

## Implikasi Pola Kerja Telensefalon dan Korteks Cerebral dalam Pendidikan Jasmani

Pinton Setya Mustafa

Universitas Islam Negeri Mataram, Indonesia

Diterima: 11 Juni 2020. Direvisi: 31 Agustus 2020. Disetujui: 6 November 2020

**Abstract:** The purpose of this article discusses the work patterns of telencephalon and brain cortex and their implications in physical education. Telencephalon involves various processes, namely: intelligence, personality selection, interpreting the various sensory stimuli. While the Cortex acts as an information center for sensory and requests decisions for various types of motor. Thus the brain cortex has a contribution to the learning of motion, specifically in physical education. In addition, the development of the brain cortex can also be built through the learning of appropriate motion.

**Keywords:** telencephalon, cerebral cortex, physical education

**Abstrak:** Tujuan dari artikel ini membahas tentang pola kerja telensefalon dan korteks cerebral dan implikasinya dalam pendidikan jasmani. Telensefalon berperan berbagai proses, yaitu: penentuan kecerdasan, penentuan kepribadian, menginterpretasi rangsang berbagai indra. Sedangkan Korteks cerebral berperan sebagai pusat integrasi untuk informasi sensorik dan regio pengambil keputusan bagi berbagai jenis output motorik. Dengan demikian korteks cerebral memiliki sumbang asih pada pembelajaran gerak, khususnya dalam pendidikan jasmani. Selain itu perkembangan korteks cerebral juga dapat dibentuk melalui pembelajaran gerak yang tepat.

**Keywords:** telensefalon, korteks cerebral, pendidikan jasmani

### PENDAHULUAN

Sistem saraf merupakan salah satu sistem koordinasi yang bertugas menyampaikan rangsangan dari reseptor untuk dideteksi dan direpson oleh tubuh. Sistem saraf memungkinkan makhluk hidup tanggap dengan cepat terhadap perubahan-perubahan yang terjadi di lingkungan luar maupun dalam. Sistem koordinasi merupakan suatu sistem yang mengatur kerja semua sistem organ agar dapat bekerja secara serasi. Sistem koordinasi itu bekerja untuk menerima rangsangan, mengolahnya dan kemudian meneruskannya untuk menanggapi rangsangan. Setiap rangsangan-rangsangan yang kita terima melalui indera kita, akan dio-

lah di otak. Kemudian otak akan meneruskan rangsangan tersebut ke organ yang bersangkutan.

Sistem saraf adalah serangkaian organ yang kompleks dan bersambungan serta terdiri terutama dari jaringan saraf. Sistem saraf berfungsi untuk menyelenggarakan kerja sama yang rapi dalam organisasi dan koordinasi kegiatan tubuh (Pearce, 2011, p. 335). Sistem saraf bersama-sama dengan sistem endokrin, melakukan bagian terbesar dalam pengaturan tubuh. Pada umumnya Sistem saraf mengatur kegiatan tubuh yang cepat, seperti kontraksi otot, peristiwa viseral yang berubah dengan cepat, dan bahkan kecepatan sekresi beberapa kelenjar endokrin (Harun, 2011, p. 2).

Sistem saraf mempunyai tiga fungsi yang saling tumpang-tindih: (1) *input* sensoris, (2) integrasi, dan (3) *output* motoris. *Input* adalah pengantaran atau kondisi sinyal dari reseptor sensoris, misalnya sel-sel pendeteksi cahaya mata, ke pusat integrasi. Integrasi adalah proses penerjemahan informasi yang berasal dari stimulasi reseptor sensoris oleh lingkungan, kemudian dihubungkan dengan respons tubuh yang sesuai. Sebagian besar integrasi dilakukan dalam sistem saraf pusat (SSP) atau *central nervous system, (CNS)*, yaitu otak dan sumsum tulang belakang (pada vertebrata). Output motorik adalah pengantaran sinyal dari pusat integrasi, yaitu SSP, ke sel-sel efektor (*effectorcells*), sel-sel otot atau kelenjar yang mengaktualisasikan respons tubuh terhadap stimulasi tersebut. Sinyal tersebut dihantarkan oleh saraf (*nerve*), berkas mirip tali yang berasal dari penjurulan neuron yang terbungkus dengan ketat dalam jaringan ikat (Campbell & Reece, 2004, p. 237).

Sistem saraf terdiri atas 2 bagian besar yaitu sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi, sistem saraf pusat terdiri dari otak (*enkephalon*)

dan sumsum tulang belakang (*medula spinalis*). Susunan ini terdiri atas otak, sumsum tulang belakang, dan urat-urat saraf atau saraf cabang yang tumbuh dari otak dan sumsum tulang belakang, yang disebut urat saraf perifer (urat saraf tepi). Jaringan saraf membentuk salah satu dari empat kelompok jaringan utama pada tubuh (Pearce, 2011, p. 334).

Otak (*encephalon*) bertanggung jawab antara lain dalam aktivitas sadar manusia (Waluyo, 2016, p. 13). Otak merupakan organ tubuh yang sangat penting yang memiliki fungsi antara lain untuk mengontrol dan mengkoordinasi semua aktivitas normal tubuh serta berperan dalam penyimpanan memori. Jaringan otak memiliki sel utama yakni sel saraf (neuron) yang berfungsi untuk menyampaikan sinyal dari satu sel ke sel lainnya serta sel glia yang berfungsi untuk melindungi, mendukung, merawat, serta mempertahankan homeostasis cairan di sekeliling neuron (Djuwita et al., 2012, p. 125). Menurut (Baharudin, 2012, p. 46) otak terdiri dari: (1) otak besar (*cerebrum*), (2) batang otak (*brain stem*) (3) otak kecil (*cerebellum*). Menurut (McCrone, 2003, p. 33) proses pembentukan bagian atas otak dimulai saat manusia dalam rahim, di sana janin sudah mulai melatih sirkuit motor, meraba, merasa, dan mendengar. Kemudian Menurut (Rahman, 2005, p. 1) pertumbuhan otak manusia pada usia 4 tahun telah mencapai 50%, usia 8 tahun mencapai 80%, dan usia 18 tahun telah mencapai 100% dari otak orang dewasa hingga diperkirakan perkembangan otak berjalan sampai usia 50 tahun.

Otak sehat merupakan otak normal yang mampu berkinerja menjadikan dirinya bermanfaat bagi yang lain sehingga mampu menyejahterakan alam seisinya. Otak normal dicapai melalui asupan gizi seimbang, sedang otak sehat dibina melalui pendidikan di keluarga, di institusi pendidikan, dan di masyarakat. Revitalisasi peran orang tua, guru, dan dosen serta para pemangku kepentingan dalam penyehatan otak harus segera dilakukan. Otak sehat mengendalikan perubahan fisiobiologis yang mampu menghambat perubahan patobiologis (konsep dalam psikoneuroimunologi) (Sutanto, 2016, p. 1). Otak merupakan jaringan yang paling banyak memakai energi (400 kkal) dalam seluruh tubuh manusia dan terutama berasal dari proses metabolisme oksidasi glukosa. Jaringan otak sangat rentan terhadap perubahan oksigen dan glukosa darah, aliran darah berhenti 10 detik saja sudah dapat menghilangkan kesadaran manusia. Berhenti dalam

beberapa menit, merusak permanen otak. Hipoglikemia yang berlangsung berkepanjangan juga merusak jaringan otak (Prince & Wilson, 2006:1024).

Jaringan otak sistem saraf pusat (SSP) sangat peka terhadap berbagai cedera seperti trauma mekanik, ischemia, dan stres oksidatif (Lee et al., 2002, p. 117). Baik cedera SSP maupun penyakit neurodegeneratif dapat mengakibatkan berbagai tingkat kematian neuron dan neuroinflamasi serta kelemahan memori (Jackson et al., 2010, p. 1). Kegagalan neuron SSP untuk beregenerasi bukan defisit intrinsik dari neuron, melainkan fitur karakteristik dari lingkungan yang rusak yang tidak mendukung atau mencegah regenerasi (Horner & Gage, 2000, p. 963); karenanya kerusakan pada SSP dapat bersifat permanen (Yiu & He, 2006, p. 617). Dengan demikian perlu sistem saraf pusat perlu dijaga sedemikian rupa agar tetap berfungsi sebagaimana mestinya. Sebab sistem saraf juga berperan penting untuk membentuk kompetensi dalam diri manusia.

Lemahnya kompetensi sumber daya manusia, salah satunya pada aspek *hardskill*, dikarenakan faktor pengembangan ranah psikomotor di jenjang pendidikan dasar (Prastowo, 2016, p. 197). Karena pengembangan ranah psikomotor pada jenjang ini menjadi hal yang penting dan menjadi orientasi terbesar kedua setelah sikap, dan baru diikuti ranah pengetahuan. Pendidikan jasmani memberikan kesempatan anak untuk mempelajari berbagai kegiatan yang membina sekaligus mengembangkan potensi anak, dalam aspek fisik, mental sosial, emosional dan moral (Paturusi, 2012, p. 12). Oleh karena itu, kegagalan dalam proses pembelajaran pada ranah psikomotor dapat mengganggu perkembangan peserta didik pada jenjang berikutnya. Untuk itu penting untuk dikaji secara lebih mendalam tentang pembelajaran pada ranah tersebut.

Salah satu inovasi terbaru dalam dunia pendidikan yaitu ditemukan dan mulai diterapkannya temuan-temuan terbaru dalam bidang neuro sains dalam bidang pendidikan, salah satunya untuk pembelajaran psikomotor yang efektif. Perkembangan temuan-temuan riset di bidang Neuro sains pada beberapa dekade terakhir sangat pesat yang sangat berguna dalam menjelaskan secara lebih detail mengenai bagaimana cara otak manusia didesain untuk belajar sekaligus dampaknya, di mana hal tersebut sulit ditemukan pada perspektif keilmuan yang lain (Sousa, 2012, p. 6). Selain itu Neuro sains dalam pendidikan memiliki

potensi signifikan untuk menginformasikan filsafat dan teori pendidikan, sehingga dapat membantu untuk meningkatkan dan memperbaiki pemahaman kita tentang kondisi manusia (Patten & Campbell, 2011, p. 15). Akan tetapi, seperti yang disampaikan oleh (Jensen, 2011, pp. 5-7) bahwa selama ini pula para praktisi pendidikan (guru maupun dosen, dan pendidik lainnya) mengerjakan proyek yang berpusat pada otak manusia, tetapi pemahaman mereka tentang cara otak manusia belajar masih sangat minim. Sementara itu, Neuro sains menyediakan pemahaman dan temuan-temuan riset yang lebih detail tentang bagaimana cara otak dirancang secara alamiah untuk belajar.

Dari uraian tersebut terlihat jelas bahwa persoalan pemahaman tentang bagaimana cara kerja otak dalam pembelajaran menjadi hal yang pokok dan penting pada saat ini. Namun di satu sisi yang lain, para praktisi pendidikan, termasuk guru masih lemah dalam memanfaatkan temuan-temuan riset tentang bagaimana cara otak dirancang untuk belajar secara alami dengan demikian pembelajaran bisa berlangsung secara efektif, termasuk dalam kaitannya dengan pembelajaran psikomotor khususnya dalam pendidikan jasmani. Proses kesadaran, gagasan, fungsi intelektual, penyimpanan memori, perolehan kembali informasi dan pola kompleks motorik dimulai dalam cerebrum yaitu bagian dari otak yang biasa disebut otak besar (Baharudin, 2012, p. 46).

Berdasarkan uraian dalam di atas maka perlu dibahas tentang pola kerja otak, khususnya pada bagian cerebrum terutama pada bagian telensefalon atau korteks cerebral karena salah satu dari bagian otak yang lebih berperan dominan dalam psikomotor. Jadi penyajian materi dalam artikel ini antara lain: (1) telensefalon dan korteks cerebral, (2) substantia alba, (3) korteks somatosensorik primer, (4) korteks penglihatan primer, (5) korteks pendengaran primer, (6) korteks gustatorius primer, (7) korteks vestibularis primer, dan (8) implikasi korteks cerebral dalam pendidikan jasmani.

## TELENSEFALON DAN KORTEKS CEREBRAL

Di bagian permukaan otak besar terdapat bagian yang disebut telensefalon serta diensefalon. Pada bagian diensefalon, terdapat banyak sumber kelenjar yang menyekresikan hormon, seperti hipotalamus dan kelenjar pituitari (hipofisis). Bagian telensefalon merupakan bagian luar yang mudah kita amati dari

model torso. Telensefalon merupakan awal hemisfer serebral atau serebrum dan basal ganglia serta korpus striatum (substansi abu-abu) pada serebrum.

Telensefalon terletak di bagian anterior atau depan otak menuju ke setengah bagian midbrain (otak tengah) (Osumi-Yamashita et al., 1994, p. 409). Telensefalon memuat bagian terbesar dari otak, yaitu korteks cerebral atau otak besar, alokorteks dan striatum (Harris et al., 2015, p. 529). Telensefalon merupakan lapisan tipis dari otak yang berwarna abu-abu, dan terdiri atas 15-33 miliar neuron (Huang et al., 2011, p. 22904). Selain itu, telensefalon juga terdiri atas basal ganglia (bagian otak yang berfungsi sebagai penjaga keseimbangan motorik), corpus striatum (bagian di bawah korteks), dan olfactory bulb (bagian otak yang merespons bau) (Haryanto, 2010, p. 31). Telensefalon berperan dalam berbagai macam proses, seperti penentuan kecerdasan, penentuan kepribadian, menginterpretasi rangsang indra, merencanakan dan mengelompokkan, merespons indra penciuman (pembauan), serta merespons indra peraba (kulit) (Haryanto, 2010, p. 31).

Korteks cerebral berperan sebagai pusat integrasi untuk informasi sensorik dan regio pengambil keputusan bagi berbagai jenis output motorik (Silverthorn, 2013, p. 319). Fungsi utama korteks cerebral: (1) persepsi sensorik, (2) kontrol gerakan sadar, (3) bahasa, (4) sifat kepribadian, (5) proses mental canggih (fungsi luhur), misalnya berpikir, mengingat, mengambil keputusan, kreativitas, dan kesadaran diri (Sherwood, 2012, p. 155). Menurut (Silverthorn, 2013, p. 319) korteks dapat dibagi menjadi tiga spesialisasi: (1) area sensorik (juga disebut daerah sensorik), yang menerima masukan sensorik dan menerjemahkannya menjadi persepsi (kesadaran/awareness); (2) area motorik, yang mengarahkan pergerakan otot rangka; dan (3) area asosiasi (korteks asosiasi), yang mengintegrasikan informasi dari area sensorik dan area motorik, dan mengarahkan perilaku volunter.

Menurut (Baharudin, 2012, p. 47) korteks cerebral yaitu permukaan otak, yang terdapat beberapa fisura dan sulkus yang memisahkan lobus yang satu dengan lobus yang lain. Pada otak besar terdapat beberapa lobus yaitu: (1) lobus frontalis, (2) parietalis, (3) temporalis, dan (4) oksipitalis. Fisura dan sulkus. Setiap hemisfer dibagi oleh fisura dan sulkus menjadi 4 lobus (frontal, parietal, oksipital dan temporal) yang dinamakan sesuai tempat tu-

langnya berada. Pembagiannya yaitu: (1) Fisura longitudinal membagi serebrum menjadi hemisfer kiri dan kanan, (2) Fisura transversal memisahkan hemisfer serebral dari serebelum, (3) Sulkus pusat / fisura Rolando memisahkan lobus frontal dari lobus parietal (4) Sulkus lateral / fisura Sylvius memisahkan lobus frontal dan temporal, (5) Sulkus parieto-oksipital memisahkan lobus parietal dan oksipital, (6) Gyrus. Permukaan hemisfer serebral memiliki semacam konvolusi yang disebut gyrus.

Dari empat lobus yang telah dibagi tentunya memiliki fungsi masing-masing, antara lain: *Lobus frontal* yaitu pusat fungsi intelektual yang lebih tinggi, seperti kemampuan berpikir abstrak dan nalar, motorik bicara (area broca di hemisfer kiri), dan emosi, pusat pengontrolan gerakan volunter di gyrus presentralis (area motorik primer), terdapat area asosiasi motorik (area premotor). *Lobus parietal* yaitu pusat kesadaran sensorik di gyrus postsentralis (area sensorik primer) dan terdapat area asosiasi sensorik. *Lobus oksipital*, yaitu pusat penglihatan & area asosiasi penglihatan: menginterpretasi & memproses rangsang penglihatan dari nervus optikus dan mengasosiasikan rangsang ini dengan informasi saraf lain & memori, dan merupakan lobus terkecil. *Lobus temporal*, berperan dalam pembentukan dan perkembangan emosi serta pusat pendengaran

### Fungsional Korteks Cerebral

Sulkus pusat memisahkan area motorik dan sensorik dalam korteks. *Precentral gyrus* yang terletak di bagian frontal membentuk garis depan dari sulkus pusat. Permukaan dari gyrus ini merupakan area korteks motorik primer. Neuron dari korteks motorik primer mengatur secara langsung pergerakan volunter dengan pengontrolan neuron motorik somatik di batang otak dan Medula spinalis. Neuron dari korteks motorik primer disebut sel piramidal, dan jalur yang mengatur kendali gerakan volunter dikenal sebagai Traktus piramidalis (Baharudin, 2012:47).

Postcentral gyrus yang terletak di lobus parietal membentuk garis di belakang dari sulkus pusat, dan permukaannya merupakan area korteks sensorik primer. Neuron di area ini menerima informasi sensorik somatik rangsangan sentuhan, tekanan, sakit, rasa dan suhu dari talamus (Baharudin, 2012:48).

Lobus Oksipital menerima informasi visual. Korteks Auditory menerima informasi tentang pendengaran dan penciuman yang terletak pada lobus temporalis dan korteks

Gustatori berada di bagian depan insula dan berdekatan dengan lobus frontal, bagian ini menerima informasi dari reseptor rasa dari lidah dan tekak (Baharudin, 2012, p. 48). Area fungsional korteks cerebral tidak selalu sama/ sesuai dengan lobus anatomi otak. Untuk satu hal, spesialisasi fungsional tidaklah simetris lintas korteks serebrum: setiap lobus mempunyai fungsi khusus yang tidak dimiliki oleh lobus yang sesuai pada sisi/hemisfer yang berlawanan. Fungsi lateralisasi serebrum ini disebut juga dominasi serebrum, lebih populer lagi disebut dengan dominansi otak kiri otak kanan (Silverthorn, 2013, p. 319). Bahasa dan kemampuan verbal cenderung terkonsentrasi pada otak kiri, kemampuan spasial terkonsentrasi pada otak kanan. Otak kiri merupakan hemisfer dominan pada orang kanan dan otak kanan merupakan hemisfer dominan bagi banyak orang kidal. Walaupun generalisasi ini sangat mungkin berubah, hubungan persarafan di serebrum, seperti hubungan persarafan di bagian lain sistem saraf, menunjukkan adanya plastisitas (Silverthorn, 2013, p. 319).

### Daerah Asosiasi dan Pusat Integratif

Area asosiasi adalah wilayah di otak yang merupakan pusat integrasi informasi sensorik atau motorik (Borich et al., 2015, p. 258). Daerah tersebut tidak menerima informasi sensorik langsung dan tidak menghasilkan perintah motorik. Tetapi untuk merencanakan, mempersiapkan, dan membantu mengkoordinasikan output motorik maupun sensorik (Riemann & Lephart, 2002, p. 77). Area asosiasi sensorik somatik memungkinkan untuk memahami ukuran, bentuk (Kaas, 2013, p. 35), dan tekstur objek (Sun et al., 2016, p. 354), dan daerah motorik somatik asosiasi, atau korteks premotorik, pola pergerakan yang telah dipelajari untuk mengkoordinasikan kegiatan motorik (Aziz et al., 2000, p. 2662).

Pusat menerima dan memproses informasi dari berbagai daerah asosiasi yang berbeda. Daerah ini mengarahkan aktivitas motorik sangat kompleks dalam melaksanakan fungsi analitis rumit (Leisman et al., 2016, p. 95). Area Brodmann menunjukkan lokalisasi proses-proses fisiologik (maupun patologik) di korteks serebri pada daerah kortikal ini ada area-area kortikal utama..

### SUBSTANTIA ALBA

Massa putih otak (Subtansia Alba) mempunyai tiga tipe serabut yang seluruhnya berasal dari tubuh sel saraf yang terletak di

korteks (massa kelabu/ substansia grisea): (1) serabut asosiasi yang merupakan penghubung antar area pada hemisfer yang sama, (2) serabut komisural yang merupakan akson yang berproyeksi dari suatu area kortikal hemisfer ke area yang bersangkutan di hemisfer yang lainnya, misalnya komisura anterior dan korpus kalosum, serta (3) serabut proyeksi yang merupakan akson yang berproyeksi dari korteks cerebral ke struktur otak lainnya, misalnya traktus piramidalis kortikospinal yang menghantarkan impuls dari korteks ke medula spinalis (Satyanegara, 2010, pp. 20-21).

Substansia alba di inti serebrum: serat asosiasi, serat komisura & serat proyeksi. Substantia alba memiliki ciri-ciri: (1) berwarna putih jaringan saraf yang merupakan bagian yang melakukan otak dan sumsum tulang belakang; (2) Saraf jaringan terutama dari otak dan sumsum tulang yang sebagian besar terdiri dari serabut saraf myelinated digabungkan dalam traktat, memiliki warna keputih-putihan, dan biasanya mendasari abu-abu.

### KORTEKS SOMATOSENSORIK PRIMER

Korteks sensorik somatik primer (disebut juga korteks somatosensorik) pada lobus parietalis merupakan akhir jalur dari kulit, sistem muskuloskeletal, dan Visera. Jalur somatosensorik membawa informasi perabaan, suhu, nyeri, gatal, dan posisi tubuh. Kerusakan pada daerah-daerah ini mengurangi kepekaan kulit pada sisi tubuh yang berlawanan karena serabut sensorik menyilang garis tengah ke sisi yang berlawanan saat naik melalui korda spinalis atau medula (Silverthorn, 2013, p. 320).

Korteks somatosensori primer (S1) memainkan peran penting dalam memproses input somatosensori aferen dan berkontribusi pada integrasi sinyal sensorik dan motorik yang diperlukan untuk gerakan terampil (Borich et al., 2015, p. 246). Pemetaan otak dan pendekatan neurostimulasi memberikan kesempatan unik untuk mempelajari struktur dan fungsi S1 non-invasif termasuk konektivitas dengan daerah kortikal lainnya. Selain itu korteks sensorik sebagai berperan sebagai respons terhadap rangsangan sensorik dan berkontribusi dalam sinyal internal (Muckli & Petro, 2017, p. 255). Dalam Integrasi informasi somatosensori dari kedua tangan merupakan prasyarat penting untuk eksplorasi dan tugas taktil bimanual yang terkoordinasi (Sutherland, 2006, p. 8218). Jadi dengan demikian peran penting dari korteks somatosensori primer juga termasuk pengkodean nyeri pada

otot rangka (Canavero & Bonicalzi, 2013, p. 1158). Sehingga Korteks somatosensori primer berkontribusi terhadap pengalaman subjektif mengenai rasa sakit (Fields, 2012, p. 742).

Sensasi khusus penglihatan, pendengaran, pengecapan, dan olfaktorik (penghiduan), masing-masing mempunyai regio berbeda. Lintuk memroses masukan sensoriknya. Fungsi aktivitas motorik diekspresikan melalui korteks somato-motorik primer (area Brodmann 4), korteks premotor dan suplemen (area Brodmann 6), *Frontal eye field* (area Brodmann 8), dan pusat bicara Broca (area Brodmann 44). Kontrol ekspresif dari emosi dan moral dilaksanakan oleh korteks prefrontal (Satyanegara, 2010, p. 19).

### KORTEKS PENGLIHATAN PRIMER

Korteks visual berlokasi di lobus oksipitalis, menerima informasi dari mata (Silverthorn, 2013, p. 320). Korteks Penglihatan primer (*The Primary Visual Cortex*) yang terletak pada bagian paling belakang cuping occipital berfungsi untuk menerima sinyal elektrik dari reseptor di mata (retina) dan mentransformasikan sinyal ini menjadi sensasi visual dasar yang tidak bermakna, seperti cahaya, garis, bayangan, warna dan tekstur.

Area Asosiasi Visual (*The Visual Association Area*) yang terletak dekat dengan korteks penglihatan utama berfungsi untuk mentransformasikan sensasi dasar menjadi persepsi visual yang lengkap dan berwarna seperti orang, benda atau binatang. Korteks visual primer adalah pada area striata (area Brodmann 17) yang terletak di sekitar sulkus kalkarinus. Pusat asosiasi penglihatan terletak di daerah sekitar sulkus kalkarina yaitu area 18 dan 19 (Satyanegara, 2010, p. 20).

Korteks visual primer adalah area kortikal pertama yang menerima informasi dari dunia visual di sekitar kita. Neuron di area ini menerima informasi dari sebagian kecil dari lingkungan visual (bidang reseptif klasik) dan menjadi aktif hanya ketika elemen tertentu, seperti orientasi, kontras, atau gerakan objek disajikan di lokasi bidang reseptif (Supèr, 2003, p. 809). Korteks visual primer berkontribusi langsung terhadap kesadaran visual yang perannya sebagai lensa kortikal yang sangat disesuaikan melalui letak belahan otak, termasuk korteks visual ekstrastriate dan struktur lain yang berpartisipasi langsung dalam persepsi, menerima informasi visual tentang dunia (Leopold, 2012, p. 104). Ukuran korteks visual primer memainkan peran penting dalam mem-

batasan apa yang dapat kita pertahankan dalam pikiran (memori), bertindak seperti penjaga gawang dalam menghambat kekayaan fungsi mental yang bekerja (Bergmann et al., 2016, p. 43).

#### **KORTEKS PENDENGARAN PRIMER**

Korteks auditorius, berlokasi di lobus temporalis, menerima informasi dari telinga (Silverthorn, 2013, p. 320). Korteks auditori primer (*Primary Auditory Cortex*) atau korteks pendengaran primer yang terletak pada puncak dari setiap cuping temporal, menerima sinyal elektrik dari reseptor dalam telinga dan mentransformasikan sinyal ini ke dalam sensasi bunyi tanpa arti, seperti bunyi vokal dan konsonan. Lobus temporalis mempunyai dua sulkus yaitu sulkus temporalis superior dan inferior yang membaginya atas tiga girus: girus temporalis superior, medius, dan inferior. Di permukaan atas lobus ini ada satu girus lainnya yaitu girus transversum lobus temporalis (Heschl/area Brodmann 41, 42) yang merupakan lokasi radiasio akustika (korteks auditorius primer atau pusat pendengaran). Pengertian kata-kata suatu pembicaraan melibatkan peranan girus angularis (area Brodmann 39) (Satyanegara, 2010, p. 20).

Korteks auditori primer hanya mengubah sinyal listrik dari telinga menjadi sensasi basis, seperti suara khusus individu, klik, atau berisik. Supaya sensasi suara tanpa arti ini menjadi kata yang dapat dikenal, maka sensasi suara ini harus dikirim ke area asosiasi auditori. Dalam korteks pendengaran primer, ensemble neuronal diaktifkan relatif terhadap peristiwa suara yang diantisipasi setelah stimulasi ritmik, serta respon gema neuron terkait dengan selektivitas frekuensinya (Wang et al., 2018, p. 1).

Pada Area Brodmann 41/42 adalah korteks pendengaran primer yang menyimpan fungsi persepsi fonem (bunyi bahasa yang berbeda) kompleks dengan ekspresi asimetris, sehingga memungkinkan untuk memasukkannya sebagai area pemrosesan bahasa inti (area Wernicke) (Bernal & Ardila, 2016, p. 454). Area asosiasi auditori mentransformasi informasi sensori basis atau dasar, kebisingan atau suara, menjadi informasi auditori yang dapat dikenal seperti kata-kata atau musik. Hanya setelah informasi auditori dikirim oleh korteks primer ke area asosiasi auditori, maka anda akan mengenal suara misalnya nama anda, kata, atau musik. Dengan demikian, lebih tepat dikatakan bahwa anda mendengar dengan otak dan

bukannya dengan telinga.

#### **KORTEKS GUSTATORIUS PRIMER**

Korteks gustatorius, lokasinya di otak lebih dalam, dekat tepi lobus frontalis, menerima informasi sensorik dari reseptor pengecap (Silverthorn, 2013, p. 320). Korteks gustatorius primer terletak di operculum frontal di pintu masuk sulkus sylvian dan memotong transisi dengan insula pada bidang kaudal; itu menyajikan secara rostral ke area somatosensori kedua (Ogawa, 1994, p. 11). Kemudian di sekitar area korteks gustatorius primer, ada beberapa area responsif terhadap stimulasi gustatorius yang selalu siap. Serabut saraf aferen gustatorius berhubungan secara individual dengan sel reseptor pengecap. Korteks gustatorius primer adalah bagian dari sirkuit otak di mana memberikan keputusan untuk menelan atau menolak makanan. Namun, kualitas rangsangan makanan tidak hanya bergantung pada rasanya tetapi juga pada sifat-sifat seperti bau, tekstur, dan suhu (de Araujo & Simon, 2009, p. 34).

Karena komposisinya, korteks gustatorius primer kadang-kadang disebut dalam literatur sebagai AI / FO (Anterior Insula / Frontal Operculum) (Pritchard et al., 1999, p. 663). Tugas-tugas penggambaran gustatory mengaktifkan insula, menunjukkan aktivasi dominan di belahan kiri. Selanjutnya, tugas-tugas penggambaran gustatory mengaktifkan gyri frontal orbitofrontal, precentral, dan tengah atau superior. Di sisi lain, gustatory imagery yang bertolak belakang dengan visual imagery hanya mengaktifkan insula, orbitofrontal dan precentral gyri. Hasil ini menunjukkan kemungkinan bahwa sumber sinyal top-down mungkin berada di gyri frontal tengah dan superior, dan bahwa sinyal-sinyal ini dapat mempengaruhi aktivitas saraf di insula, orbitofrontal, dan gyri precentral (Kobayashi, 2006, p. 244). Fungsi utama dari sistem gustatory adalah untuk menganalisa sifat chemosensory, somatosensory, dan hedonic dari sumber makanan untuk menentukan apakah harus dicerna atau tidak (Stapleton, 2006, p. 4126). Selain itu bagian dari gustatorius primer yaitu insula berpartisipasi dalam berbagai proses kognitif termasuk integrasi persepsi, semangat, pengaturan asupan makanan, interaksi sosial, empati, pengolahan rasa sakit dan bahkan mengambil bagian dalam patogenesis beberapa gangguan neuropsikiatrik termasuk kecemasan, gangguan obsesif kompulsif dan skizofrenia (Janeš, 2015, p. 108).

### KORTEKS VESTIBULARIS PRIMER

Representasi kortikal dari sistem vestibular pada manusia berada di berbagai wilayah temporal dan parietal serebral, zona kortikal vestibular primer terletak di lobus parietal, dan fungsi kortikal vestibular di insula (Duque-Parra, 2004, p. 15). Dari beberapa penelitian lokasi korteks vestibularis terletak di belahan belahan otak kanan. Informasi vestibular memainkan peran kunci dalam banyak fungsi perseptual dan kognitif (Philbeck et al., 2006, p. 1878). Fungsi korteks vestibular ini ialah untuk orientasi ruangan dan ikut mengatur sistem motorik. Korteks ini mempunyai kemampuan untuk menyaring informasi mengenai keseimbangan (Brandt & Dieterich, 1999, p. 294). Gangguan kemampuan ini dapat mengakibatkan disequilibrium (ketidakseimbangan) yang misalnya didapatkan pada trauma otak. Stimulasi daerah korteks ini memberikan sensasi rotasi dan gerakan badan. Keseimbangan yang normal membutuhkan bahwa kita secara akurat dapat mengidentifikasi posisi kita terhadap lingkungan, dapat mengidentifikasi gerakan kita dan mengontrol gerakan kita. Tugas ini dilakukan oleh seperangkat sistem saraf yang mengkoordinasi informasi sensorik mengenai kita dan lingkungan.

Dua fungsi kortikal primer dari sistem vestibular adalah orientasi spasial dan persepsi gerak diri (Brandt, 2003, p. 219). Fungsi-fungsi ini, bagaimanapun, tidak eksklusif vestibular; mereka juga mengandalkan input visual dan somatosensori. Ketiga sistem (vestibular, visual dan somatosensori) memberi kita informasi berlebihan tentang posisi dan gerak tubuh kita relatif terhadap ruang eksternal. Fungsi sistem vestibular ialah mensuplai otak dengan informasi mengenai gerak kepala serta orientasi di ruangan. Reseptor akhir (*end organ*) terdiri atas labirin vestibular di telinga-dalam, terbungkus di dalam tulang temporal. Perhatian visual memiliki pengaruh lintas modal pada aktivitas pergerakan di korteks vestibular manusia (Frank et al., 2016, p. 127280).

### IMPLIKASI KORTEKS CEREBRAL DALAM PENDIDIKAN JASMANI

Pendidikan jasmani adalah bagian integral dari keseluruhan proses pendidikan, merupakan usaha yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja manusia melalui media kegiatan fisik yang telah dipilih dengan tujuan untuk mewujudkan hasilnya (Bucher, 1983, p. 13). Pendidikan jasmani juga merupakan suatu

proses pembelajaran melalui aktivitas jasmani yang didesain untuk meningkatkan kebugaran jasmani, mengembangkan keterampilan motorik, pengetahuan, dan perilaku hidup sehat dan aktif, sikap sportif, dan kecerdasan emosi (Kanca, 2017, p. 2; Mustafa & Dwiyoogo, 2020, p. 422). Pendidikan jasmani dan kesehatan adalah proses pendidikan yang memanfaatkan aktivitas fisik dan kesehatan untuk menghasilkan perubahan holistik dalam kualitas individu, baik dalam hal fisik, mental, serta emosional (Mustafa & Sugiharto, 2020, p. 199; Rosdiani, 2013, p. 63). Pendidikan jasmani adalah satu-satunya mata pelajaran di sekolah di mana anak-anak memiliki kesempatan untuk belajar keterampilan motorik dan mendapatkan pengetahuan untuk berpartisipasi dalam berbagai aktivitas fisik (Le Masurier & Corbin, 2006). Pendidikan jasmani juga berkaitan dengan erat dengan pendidikan olahraga sebab berhasil mensimulasikan komunitas yang ada dari olahraga, terhadap lingkungan belajar, mencakup dimensi elit, sportif, eksklusif, dan individualistis (Alexander & Luckman, 2001, p. 261).

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa pendidikan jasmani merupakan bagian dari pendidikan untuk mengembangkan kemampuan melalui gerak sehingga dapat mencapai kesehatan serta tujuan pendidikan yang diharapkan yaitu mencakup pengetahuan, keterampilan, dan sikap. Selanjutnya tujuan dari pendidikan jasmani memiliki berbagai pandangan namun prinsipnya juga sama.

Tujuan pendidikan jasmani secara umum diklasifikasikan menjadi tiga domain psikomotor, kognitif, dan afektif (Buck et al., 2004, p. 13; Husdarta, 2011, p. 9; Mustafa & Winarno, 2020, p. 88; Pestolesi & Baker, 1990, pp. 37-38). Tujuan pendidikan jasmani menurut Komite Asosiasi Pendidikan Jasmani di Amerika (NASPE): (1) kesehatan fisik, (2) kesehatan mental dan efisiensi, (3) karakter moral sosial, (4) ekspresi emosi dan kontrol, (5) apresiasi (Bucher, 1983, p. 45). Pendidikan jasmani merupakan pendidikan melalui medium aktivitas fisik yang memfokus pada pencapaian seluruh ranah tujuan belajar yang terdiri dari ranah kognitif, afektif, dan psikomotor, secara simultan dikembangkan dalam sebuah rancangan belajar yang standar (Frost, 1995). Tujuan utama dari pendidikan jasmani, yaitu peningkatan kardiovaskular, keterampilan dan kebugaran neuromotor melalui aktivitas fisik yang kuat, tetapi beberapa lebih menekankan harus diletakkan juga pada promosi perilaku kesehatan (Starc & Strel, 2012, p. 5).

Jadi setelah mengetahui tentang tujuan pendidikan jasmani maka dapat dirumuskan menjadi ruang lingkup yang perlu dipelajari oleh siswa di sekolah. Ruang lingkup pendidikan jasmani di Indonesia diatur dalam (BSNP, 2007, p. 2) yaitu aktivitas pendidikan jasmani terdiri dari tujuh aspek, yaitu: (1) permainan dan olahraga, (2) aktivitas pengembangan, (3) aktivitas senam, (4) aktivitas ritmik, (5) aktivitas air, (6) pendidikan luar kelas dan (7) kesehatan.

Peran pendidikan jasmani memiliki dasar yang kuat di sekolah-sekolah, sebab merupakan salah satu tujuan paling sentral dari pendidikan yaitu pengembangan holistik siswa. Pendidikan jasmani di sekolah memberikan pengajaran dalam bentuk olahraga tradisional seperti sepak bola, bulutangkis, bola basket, tenis, atletik dan olahraga air. Selain itu, siswa menerima kelas teori yang berkaitan dengan PJOK yang mencakup konsep kesehatan dan kebugaran, psikologi olahraga, biomekanik, nutrisi dan metode latihan (Johns, 2003).

Pendidikan jasmani memiliki tiga kualitas dasar (Eich, 2013; Mustafa et al., 2019, p. 1364), antara lain: (1) Program pendidikan jasmani perlu menyenangkan sehingga menjadi efektif, (2) Kurikulum harus ketat, yaitu tidak hanya berolahraga untuk bersenang-senang; perlu memberi siswa banyak keterampilan guna untuk membentuk kualitas kehidupan mereka mendatang, (3) Kurikulum perlu membantu menciptakan penilaian kesehatan, kebugaran, dan aktivitas fisik yang baik untuk kelas selanjutnya dan memasuki akhir masa anak-anak.

Program pendidikan jasmani yang efektif membantu siswa untuk memahami dan menghargai nilai yang baik sebagai sarana untuk mencapai produktivitas terbesar mereka, efektivitas, dan kesenangan (Urs, 2011, p. 95). Aktivitas olahraga yang baik untuk anak usia dini mempunyai karakteristik, yaitu: (1) memberi bermacam-macam pengalaman gerak (*multilateral training*) dalam bentuk permainan dan perlombaan; (2) merangsang perkembangan seluruh panca indra; (3) mengembangkan imajinasi/fantasi; dan (4) bergerak mengikuti irama/lagu dan cerita (Paiman, 2009, p. 280).

Jadi peran pendidikan jasmani dalam pembentukan sistem saraf khususnya pada korteks cerebral yang baik dapat berdampak untuk membentuk tumbuh kembang siswa agar mampu bersaing di masa depan khususnya dengan karir mereka. Sebab dengan pembentukan susunan saraf khususnya pada

korteks cerebral yang baik, maka dapat menjadikan siswa memiliki otak yang sehat dan buagar sehingga menunjang untuk berpikir kritis, mengembangkan keterampilan, dan memiliki sikap positif. Implikasi korteks cerebral dalam pendidikan jasmani saling mempengaruhi, dimana dalam belajar keterampilan gerak juga dipengaruhi oleh kualitas korteks cerebral yang baik, sedangkan tujuan dari pendidikan jasmani juga merangsang pembentukan siswa tidak terkecuali sistem saraf termasuk korteks cerebral. Apabila siswa dapat tumbuh dan berkembang secara keseluruhan (kognitif, psikomotor, dan afektif), maka dapat berpotensi meraih kesuksesan sesuai dengan keinginan mereka di masa depan

## SIMPULAN

Berdasarkan pembahasan di atas maka dapat disimpulkan bahwa sistem saraf manusia bekerja sangat kompleks. Hal tersebut terbukti bahwa pada bagian telensefalon seperti penentuan kecerdasan, penentuan kepribadian, menginterpretasi rangsang indra, merencanakan dan mengelompokkan, merespons indra penciuman, serta merespons indra peraba. Selain itu korteks cerebral berperan sebagai pusat integrasi untuk informasi sensorik dan regio pengambil keputusan bagi berbagai jenis output motorik. Korteks cerebral dibagi menjadi beberapa lobus antara lain: (1) lobus frontalis, (2) lobus parietal, (3) lobus temporalis, dan (4) lobus oksipitalis. Setiap lobus memiliki fungsi yang mengarah ke motorik. Hal tersebut secara tidak langsung berimplikasi dalam pendidikan jasmani. Sebab pendidikan jasmani adalah proses pendidikan yang diajarkan melalui gerak. Peserta didik yang memiliki korteks cerebral yang baik mampu memberikan sumbang asih dalam belajar gerak. Selain itu dalam belajar gerak juga dapat merangsang atau memberikan stimulus untuk pembentukan korteks cerebral yang baik. Dalam pendidikan dasar pendidikan jasmani dianjurkan untuk mengembangkan gerak dasar, kemudian semakin mengerucut ke arah spesialisasi atau gerakan spesifik pada jenjang pendidikan menengah.

Adapun saran mengenai pendidik maupun calon pendidik dalam keterampilan gerak khususnya pada pendidikan jasmani, hendaknya memperhatikan pembelajaran berbasis neuro sains. Sebab sistem saraf sangat mudah rentan terhadap kerusakan, terutama pada usia dini. Oleh karena itu apabila melaksanakan pembelajaran gerak sebaiknya harus bisa



merangsang berbagai area pada sistem saraf pusat, khususnya pada korteks cerebral. Setiap lobus dalam korteks cerebral harus dapat dikembangkan secara menyeluruh dengan dirangsang melalui model-model pembelajaran yang kreatif. Misalnya suasana pembelajaran pendidikan jasmani menyenangkan, dan dapat membuat semua siswa aktif untuk bergerak.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, K., & Luckman, J. (2001). Australian Teachers Perceptions and Uses of the Sport Education Curriculum Model. *European Physical Education Review*, 7(3), 243-267. <https://doi.org/10.1177/1356336X010073002>
- Aziz, Q., Thompson, D. G., Ng, V. W. K., Hamdy, S., Sarkar, S., Brammer, M. J., Bullmore, E. T., Hobson, A., Tracey, I., Gregory, L., Simmons, A., & Williams, S. C. R. (2000). Cortical Processing of Human Somatic and Visceral Sensation. *The Journal of Neuroscience*, 20(7), 2657-2663. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.20-07-02657.2000>
- Baharudin, M. (2012). *Neuroanatomi dan Aplikasi Kliniks: Diagnosis Topis*. UMM Press.
- Bergmann, J., Genç, E., Kohler, A., Singer, W., & Pearson, J. (2016). Neural Anatomy of Primary Visual Cortex Limits Visual Working Memory. *Cerebral Cortex*, 26(1), 43-50. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhu168>
- Bernal, B., & Ardila, A. (2016). From Hearing Sounds to Recognizing Phonemes: Primary Auditory Cortex is A Truly Perceptual Language Area. *AIMS Neuroscience*, 3(4), 454-473. <https://doi.org/10.3934/Neuroscience.2016.4.454>
- Borich, M. R., Brodie, S. M., Gray, W. A., Ionta, S., & Boyd, L. A. (2015). Understanding the role of the primary somatosensory cortex: Opportunities for rehabilitation. *Neuropsychologia*, 79, 246-255. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2015.07.007>
- Brandt, T. (2003). Vestibular cortex: its locations, functions, and disorders. In *Vertigo* (pp. 219-231). Springer New York. [https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3801-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3801-8_13)
- Brandt, T., & Dieterich, M. (1999). The Vestibular Cortex: Its Locations, Functions, and Disorders. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 871(1 OTOLITH FUNCT), 293-312. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1999.tb09193.x>
- BSNP. (2007). *Kurikulum Tingkat Satuan Pendidikan*. Badan Standar Nasional Pendidikan.
- Bucher, C. A. (1983). *Foundations of Physical Education & Sport*. The C.V. Mosby Company.
- Buck, M. M., Jable, J. T., & Floyd, P. A. (2004). *Introduction to Career in Health, Physical Education, and Sport*. Thomson Learning.
- Campbell, N. A., & Reece, J. B. (2004). *Biologi Edisi Kedelapan Jilid 3* (D. T. Wulandari (ed.)). Erlangga.
- Canavero, S., & Bonicalzi, V. (2013). Role of primary somatosensory cortex in the coding of pain. *Pain*, 154(7), 1156-1158. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2013.02.032>
- de Araujo, I. E., & Simon, S. A. (2009). The gustatory cortex and multisensory integration. *International Journal of Obesity*, 33(S2), S34-S43. <https://doi.org/10.1038/ijo.2009.70>
- Djuwita, I., Riyacumala, V., Mohamad, K., Prasetyaningti-  
jas, W. E., & Nurhidayat. (2012). . . Pertumbuhan dan Sekresi Protein Hasil Kultur Primer Sel-Sel Serebrum Anak Tikus. . Vol 13 (2): . Dari. *Jurnal Veteriner*, 13(2), 125-135.
- Duque-Parra, J. E. (2004). Perspective on the vestibular cortex throughout history. *The Anatomical Record*, 280B(1), 15-19. <https://doi.org/10.1002/ar.b.20031>
- Eich, P. (2013). CrossFit Kids as a Physical-Education Curriculum: A Pedagogical Perspective. *The CrossFit Journal*, 1-14.
- Fields, H. L. (2012). Pain and the primary somatosensory cortex. *Pain*, 153(4), 742-743. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2012.01.034>
- Frank, S. M., Sun, L., Forster, L., Tse, P. U., & Greenlee, M. W. (2016). Cross-Modal Attention Effects in the Vestibular Cortex during Attentive Tracking of Moving Objects. *The Journal of Neuroscience*, 36(50), 12720-12728. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2480-16.2016>
- Frost, R. B. (1995). *Physical Education: Foundations, Practices and Principles*. Addison Wesley Publishing Company.
- Harris, J., Tomassy, G. S., & Arlotta, P. (2015). Building blocks of the cerebral cortex: from development to the dish. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Developmental Biology*, 4(5), 529-544. <https://doi.org/10.1002/wdev.192>
- Harun, H. (2011). Fungsi Organ Tubuh dari Sisi Medis dan Al-Qur'an. *Jurnal Inspirasi*, 4(14), 1-12.
- Haryanto, N. (2010). *Ada Apa Dengan Otak Tengah*. Gradien Mediatama.
- Horner, P. J., & Gage, F. H. (2000). Regenerating the damaged central nervous system. *Nature*, 407(6807), 963-970. <https://doi.org/10.1038/35039559>
- Huang, N., Short, M., Zhao, J., Wang, H., Lui, H., Korbelik, M., & Zeng, H. (2011). Full range characterization of the Raman spectra of organs in a murine model. *Optics Express*, 19(23), 22892. <https://doi.org/10.1364/OE.19.022892>
- Husdarta, J. S. (2011). *Manajemen Pendidikan Jasmani* (Riduwan (ed.)). PT. Alfabeta.
- Jackson, J. S., Golding, J. P., Chapon, C., Jones, W. A., & Bhakoo, K. K. (2010). Homing of stem cells to sites of inflammatory brain injury after intracerebral and intravenous administration: a longitudinal imaging study. *Stem Cell Research & Therapy*, 1(2), 17. <https://doi.org/10.1186/scrt17>
- Janeš, I. (2015). Insular Cortex - Review. *Gyrus*, 3(2), 108-114. <https://doi.org/10.17486/gyr.3.1023>
- Jensen, E. (2011). *Pembelajaran Berbasis-Otak* (B. Molan (ed.)). Indeks.
- Johns, D. P. (2003). Changing the Hong Kong Physical Education Curriculum: A Post-Structural Case Study. *Journal of Educational Change*, 4(4), 345-368. <https://doi.org/10.1023/B:JEDU.0000006055.01460.eb>
- Kaas, J. H. (2013). The evolution of brains from early mammals to humans. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 4(1), 33-45. <https://doi.org/10.1002/wcs.1206>
- Kanca, I. N. (2017). Pengembangan Profesionalisme Guru Penjasorkes. *Seminar Nasional Profesionalisme Tenaga Profesi PJOK, Pendidikan Olahraga Pascasarjana UM*, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s10531-008-9459-4>
- Kobayashi, M. (2006). Functional Organization of the Human Gustatory Cortex. *Journal of Oral Biosciences*, 48(4), 244-260. [https://doi.org/10.1016/S1349-0079\(06\)80007-1](https://doi.org/10.1016/S1349-0079(06)80007-1)
- Le Masurier, G., & Corbin, C. B. (2006). Top 10 Reasons for

- Quality Physical Education. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance*, 77(6), 44–53. <https://doi.org/10.1080/07303084.2006.10597894>
- Lee, A. L., Ogle, W. O., & Sapolsky, R. M. (2002). Stress and depression: possible links to neuron death in the hippocampus. *Bipolar Disorders*, 4(2), 117–128. <https://doi.org/10.1034/j.1399-5618.2002.01144.x>
- Leisman, G., Moustafa, A., & Shafir, T. (2016). Thinking, Walking, Talking: Integratory Motor and Cognitive Brain Function. *Frontiers in Public Health*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00094>
- Leopold, D. A. (2012). Primary Visual Cortex: Awareness and Blindsight. *Annual Review of Neuroscience*, 35(1), 91–109. <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-062111-150356>
- McCrone, J. (2003). *Essential Science Menyingkap Kerja Otak* (B. Juliandi (ed.)). Erlangga.
- Muckli, L., & Petro, L. S. (2017). The Significance of Memory in Sensory Cortex. *Trends in Neurosciences*, 40(5), 255–256. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2017.03.004>
- Mustafa, P. S., & Dwiyo, W. D. (2020). Kurikulum Pendidikan Jasmani, Olahraga, dan Kesehatan di Indonesia Abad 21. *Jurnal Riset Teknologi Dan Inovasi Pendidikan (JARTIKA)*, 3(2), 422–438. <https://doi.org/https://doi.org/10.36765/jartika.v3i2.268>
- Mustafa, P. S., & Sugiharto. (2020). Keterampilan Motorik pada Pendidikan Jasmani Meningkatkan Pembelajaran Gerak Seumur Hidup. *Jurnal Sporta Sainitika*, 5(2), 199–218. <https://doi.org/https://doi.org/10.24036/sporta.v5i2.133>
- Mustafa, P. S., & Winarno, M. E. (2020). Penerapan Pendekatan Saintifik dalam Aktivitas Belajar Pendidikan Jasmani, Olahraga, dan Kesehatan di SMK Negeri 4 Malang. *Jurnal Penjakora*, 7(2), 78–92.
- Mustafa, P. S., Winarno, M. E., & Supriyadi. (2019). Penilaian Pendidikan Jasmani, Olahraga, dan Kesehatan pada Sekolah Menengah Pertama Negeri Kota Malang. *Jurnal Pendidikan: Teori, Penelitian, Dan Pengembangan*, 4(10), 1364–1379. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17977/jptpp.v4i10.12845>
- Ogawa, H. (1994). Gustatory cortex of primates: anatomy and physiology. *Neuroscience Research*, 20(1), 1–13. [https://doi.org/10.1016/0168-0102\(94\)90017-5](https://doi.org/10.1016/0168-0102(94)90017-5)
- Osumi-Yamashita, N., Ninomiya, Y., Eto, K., & Doi, H. (1994). The contribution of both forebrain and midbrain crest cells to the mesenchyme in the frontonasal mass of mouse embryos. *Developmental Biology*, 164(2), 409–419. <https://doi.org/10.1006/dbio.1994.1211>
- Paiman. (2009). Olahraga dan Kebugaran Jasmani (Physical Fitness) pada Anak Usia Dini. *Cakrawala Pendidikan*, 28(3), 270–281.
- Patten, K. E., & Campbell, S. R. (2011). *Education Neuroscience*. Willy-Blackwell.
- Paturusi, A. (2012). *Manajemen Pendidikan Jasmani dan Olahraga*. Rineka Cipta.
- Pearce, E. C. (2011). *Anatomi dan Fisiologi untuk Paramedis*. PT Gramedia Pustaka Umum.
- Pestolesi, R. A., & Baker, C. (1990). *Introduction to Physical Education A Contemporary Careers Approach*. Scott, Foresman and Company.
- Philbeck, J. W., Behrmann, M., Biega, T., & Levy, L. (2006). Asymmetrical perception of body rotation after unilateral injury to human vestibular cortex. *Neuropsychologia*, 44(10), 1878–1890. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2006.02.004>
- Prastowo, A. (2016). Implikasi Kinerja Otak Terhadap Pembelajaran Psikomotorik di SD/MI. *AL-BIDAYAH: Jurnal Pendidikan Dasar Islam*, 8(2), 195–212.
- Pritchard, T. C., Macaluso, D. A., & Eslinger, P. J. (1999). Taste perception in patients with insular cortex lesions. *Behavioral Neuroscience*, 113(4), 663–671. <https://doi.org/10.1037/0735-7044.113.4.663>
- Rahman, H. S. (2005). *Konsep Dasar Pendidikan Anak Usia Dini*. PGTKI Press.
- Riemann, B. L., & Lephart, S. M. (2002). The sensorimotor system, part I: the physiologic basis of functional joint stability. *Journal of Athletic Training*, 37(1), 71–79.
- Rosdiani, D. (2013). *Perencanaan Pembelajaran dalam Pendidikan Jasmani dan Kesehatan*. Alfabeta.
- Satyanegara. (2010). *Ilmu Bedah Saraf*. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Sherwood, L. (2012). *Fisiologi Manusia: dari Sel ke Sistem*. Terjemahan (B. U. Pendit & N. Yesdelita (eds.)). EGC.
- Silverthorn, D. U. (2013). *Fisiologi Manusia: Sebuah Pendekatan Terintegrasi Edisi 6* (6th ed.). Buku Kedokteran EGC.
- Sousa, D. A. (2012). *Bagaimana Otak Belajar* (S. Mahyuni (ed.)). Indeks.
- Stapleton, J. R. (2006). Rapid Taste Responses in the Gustatory Cortex during Licking. *Journal of Neuroscience*, 26(15), 4126–4138. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0092-06.2006>
- Starc, G., & Strel, J. (2012). Influence of the Quality Implementation of A Physical Education Curriculum on the Physical Development and Physical Fitness of Children. *BMC Public Health*, 12(1), 61. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-12-61>
- Sun, H.-C., Welchman, A. E., Chang, D. H. F., & Di Luca, M. (2016). Look but don't touch: Visual cues to surface structure drive somatosensory cortex. *NeuroImage*, 128, 353–361. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.12.054>
- Supèr, H. (2003). Working Memory in the Primary Visual Cortex. *Archives of Neurology*, 60(6), 809. <https://doi.org/10.1001/archneur.60.6.809>
- Sutanto, J. (2016). *Membangun Kesehatan Melalui Neuro-Education Dalam Gerak, Pikiran, Dan Musik*. Kompas Media Nusantara.
- Sutherland, M. T. (2006). The Hand and the Ipsilateral Primary Somatosensory Cortex. *Journal of Neuroscience*, 26(32), 8217–8218. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2698-06.2006>
- Urs, S. R. (2011). An Academic Approach to Physical Education. *International Journal of Health , Physical Education and Computer Science in Sports*, 2(2), 95–97.
- Waluyo, J. (2016). *Penuntun Praktikum Anatomi Fisiologi*. Universitas Jember Press.
- Wang, M., Li, R., Li, J., Zhang, J., Chen, X., Zeng, S., & Liao, X. (2018). Frequency selectivity of echo responses in the mouse primary auditory cortex. *Scientific Reports*, 8(1), 49. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-18465-w>
- Yiu, G., & He, Z. (2006). Glial inhibition of CNS axon regeneration. *Nature Reviews Neuroscience*, 7(8), 617–627. <https://doi.org/10.1038/nrn1956>