

PERANAN GINJAL DALAM ASAM BASA TUBUH

OLEH :

SETIYO ADI NUGROHO

KONSEP TEORI

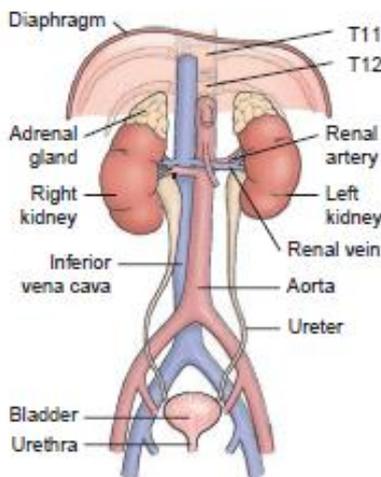
A. ANATOM DAN FISIOLOGI

Sistem renal dan urinary meliputi ginjal, ureter, bladder, dan uretra. Urine dibentuk oleh ginjal dan mengalir melalui struktur lainnya untuk dihilangkan dari tubuh (Smeltzer, Hinkle, Bare, & Cheever, 2010). Ginjal melakukan fungsi-fungsi spesifik berikut, yang sebagian besar membantu mempertahankan stabilitas lingkungan cairan internal.

1. **Mempertahankan keseimbangan H₂O di tubuh**
2. **Mempertahankan osmolaritas cairan tubuh yang sesuai**, terutama melalui regulasi keseimbangan H₂O. Fungsi ini penting untuk mencegah fluks-fluks osmotik masuk atau keluar sel, yang masing-masing dapat menyebabkan pembengkakan atau penciutan sel yang merugikan.
3. **Mengatur jumlah dan konsentrasi sbagian besar ion CES**, termasuk natrium (Na⁺), klorida (Cl⁻), ion hidrogen (H⁺), bikarbonat (HCO₃⁻), fosfat (PO₄³⁻), sulfat (SO₄²⁻), dan magnesium (Mg²⁺).
4. **Mempertahankan volume plasma yang tepat**, yang penting dalam pengaturan jangka panjang tekanan darah arteri. fungsi ini dilaksanakan melalui peran regulatorik ginjal dalam keseimbangan garam dan H₂O.
5. **Membantu mempertahankan kesimbangan asam basa tubuh** yang tepat dengan menyesuaikan pengeluaran H⁺ dan HCO₃⁻ di urin.
6. **Mengeluarkan (mengekskresikan) produk-produk akhir (sisa) metabolisme tubuh**, misalnya urea, asam urat, dan kreatinin.
7. **Mengeluarkan banyak senyawa asing**. Misalnya obat, aditif makanan, pestisida, dan bahan eksogen non nutritif lain yang masuk ke tubuh.

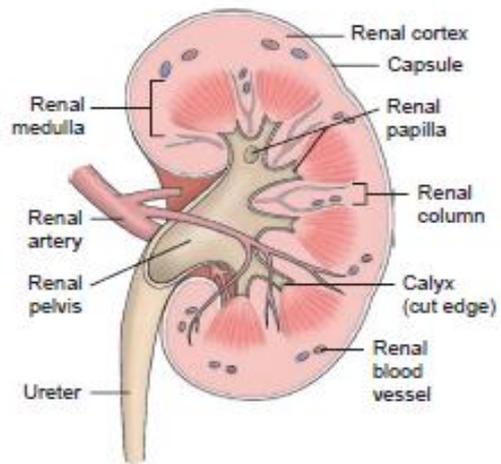
8. **Menghasilkan eritropoitin**, suatu hormon yang merangsang produksi sel darah merah
9. **Menghasilkan renin**, suatu hormon enzim yang memicu suatu reaksi berantai yang penting dalam penghematan garam oleh enzim
10. **Mengubah vitamin D menjadi bentuk aktifnya** (Sherwood, 2010).

GINJAL, Porth & Matfin, (2009) menyampaikan sepasang ginjal berbentuk seperti



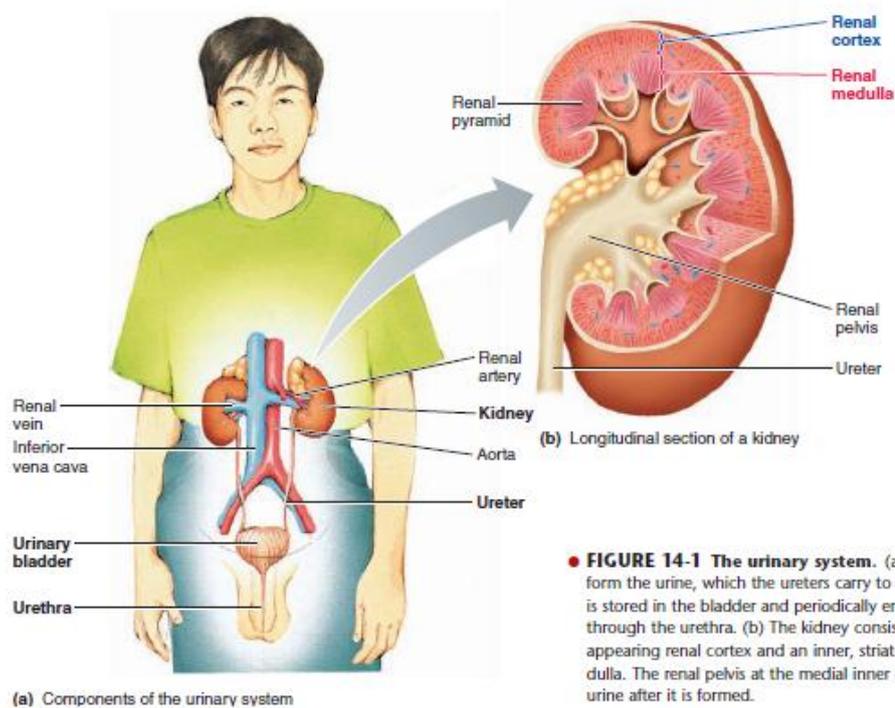
kacang, struktur berwarna merah kecoklatan terletak pada retroperitoneall (di belakang dan di luar rongga peritoneum) di dinding posterior abdomen dari vertebra toraks ke 12 vertebra lumbalis ketiga pada orang dewasa. Rata-rata ginjal dewasa beratnya sekitar 113-170 g (sekitar 4,5 oz) dan panjang 10 sampai 12 cm, lebar 6 cm, dan 2,5 cm. Ginjal kanan sedikit lebih rendah dibandingkan dengan kiri, karena lokasi hati (Smeltzer et al., 2010).

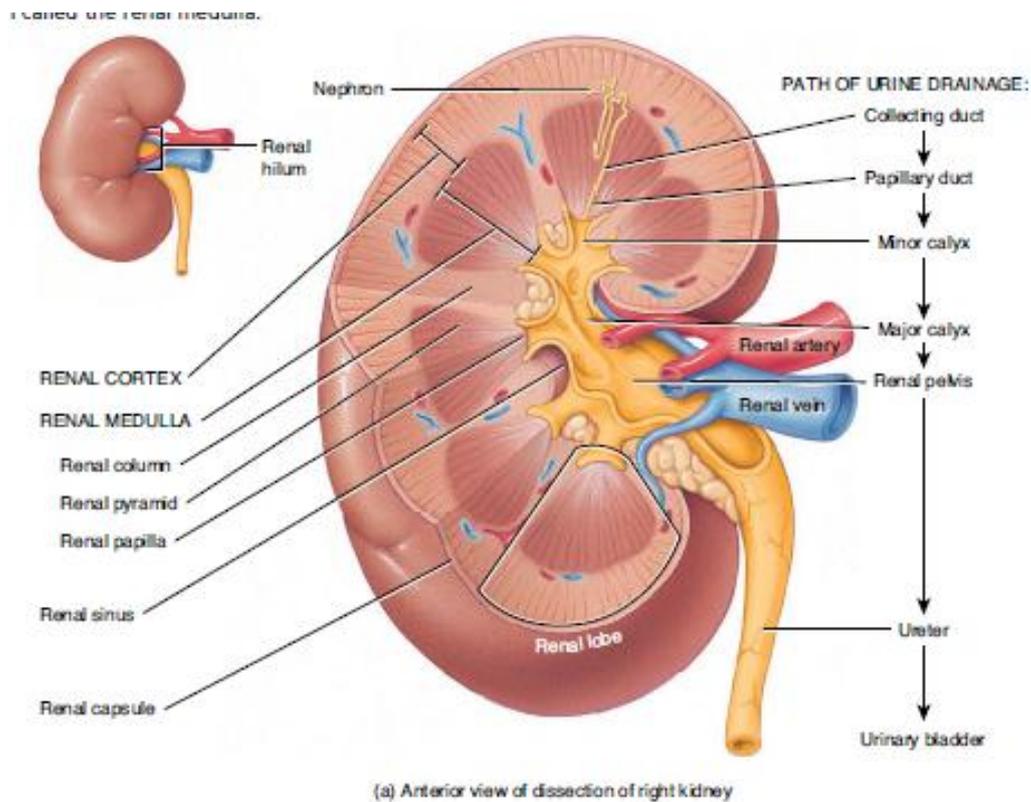
Dari sisi eksternal, ginjal berada di tempat dilindungi oleh tulang rusuk dan dengan otot-otot abdomen dan punggung. Sisi internal, timbunan lemak mengelilingi setiap ginjal, memberikan perlindungan terhadap getaran / tekanan. Ginjal dan lemak di sekitarnya bergantung pada dinding abdomen oleh fascia renal terbuat dari jaringan ikat. Jaringan ikat fibrosa, pembuluh darah, dan limfatik di sekitarnya setiap ginjal dikenal sebagai kapsul renal. Kelenjar adrenal terletak di atas setiap ginjal. Ginjal dan adrenal fungsi independen, suplai darah, dan persarafan.



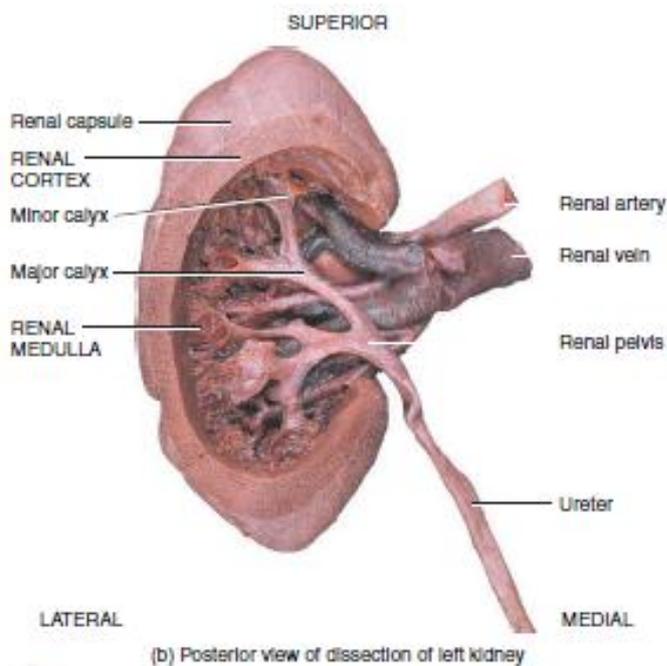
Parenkim renal dibagi menjadi dua bagian: **korteks dan medula** (Gambar 43-1B.). **Medula**, yang kira-kira lebarnya 5 cm, merupakan bagian dalam ginjal. Berisi loop of Henle, recta vasa, dan saluran mengumpulkan dari nefron juxtamedullary. Dengan

mengumpulkan saluran dari kedua juxtamedullary dan nefron kortikal terhubung ke piramida renal, yang segitiga dan terletak dengan dasar menghadap permukaan cekung ginjal dan titik (papilla) menghadap hilus, atau panggul. Setiap ginjal mengandung sekitar 8 sampai 18 piramida (Smeltzer et al., 2010). Piramida mengalir menuju kalises minor, yang mengalir menuju kalises utama yang dibuka langsung ke dalam pelvis renalis. Pelvis renal adalah awal dari sistem pengumpulan dan terdiri dari struktur yang dirancang untuk mengumpulkan dan transportasi urin. Setelah urin meninggalkan pelvis renalis, komposisi atau jumlah urine tidak berubah.





Anatomi internal Ginjal, Medula ginjal terdiri dari beberapa piramida ginjal berbentuk kerucut. Bagian bawah (lebih luas) dari masing-masing piramida menghadap ke korteks ginjal, dan puncaknya (sempit), yang disebut papilla ginjal, mengarah ke hilus ginjal.



Korteks ginjal adalah daerah bertekstur lembut membentang dari kapsul ginjal ke basis piramida ginjal dan ke dalam ruang antara mereka. Hal ini dibagi menjadi zona korteks luar dan zona juxtamedullary. Bagian-bagian dari korteks ginjal yang memperpanjang antara piramida ginjal disebut kolom ginjal.

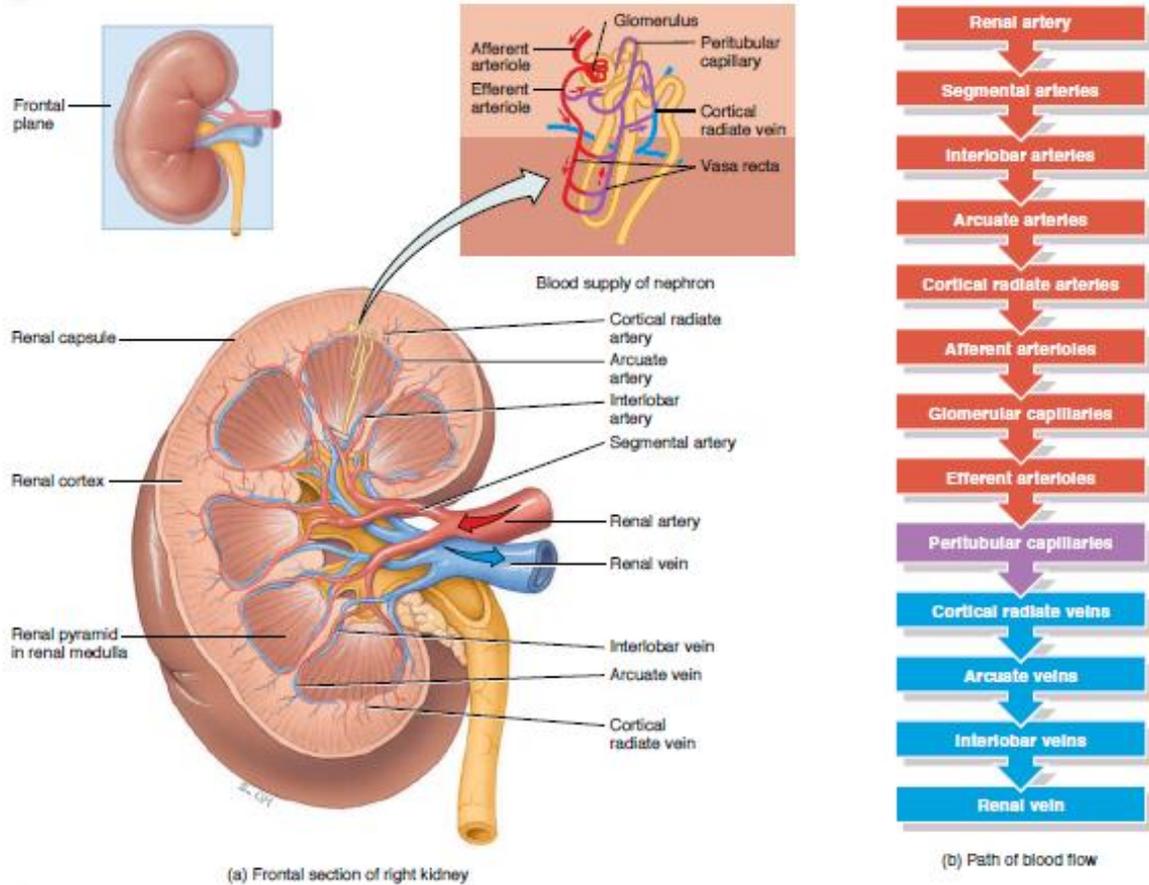
korteks dan piramida ginjal di medula ginjal merupakan parenkim atau bagian fungsional dari ginjal.

Dalam parenkim ini termasuk unit fungsional dari ginjal-sekitar 1 juta struktur mikroskopis

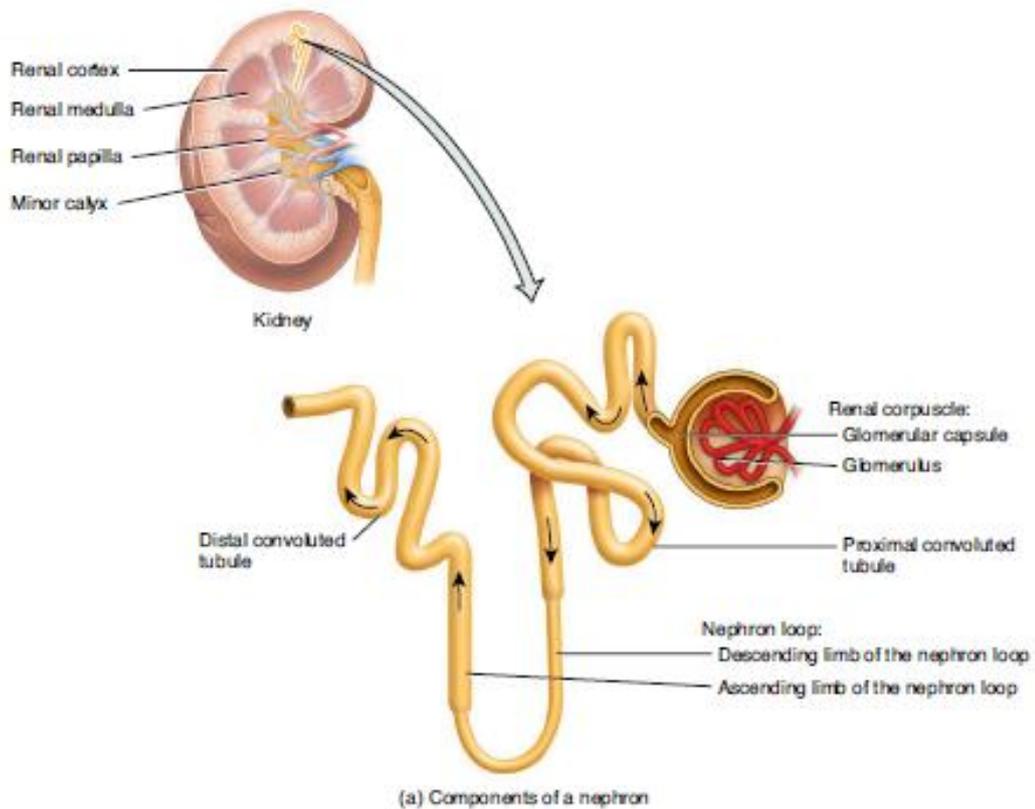
yang disebut **nefron**. Filtrat (filtrasi cairan) yang dibentuk oleh nefron mengalir ke saluran papilar besar, yang memanjang melalui piramid papila ginjal. Saluran papiler mengalir ke dalam struktur cuplike disebut calyces minor dan mayor. Setiap ginjal memiliki 8 sampai 18 calyces minor dan 2 atau 3 calyces mayor. Calyx minor akan menerima urin dari duktus papilar salah satu papilla ginjal dan mengalirkannya ke calyx mayor. Setelah difiltrasi memasuki calyces maka urin terbentuk karena tidak ada reabsorpsi lanjut yang terjadi. Alasan untuk ini adalah bahwa epitel sederhana dari nefron dan duktus akan menjadi epitel yang transisional di calyces. Dari calyces mayor, urin mengalir ke dalam rongga yang besar yang disebut dengan pelvis ginjal dan kemudian keluar melalui ureter dan menuju kandung kemih. Hilus berekspansi ke dalam rongga dalam ginjal yang disebut sinus ginjal, yang mengandung bagian dari pelvis ginjal, calyces, dan cabang dari pembuluh darah ginjal dan saraf. Jaringan adiposa membantu menstabilkan posisi struktur dalam sinus ginjal (Tortora & Derrickson, 2014).

Persediaan darah ke ginjal, Hilus adalah bagian cekung pada ginjal di mana arteri ginjal masuk, ureter dan keluarnya vena. Ginjal menerima 20% sampai 25% dari total cardiac output, yang berarti bahwa semua darah dalam tubuh bersirkulasi melalui ginjal sekitar 12 kali per jam. Arteri renalis (yang berasal dari aorta abdominal) bercabang menjadi pembuluh kecil dan lebih kecil, akhirnya membentuk arteriol aferen. Setiap cabang arteri aferen untuk membentuk glomerulus, yang merupakan tempat kapiler yang bertanggung jawab untuk filtrasi glomerulus. Darah meninggalkan glomerulus melalui arteriol eferen dan mengalir kembali ke vena cava inferior melalui jaringan kapiler dan vena (Smeltzer et al., 2010).

The renal arteries deliver 20–25% of the resting cardiac output to the kidneys.

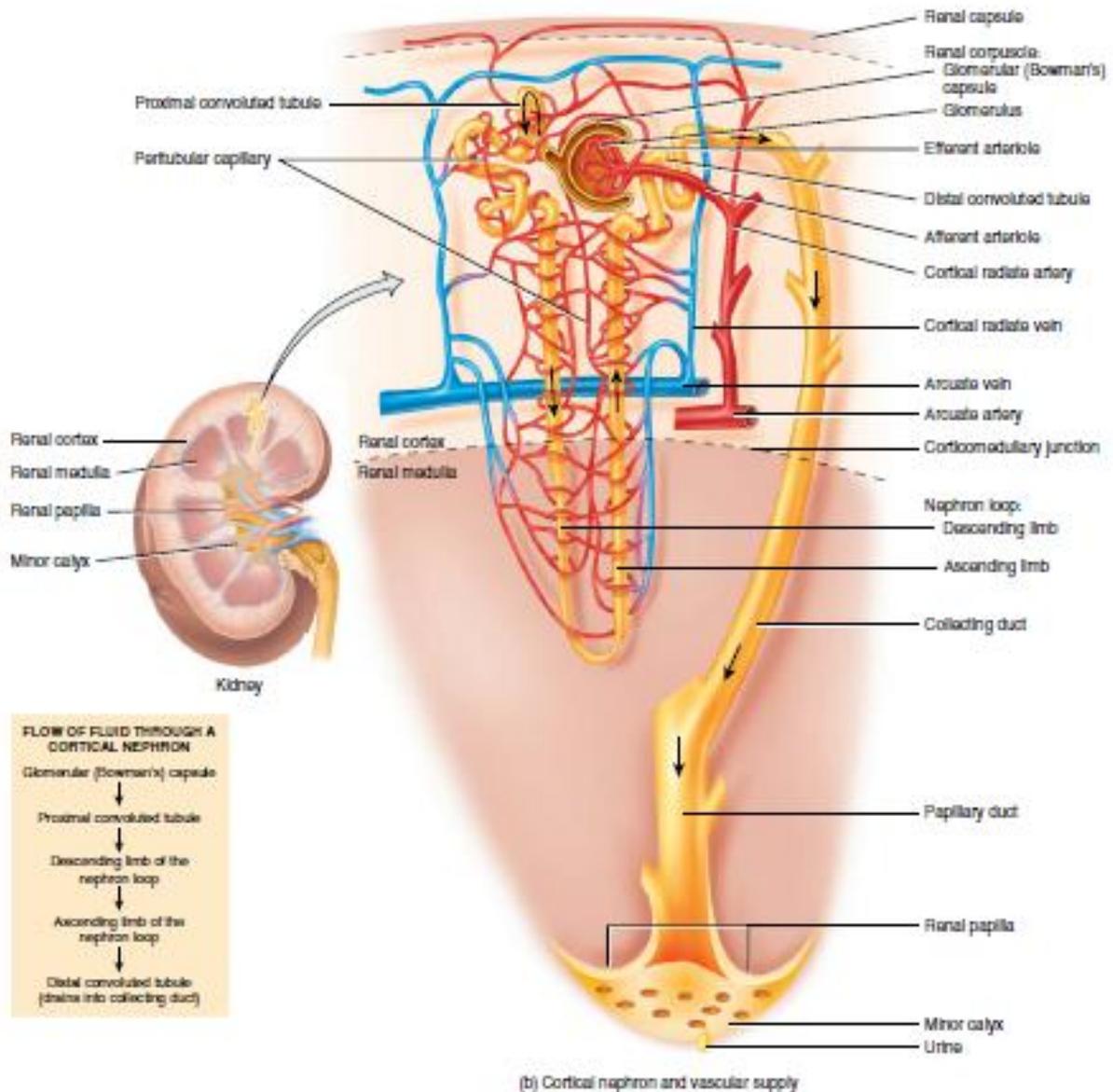


Nefron, Setiap ginjal memiliki 1 juta nefron yang terletak di dalam parenkim ginjal dan yang bertanggung jawab untuk pembentukan awal urin (Smeltzer et al., 2010). Nefron adalah unit fungsional dari ginjal. Setiap nefron terdiri dari dua bagian: korpus renal, di mana plasma darah akan disaring, dan melewati tubulus ginjal dimana cairan difilter (filtrat glomerular) (Gambar diatas). Erat kaitannya dengan nefron adalah suplai darah, yang baru saja dijelaskan. Kedua komponen dari korpus renal adalah glomerulus (jaringan kapiler) dan kapsul glomerulus atau kapsul Bowman. Plasma darah akan disaring di kapsul glomerulus, dan kemudian cairan difilter masuk ke dalam renal tubulus, yang memiliki tiga bagian pokok. Dalam rangka bahwa cairan lewat melalui mereka, tubulus renal terdiri dari (1) proksimal convoluted tubulus (PCT), (2) nefron Loop (loop of Henle), dan (3) distal convoluted tubule (DCT). Bagian tubulus proksimal menunjukkan bagian yang melekat pada kapsul glomerulus, dan bagian distal menunjukkan bagian yang lebih jauh. Berbelit-belit (convoluted) berarti tubulus yang melingkar erat daripada lurus. Korpus renal dan tubulus convoluted terletak dalam korteks renal; loop nefron meluas ke medula ginjal, membuat belokan seperti jepit rambut, dan kemudian kembali ke korteks renal (Tortora & Derrickson, 2014).



Tubulus distal yang convoluted dari beberapa nefron yang kosong menjadi single collecting duct (CD). Collecting duktus kemudian bergabung dan bertemu di menjadi ratusan duktus papilar besar, yang mengalir menuju calyces minor. collecting ducts dan duktus papilar memanjang dari korteks renal melalui medulla renal ke pelvis ginjal. Jadi satu ginjal saja memiliki sekitar 1 juta nefron, tetapi sebagian lebih kecil dari collecting ducts dan duktus papilar lebih sedikit.

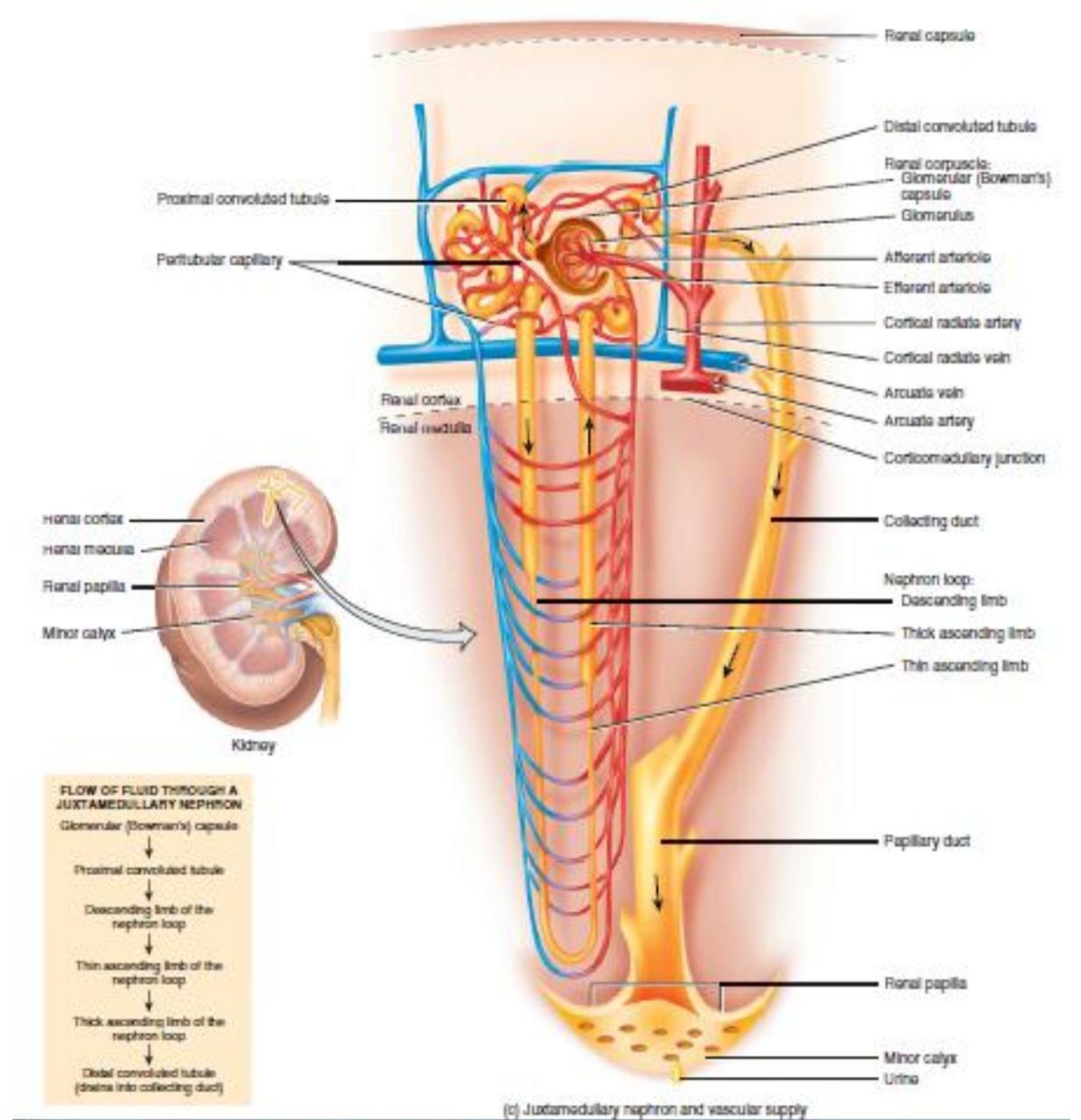
Dalam nefron, loop nefron menghubungkan tubulus proksimal dan distal yang convoluted. Bagian pertama dari loop nefron dimulai pada titik di mana tubulus proksimal convoluted mengambil gilirannya akhir kebawah. Hal itu dimulai di korteks renal dan memanjang ke bawah dalam medula renal, di mana hal itu disebut limb desendens dari nefron Loop (Gambar diatas). Ini kemudian menjadikan yang berbelok seperti jepit rambut dan kembali ke korteks renal dimana berakhir pada tubulus distal yang convoluted dan dikenal dengan sebagai limb ascending dari loop nefron. Mengenai 80-85% dari nefron yang berada di korteks nefron.



Corpuscles renal mereka terletak pada bagian terluar dari korteks renal, dan mereka memiliki loop nefron yang singkat yang berada terutama di korteks dan menembus hanya ke daerah luar medula ginjal. Loop nefron yang singkat menerima suplai darah kapiler peritubular, mereka muncul dari dari arteriol eferen. 15-20% lainnya dari nefron adalah nefron juxtamedullary.

Corpuscles renal mereka terletak dalam di korteks, dekat medula, dan mereka memiliki loop nefron yang panjang yang meluas ke wilayah terdalam dari medulla. Loop nefron yang panjang menerima suplai darah kapiler peritubular mereka dari dan dari recta vasa yang muncul dari arteriol eferen. Selain itu, limb ascending dari loop nefron terdiri dari dua bagian nefron juxtamedullary: thin limb ascending dilanjutkan dengan thick ascending limb. Pada

lumen thin limb ascending ini sama dengan daerah lain di tubulus ginjal; hanya pada epitel yang lebih tipis. Nefron dengan nefron loop yang panjang memungkinkan ginjal mengekskresikan sangat encer atau urine sangat pekat.



Untuk memproduksi urin, nefron dan collecting Duktus melakukan tiga proses dasar filtrasi glomerulus, reabsorpsi tubular, dan sekresi tubular.

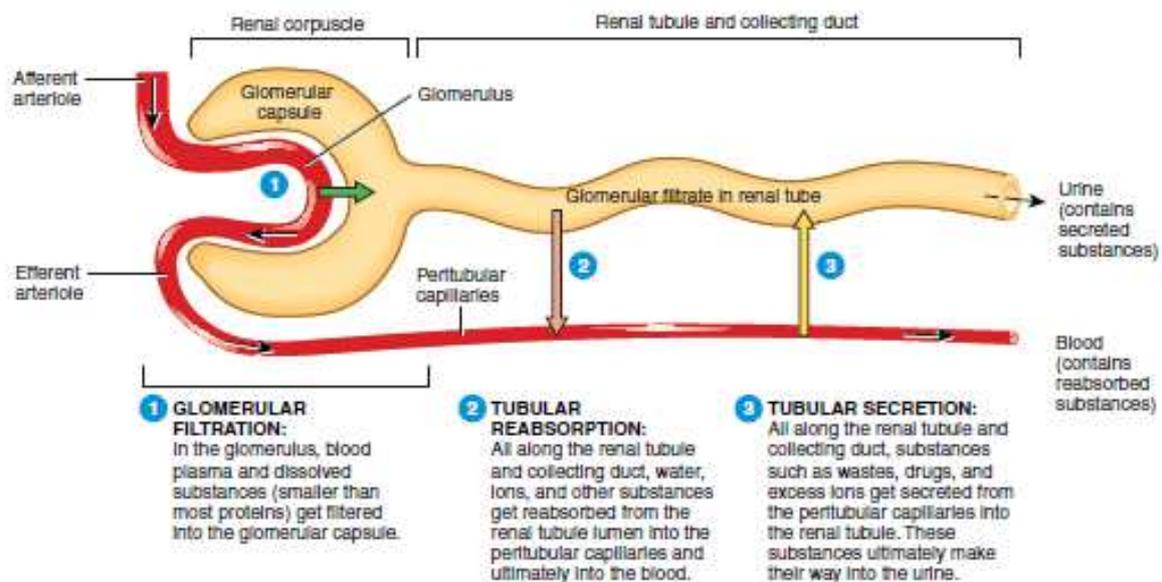
1. Filtrasi glomerulus. Pada tahap pertama produksi urine, air dan zat terlarut sebagian besar dalam plasma darah bergerak melintasi dinding kapiler glomerulus, di mana

mereka akan disaring dan berpindah ke kapsul glomerulus dan kemudian ke tubulus ginjal.

2. Reabsorpsi tubular. Sebagai cairan disaring mengalir melalui tubulus ginjal dan melalui collecting Duktus, sel-sel tubulus menyerap kembali sekitar 99% dari air yang sudah disaring dan masih banyak zat terlarut yang berguna. Air dan zat terlarut kembali ke darah mengalir melalui kapiler peritubular dan vasa recta. Diperhatikan bahwa reabsorpsi merujuk pada kembalinya zat ke aliran darah. Absorpsi istilah, sebaliknya, berarti masuknya zat baru ke dalam tubuh, sebagaimana terjadi pada saluran pencernaan.
3. Sekresi tubular. Sebagai cairan yang disaring mengalir melalui tubulus ginjal dan collecting Duktus, tubulus dan duktus sel ginjal mensekresikan bahan lain, seperti limbah, obat, dan ion berlebih, menjadi cairan. Perhatikan bahwa sekresi tubular menghilangkan zat dari darah.

re 26.7 Relationship of a nephron's structure to its three basic functions: glomerular filtration, tubular reabsorption and tubular secretion. Excreted substances remain in the urine and subsequently leave the body. For any substance excretion rate of $S = \text{filtration rate of } S - \text{reabsorption rate of } S + \text{secretion rate of } S$.

Glomerular filtration occurs in the renal corpuscle. Tubular reabsorption and tubular secretion occur all along the renal tubule and collecting duct.



B. KESEIMBANGAN ASAM-BASA adopsi dari (Sherwood, 2010)

Istilah keseimbangan asam basa merujuk kepada regulasi tepat konsentrasi ion hidrogen (H^+) bebas (yaitu tidak terikat) dalam cairan tubuh. Untuk menunjukkan konsentrasi suatu bahan kimia, simbolnya di kurung oleh tanda kurung persegi [], karena itu $[H^+]$ menunjukkan konsentrasi H^+ .

Asam adalah kelompok bahan khusus yang mengandung hidrogen terdisosiasi, atau terurai/terpisah, ketika berada dalam larutan, yang membebaskan H^+ dan anion (ion bermuatan negatif). Banyak bahan lain (misalnya karbohidrat) juga mengandung hidrogen, tetapi senyawa ini tidak digolongkan sebagai asam karena hidrogennya terikat erat di dalam struktur molekul dan tidak pernah dilepaskan sebagai H^+ bebas. sedangkan **Basa** adalah suatu bahan yang dapat berikatan dengan H^+ bebas dan menyingkirkan dari larutan. Basa kuat dapat mengikat H^+ lebih mudah daripada basa lemah.

$[H^+]$ dalam CES normalnya adalah 4×10^{-8} atau 0,00000004 ekivalen perliter. Konsep pH dikembangkan untuk menyatakan $[H^+]$ secara lebih mudah. Secara spesifik, pH sama dengan logaritma (log) berbasis 10 dari kebalikan konsentrasi ion hidrogen:

$$pH = \log 1 / [H^+]$$

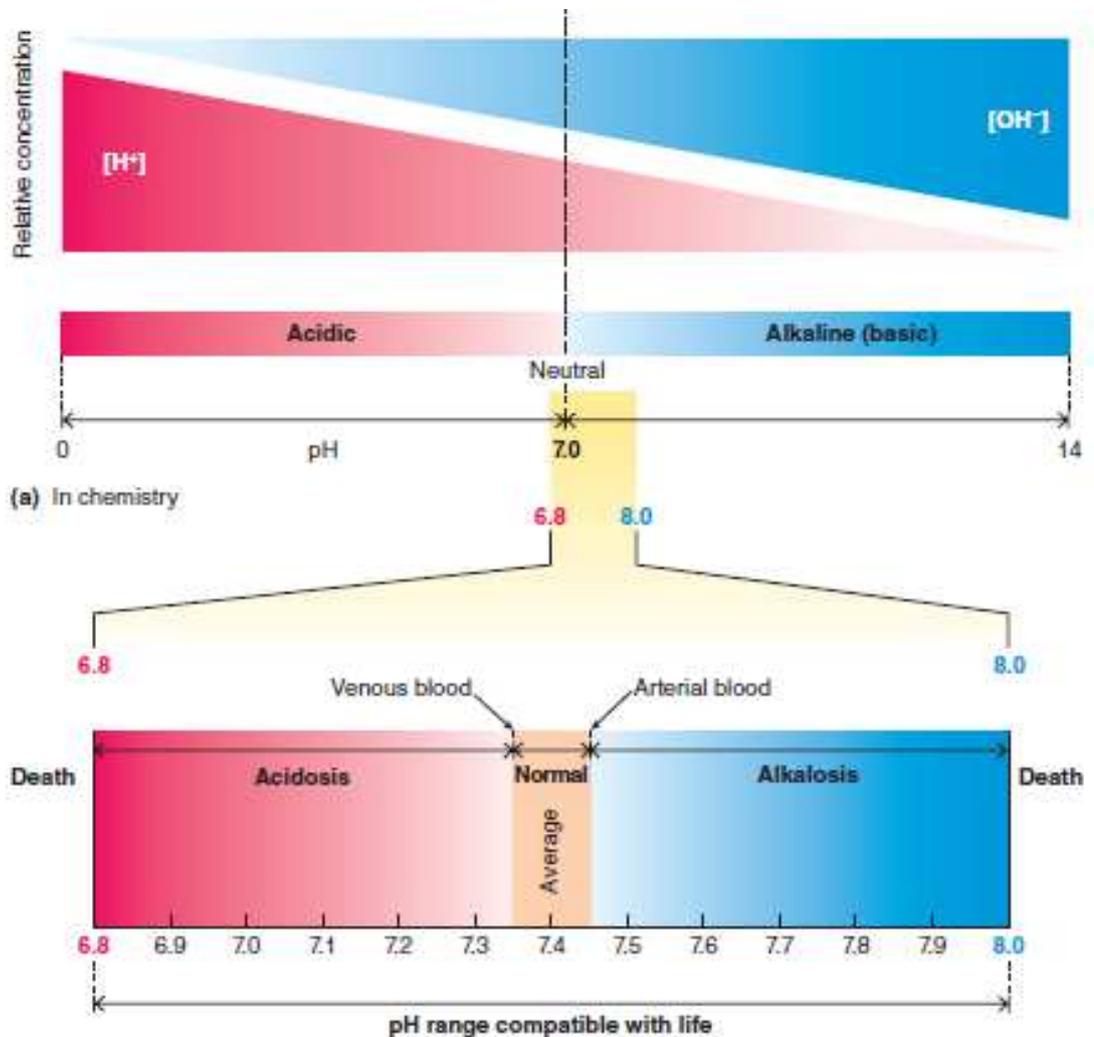
Dua hal penting yang perlu dicatat tentang formula ini:

- a. Karena $[H^+]$ adalah denominator, maka $[H^+]$ yang tinggi menunjukkan pH yang rendah, dan $[H^+]$ yang rendah menunjukkan pH yang tinggi. Semakin besar angka yang harus membagi 1, maka semakin rendah pH.
- b. Setiap perubahan satu satuan pada pH sebenarnya mencerminkan perubahan 10 kali lipat dalam $[H^+]$ karena hubungan logaritma. Oleh karena itu, setiap satuan perubahan pH menunjukkan perubahan $[H^+]$ sepuluh kali lipat.

1. Asidosis dan alkalosis dalam tubuh

pH darah arteri normalnya adalah 7,45 dan pH darah vena 7.35. untuk pH darah rerata 7.4, darah vena sedikit lebih rendah (lebih asam) dari pada arteri karena dihasilkan $[H^+]$ dari pembentukan H_2CO_3 dari CO_2 yang diserap di kapiler jaringan. Terjadi asidosis jika pH darah turun dibawah 7.35 dan alkalosis pH diatas 7.45.

pH arteri yang kurang dari 6.8 atau lebih dari 8.0 tidak memungkinkan hidup. Karena kematian terjadi jika pH arteri terletak di luar kisaran 6.8 dan 8.0 selama lebih dari beberapa detik, maka $[H^+]$ cairan tubuh harus diatur secara cermat.



a. Fluktuasi $[H^+]$ mengganggu aktivitas saraf, enzim, dan K^+

Hanya kisaran pH yang sempit yang memungkinkan kehidupan, karena bahkan perubahan kecil pada $[H^+]$ menimbulkan efek dramatis pada fungsi sel normal. konsekuensi utama fluktuasi $[H^+]$ mencakup hal berikut:

- 1) Perubahan ekstibilitas sel saraf dan otot adalah salah satu manifestasi klinis utama gangguan pH
 - Efek klinis utama peningkatan $[H^+]$ (asidosis) adalah depresi susunan saraf pusat (SSP). Pasien asidosis mengalami disorientasi dan pada kasus yang parah akan meninggal dalam keadaan koma
 - Sebaliknya efek klinis penurunan $[H^+]$ (alkalosis) adalah eksitabilitas berlebihan sistem saraf, pada tahap pertama pada susunan saraf tepi dan

kemudian SSP. Eksitabilitas berlebihan saraf aferen (sensorik) tersebut menimbulkan rasa kesemutan seperti ditusuk jarum. Eksitabilitas saraf eferen (motorik) menimbulkan kedutan otot dan pada kasus yang parah, spasme otot hebat. Alkalosis berat dapat menyebabkan kematian karena spasme otot pernapasan.

2) Konsentrasi ion hidrogen menimbulkan pengaruh nyata pada aktivitas enzim Bahkan penyimpangan ringan $[H^+]$ mengubah bentuk dan aktivitas molekul protein.

3) Perubahan $[H^+]$ mempengaruhi K^+ tubuh

Saat mereabsorpsi Na^+ dari filtrat, sel-sel tubulus ginjal mensekresikan K^+ atau H^+ sebagai penukarnya. Terdapat hubungan erat antara sekresi H^+ dan K^+ oleh ginjal maka peningkatan laju sekresi salah satu dari kedua ion ini akan disertai oleh penurunan laju sekresi yang lain.

b. Ion hidrogen secara terus menerus ditambahkan ke cairan tubuh akibat aktivitas metabolik.

Pemasukan ion hidrogen harus diseimbangkan dengan pengeluaran yang sama agar $[H^+]$ di cairan tubuh konstan. Di sisi pemasukan, hanya sejumlah kecil asam yang mampu terurai untuk menghasilkan H^+ yang tertelan bersama makanan, misalnya asam sitrat lemah yang terdapat pada jeruk. Sebagian besar $[H^+]$ didalam cairan tubuh dihasilkan secara internal dari aktivitas metabolik.

2. Sumber H^+ di tubuh

Dalam keadaan normal, $[H^+]$ secara terus menerus ditambahkan dari 3 sumber ke dalam cairan tubuh:

a) Pembentukan asam karbonat

Sumber utama H^+ adalah melalui pembentukan H_2CO_3 dari CO_2 yang diproduksi secara metabolik. Oksidasi nutrisi disel menghasilkan energi, disertai CO_2 dan H_2O sebagai produk akhir. dikatalisis oleh enzim *karbonat anhidrase* (ca), CO_2 dan H_2O membentuk H_2CO_3 yang kemudian terdisosiasi parsial untuk menghasilkan H^+ dan HCO_3^- .



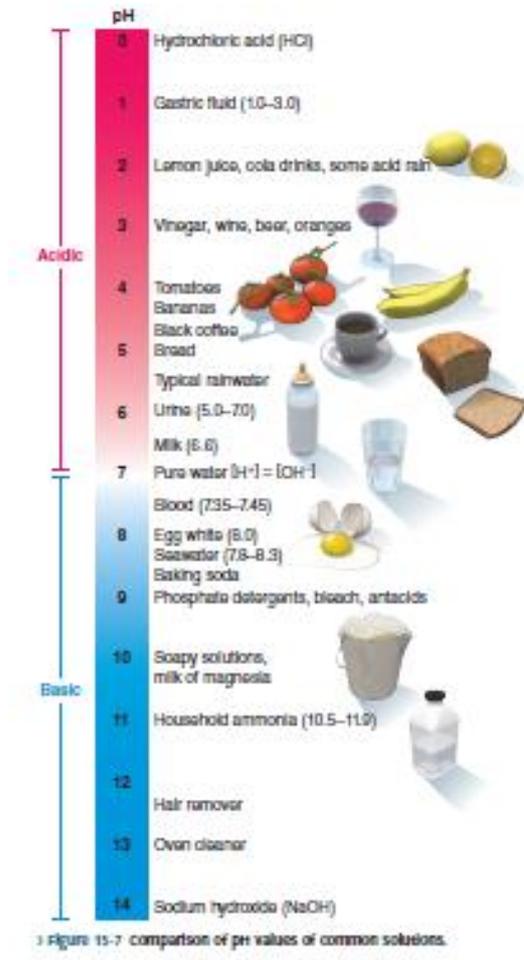
Reaksi ini reversibel karena dapat berlansung di kedua arah, bergantung pada konsentrasi bahan-bahan yang terlibat sesuai hukum aksi aksi masa. Didalam

kapiler sistemik, kadar CO_2 darah meningkat sewaktu CO_2 dari proses metabolisme masuk dari jaringan. Hal ini mendorong reasikesisi asam, menghasilkan H^+ dan HCO_3^- dalam prosesnya. Di paru, reaksi berbalik CO_2 berdifusi dari darah yang melalui kapiler paru ke dalam alveolus, untuk kemudian di ekspirasikan ke atmosfer. Penurunan CO_2 darah yang terjadi kemudian mendorong reaksi kesisi CO_2 . Ion hidrogen dan HCO_3^- membentuk H_2CO_3 yang kembali cepat terurai menjadi CO_2 dan H_2O . CO_2 di hembuskan keluar sementara ion hidrogen yang di bentuk di tingkat jaringan dimasukkan kedalam molekul H_2O .

Jika sistem pernapasan dapat mengimbangi laju metabolisme maka tidak terjadi penambahan atau pengurangan netto H^+ di cairan tubuh dari CO_2 yang diproduksi secara metabolis. Namun, jika laju pengeluaran CO_2 oleh paru tidak menyamai laju produksi CO_2 di tingkat jaringan, maka akumulasi atau defisit CO_2 yang terjadi masing-masing dapat menyebabkan kelebihan atau kekurangan H^+ bebas di cairan tubuh.

b) Asam inorganik yang diproduksi selama penguraian nutrisi

Protein dalam makanan yang banyak terdapat di daging mengandung sejumlah besar sulfur dan fosfor. ketika molekul nutrisi ini terurai, dihasilkan asam sulfat dan asam fosfat sebagai produk sampingan. karena merupakan asam yang agak kuat maka kedua asam inorganik ini umumnya terurai, melepaskan H^+ bebas ke dalam cairan tubuh. Sebaliknya, penguraian buah dan sayuran menghasilkan basa, hingga ketahap tertentu, menetralkan asam yang berasal dari metabolisme protein. akan tetapi, secara umum lebih banyak asam daripada basa yang diproduksi selama penguraian makanan sehingga terjadi kelebihan asam.



c) Asam organik yang berasal dari metabolisme antara

Banyak asam organik dihasilkan selama metabolisme antara normal. Sebagai contoh, dihasilkan asam lemak selama metabolisme lemak dan asam lemak diproduksi oleh otot sewaktu olahraga berat. Asam-asam ini mengalami disosiasi parsial untuk menghasilkan $[H^+]$.

Karena itu pembentukan ion hidrogen berlangsung terus menerus, akibat aktivitas metabolik yang berkelanjutan. Pada keadaan penyakit tertentu mungkin dihasilkan asam tambahan yang semakin meningkatkan simpanan total $[H^+]$ tubuh. Sebagai contoh, pada diabetes melitus dapat diproduksi sejumlah besar asam keto akibat kelainan metabolisme lemak.

3. Tiga lini pertahanan terhadap perubahan $[H^+]$

Kunci keseimbangan $[H^+]$ adalah pemeliharaan alkalinitas normal CES (pH 7.4) meskipun selalu terjadi penambahan asam. $[H^+]$ yang dihasilkan sebagian besar harus dikeluarkan dari larutan selagi berada ditubuh dan akhirnya harus dikeluarkan sehingga pH cairan tubuh dapat tetap berada dalam kisaran sempit yang memungkinkan hidup. Terdapat tiga lini pertahanan terhadap perubahan $[H^+]$ yang bekerja untuk mempertahankan $[H^+]$ di cairan tubuh pada kadar hampir tetap meskipun pemasukan tidak diatur: (1) sistem dapar (penyangga) kimiawi; (2) mekanisme pernapasan untuk mengontrol pH; dan (3) mekanisme ginjal untuk pengontrol pH.

a. sistem dapar (penyangga) kimiawi

sistem dapar kimiawi adalah campuran larutan dua senyawa kimia yang meminimalkan perubahan pH ketika asam atau basa ditambahkan atau dikeluarkan dari larutan tersebut. Sistem penyangga ini terdiri sepasang bahan yang terlibat dalam suatu reaksi reversibel, satu bahan yang dapat menghasilkan H^+ sewaktu $[H^+]$ mulai turun dan bahan lain yang dapat mengikat $[H^+]$ (karena mengeluarkan dari larutan) ketika $[H^+]$ mulai meningkat. Tubuh memiliki 4 sistem dapar yaitu (1) sistem dapar $H_2CO_3: HCO_3^-$; (2) sistem dapar protein; (3) sistem dapar hemoglobin; (4) sistem dapar forfat.

Semua sistem dapar kimiawi bekerja dalam waktu yang singkat, dalam waktu sepersikitan detik, untuk memperkecil perubahan pH. Jika $[H^+]$ berubah maka

reaksi-reaksi kimia reversibel sistem dapat yang terlinbat segera bergeser untuk mengompensasi perubahan $[H^+]$. karena itu, sistem dapar adalah lini pertama terhadap perubahan $[H^+]$ karena merupakann mekanisme pertama yang berespon.

b. mekanisme pernapasan untuk mengontrol pH

sistem pernapasan berperan penting dalam keseimbangan asam-basa melalui kemampuannya mengubah ventilasi paru dan karenanya mengubah ekskresi CO_2 penghasil $[H^+]$. Tingkat aktivitas pernapasan sebagian diatur oleh $[H^+]$ arteri:

TABLE 15-7 Respiratory Adjustments to Acidosis and Alkalosis Induced by Nonrespiratory Causes

Respiratory Compensations	Normal pH	Nonrespiratory (Metabolic) Acidosis	Nonrespiratory (Metabolic) Alkalosis
Ventilation	Normal	↑	↓
Rate of CO_2 removal	Normal	↑	↓
Rate of H^+ generation from CO_2	Normal	↓	↑

Ketika $[H^+]$ arteri meningkat akibat kausa nonon respiratorik (metabolik), pusat pernapasan dibatang otak secara reflek terangsang untuk meningkatkan ventilasi paru. Sedangkan sebaliknya, ketika $[H^+]$ arteri turun, ventilasi paru melambat, akibatnya pernapasan yang lebih dangkal dan lambat. Paru sangat lah penting dalam mempertahankan $[H^+]$, setiap hari organ ini mengeluarkan cairan tubuh $[H^+]$ yang berasal dari asam karbonat dalam jumlah 100 kali lebih banyak dari yang dikeluarkan ginjal dari sumber diluar asam karbonat.

Regulasi oleh sistem pernapasan bekerja dengan kecepatan sedang, aktif hanya jika sistem dapar saja tidak mampu meminimalkan perubahan $[H^+]$, sehingga sistem pernapasan ini sebagai lini kedua pertahanan terhadap perubahan $[H^+]$. Karena sistem pernapasan sendiri dapat mengembalikan pH hanya 50% sampai 75% kenormalnya.

4. Mekanisme ginjal untuk pengontrol pH

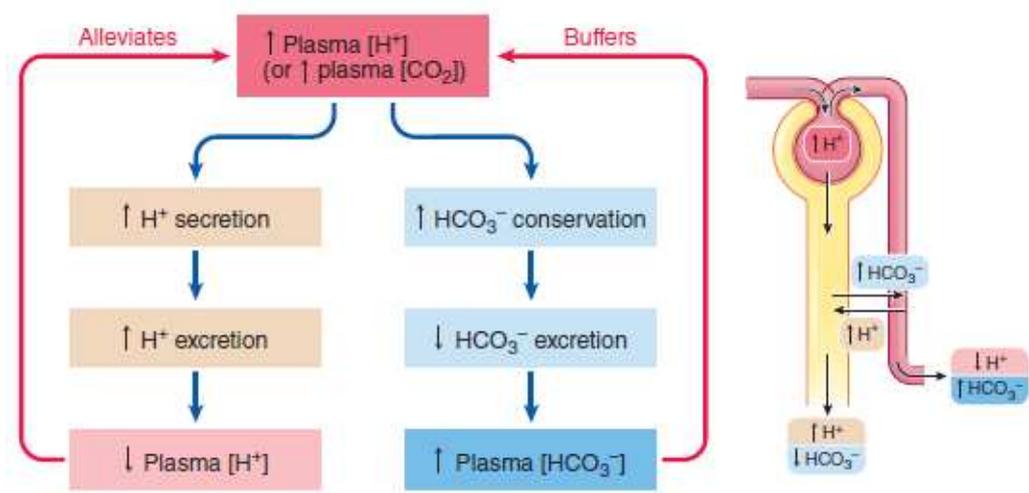
Ginjal mengontrol pH cairan tubuh dengan menyesuaikan tiga faktor yang saling berkaitan: (1) ekskresi $[H^+]$; (2) ekskresi HCO_3^- ; (3) sekresi amonia (NH_2).

a. Mekanisme sekresi H^+ pada ginjal

Hampir semua H^+ di ekskresikan di urin melalui sekresi. Ingatlah bahwa laju filtrasi H^+ samadengan $[H^+]$ plasma dikali LFG.kaarena $[H^+]$ plasma sangat rendah (lebih kecil dari pada H_2O murni kecuali selama asidosis berat, saat pH turun dibawah 7.0) maka laju filtrasinya juga sangat rendah. Jumlah H^+ terfiltrasi yang sangat kecil ini di ekskresikan di urin. Namun sebagian besar H^+ yang diekskresikan masuk ke cairan tubulus melalui sekresi aktif. Tubulus proksimal, distal dan koligentes semuanya mengekskresi H^+ . Karena ginjal normalnya mengekskresikan H^+ maka urin biasanya asam, dengan pH rerata 6.0.

Proses sekresi H^+ dimulai di sel tubulus dengan CO_2 dari tiga sumber: (1) CO_2 berdifusi ke dalam sel tubulus dari plasma,(2)cairan tubulus atau (3) CO_2 yang diproduksi secara metabolis didalam sel tubulus. CO_2 dan H_2O , dipengaruhi oleh karbonat anhidrase, membentuk H_2CO_3 , yang terurai menjadi H^+ dan HCO_3^- suatu pengangkut dependen energi dimembran luminal kemudian membawa H^+ keluar sel menuju lumen tubulus.disuatu bagian nefron, sel tubulus memindahkan Na^+ yang berasal dari filtrat glomerulus dalam arah berlawanan sehingga sekresi H^+ berkaitan secara parsial.

Besar sekresi H^+ terutama bergantung pada efek langsung status asam basa plasma di seltubulus ginjal. Tidak ada faktor saraf atau hoormon yang berperan.



> Figure 15-12 Control of the rate of tubular H^+ secretion and HCO_3^- reabsorption.

Ketika $[H^+]$ plasma yang mengalir melauai kapiler peritubulus meningkat diatas normal, maka sel tubulus merespon mensekresikan lebih banyak H^+ dari plasma kedalam cairan tubulus untuk diekskresikan di urin. Sebaliknya, ketika $[H^+]$ lebih

rendah di plasma lebih rendah dari pada normal, ginjal menahan H^+ dengan mengurangi sekresi dan ekskresi di urin. Ginjal tidak dapat meningkatkan $[H^+]$ dengan menyerap lebih banyak H^+ yang terfiltrasi karena terdapat mekanisme reabsorpsi untuk H^+ . Satu-satunya cara ginjal untuk mengurangi ekskresi H^+ adalah dengan mengurangi sekresinya. Karena reaksi kimia untuk sekresi H^+ dimulai dengan CO_2 maka laju reaksi tersebut dipengaruhi oleh $[CO_2]$.

Ketika CO_2 plasma meningkat reaksi-reaksi ini seperti gambar berlangsung lebih cepat dan laju sekresi H^+ meningkat. Sebaliknya, laju sekresi H^+ melambat ketika CO_2 plasma dibawah normal.

b. Ekskresi HCO_3^-

Sebelum dieliminasi oleh ginjal, sebagian besar H^+ yang berasal dari asam non karbonat didapar oleh HCO_3^- plasma. Karena itu, penanganan keseimbangan asam basa oleh ginjal juga melibatkan penyesuaian ekskresi HCO_3^- , bergantung pada jumlah H^+ dalam plasma. Ginjal mengatur HCO_3^- plasma melalui dua mekanisme yang saling berikatan: (1) reabsorpsi HCO_3^- ; (2) penambahan HCO_3^- baru ke plasma dalam jumlah bervariasi. Kedua mekanisme ini berkaitan erat dengan sekresi H^+ oleh tubulus ginjal. Setiap 1 kali H^+ disekresikan kedalam cairan tubulus, satu HCO_3^- secara bersamaan di pindahkan ke dalam plasma kapiler peritubulus.

Ketika $[H^+]$ plasma meningkat selama asidosis, lebih banyak $[H^+]$ yang disekresikan dari pada normal. Pada saat yang sama jumlah HCO_3^- yang terfiltrasi lebih rendah dari pada normal, karena lebih banyak HCO_3^- plasma yang digunakan dalam pendaparan H^+ di CES. Peningkatan ketidak seimbangan antara HCO_3^- yang difiltrasi dan H^+ yang disekresi memiliki dua konsekuensi. Pertama lebih banyak H^+ yang disekresikan kemudian diekskresikan di urin. Sehingga menyebabkan urin lebih asam dari pada normal; yang kedua, karena ekskresi H^+ dikaitkan dengan penambahan HCO_3^- baru ke plasma maka lebih banyak HCO_3^- yang masuk ke plasma melalui ginjal. Tambahan HCO_3^- ini tersedia untuk menyangga kelebihan H^+ di tubuh.

Dalam situasi yang berlawanan pada alkalosis, laju sekresi H⁺ berkurang, sementara laju filtrasi HCO₃⁻ meningkat di bandingkan normal. Tidak semua HCO₃⁻ yang terfiltrasi akan direabsorpsi karena ion bikarbonat ini berlebihan dibandingkan dengan ion hidrogen yang disekresikan di cairan tubulus dan HCO₃⁻ tidak dapat direabsorpsi tanpa terlebih dahulu berikatan dengan H⁺. Sehingga berdampak urin menjadi lebih basa.

TABLE 15-8 Renal Responses to Acidosis and Alkalosis

Acid-Base Abnormality	H ⁺ Secretion	H ⁺ Excretion	HCO ₃ ⁻ Reabsorption and Addition of New HCO ₃ ⁻ to Plasma	HCO ₃ ⁻ Excretion	pH of Urine	Compensatory Change in Plasma pH
Acidosis	↑	↑	↑	Normal (zero; all filtered is reabsorbed)	Acidic	Alkalinization toward normal
Alkalosis	↓	↓	↓	↑	Alkaline	Acidification toward normal

Secara singkat, ketika [H⁺] plasma meningkat diatas normal sewaktu asidosis, kompensasi ginjal mencakup sebagai berikut:

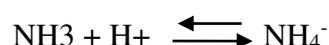
- 1) Peningkatan sekresi dan kemudian ekskresi [H⁺] di urin sehingga [H⁺] berkurang
- 2) Reabsorpsi semua HCO₃⁻ yang terfiltrasi, plus penambahan HCO₃⁻ baru ke plasma sehingga terjadi peningkatan HCO₃⁻ plasma

Jika plasma [H⁺] plasma turun dibawah normal saat alkalosis:

- 1) Berkurangnya sekresi dan ekskresi [H⁺] di urin, menahan [H⁺] dan meningkatkan [H⁺] plasma.
- 2) Reabsorpsi tak tuntas HCO₃⁻ yang terfiltrasi dan karenanya terjadi peningkatan ekskresi HCO₃⁻ yang menurunkan HCO₃⁻ plasma.

c. Sekresi amonia (NH₂)

Jika terdapat asidosis maka sel-sel tubulus mensekresi amonia (NH₃) kedalam cairan tubulus apabila dapat fosfat urin normal telah jenuh. NH₃ ini memungkinkan ginjal terus mensekresi ion H⁺, karena NH₃ berikatan dengan H⁺ bebas dicairan tubulus untuk membentuk ion amonium (NH₄⁺) sebagai berikut:



Membran tubulus tidak terlalu permeabel bagi NH_4^+ , sehingga ion amonium tetap berada dicairan tubulus dan keluar di urin, masing-masing membawa satu H^+ bersamanya. Karena itu, NH_3 yang disekresikan selama asidosis menampung kelebihan H^+ dicairan tubulus sehingga dapat disekresikan H^+ dalam jumlah besar sebelum pH urin turun di bawah ambang pembatas 4.5. jika tidak terdapat sekresi NH_3 maka tingkat sekresi H^+ akan dibatasi oleh berapapun kapasitas dapat fosfat yang kebetulan ada yang berasal dari kelebihan makanan.

Berbeda dari pada fosfat, yang berada di cairan tubulus karena terfiltrasi tetapi tidak direabsorpsi, NH_3 secara sengaja disintesis dari asam amino glutamin di dalam sel tubulus. Setelah disintesis NH_3 cepat berdifusi secara pasif menuruni gradien konsentrasinya ke dalam cairan tubulus, sehingga bahan ini disekresikan. Laju sekresi NH_3 dikontrol oleh efek langsung kelebihan H^+ yang diangkut di urin pada sel tubulus. Ketika seseorang mengalami asidosis lebih dari dua atau tiga hari maka laju produksi NH_3 ini meningkat secara bermakna. Tambahan NH_3 ini meningkatkan kapasitas dapar agar sekresi H^+ dapat berlanjut setelah kapasitas dapar fosfat normal terlampaui selama kompensasi selama kompensasi ginjal untuk asidosis.

Ginjal memerlukan beberapa jam sampai hari untuk mengompensasi perubahan pH cairan tubuh, dibandingkan dengan respon segera dari sistem dapar dan kemunculan beberapa menit kemudian respon sistem pernapasan. Ginjal merupakan lini ke tiga pertahanan akibat perubahan $[\text{H}^+]$ dicairan tubuh.

5. Ketidakseimbangan asam basa dapat disebabkan oleh disfungsi pernapasan atau gangguan metabolik

Penyimpangan dari status normal asam basa dibagi menjadi 4 kategori, bergantung pada sumber dan arah perubahan abnormal $[\text{H}^+]$, kategori tersebut Asidosis respiratorik, Alkalosis respiratorik, Asidosis metabolik, Alkalosis metabolik. Karena hubungan antara $[\text{H}^+]$ dan konsentrasi anggota pasangan basa, maka perubahan pada $[\text{H}^+]$ tercermin oleh perubahan rasio HCO_3^- terhadap CO_2 . Rasio normal berdasarkan persamaan henderson-hasselbalch 20/1.

- 1) Perubahan pH yang disebabkan oleh faktor pernapasan berkaitan dengan CO_2 menyebabkan perubahan $[\text{H}^+]$ yang dihasilkan dari asam karbonat. Sebaliknya karena penyimpangan pH karena metabolik berkaitan dengan kelainan HCO_3^-

yang terjadi karena ketidakseimbangan antara jumlah HCO_3^- yang tersedia dan jumlah $[\text{H}^+]$ yang dihasilkan dari asam nonkarbonat yang harus di dapar oleh HCO_3^- .

- 2) Setiap kali rasio $[\text{HCO}_3^-] / [\text{CO}_2]$ turun dibawah 20/1 timbul asidosis. Jika melebihi 20/1 akan terjadi alkalosis.

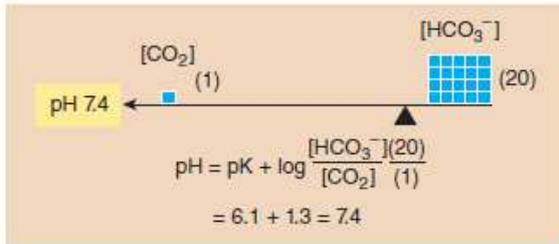
Kedua pokok tersebut menghasilkan

- a) Asidosis respiratorik memiliki rasio kurang dari 20/1 yang berasal peningkatan CO_2
 - b) Alkalosis respiratorik memiliki rasio lebih dari 20/1 karena kurangnya CO_2
 - c) Asidosis metabolik memiliki rasio kurang dari 20/1 yang berkaitan dengan penurunan HCO_3^-
 - d) Alkalosis metabolik memiliki rasio lebih dari 20/1 yang berasal dari peningkatan HCO_3^-
- a. Asidosis respiratorik

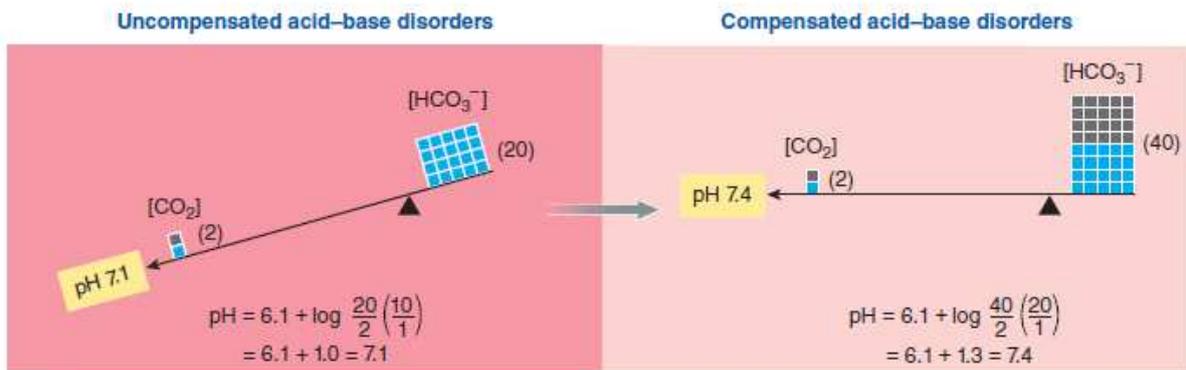
Akibat dari retensi abnormal CO_2 karena hipoventilasi. CO_2 yang keluar dari paru lebih sedikit dari pada normal maka peningkatan pembentukan dan penguraian H_2CO_3 menyebabkan peningkatan $[\text{H}^+]$. Pada asidosis respiratorik tak terkompensasi CO_2 meningkat dan dimana HCO_3^- normal, sehingga rasio 20/2 (10/1) dan pH berkurang. Keadaan normal HCO_3^- adalah 600.000 kali lebih banyak dari pada $[\text{H}^+]$. Untuk setiap satu ion hidrogen dan 600.000 ion bikarbonat di CES. Pembentukan satu hidrogen tambahan dan satu bikarbonat menyebabkan $[\text{H}^+]$ berlipat dua. Peningkatan CO_2 menyebabkan peningkatan mencolok $[\text{H}^+]$ sementara HCO_3^- pada hakekatnya tidak berubah. Kompensasi untuk asidosis respiratorik pada ginjal menahan semua HCO_3^- yang difiltrasi dan menambah HCO_3^- baru ke plasma sembari secara bersamaan mensekresi dan kemudian mengekskresi lebih banyak $[\text{H}^+]$.

- b. Alkalosis respiratorik

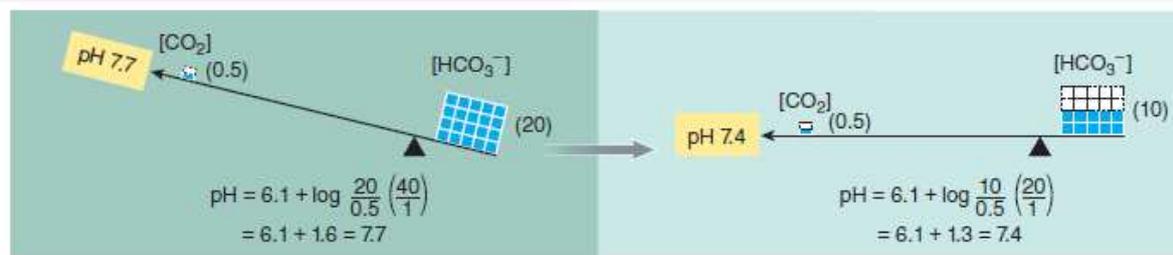
Pengeluaran berlebihan CO_2 dari tubuh akibat hiperventilasi. Jika ventilasi meningkat melebihi laju produksi CO_2 maka CO_2 yang keluar akan terlalu banyak. maka H_2CO_3 yang terbentuk berkurang dan $[\text{H}^+]$ menurun. Peningkatan pH mencerminkan penurunan CO_2 , sementara HCO_3^- tetap normal. Rasio alkalotik 20/0,5 yang setara dengan 40/1.



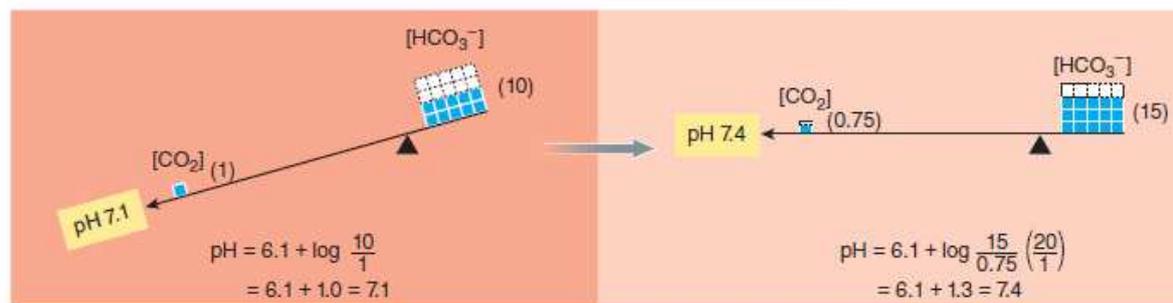
(a) Normal acid-base balance



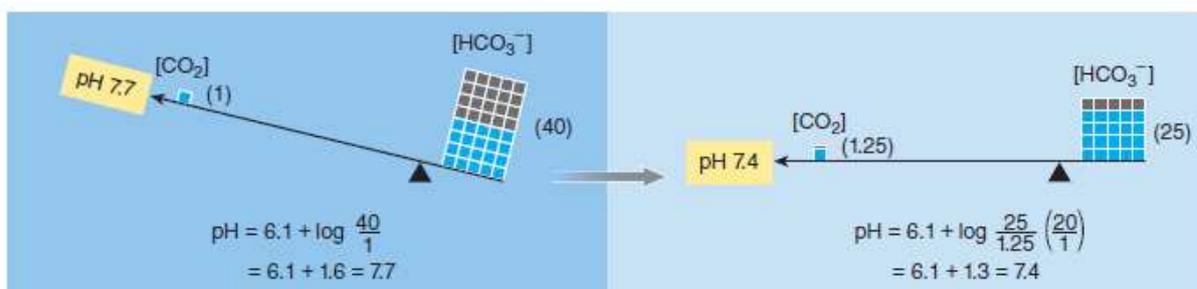
(b) Respiratory acidosis



(c) Respiratory alkalosis



(d) Metabolic acidosis



(e) Metabolic alkalosis

c. Asidosis metabolik

Asidosis metabolik ditandai oleh penurunan HCO_3^- plasma, sementara CO_2 normal. Hingga terbentuk rasio asidotik 10/1. Masalah dapat timbul krena pengeluaran cairan kaya HCO_3^- yang berlebihan dari tubuh atau karena akumulasi asam nonkarbonat. Seperti diare berat, DM, olahraga berat, asidosis uremik.

Kecuali asidosis uremik, asidosis metabolik dikompensasi oleh mekanisme pernapasan dan ginjal serta dapar kimiawi. Penyangga menyerap kelebihan H^+ , paru mengeluarkan lebih banyak CO_2 penghasil H^+ , ginjal mengekskresikan H^+ lebih banyak menahan HCO_3^- .

d. Alkalosis metabolik

Penurunan H^+ plasma akibat defisiensi relatif asam-asam nonkarbonat. Berkaitan dengan peningkatan HCO_3^- yang pada keadaan tak terkompensasi tidak disertai oleh perubahan CO_2 . Menghasilkan rasio alkalosis 40/1. Keadaan ini timbul karena muntah, ingesti obat alkali. Pada kompensasi alkalosis metabolik sistem dapar kimiawi segera membebaskan H^+ , ventilasi berkurang sehingga CO_2 penghasil H^+ tertahan dicairan tubuh, jika keadaan menetap beberapa hari maka ginjal akan menahan H^+ dan mengekskresikan lebih banyak HCO_3^- diurin.

TABLE 15-9 Summary of $[\text{CO}_2]$, $[\text{HCO}_3^-]$, and pH in Uncompensated and Compensated Acid-Base Abnormalities

Acid-Base Status	pH	$[\text{CO}_2]$ (Compared to Normal)	$[\text{HCO}_3^-]$ (Compared to Normal)	$[\text{HCO}_3^-]/[\text{CO}_2]$
Normal	Normal	Normal	Normal	20/1
Uncompensated respiratory acidosis	Decreased	Increased	Normal	20/2 (10/1)
Compensated respiratory acidosis	Normal	Increased	Increased	40/2 (20/1)
Uncompensated respiratory alkalosis	Increased	Decreased	Normal	20/0.5 (40/1)
Compensated respiratory alkalosis	Normal	Decreased	Decreased	10/0.5 (20/1)
Uncompensated metabolic acidosis	Decreased	Normal	Decreased	10/1
Compensated metabolic acidosis	Normal	Decreased	Decreased	15/0.75 (20/1)
Uncompensated metabolic alkalosis	Increased	Normal	Increased	40/1
Compensated metabolic alkalosis	Normal	Increased	Increased	25/1.25 (20/1)

BAB 3

KESIMPULAN

1. Tantangan utama dalam mengontrol keseimbangan asam basa adalah mempertahankan kebasaaan plasma normal karena terjadi penambahan terus menerus $[H^+]$ dari aktivitas metabolik, sumber utama $[H^+]$ adalah penguraian H_2CO_3 yang dibentuk CO_2 .
2. Tiga lini pertahanan untuk menahan perubahan pada $[H^+]$ adalah sistem dapar kimiawi, kontrol respirasi atas pH, kontrol ginjal atas pH.
3. Ginjal adalah lini pertahanan ke tiga dan paling kuat. Ginjal memerlukan beberapa jam untuk mengompensasi penyimpangan pH cairan tubuh. Namun, organ ini tidak saja mengeliminasi dalam jumlah normal $[H^+]$ yang berasal dari sumber non- H_2CO_3 tetapi jugadapat mengubah laju pengeluaran $[H^+]$ sebagai respon terhadap perubahan asam non- H_2CO_3 dan H_2CO_3
4. Ginjal mengkompensasi asidosis dengan mengeluarkan kelebihan $[H^+]$ diurin sembari menambahkan HCO_3^- baru keplasma.
5. Empat jenis ketidak seimbangan asam basa adalah asidosis respiratorik, alkalosis respiratorik, asidosis metabolik, dan alkalosis metabolik.

DAFTAR PUSTAKA

Sherwood, L. (2010). *Human Physiology From Cells to Systems* (7th ed.). Belmont, USA: Cengage Learning.

Smeltzer, S. C., Hinkle, J. L., Bare, B. G., & Cheever, K. H. (2010). *Brunner & Suddarth's textbook of medical-surgical nursing* (12th ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

Tortora, G. J., & Derrickson, B. (2014). *Principles Of Anatomy and Phisiology* (14th ed.). Hoboken USA: Wiley.