MODUL

TOPIK HOMEOSTASIS KARDIOVASKULER DAN REGULASI TEMPERATUR

dr. Abdillah Iskandar, M.Kes

PROGRAM STUDI PENDIDKAN DOKTER
FAKULTAS KEDOKTERAN UIVERSITAS MULAWARMAN
SEMESTER GANJIL 2021/2022
Samarinda, 09 Desember 2021

MODUL 5

HOMEOSTASIS KARDIOVASKULER DAN REGULASI TEMPERATUR

KEGIATAN PEMBELAJARAN

I. Tutorial

Liburan ke Gurun, Suami Istri Tewas Kepanasan, Anak Selamat

Santa Fe - Liburan impian keluarga Steiner selama lima minggu ke Amerika Serikat (AS) berakhir petaka. Ornella dan David Steiner meninggal karena kepanasan dan dehidrasi saat berkunjung ke gurun pasir di White Sands National Monument, Negara Bagian New Mexico. Hanya putra mereka, Enzo Steiner, 9, yang berhasil selamat. Enzo ditemukan dengan kondisi dehidrasi dan terbakar matahari di dekat jenazah ayahnya. Dua botol air kosong berukuran 500 mililiter tergeletak di samping mereka. Air yang dibawa keluarga itu jauh dari yang disarankan penjaga, yaitu 3,8 liter untuk setiap pendaki.

Keluarga tersebut tampaknya mendaki sesaat setelah tengah hari tanpa melewati penjagaan resmi. Padahal, petugas menyarankan agar pendakian dilakukan pagi atau sore hari. Sebab, pada musim panas seperti saat ini, temperatur udara bisa mencapai 100 derajat Celsius. Namun, pada saat kejadian, temperatur diperkirakan 40 derajat Celsius.

Jenazah pasangan Steiner ditemukan terpisah. Ornella diperkirakan merasa tidak sehat, kemudian kembali ke mobil. Sayangnya, dalam perjalanan dia pingsan dan akhirnya meninggal. David terus melanjutkan perjalanan bersama Enzo sebelum akhirnya menemui ajal. Penjaga menemukan jenazah Ornella lebih dulu saat sedang melakukan patroli rutin pukul 17.30 waktu setempat Selasa lalu (4/8). Dari kamera yang ditemukan di tubuh Ornella, diketahui mereka datang bertiga. Baru setelah itu jenazah David ditemukan dengan Enzo di sampingnya.

Kepada petugas, Enzo menjelaskan tidak tahu harus melakukan apa ketika ayahnya tidak sadarkan diri. Karena itulah, dia memutuskan untuk tinggal di sampingnya. Enzo menceritakan, orang tuanya memberinya air lebih banyak daripada yang mereka minum. "Mungkin karena itulah dia (Enzo, red.) berhasil selamat. Dia lebih kecil dan minum lebih banyak air," ujar Sheriff Benny House.

(Disadur dari JPNN.com, Selasa, 11 Agustus 2015; sumber: CNN/The Guardian/sha/c9/ami)

STEP I

KLARIFIKASI SKENARIO

1. Dehidrasi: kondisi ketika tubuh kehilangan lebih banyak cairan daripada yang didapatkan, sehingga keseimbangan zat gula dan garam menjadi terganggu, akibatnya tubuh tidak dapat berfungsi secara normal
2. Panas: suatu bentuk energy yang mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah
3. Temperatur: ukuran tingkat intensitas panas

STEP II

PERTANYAAN YANG MUNGKIN MUNCUL

1. Bagaimana manusia mengalami kepananasan, dan pada suhu lingkungan berapa manusia dapat mengalaminya?
2. Mengapa si anak tidak pingsan dan tidak tewas meskipun tubuhnya terbakar matahari?
3. Bagaimana dengan minum air dan karena tubuhnya yang kecil maka si anak bisa selamat?
4. Mengapa ayah dan ibunya pingsan dan kemudian tewas?
5. Apakah peristiwa pingsan dan kematian ini dapat dicegah?
6. Perawatan apa yang sebaiknya diberikan oleh petugas sebagai pertolongan bagi si anak?

STEP III

Pengetahuan yang sudah harus dimiliki :

1. Fisiologi sistem respirasi (Blok 2)
2. Fisiologi sistem kardiovaskuler (Blok 3 modul 1 dan 2)
3. Kalor, suhu, dan kelembaban (Fisika SMU kelas X dan XI, Biologi SMU kelas X, Geografi SMU Kelas X)

KONSEP YANG MENDASARI

A. Konsep panas adalah energi dan temperatur adalah ukuran intensitas panas

Panas diartikan sebagai bentuk ebergi yang mengalir dari satu titik dengan temperatur tertentu ke titik lain yang temperaturnya lebih rendah. Panas dapat dibagi menjadi *sensible* dan laten.

Sensible heat adalah ekspresi dari tingkat eksitasi molekul suatu benda. Eksitasi ini dapat disebabkan oleh berbagai sumber seperti paparan radiasi, gesekan antar dua obyek, reaksi kimia, atau kontak dengan obyek yang lebih panas. Bila temperatur suatu beda berubah, kandungan panas benda tersebutlah yang berubah.

Latent heat adalah panas yang mengubah bentuk suatu benda dari padat ke cair atau cair ke gas. Bila gas mencair (kondensasi) atau cairan memadat berarti benda tersebut melepaskan panas latennya.

Enthalpy adalah jumlah dari *sensible* dan *latent heat* dari suatu obyek. Dengan mengetahui enthalpy/ total panas dari lingkungan dan enthalpy dari kondisi nyaman yang diinginkan maka akan diketahui panas yang harus ditambahkan (dengan pemanasan atau pelembaban) atau dibuang (dengan peni\dinginan atau pengurangan kelembaban).

Temperatur adalah ukuran derajat intensitas panas. Sistem Inggris menggunakan ukuran Farenheit, sedangkan Standar Internasional menggunakan Celcius.

B. Konsep semakin panas udara semakin banyak uap air yang dapat ditahannya

Kelembaban adalah jumlah uap air di udara. Jumlah uap air per unit udara disebu sebagai kelembaban absolut. Jumlah uap air yang dapat bertahan di udara tergantung pada temperatur. Semakin panas temperatur maka semakin banyak uap air yang dapat ditahannya. Karena itu muncul istilah kelembaban relatif yaitu jumlah uap air sesungguhnya yang ada di udara pada suatu waktu dibandingkan dengan jumlah maksimal uap air yang dapat ditahan oleh udara tersebut.

Walaupun toleransi manusia terhadap kelembaban jauh lebih besar dari temperatur, tetapi kelembaban juga berperan penting. Kelembaban yang tinggi dapat menghambat pengeluaran panas tubuh (berkeringat atau respirasi), karena udara lebih jenuh dengan uap air sehingga tidak dapat mengabsorbsi lebih banyak dari kulit. Kelembaban yang rendah meningkatkan pelepasan panas dari kulit. Tetapi kelembaban rendah juga menyebabkan tenggorokan dan rongga hidung terasa kering

C. Konsep suhu inti selalu konstan sedangkan suhu kulit berubah sesuai dengan suhu lingkungan, pada orang sehat

Rata- rata suhu tubuh berkisar 37°C ± 0.5°C (98.6°F) dan biasanya dijaga pada 35.8–38.2°C (96–101°F), apapun perubahan suhu lingkungan yang terjadi. Pada individu yang sehat, fluktuasinya 0,6^{O} C (1^{O}F) dalam 24 jam, dengan suhu terendah pada pagi awal dan tertinggi saat sore. Homeostasis ini diperlukan untuk menjaga kecepatan aktivitas enzimatik. Peningkatan suhu tubuh menyebabkan katalisis enzimatik meningkat, dimana peningkatan 1^{O}C menyebabkan peningkatan reaksi kimia 10%. Ketika temperature meningkat melebihi rentang homeostasis, neuron terdepresi dan protein mulai terdenaturasi. Anak-anak mengalami kejang saat suhu tubuh mencapai 41°C. Sedangkan tubuh lebih mampu menghadapi penurunan suhu bila dikontrol dengan hati-hati. misalnya pendinginan tubuh saat operasi jantung untuk menghentikan kerja jantung.

Suhu inti/core dan suhu permukaan/kulit

Bagian tubuh yang berbeda memiliki suhu yang berbeda. Inti tubuh (organ di dalam kavitas kranium, thoraks, dan abdomen) mempunyai temperatur yang relatif konstan (36.3“C - 37.1°C), sedangkan permukaan/ kuit memiliki temperatur yang berfluktuasi (20°C - 40°C) tergantung pada aktivitas tubuh dan suhu eksternal.

Suhu inti bisa diukur melalui mulut atau rektum (rektum lebih tinggi 0.4^{O}C dibanding mulut, dan indikator paling baik dari suhu inti). Darah menjadi agen pertukaran panas utama antara inti dan permukaan. Bila kulit lebih panas dari lingkungan eksternal, panas dilepaskan tubuh dengan meningkatkan aliran darah menuju kapiler kulit. Sedangkan bila panas harus disimpan, aliran darah yang menuju kulit dikurangi.

D. Konsep panas tubuh dikontrol dengan menyeimbangkan produksi panas dengan pelepasan panas

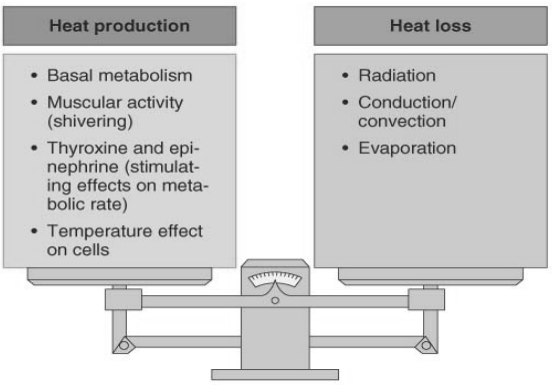
Suhu inti merupakan refleksi dari kandungan panas total tubuh. Untuk dapat menjaga suhu inti tetap konstan, input panas harus seimbang dengan output panas.

***Input* panas** berasal dari lingkungan eksternal dan bersumber utama dari produksi panas internal. Pembentukan panas selalu melebihi kebutuhan tubuh untuk menjaga suhu inti, karenanya kelebihan panas harus dieliminasi.

***Output* panas** terjadi melalui permukaan tubuh yang terpapar ke lingkungan eksternal.

Mekanisme transfer panas (*output* panas)

a) Radiasi – transfer energi panas dari satu obyek ke obyek lain yang lebih dingin, dalam bentuk gelombang electromagnet (gelombang panas) yang berpindah melintasi ruang.	**b) Konduksi** —transfer panas dari satu obyek ke obyek lain yang lebih dingin yang bersentuhan langsung. Panas ditransfer melalui perpindahan energi panas dari molekul ke molekul yang bersebelahan..	**c) Konveksi** — transfer energy panas melalui aliran udara. Udara dingin yang sudah dipanaskan oleh tubuh akan naik dan digatikan oleh udara yang lebih dingin.. Proses ini akan meningkatkan dorongan pergerakan udara di permukaan tubuh	**d) Evaporasi** — konversi cairan (misal keringat) menjadi uap gas, suatu proses yang memerlukan panas yang diabsorbsi dari kulit..



Suhu tubuh tetap konstan selama produksi dan pelepasan panas seimbang. Keseimbangan ini dapat terganggu oleh :

1. Perubahan produksi internal untuk tujuan yang tidak berhubungan dengan regulasi suhu tubuh (paling sering adalah olahraga).
2. Perubahan suhu lingkungan eksternal yang mempengaruhi tingkat perolehan dan kehilangan panas antara tubuh dengan sekitarnya.

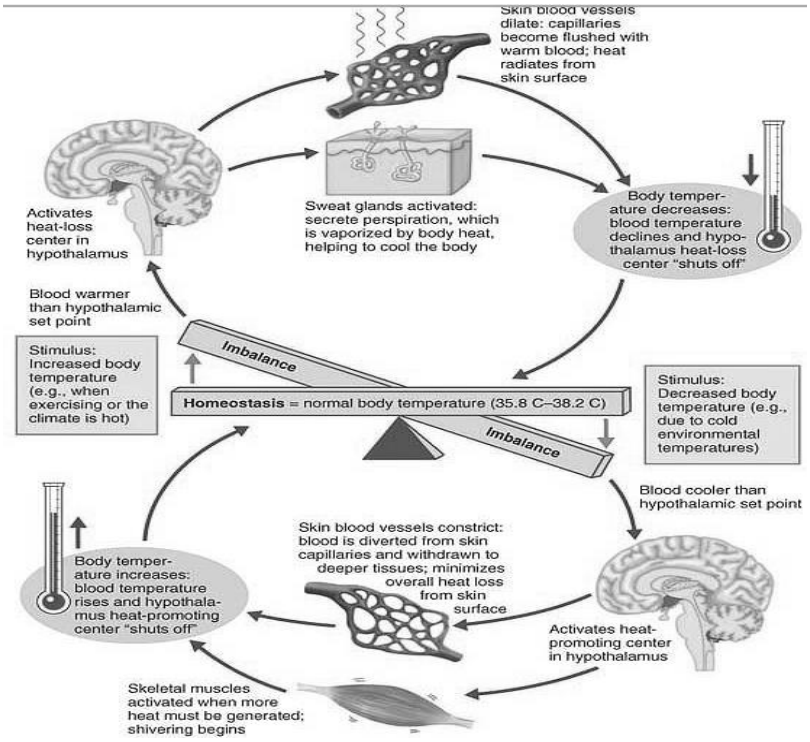
E. Konsep pusat pengaturan panas terletak pada hipotalamus dan reseptornya pada preoptik hipotalamus anterior, kulit, dan organ visceral tertentu

Hipotalamus mengintegrasikan berbagai input termosensoris. Ia menerima informasi afferen dari berbagai bagian tubuh dan memicu penyesuaian mekanisme kehilangan dan pembentukan panas (*heat-gain and heat loss mechanism*) untuk mengembalikan suhu inti ke normal. Hipotalamus sangat sensitif terhadap perubahan tubuh higga sekecil 0,01^{O} C. Hipotalamus memiliki **dua pusat pengaturan suhu** yang terletak di posterior diaktifkan oleh suhu dingin, dan di anterior yang diaktifkan oleh suhu hangat.

Informasi suhu tubuh untuk hipotalamus berasal dari termoreseptor yang memberi informasi suhu inti maupun suhu kulit. Termoreseptor suhu inti terletak pada

hipotalamus sendiri (area preoptik hipotalamus anterior) dan organ internal. Termoreseptor untuk suhu kulit terletak pada kulit.

F. Respon manusia terhadap suhu lingkungan : hipertermia dan hipotermia



Respon terhadap panas

Vasodilatasi pembuluh darah kulit dipicu oleh hambat saraf simpatik otot polos arteriol oleh hipotalamus posterior. Ketika pembuluh darah melebar, panas akan meninggalkan tubuh melalui radiasi, konduksi, dan konveksi.

Berkeringat merupakan proses pelepasan panas secara aktif melalui evaporasi yang dikontrol saraf simpatik. Jumlah keringat yang terbentuk menentukan kecepatan pelepasan panas. Bahkan bila temperatur lingkungan melebihi temperatur kulit, berkeringat menjadi satu-satunya jalan pelepasan panas karena tubuh mendapat panas dari proses radiasi dan konduksi.

Keringat merupakan cairan garam yang encer yang dihasilkan oleh kelenjar keringat *eccrine*. Untuk dapat menyebabkan pelepasan panas, keringat harus evaporasi dari kulit. Bila keringat tetap pada kulit atau dilap, maka tidak tercapai pelepasan panas. Pada temperatur normal terbentuk 100 ml keringat per hari. Pada cuaca panas dapat mencapai 1 liter, dan saat olahraga berat mencapai 4 liter.

Hipotalamus mengurangi pembentukan panas dari otot skeletal. Mekanismenya berupa penurunan tonus otot dan pengurangan gerakan volunteer. Tetapi mekanisme ini tidak terlalu efektif karena otot skeletal selalu terkondisi untuk rendah tonusnya sehingga sulit untuk semakin diturunkan, dan suhu yang panas memicu peningkatan aktivitas enzim metabolisme. Aktivitas volunteer yang diinduksi adalah penurunan aktivitas (*laying low*),

mencari area yang lebih sejuk atau menggunakan alat pendingin udara, mengenakan pakaian berwarna cerah dan longgar).

Respon terhadap dingin

Vasokonstriksi pembuluh darah kulit melalui aktivasi saraf simpatik. Hasilnya darah terfokus pada area tubuh yang lebih profundus dan tidak melewati kulit. Karena kulit dipisahkan dengan bagian yang lebih profundus oleh lapisan insulator (lemak) maka kehilangan panas dari permukaan tubuh menjadi berkurang dan temperatur permukaan tubuh cenderung menyamai temperatur lingkungan eksternal.

Menggigil (*shivering*) merupakan respon involunter utama untuk meningkatkan produksi panas. Pada keadaan istirahat, sebagian besar panas tubuh dihasilkan dari metabolisme organ thoraks dan abdomen. Diluar kondisi basal ini, kecepatan produksi panas dipengaruhi oleh perubahan aktivitas otot skeletal atau kerja hormon (sebagian kecil).
Pada kondisi suhu inti menurun, hipotalamus memberi sinyal melalui jalur *descending* yang berakhir pada motor neuron otot skeletal, yang perlahan akan meningkatkan tonus otot. Segera terjadi menggigil, berupa kontraksi otot yang ritmik dan osilasi (bergoyang kesana kemari) dengan kecepatan 10 -20 per detik. Seluruh energi yang didapat dikonversi menjadi panas karena tidak ada kerja eksternal yang terjadi.

Non shivering thermogenesis diperlukan terutama pada bayi baru lahir karena ketidakmampuannya untuk menggigil. Proses ini dimediasi oleh hormon epinefrin dan tiroid, yang meningkatkan produksi panas melalui stimulasi metabolisme lemak. Ketika suhu lingkungan sangat menurun, hipotalamus akan memicu *thyrotropin-releasing hormone* (pada bayi), yang memicu pelepasan hormon tiroid ke darah. Karena hormon tiroid meningkatkan metabolism tubuh, produksi panas tubuh juga meningkat. Respon serupa tidak didapatkan pada dewasa.

Aksi produksi panas secara volunter juga dipicu oleh hipotalamus. Sebagai bagian dari sistem limbik, hipotalamus mempengaruhi perilaku untuk menghasilkan panas secara disadari. Aksi tersebut misalnya meloncat-loncat atau menepuk- nepuk tangan, menggunakan pakaian yang lebih hangat, minum cairan panas, mengubah postur untuk mengurangi permukaan tubuh yang terpapar.

G. Penjelasan skenario

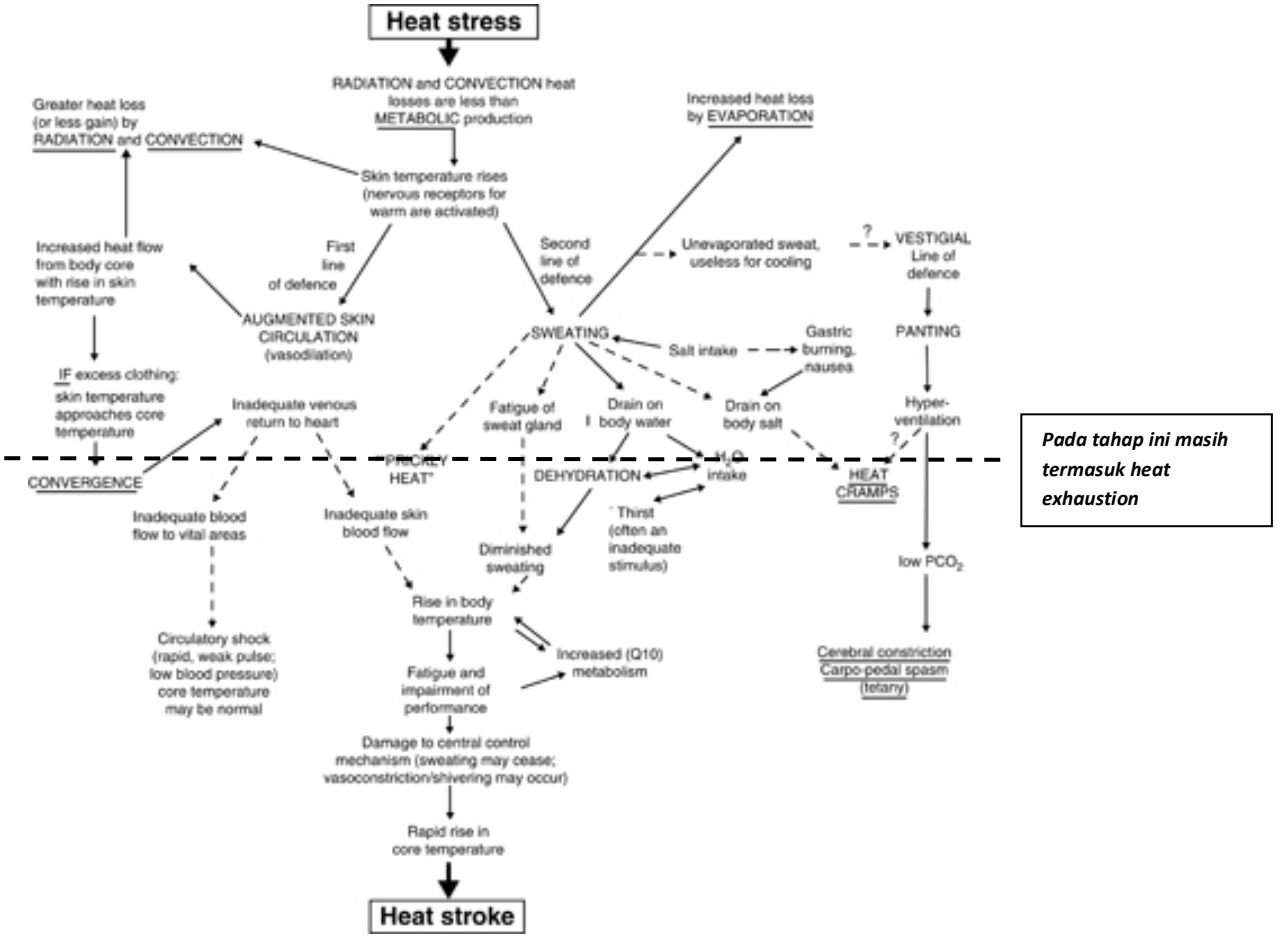
Pada skenario ini terjadi *heat exhaustion* yang disebabkan oleh penurunan tekanan darah akibat usaha berlebihan untuk membuang panas. Akibat suhu eksternal yang panas, hipotalamus anterior mendapatkan informasi dari termoreseptor. Hipotalamus memberikan sinyal kepada otot polos arteriol kulit untuk bervasodilatasi (mengeluarkan panas secara konveksi, konduksi, dan radiasi) serta kepada kelenjar keringat *eccrine* untuk menghasilkan keringat (mengeluarkan panas secara evaporasi). Usaha ini akan berhasil bila pengeluaran panas berjalan dengan lancar.
Pada suhu lingkungan yang lebih rendah dari suhu inti maka proses konveksi, konduksi, dan radiasi akan berjalan. Tetapi karena kelembaban yang tinggi maka proses evaporasi panas melalui keringat tidak berhasil. Hal ini disebabkan karena kandungan uap air di udara yang tinggi akan menghambat penguapan keringat walaupun keringat tetap terbentuk. Proses

pengeluaran panas tidak efektif sehingga tubuh berusaha lebih keras dengan lebih banyak mengeluarkan keringat dan meningkatkan dilatasi pembuluh darah kulit. Peningkatan produksi keringat menurunkan *cardiac output* dan menurunkan volume plasma. Peningkatan dilatasi arteriol akan menurunkan resistensi perifer total. Karena tekanan darah ditentukan oleh *cardiac output* dan resistensi pembuluh darah perifer maka tekanan darah menurun, jumlah darah yang menuju otak tidak mencukupi, dan terjadilah pingsan. Maka yang terjadi pada *heat exhaustion* adalah konsekuensi dari aktivitas pengeluaran panas yang berlebihan dan bukan gagalnya mekanisme ini.

Pada kasus ini, penurunan *cardiac output* dan volume plasma dikompensasi oleh peningkatan denyut jantung (terukur juga pada nadi), peningkatan frekuensi respirasi sebagai upaya pemenuhan oksigen (*circulatory hypoxic*), tetapi tekanan darah cenderumg turun karena reflek suhu dari hipotalamus lebih kuat daripada baroreseptor. Temperatur tubuh hanya sedikit meningkat karena pengeluaran panas terjadi sangat aktif. Pingsan dalam *heat exhaustion* ini berperan sebagai cara untuk menghindari tahap kerusakan yang lebih serius yaitu *heat stroke* (*breakdown* dari mekanisme regulasi hipotalamus).

STEP IV :

KERANGKA KONSEP



STEP V :

SASARAN BELAJAR

Mahasiswa dapat menjelaskan

1. Konsep temperatur inti dan temperatur kulit
2. Mekanisme produksi dan pengeluaran panas tubuh
3. Mekanisme termoregulasi
4. Respon tubuh terhadap peningkatan suhu lingkungan
5. Respon tubuh terhadap penurunan suhu lingkungan

Referensi :

1. Guyton AC, Hall JE. Textbook of medical physiology 11th ed. 2006. Elsevier Saunders. Philladelphia – Pennsylvania.
2. Sherwood L. Human physiology: from cells to systems. 7th ed. 2010. Brook/Cole. Cengage learning. Belmont.
3. Human Comfort and Health Requirements. http://media.wiley.com/ product_data/except/53/04716896/0471689653.pdf (diakses 18 Nopember, 2012).