very polar
(bipolar)

Tetrahedron form
Oxygen is highly
electronegative

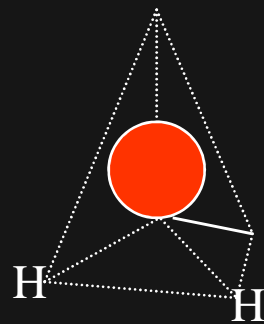
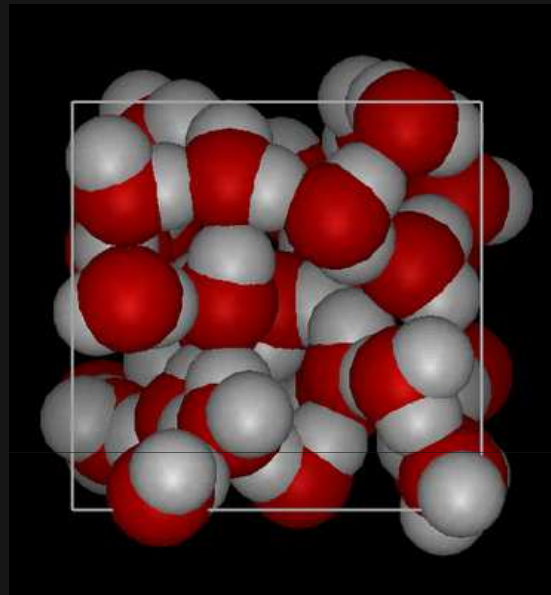
H-bond donor and acceptor

Heat of vaporization,

Viscosity ++

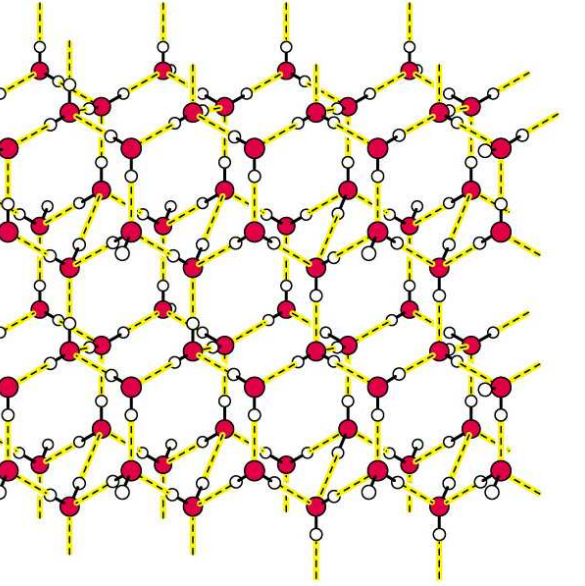
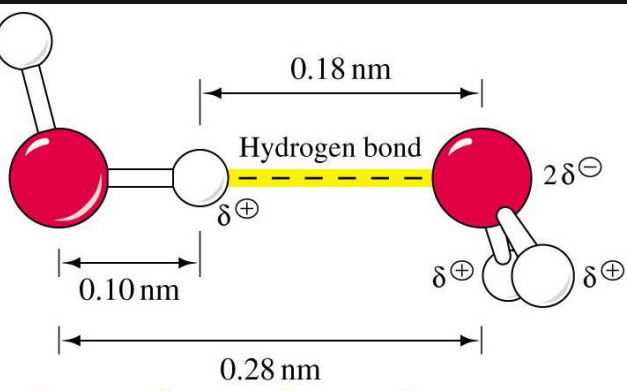
Surface tension ++

} liquid

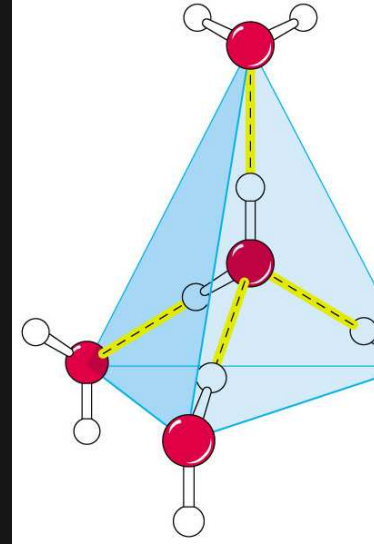


Hydrogen Bonding of Water

One H₂O molecule can associate with 4 other H₂O molecules



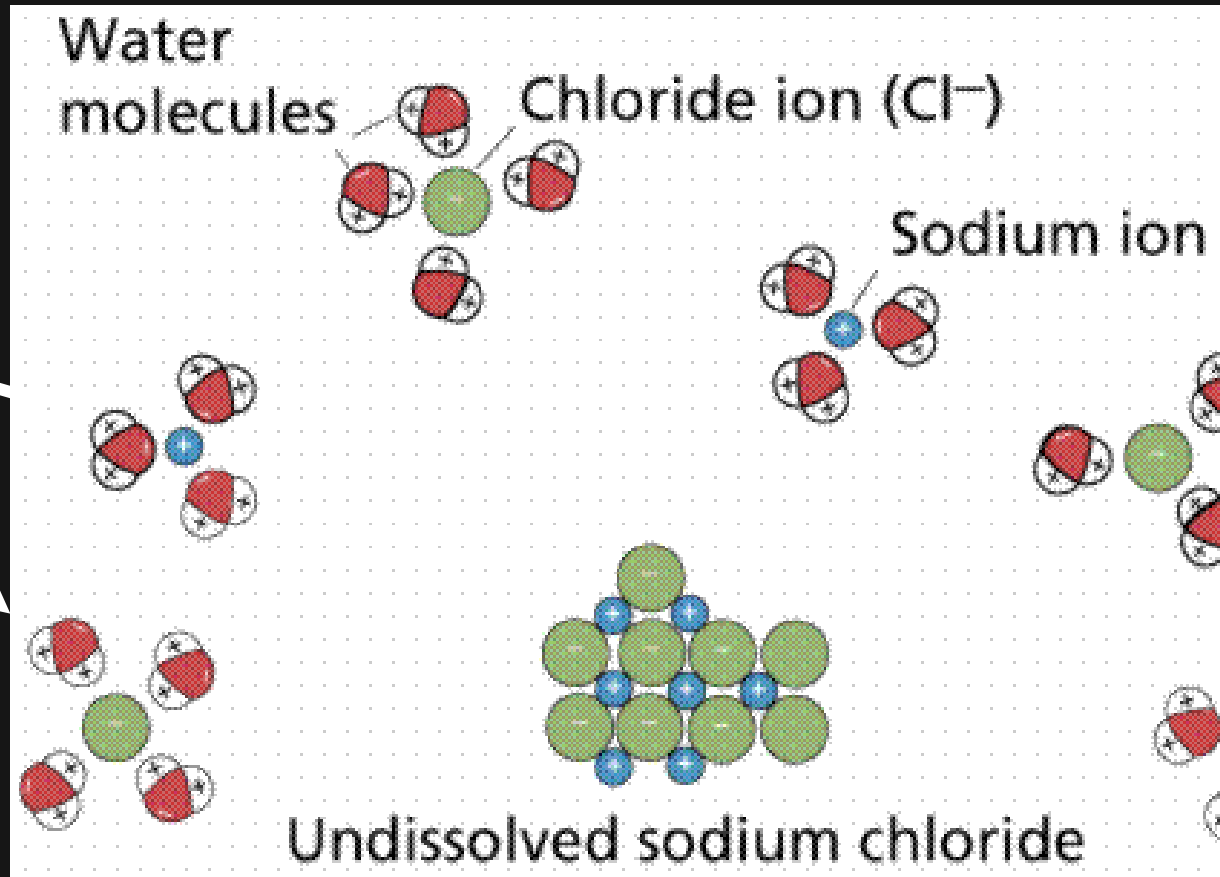
Crystal lattice of ice



- Ice: 4 H-bonds per water molecule
- Water: 2.3 H-bonds per water molecule

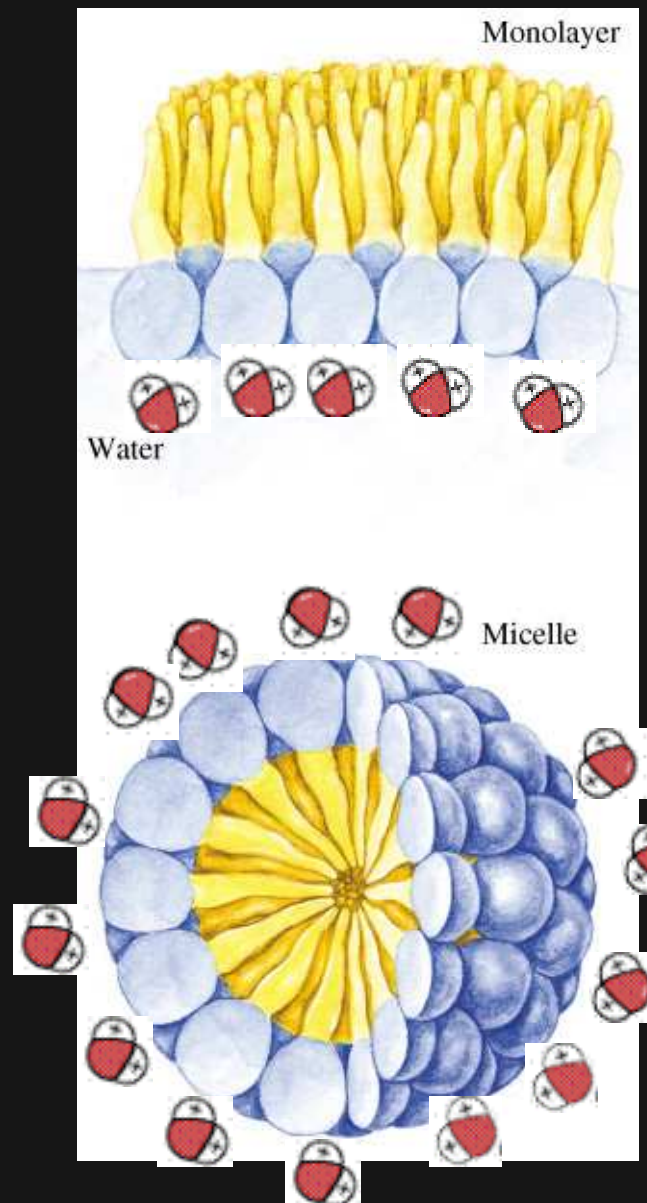
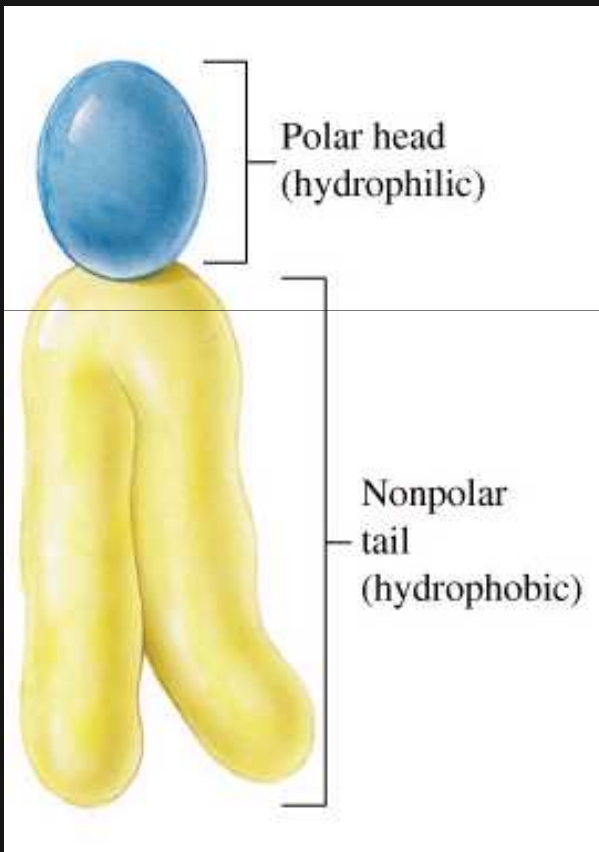
Water dissolves polar compounds

Hydration shell
or
solvation shell



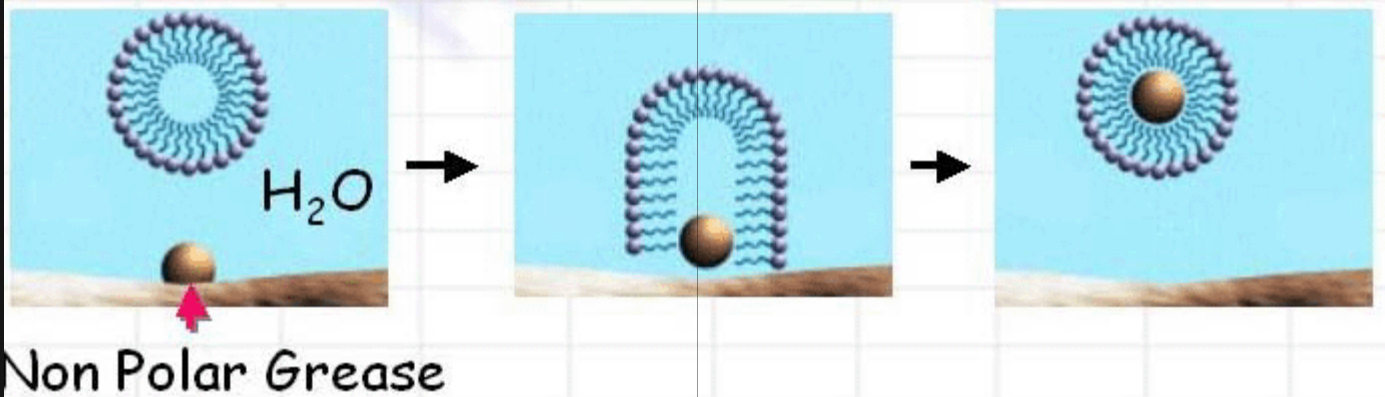
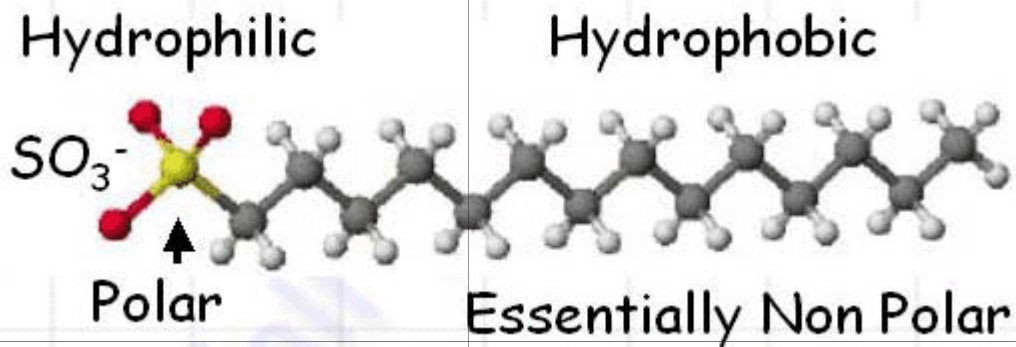
Non-polar substances are insoluble in water

Many lipids are amphipathic



How detergents work?

Micelle Action



Biological Hydrogen Bonds

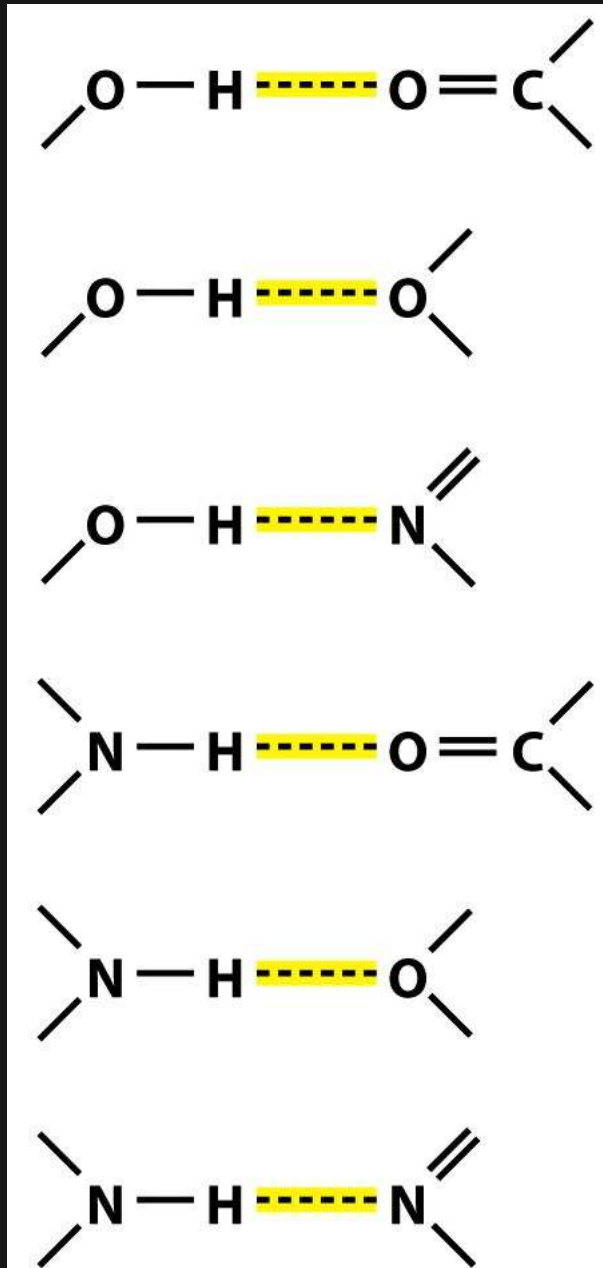
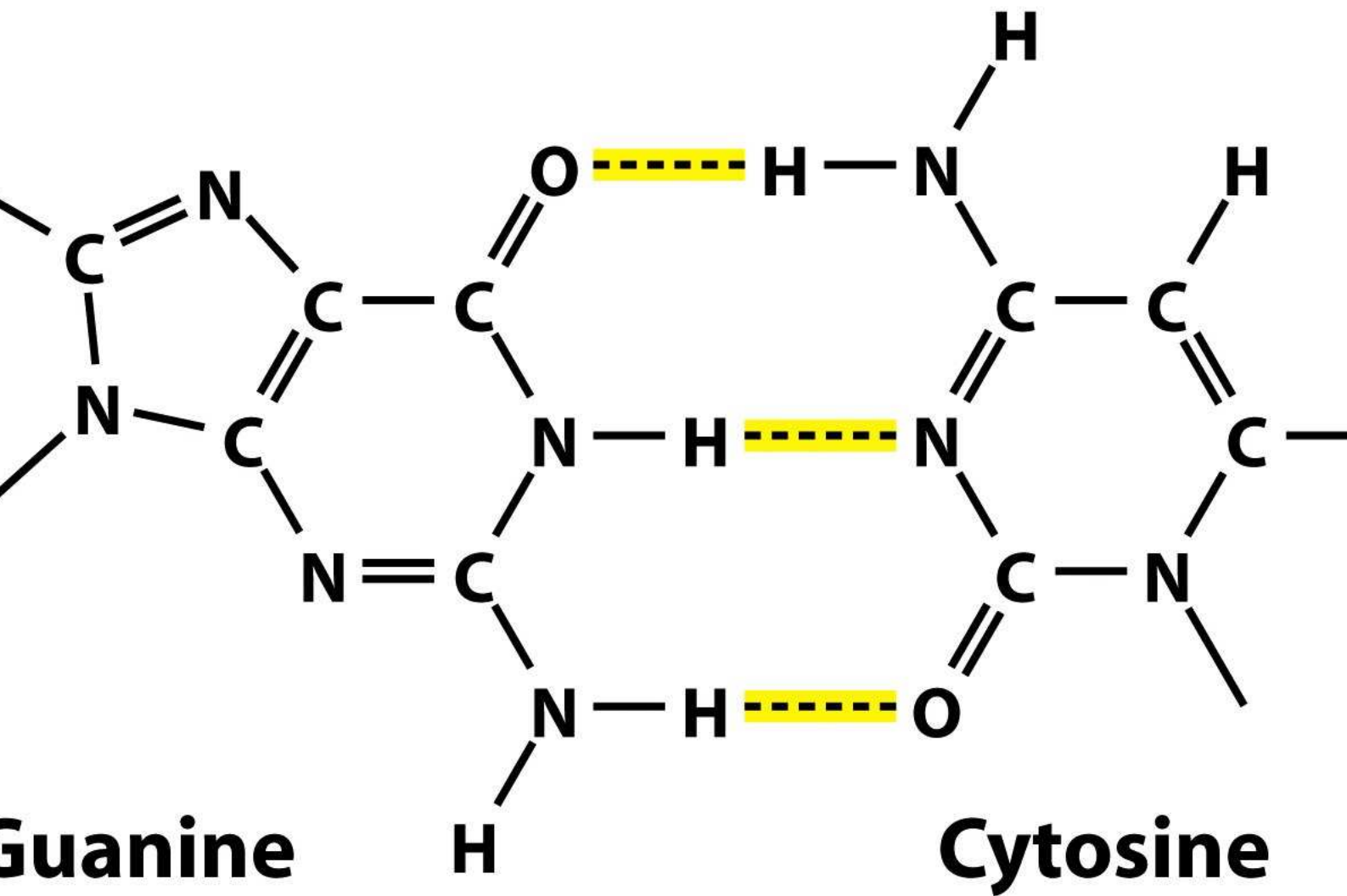
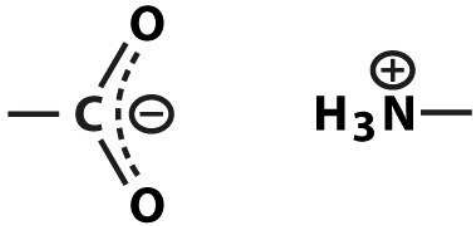


Figure 2-10b Principles of Biochemistry, 4/e
© 2006 Pearson Prentice Hall, Inc.



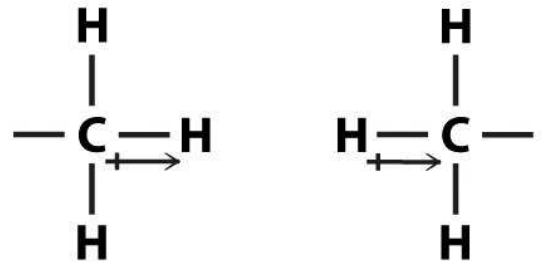
non-covalent interactions



Charge-charge interaction
~40 to 200 kJ mol⁻¹



Hydrogen bond
~2 to 20 kJ mol⁻¹



van der Waals interaction
~0.4 to 4 kJ mol⁻¹

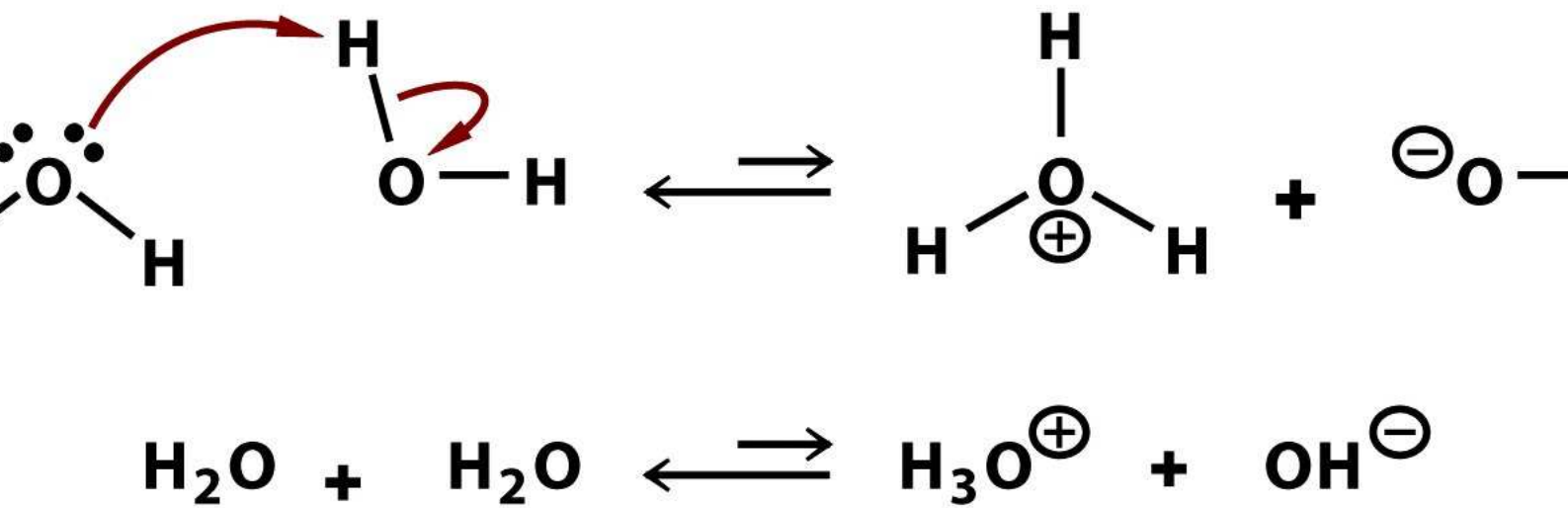


Hydrophobic interaction
~3 to 10 kJ mol⁻¹

Relative Bond Strengths

<u>Bond type</u>	<u>kJ/mole</u>
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_3$	88
H-H	104
ionic	40 to 200
H-bond	2 - 20
Hydrophobic interaction	3 -10
van der Waals	0.4 - 4

Ionization of Water



bered figure pg 38 Principles of Biochemistry, 4/e
Pearson Prentice Hall, Inc.

Ionization of Water



$$K_{\text{eq}} = \frac{[\text{H}^+][\text{OH}^-]}{[\text{H}_2\text{O}]}$$

$$K_{\text{eq}} = 1.8 \times 10^{-16} \text{ M}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] = 55.5 \text{ M}$$

$$[\text{H}_2\text{O}] K_{\text{eq}} = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$$

$$(1.8 \times 10^{-16} \text{ M})(55.5 \text{ M}) = [\text{H}^+][\text{OH}^-]$$

$$1.0 \times 10^{-14} \text{ M}^2 = [\text{H}^+][\text{OH}^-] = K_w$$

$$\text{If } [\text{H}^+] = [\text{OH}^-] \text{ then } [\text{H}^+] = 1.0 \times 10^{-7}$$

$$K_w = \text{pH} + \text{pOH} = 14$$

= konstanta disosiasi: kecenderungan asam & basa lemah untuk terionisasi

pH Air

Devised by Sorenson (1902)

[H+] can range:

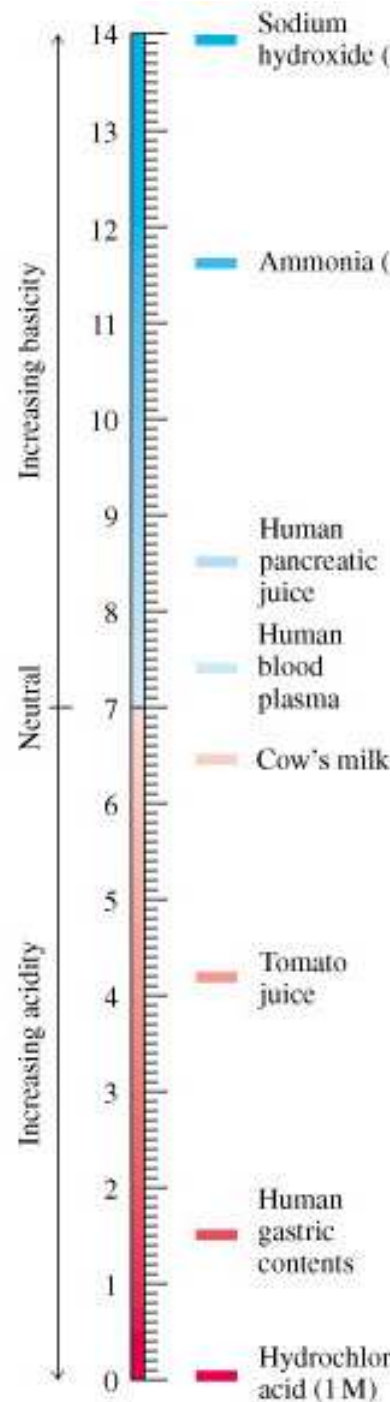
from 1M and 1×10^{-14} M

using a log scale simplifies notation

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

$$\begin{aligned} \text{Water: } \text{pH} &= -\log[\text{H}^+] = -\log 10^{-7} \\ &= -(-7) = 7 \end{aligned}$$

Neutral pH = 7.0



Komposisi dalam tubuh

- Mencapai 50-60% berat badan → 67% di intrasel, 33% di ekstrasel
- Distribusi cairan dlm tubuh ditentukan oleh tekanan osmotik.
- Tekanan osmotik diperlihatkan oleh:
 1. Senyawa organik BM tinggi (c/ protein)
 2. Senyawa organik BM kecil, jmlh besar (c/ glukosa)
 3. Ion Na^+ di ekstrasel & K^+ di intrasel

Faktor yang mempengaruhi

Jumlah cairan tubuh dipengaruhi oleh:
umur, aktivitas, & tekanan hidrostatik

Keseimbangan cairan: Input cairan \approx output cairan

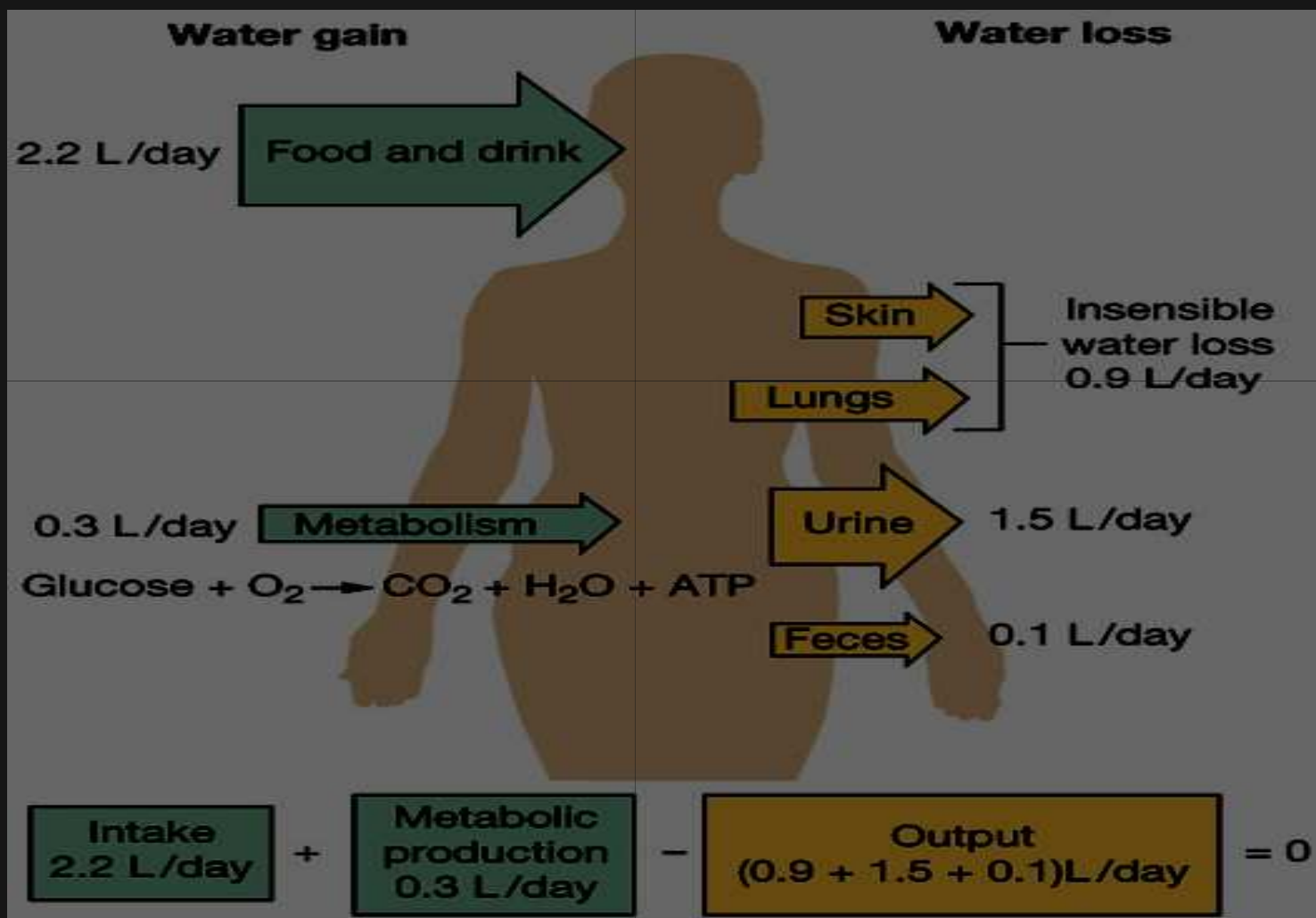
Jalur pembuangan air saling berhubungan

c/ udara panas: keringat $>$, urin $<$

udara dingin: keringat $<$, urin $>$

Air oksidasi: 0,6 gr air/gr KH; 1,07 gr air/gr lemak; 0,41 gr air/gr protein

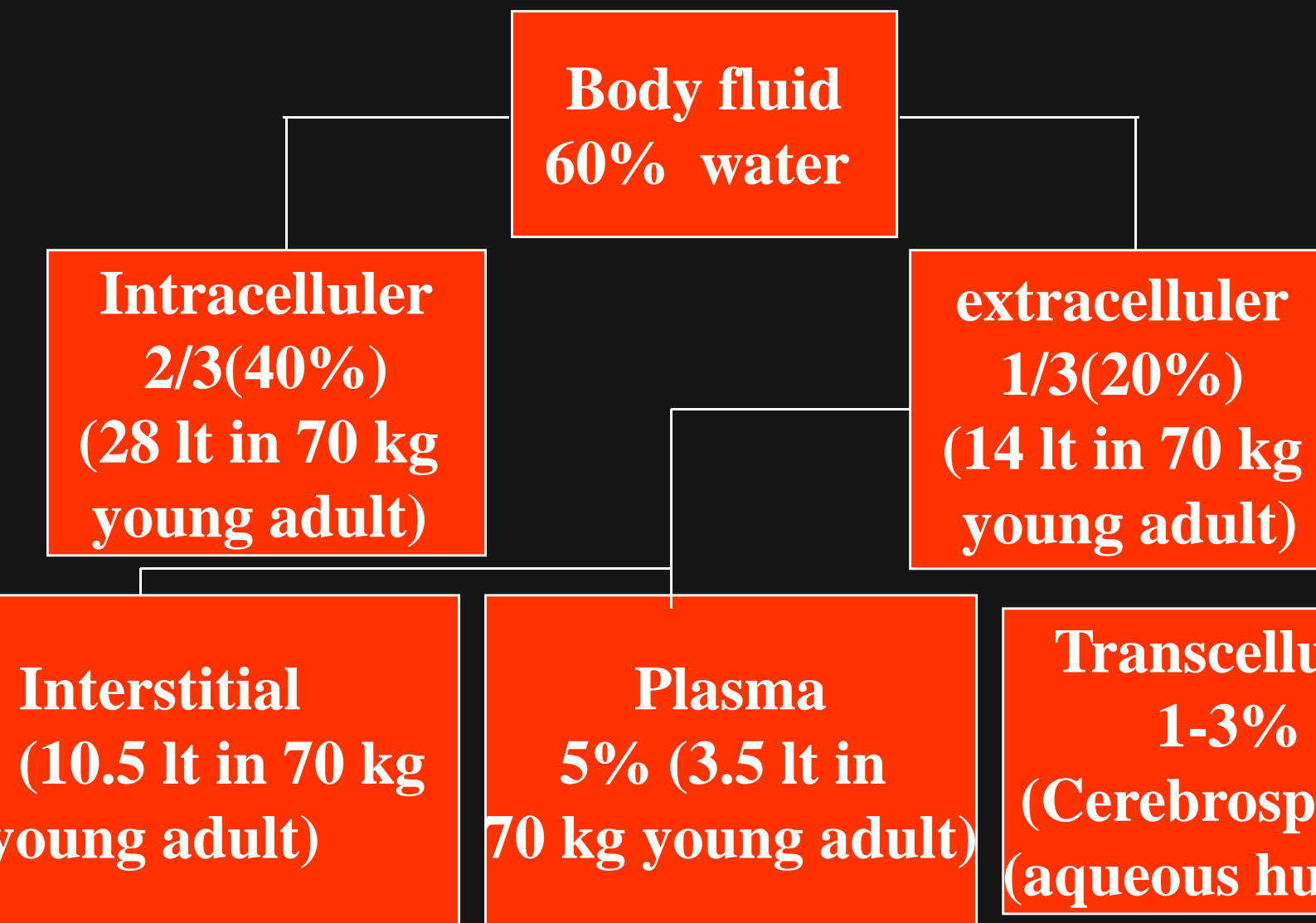
Keseimbangan air dalam tubuh



Pengaturan

- Depend on:
 - Hypothalamus controls thirst sensations.
 - Anti diuretic hypofise hormone (ADH)
 - The kidneys regulate water retention and excretion
- Water depletion & over fluid disturb water Homeostasis
- Water depletion:
 - low intake
 - Loss (perspiration excessive, DM polyurea, diarrhea)
- Over fluid/Water:
 - Intake increase (infusion excessive etc)
 - Low excrete (kidney failure)

BODY FLUID VOLUME



PROSENTASE TOTAL CAIRAN TUBUH DIBANDINGKAN BERAT BADAN

Umur	Total cairan tubuh (%) terhadap BB
Bayi BL	77
6 Bulan	72
2 Tahun	60
16 Tahun	60
20-39 Tahun: Pria/Wanita	60/50
40-59 Tahun: Pria/Wanita	55/47

pH

- $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ → pada air murni $\text{pH}=7$
→ pH rendah = $[\text{H}^+]$ tinggi;
pH tinggi = $[\text{H}^+]$ rendah
- Asam → donor proton; basa → akseptor proton
- Asam/ basa kuat (HCl , H_2SO_4 / NaOH , KOH): larutan asam/basa yang terdissosiasi secara lengkap
- Asam/ basa lemah : larutan asam/ basa yang terdissosiasi sebagian
- Sebagian besar zat biokimia asam lemah → sistem dapar/buffer/ penyangga: mencegah perubahan pH jika terjadi produksi atau konsumsi proton
- Sistem dapar fisiologis: bikarbonat, orthofosfat, & protein

SISTEM BUFFER

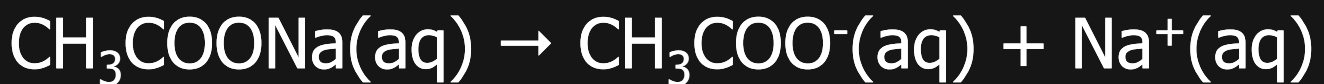
Merupakan larutan yang terbentuk dari hasil pencampuran asam lemah atau basa lemah dengan garamnya.

Kapasitas buffer menyatakan kemampuan maksimum sistem buffer untuk mempertahankan pH.

Fungsi sistem buffer merupakan bagian dari mekanisme homeostatis tubuh untuk menjaga pH

Larutan Buffer

alam campuran asam etanoat dan natrium etanoat, garam natrium etanoat terionisasi sempurna

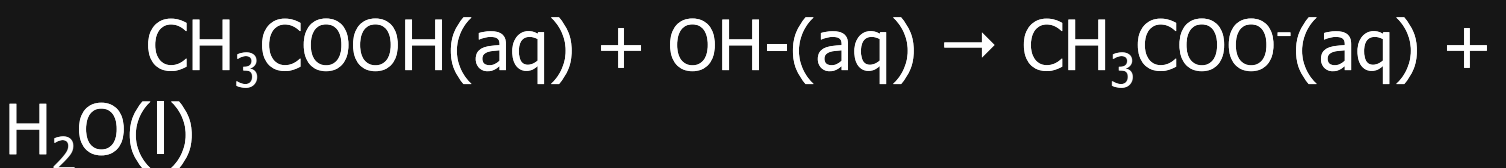


ika H^+ ditambahkan kedalamnya, ia bereaksi dengan ion CH_3COO^-



arena CH_3COOH adalah asam lemah, keseluruhan H^+ dihilangkan dari larutan.

ika OH^- ditambahkan, maka :



hingga keseluruhan OH^- dihilangkan dari larutan

SISTEM BUFFER DARAH

- pH normal darah 7,35 – 7,45
- Buffer yang terdapat dalam darah :
 1. Buffer bikarbonat
 2. Buffer fosfat
 3. Buffer protein
 4. Buffer hemoglobin.

Buffer Bikarbonat dan karbonat

- Bekerja efektif sampai pH 7.4
- Sangat baik pada penambahan asam
- $\text{HCO}_3^- / \text{H}_2\text{CO}_3$

2. Buffer Fosfat

- Bekerja efektif pada penambahan asam
- Konsentrasi relatif rendah
- Kurang berperan dalam plasma
- $\text{HPO}_4^{2-} / \text{H}_2\text{PO}_4^-$

3. Buffer Protein

- Asam lemah : Asam glutamat, asam aspartat
- Basa lemah : lysin, arginin, histidin
- Kurang berperan

4. Buffer hemoglobin

- Bentuk hemoglobin yang berperan membentuk sistem bufer
 1. Oksihemoglobin (HHbO_2)
 2. Deoksihemoglobin (HHb)

Gangguan Keseimbangan

Asidosis : pH blood < 7,35

- diabetic Ketoacidosis
- lactic Acidosis

Alkalosis: pH blood > 7,45

- Vomit
- Use diuretic preparat

Acids and Bases Equilibria indicate by:

- pH value of artery blood
- CO₂ content in vena blood

Alat kompensasi tubuh

Mekanisme di dlm tubuh harus mampu mempertahankan pH darah dalam rentang normal → mekanisme kompensasi, melalui:

- Sistem dapar/buffer darah
- Sistem respirasi
- Sistem ekskresi ml ginjal

Sistem dapar darah

- Darah mengandung sistem dapar : asam karbonat/garam bikarbonat

Persamaan Henderson Hasselbach:

$$\text{pH} = \text{pKa} + \log \frac{\text{kadar B+} \cdot \text{HCO}_3^-}{\text{kadar H+} \cdot \text{HCO}_3^-} \quad \text{untuk pH darah 7,4}$$

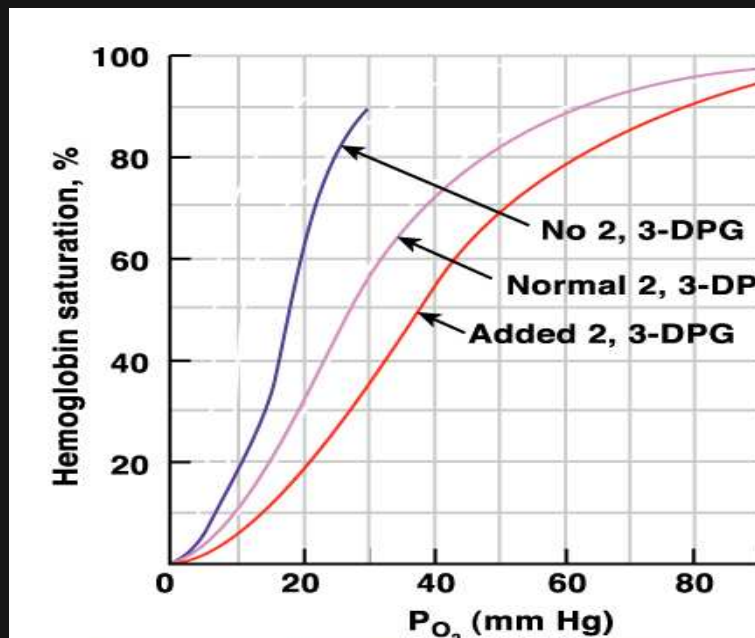
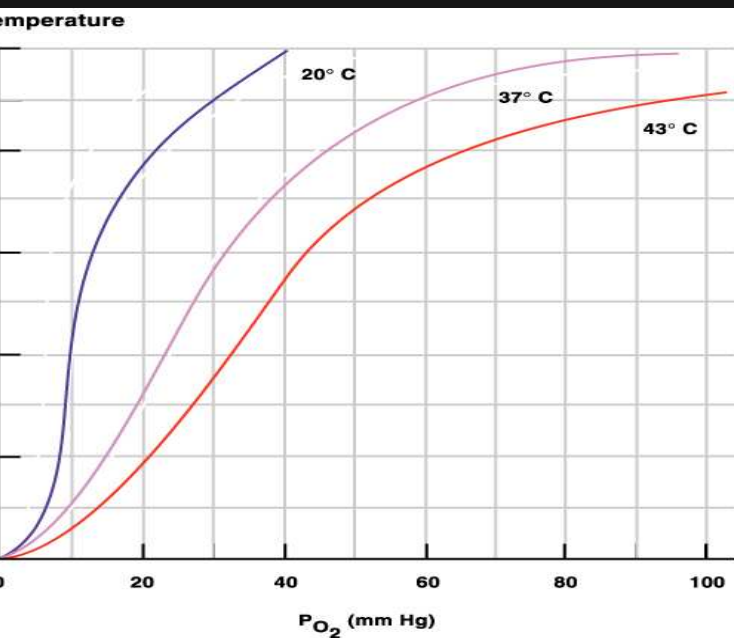
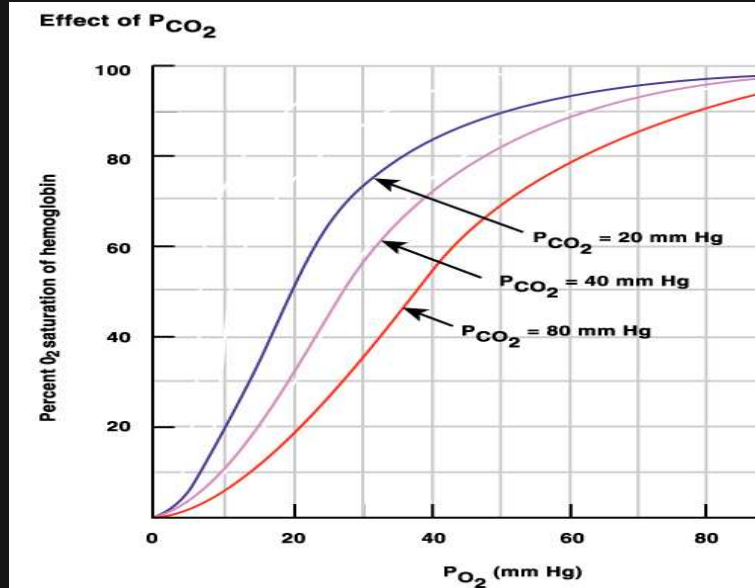
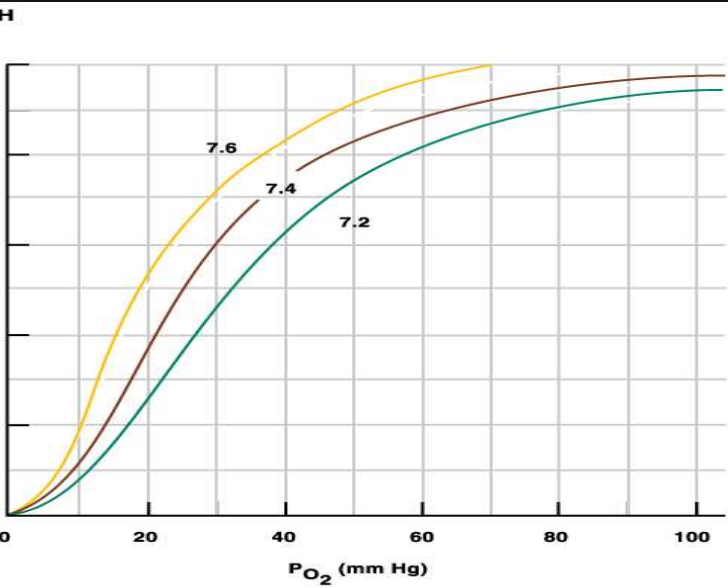
$$7,4 = 6.1 + \log \frac{\text{kadar B+} \cdot \text{HCO}_3^-}{\text{kadar H+} \cdot \text{HCO}_3^-} \quad \rightarrow \text{nilai rasio Garam: Asam} = 20:1$$

- Untuk mempertahankan pH darah tetap normal (7,4) diperlukan perbandingan kadar garam bikarbonat: kadar asam karbonat = 20:1

Sistem Pernapasan

- Melibatkan:
 1. pemasukan O₂ & pelepasan CO₂ di alveoli
 2. Transportasi O₂ dari alveoli ke jaringan
 3. Transportasi CO₂ dari jaringan ke alveoli
- Ditentukan oleh proses difusi udara → tekanan parsial gas di udara pernapasan (pO₂ & pCO₂)
- Transportasi O₂ dlm darah berbentuk:
 1. gas larut dlm plasma (sedikit)
 2. O₂ terikat hemoglobin (HbO₂)
- Transportasi CO₂ dlm darah berbentuk:
 1. gas larut dlm plasma (sedikit)
 2. asam karbonat, larut dlm plasma (sedikit)
 3. ikatan karbamino dg protein darah termasuk Hb (20%)
 4. garam bikarbonat (70%)

Kurva disosiasi Hb-Oksi



Respiratory Exchange (Respiratory Quotient)

Perbandingan antara banyaknya CO₂ yang dihasilkan dan banyaknya O₂ yang digunakan untuk pembakaran nutrien (KH, lemak, protein)

$$RQ = \frac{\text{CO}_2 \text{ yg dihasilkan}}{\text{O}_2 \text{ yg digunakan}}$$

RQ karbohidrat = 1,00, artinya untuk menghasilkan 100 molekul CO₂ diperlukan 100 molekul O₂ dalam metabolisme karbohidrat. RQ lemak 0,7 dan RQ protein 0,82.

Chloride shift

Gerakan ion Cl^- yg mengimbangi gerakan ion HCO_3^- dari atau ke plasma darah/ sel darah merah pd proses transportasi

Chloride shift di kapiler jaringan berlawanan dg arah chloride shift di kapiler alveoli

Peranan Sistem Pernapasan dlm Keseimbangan Asam-Bas

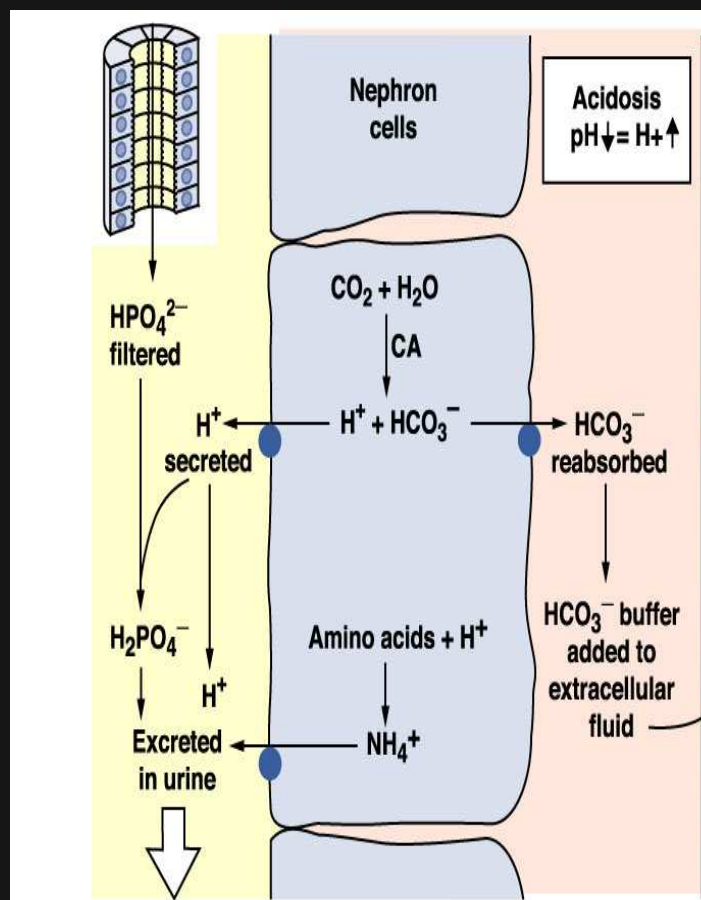
- Peranan: mengatur kandungan H_2CO_3 darah dengan mengatur ventilasi (ekskresi-retensi CO_2)
- Ggn ekskresi $\text{CO}_2 \rightarrow$ retensi $\text{CO}_2 \rightarrow$ kandungan $\text{H}_2\text{CO}_3 > \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{pH} < 7,3 \rightarrow$
Asidosis respiratorik
- Ggn ekskresi $\text{CO}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ hilang $>> \rightarrow$ kandungan $\text{HCO}_3^- > \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{pH} > 7,5 \rightarrow$
Alkalosis respiratorik

Sistem Ekskresi Ginjal

mengatur kandungan garam bikarbonat dlm darah dgn cara:

1. Mobilisasi ion H^+ di tubulus proksimal dg reabsorpsi Na^+
2. Sekresi ion H^+ di tubulus distal ditukar dg Na^+
3. Membentuk amonia (NH_4^+) di tubulus distal menggantikan Na^+ yg terpakai untuk no.2

Usaha penghematan Na^+ → mengikat bikarbonat



Garam bikarbonat (BHCO_3):

Asam karbonat (HHCO_3)

$[\text{BHCO}_3] < [\text{HHCO}_3] \rightarrow$ asidosis metabolik

$[\text{BHCO}_3] > [\text{HHCO}_3] \rightarrow$ alkalosis
metabolik

Elektrolit ~ Mineral

- 4% penyusun tubuh adalah mineral
 - Peranannya dlm tubuh:
 1. kofaktor/aktivator enzim
 2. pembentuk garam appatite pd tulang & gigi
 3. komponen hormon
 4. komponen senyawa biologis aktif
 - Kelompok mineral tubuh
 1. Elemen utama: C, H, O, N, S, P, Mg, Na, K, Cl
 2. Trace elements: Co, Cu, Zn, I, Fe, Silikon, Mn, Mo, Se, Cr
 3. Dibutuhkan binatang, blm tentu oleh manusia: Arsen, Cad, Ni, Silikon, Timah, Vanadium
 4. Bersifat racun untuk manusia & binatang: Ag, Hg, Pb
- Kebanyakan dlm bentuk garam sukar larut, kec. Na & K → diekskresi ml tinja

Electrolyte Composition of Body Fluid

Electrolyte	Plasma(mEq/L)	Interstitial (mEq/KgH ₂ O)	Intracellular (mEq/Kg)
Cation:			
Na⁺	142	145	10
K⁺	4	4	159
Ca²⁺	5	3	1
Mg²⁺	2	2	40
Total	153	154	210
Anion:			
Cl⁻	103	117	3
HCO₃⁻	25	28	7
Protein	17	-	45
Others	8	9	155
Total	153	154	210

Mineral

Transport & penyimpanan perlu protein carrier

→ Co-transcobalamin, Fe-transferin, Cu-albumin, Mn-globulin, dll

Ekskresi ml empedu (Cr, Cu, Mn, Zn), uri (Co, Cr, Mo, Zn), & lepasan sel mukosa (Fe, Zn)

Fungsi saling berkaitan: Ca-P, Na-K

Kalsium & Fosfor

membentuk garam Kalsium fosfat dlm tulang & gigi (80-90%), & jar. Lunak

Fungsi Ca^{2+} : penggumpalan darah, kontraksi otot, penghantar rangsang, aktivitas bbrp enzim

Fungsi P: transport energi (ATP, ADP, Kreatin P, fosfoenolpiruvat)

Absorpsi Ca di lumen intestin dipengaruhi oleh P \rightarrow Ca:P = 1:1-1:3, jika P > 3 absorpsi Ca terhambat \rightarrow kekurangan Ca \rightarrow Rachitis

Absorpsi Ca & P dipengaruhi vitamin D

Kadar Ca dlm darah diatur oleh hormon paratiroid

Natrium & Kalium

Penting dalam keseimbangan cairan & elektrolit serta asam-basa

Fungsi:

1. mempertahankan keseimbangan air
2. mempertahankan tekanan osmosis
3. mempertahankan keseimbangan asam-basa
4. mekanisme pompa Na-K

Metabolisme Na-K oleh hormon aldosteron

Klor & Belerang

Peran Cl dlm "chloride shift" → transport CO₂ dlm darah

Belerang (S) mrpkn komponen dari

- asam amino esensial metionin
- koenzim ASH
- antikoagulan (heparin)
- reduktor glutathion
- hormon insulin
- vit. Biotin, as.folat

Rasio sulfar anorganik:protein dlm urin normal = 5:1 → indeks metabolisme protein dlm tubuh

Magnesium

- Mg^{2+} terdapat di semua jaringan tubuh (di intrasel > ekstrasel)
- Semua reaksi yg menggunakan ATP melibatkan Mg^{2+}
- Peranan:
 - sintesis protein, asam nukleat, nukleotida, lipid, & karbohidrat
 - kontraksi otot
- 70% Mg bergabung dg Ca & P dlm tulang & gigi membentuk garam apatite
- Organ yg sensitif dg defisiensi Mg: jantung, ginjal & neuromuskular
- Absorpsi di intestin, ekskresi di ginjal 35-45% asupan Mg makanan

Besi

Tubuh mengandung 3-4 gram.

Peranan: respirasi seluler (unsur Hb, sistem sitokrom, enzim katalase-peroksidase)

Besi aktif: Fe^{2+} & Fe^{3+} , dlm makanan: ion ferri (Fe^{3+}) terikat seny.organik

Mukosa intestin mengandung apoferritin → mengatur jumlah besi makanan yang diserap (dlm bentuk ferro/ Fe^{2+})

Kelebihan besi dikekskresi ml tinja → hitam kelam-mengkilat → *Mucosal block system*

Mucosal Block System

Besi makanan/ Fe^{3+}



reduksi oleh HCl lambung dll
mjd Fe^{2+}



Diserap di mukosa intestin



Di sel mukosa diubah mjd Fe^{3+} untuk disimpan



Fe^{3+} diikat oleh apoferritin → ferritin

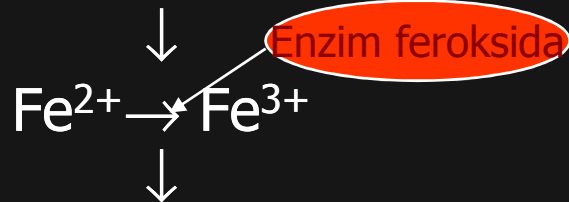
Jika Fe blm dibutuhkan tubuh, apoferritin jenuh dg Fe^{3+} ; → Fe^{2+} tdk bisa masuk ke sel mukosa → ekskresi mlh tinja)



Jika Fe dibutuhkan, ferritin melepas ion Fe^{3+} → Fe^{2+}

Besi

Fe^{2+} diserap intestin masuk ke sirkulasi



Fe^{3+} diikat oleh protein → transferin

↓

Ditransport ke jaringan

- Anemia nutrisi (mikrositer hipokromik) dg Hb rendah krn infeksi cacing tambang & perdarahan masif
- Kelebihan besi krn transfusi → hemosiderosis
- Pil KB → meningkatkan pembuangan besi

Tembaga

Tubuh manusia mengandung 100-150 mg Cu

Hati, otot, SSP, jantung & ginjal : kandungan Cu tinggi

Saliva & getah lambung mengandung senyawa BM rendah membentuk senyawa kompleks mudah larut dg Cu^{2+} → Cu^{2+} mudah diserap di mukosa intestin

Dlm sel mukosa intestin, Cu^{2+} dibebaskan kemudian diikat oleh *metalotionein*

Di dalam darah 5% Cu diikat oleh albumin, sisanya diikat oleh seruloplasmin (alfa-2-globulin)

Cu berhubungan dg senyawa biologis aktif lain spt MAO (monoamin oksidase), superoksida dismutase, tirosinase, sitokrom oksidase

Yodium

Merupakan komponen hormon tiroksin (T3 & T4)

Pengambilan I oleh kel. Tiroid dipengaruhi hormon TSH (tirotropik, Thyroid Stimulating Hormone)

Sebelum disekresi ke dalam sirkulasi, disimpan di kel.

Tiroid dlm bentuk berikatan dg globulin (tiroglobulin)

Ekskresi yodium ml urin, sedikit dlm air liur & air susu

Defisiensi yodium → hipertrofi kel tiroid/gondok; myxedema & cretinisme (jika terjadi sejak intrauterin)

Daftar Pustaka

- Hardjasasmita, Panjita. 2000. *Ikhtisar Biokimia Dasar A*. Jakarta: Balai Penerbit FKUI
- Murray, R.K., Granner, D.K., Mayes, P.A., & Rodwell, VW. 1996. *Harper's Biochemistry*. 24th ed. London: Prentice-Hall International, Inc.