

**NEUROFISIOLOGI**  
**KORTEKS SEREBRI**



Oleh:

Bagus Ngurah Mahasena Putera Awatara

Pembimbing:

dr. IA Sri Wijayanti, M.Biomed, Sp.S

BAGIAN/SMF ILMU PENYAKIT SARAF  
FK UNUD/RSUP SANGLAH DENPASAR

2016

## KATA PENGANTAR

Puji syukur dihadapan Tuhan Yang Maha Esa, karena berkat rahmatNya lah tinjauan pustaka yang berjudul “Neurofisiologi Korteks Serebri” ini dapat saya selesaikan. Tinjauan pustaka ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam pendidikan PPDS1 di bagian Ilmu Penyakit Saraf Fakultas Kedokteran Universitas Udayana/RSUP Sanglah Denpasar.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada

1. dr A.A Bagus Ngurah Nuartha, Sp S (K) selaku Kepala Bagian Ilmu Penyakit Saraf FK UNUD/ RS Sanglah
2. Dr. dr A.A.A. Putri Laksmidewi, Sp S (K) selaku Ketua Program Studi Ilmu Penyakit Saraf FK UNUD/RS Sanglah
3. dr. IA Sri Wijayanti, M.Biomed, Sp.S selaku pembimbing penulis dalam penyusunan tinjauan pustaka ini.
4. Teman-teman PPDS-1 yang telah banyak membantu penulisan tinjauan pustaka ini

Penulis juga menyadari bahwa tinjauan pustaka ini masih jauh dari sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat kami harapkan.

Akhir kata, penulis berharap semoga karya tulis ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Penulis

## DAFTAR ISI

Halaman

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
DAFTAR GAMBAR .....	iii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II NEUROFISIOLOGI KORTEKS SEREBRI .....	3
2.1 Sel Neuron Korteks Serebri .....	3
2.2 Dominasi Hemisfer .....	3
2.3 Area Kortikal ....	5
2.3.1 Lobus Oksipitalis .....	5
2.3.2 Lobus Parietalis .....	10
2.3.3 Lobus Temporalis .....	14
2.3.4 Lobus Frontal .....	22
BAB III RINGKASAN .....	34
DAFTAR PUSTAKA .....	35

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1. Gambar 1. Lobus oksipitalis .....	6
2. Gambar 2. Prinsip proyeksi visual .....	7
3. Gambar 3. Lobus Parietal .....	10
4. Gambar 4. Lobus Temporal .....	14
5. Gambar 5. Sindrom diskoneksi Geschwinds .....	17
6. Gambar 6. Lobus Frontal .....	23
7. Gambar 7. Homunkulus korteks serebri .....	25
8. Gambar 8. Korteks eye fields .....	28
9. Gambar 9. Wernick Geschwinds .....	31
10. Gambar 10. Area korteks produksi dan pemahaman bahasa .....	32

## **BAB 1**

### **PENDAHULUAN**

Manusia sebagai makhluk dengan intelegensia tertinggi memiliki kemampuan untuk menggunakan pikiran, perasaan, naluri dan bahasa antar sesama. Otak manusia dikatakan memiliki fungsi spesifik berdasarkan bagiannya, tapi tidak semua ilmuwan setuju akan hal tersebut. Flourens (1838) berpikir bahwa semua jaringan otak memiliki potensial yang sama dan tidak ada lokalisasi tertentu. Broca menunjukkan sebaliknya, fungsi berbicara terlokalisir di girus frontalis inferior kiri. Ilmuwan lain yang setuju dengan lokalisasi serebral antara lain Gall, Spurzheim, Horsley, Sherrington, Hughlings Jackson, Jasper, dan Penfield. Berdasarkan studi epilepsi, Hughlings Jackson menjadi orang pertama yang menemukan kortek motorik. Beberapa penelitian berikutnya menguatkan bahwa area serebri tertentu memiliki fungsi spesifik. Brodmann mampu membuat peta berdasarkan perbedaan histologi regional. Hubungan antara histologi dan fungsinya belum jelas. Beberapa area dengan gambaran histologi yang identik mempunyai fungsi yang berbeda. Penyakit yang mengenai area spesifik dapat menyebabkan manifestasi klinis yang sangat berbeda. Destruksi pada area inhibisi dapat menyebabkan manifestasi klinis yang sama dengan overaktivitas area yang seharusnya dihambat. Karena plastisitas sistem saraf, struktur atau area lain dapat menerima fungsi bagian yang lesi (Campbell, 2013).

Fungsi pada daerah spesifik otak juga dilateralisasikan pada satu atau hemisfer yang lainnya. Hemisfer yang menjadi tujuan lateralisasi merupakan hemisfer dengan fungsi yang dominan. Pada hewan tingkat rendah, kedua hemisfer memiliki pengaruh yang sama. Pada otak manusia sedikit berbeda, dimana satu hemisfer akan memiliki dominansi dibandingkan yang lainnya untuk fungsi tertentu. Terutama untuk bahasa, gnosis (interpretasi rangsangan sensoris), dan praksis (performan kompleks motorik) (Campbell, 2013).

Akhir abad ke- 20 penelitian neurobiologis dasar mengenai lokalisasi kortikal telah banyak berubah oleh munculnya teknik pemeriksaan terbaru, terutama neuroimaging fungsional seperti PET dan fMRI. Pemikiran saat ini berubah dari mengelompokkan fungsi ke masing-masing struktur anatomis menuju konsep jejaring fungsional neuron. Saat ini sangat jelas bahwa fungsi kortikal terutama fungsi yang lebih tinggi seperti bahasa,

kognisi, dan kontrol perilaku spesifik, tidak selalu dapat diarahkan pada satu lokasi kortikal saja. Akan tetapi, masing-masing komponen fungsi kompleks ini dipersarafi oleh bagian neokorteks yang berbeda, yang kemudian dapat berinteraksi satu dengan lainnya dengan berbagai macam cara untuk menghasilkan kompetensi fungsional yang sesuai (Baehr,2005).

Banyaknya fungsi korteks serebri yang masih menjadi misteri, menyebabkan banyak peneliti ingin mengetahui secara jelas fungsi korteks serebri. Setelah sebelumnya membahas mengenai neuroanatomi korteks serebri sebagai dasar memahami fungsi korteks serebri, maka pada makalah ini akan dibahas mengenai neurofisiologi korteks serebri sebagai kelanjutan makalah sebelumnya.

## **BAB 2**

### **NEUROFISIOLOGI KORTEKS SEREBRI**

#### **2.1 Sel Neuron Korteks Serebri**

Korteks serebri mengandung dua jenis neuron utama, yaitu neuron proyeksi eksitasi (sel piramidalis) dan sel non piramidalis (sel granular atau interneuron) sebagai penghambat serta cenderung membuat hubungan lokal dibandingkan jarak jauh (Baehr, 2005).

Neuron piramidalis merupakan neuron eksitasi, mencakup 60-85% dari total populasi neuron neokorteks, menggunakan glutamat sebagai neurotransmiternya. Sisanya 15-40% disebut sel non piramidalis, dimana neurotransmitter primer yang digunakan adalah GABA yang bersifat inhibisi. Sekitar 25-30% neuron kortikal GABAergik juga mengekspresikan satu atau beberapa neuropeptida berupa substansi P, *vasoactive intestinal polypeptide* (VIP), *cholecystinin* (CCK), *neuropeptide Y* (NPY), *somatotropin-release-inhibiting factor* (SRIF), *corticotropin-releasing factor* (CRF) dan *tachykinin* (TK). Sel piramidalis lapisan kortek kelima membentuk jaras proyeksi yang berjalan melalui substansia alba subkortikalis dan kapsula interna ke thalamus, striatum, nuklei batang otak, dan medulla spinalis. Serabut asosiasi dan komisura masing-masing berjalan ke area kortikal ipsilateral dan kontralateral lainnya (Baehr, 2005; Nieuwenhuys, 2008).

#### **2.2 Dominansi Hemisfer**

Asimetris fungsional dua hemisfer merupakan gambaran organisasi dan kognisi otak manusia yang penting. Fenomena ini juga disebut dengan spesialisasi hemisfer atau lateralisasi fungsional atau dominansi serebri. Istilah ini merujuk kepada faktanya bahwa hemisfer serebri kanan dan kiri memiliki peranan yang berbeda dalam memediasi perilaku dan proses luhur. Bukti adanya asimetri fungsional hemisfer serebri terutama didapatkan :

1. Penelitian patologi klinik era investigasi *neuroscientific* modern tentang asimetri serebri dimulai tahun 1860-an dan 1870-an dengan ditemukannya area Broca dan Wernicke yang berperan dalam fungsi berbahasa terlateralisasi ke hemisfer kiri. Dugaan hemisfer dominan pertama kali dipresentasikan oleh Hughlings Jackson berdasarkan

frekuensi terjadinya afasia motorik pada orang kanan ketika mereka mengalami hemiplegia kanan sedangkan hemiplegia kiri pada orang kanan tidak disertai afasia.

2. Penelitian pada lateralitas kontrol motorik. Studi ini menunjukkan bahwa pada semua ras lebih dari 90% populasi secara alamiah lebih terampil dengan menggunakan tangan kanan (kinan) daripada kidal. Tangan kanan dikontrol oleh hemisfer kiri.

3. Penelitian dengan menginaktifkan sementara salah satu hemisfer serebri (tes Wada), barbiturat diinjeksikan ke dalam arteri karotid interna, melalui arteri ini barbiturat menginaktifkan hemisfer ipsilateral untuk jangka waktu yang pendek. Tes ini menjadi penilaian preoperasi dominansi serebri dalam fungsi berbahasa pada pasien epilepsi yang *intractable*. Pada hemisfer dominan injeksi tersebut memblok bicara sementara. Hasil tes ini menunjukkan bahwa 92-99% individu kanan memiliki hemisfer kiri dominan untuk fungsi bahasa, sedangkan pola pada individu kidal mencakup dominansi kiri namun juga dapat bilateral ataupun dominan kanan untuk berbahasa.

4. Penelitian pencitraan otak memberikan kemungkinan untuk mengidentifikasi dan melokalisasi perubahan dalam aktivitas metabolik di otak, berhubungan dengan tugas kognitif dan mental sudah banyak dilakukan untuk penelitian asimetri fungsional. Selain itu, MRI dapat digunakan untuk morfometri in vivo dari struktur otak

Keseluruhan penelitian di atas menunjukkan bahwa pada orang kanan, hemisfer kiri terutama berperan dalam fungsi verbal dan linguistik, kemampuan matematika dan analisis, sedangkan hemisfer kanan terutama terlibat dalam hubungan spasial, fungsi musikal, pengenalan dan ekspresi emosi. Individu kidal merupakan kelompok heterogen, hanya 15% orang kidal menunjukkan dominansi hemisfer kanan, 70% dari mereka memiliki dominansi hemisfer kiri dan sisanya 15% memiliki dominansi hemisfer bilateral dalam fungsi berbahasa (Mendoza, 2008; Nieuwenhuys, 2008).

Lateralisasi atau dominansi hemisfer ini juga diduga berbeda secara morfologi. Hal ini berdasarkan studi histologi yang menyatakan perbedaan dalam kompleksitas dendrit sel piramidalis antara area bicara pada hemisfer kiri dengan area yang sama pada hemisfer kontralateral. Neuron piramidalis pada lamina III area Broca 45 secara konsisten lebih besar pada sisi kiri dibandingkan pada sisi kanan. Pada penelitian menggunakan CT scan kepala, pola tersering pada orang kanan adalah memiliki protuberantia frontalis atau petalia



yang lebih besar di sisi kanan dengan protuberantia oksipitalis yang lebih besar di sebelah kiri. Sebaliknya, pada orang kidal lebih jarang menunjukkan pola tipikal ini dan lebih cenderung memiliki protuberantia frontalis kiri dan/atau oksipitalis kanan yang atipikal. Pola atipikal pada dominansi hemisfer memiliki keuntungan, sebagai contoh adalah penyembuhan yang lebih baik pada gangguan berbahasa dapatan sebagai akibat stroke (Mendoza, 2008).

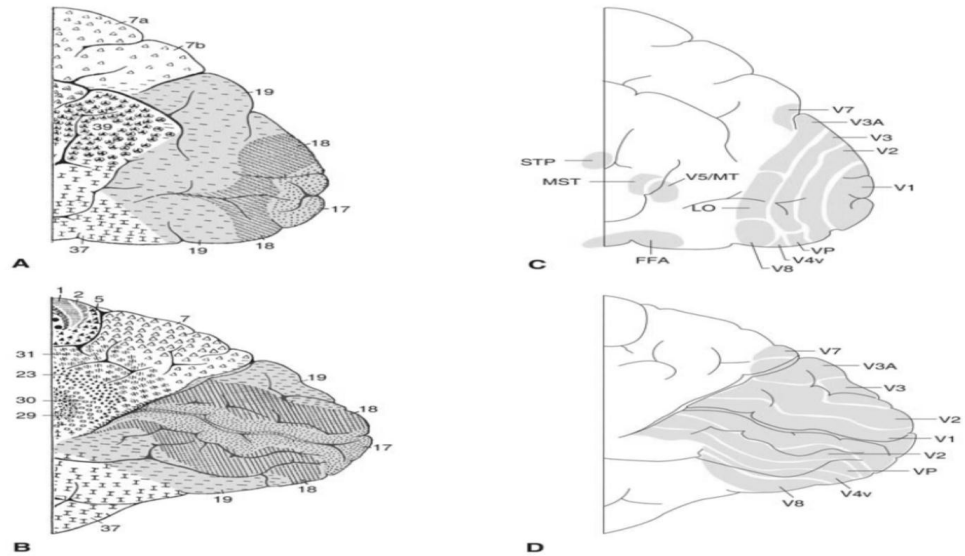
## **2.3 Area Kortikal**

### **2.3.1 Lobus Oksipitalis**

Lobus oksipitalis menempati bagian paling posterior dari hemisfer serebri pada permukaan lateral, medial dan basal (Gambar 1). Pada lobus oksipitalis dikenal daerah-daerah fungsional seperti korteks area penglihatan primer (area 17) dan korteks area asosiasi penglihatan (area 18 dan 19) (Baehr, 2005; Duus, 2007; Mendoza, 2008; Nieuwenhuys, 2008).

#### **2.3.1.1 Korteks Area Penglihatan Primer**

Area 17 menerima proyeksi aferen dari korpus genikulatum lateral, area ini menunjukkan korteks visual primer (V1). Area ini disebut juga area striata. (Nieuwenhuys, 2008) Lokalisasi retinotopik pada jalur visual dapat membuat tiruan gambaran kedua retina yang dibentuk di area striata, yang disebut juga retina kortikal. Informasi visual diproses dan diintegrasikan di area striata. Istilah gambaran visual tidak dimaksudkan sebagai gambar seperti pengertian biasa, baik di retina maupun korteks visual. Gambaran ini terlebih sebagai pola spesifik sementara dan spasial dari aktivitas neuronal yang menunjukkan pola jatuhnya cahaya pada retina. Sejauh ini, kita hanya memiliki gagasan samar-samar mengenai bagaimana aktivitas populasi neuron dalam proses visual pada tingkat kortikal berkaitan dengan pengalaman visual subyektif masing-masing individu. Kerusakan area striata menyebabkan kebutaan total di bagian lapang pandang dan disebut buta kortikal (*cortical blindness*) (Brodal, 2004).



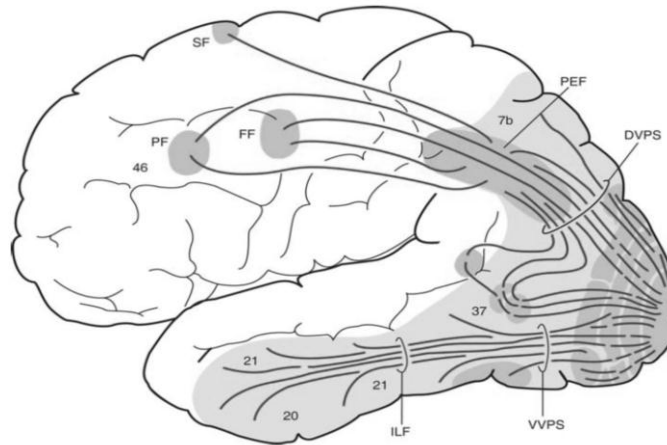
Gambar 1. A-D.Lobus oksipitalis. Penomoran berdasarkan Brodmann, pandangan lateral (A), dan Medial (B). Area lobus oksipitalis diwarnai abu dan terarsir. (C). Pandangan lateral berdasarkan Tootell dan (D) Pandangan medial. FFA, *fusiform face area*; LO, *lateral occipital area*; MST, *middle superior temporal visual area*; MT, *middle temporal visual area*; STP, *superior temporal polysensory area*; V1, V2, VP, etc., visual areas (Nieuwenhuys, 2008).

### 2.3.1.2 Korteks Area Asosiasi Penglihatan

Area 18 dan 19 yang mengelilingi area 17 disebut sebagai sabuk parastriata. Area 18 dan 19 menerima aferen baik secara langsung maupun tidak langsung dari area striata sehingga disebut sebagai area visual ekstrasriata. (Campbell, 2005) Akan tetapi korteks visual ekstrasriata secara keseluruhan tidak terbatas pada lobus oksipitalis, namun meluas ke arah anterior menuju lobus parietalis dan temporalis. Keseluruhan korteks visual ekstrasriata (atau korteks visual asosiasi) diperkirakan dari kombinasi studi MRI, PET dan lesi mencakup area Brodmann 7, 18-21, 37, dan 39 (Gambar 1). Dengan perkiraan ini secara kasar sekitar sepertiga neokorteks manusia terkait dengan proses penglihatan (Nieuwenhuys, 2008).

Area ini berperan dalam memproses informasi visual lebih jauh. Secara skema, sinyal dari retina awalnya mencapai area striata dan dilanjutkan ke area kortikal lainnya.

Aspek berbeda dari proses visual seperti analisis warna, bentuk, dan gerakan mengambil tempat di beberapa subdivisi berbeda di area ekstrasriata. Kerusakan yang terbatas pada area ekstrasriata menyebabkan gangguan analisis visual. Beberapa area ekstrasriata menerima proyeksi tidak langsung dari area striata (Brodal, 2004).



Gambar 2. Prinsip proyeksi visual. Area otak total didominasi oleh proyeksi visual digambarkan dengan warna abu-abu muda, pusat visual dengan warna abu-abu gelap. DVPS, dorsal visual processing stream; FF, frontal eye field; ILF, inferior longitudinal fasciculus; PEF, parietal eye field; PF, prefrontal eye field; SF, supplementary eye field; VVPS, ventral visual processing stream; 7b, 20, etc (Nieuwenhuys, 2008).

Sebagian besar pengetahuan tentang sistem visual sentral berdasarkan studi eksperimen pada primata khususnya kera *macaque*. Pada kera ini didapatkan 30 area visual dan masing-masing berperan dalam memproses informasi visual. Beberapa area korteks di luar korteks visual primer khusus untuk aspek khusus penglihatan seperti warna, gerakan, dan bentuk. Beberapa diantaranya diberi label dengan huruf kapital "V", diikuti angka misalnya V2, V3 dan seterusnya serta bagian lainnya ditandai kombinasi huruf-huruf yang mengindikasikan posisi topografinya. Area V2 mengindikasikan area Brodmann 18. Sedangkan, area Brodmann 19 digambarkan dalam beberapa area fungsional yang berbeda yaitu V3, VP (area visual posterior), V3A, V4v, V8 dan V5/MT. V3 berperan dalam persepsi bentuk dinamik. Beberapa neuronnya berupa selektif terhadap orientasi dan gerakan. LO, area oksipital lateralis yang terletak anterior terhadap V3 terlibat dalam memproses bentuk. Responnya kuat terhadap gambaran objek namun tidak

untuk mengontrol stimulus. V8 yang juga disimbolkan sebagai V4, berperan dalam persepsi warna. Lesi pada area ini akan menyebabkan buta warna sentral atau akromatopsia (Brodal, 2004; Mendoza, 2008; Nieuwenhuys, 2008).

Area *fusiform face* (FFA) yang terletak di girus fusiformis (atau oksipitotemporal lateralis) tepat di depan V8 secara selektif bertanggung jawab terhadap area wajah. Lesi pada FFA menimbulkan kelainan yang disebut prosopagnosia, yaitu kesulitan mengidentifikasi wajah secara selektif. Sedangkan area V5 atau MT area visual *middle temporal* yang terletak pada area dimana sulkus temporalis inferior bertemu dengan sulkus oksipitalis anterior berfungsi untuk mendeteksi gerakan obyek. Lesi bilateral yang melibatkan area ini akan menyebabkan gangguan yang berat dalam mendeteksi gerakan obyek yang dikenal dengan istilah *cortical akinetopsia*. MT dikelilingi oleh area khusus yang lainnya yang memproses aspek perencanaan motorik dan persepsi gerakan yang lebih tinggi. Salah satu area khusus tersebut adalah area visual *Middle Superior Temporal* (MST), terletak anterior terhadap MT (Nieuwenhuys, 2008).

Interkoneksi antara area striata dan ekstrasriata, serta di antara ekstrasriata berjumlah banyak. Skema lengkap dari hubungan asosiasi visual sangat kompleks dan menjelaskan sulitnya menganalisis kontribusi masing-masing area individual terhadap proses informasi visual. Tidaklah terlalu jelas kenapa korteks serebri diatur sedemikian sehingga lapang pandang digambarkan berulang pada bagian yang berbeda. Hal ini mungkin disebabkan dari adopsi fungsi baru korteks serebri selama evolusi, tetapi hal ini mungkin juga terjadi lebih mudah dengan menambahkan area baru (atau menduplikasi area lama) daripada menambahkan fungsi baru pada area yang sudah ada (Brodal, 2004).

Terdapat konsep mengenai hubungan beberapa area visual ekstrasriata yang dapat disederhanakan menjadi dua jalur, yaitu jalur oksipitoparietal atau aliran dorsal (*dorsal stream*) dan jalur oksipitotemporal atau aliran ventral (*ventral stream*) (Nieuwenhuys, 2008).

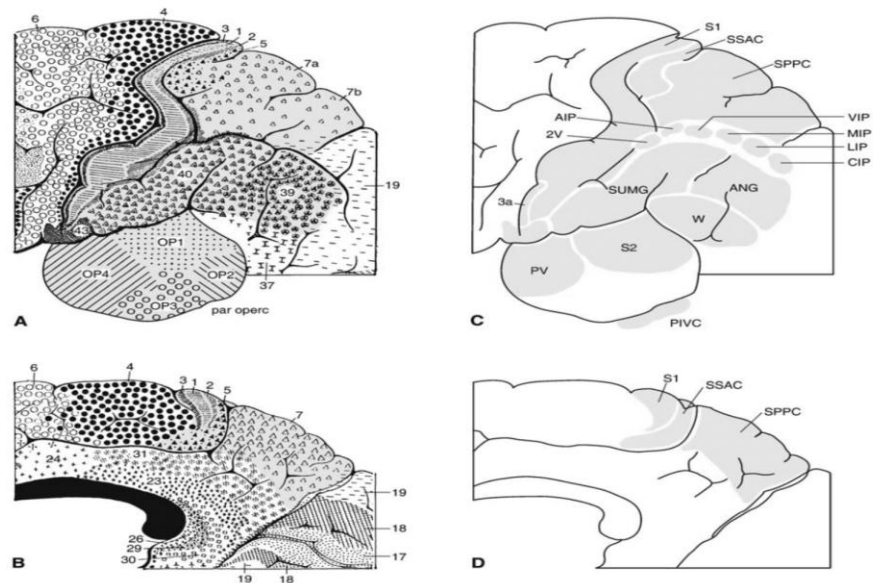
Jalur dorsal atau oksipitoparietal terlibat dalam persepsi lokasi spasial relatif serta sebagai penuntun visual terhadap gerakan objek (sistem 'where'). Jalur ini mencakup V1, V2, V3, V3A, V4, V5/MT, MST, dan STP (*Superior Temporal Polymodal*, disebut *parietal eye field*). STP merespons stimulus visual, pendengaran dan somatosensoris. STP berinteraksi dengan korteks temporal inferior. *Parietal eye field* berfungsi sebagai

pertemuan visual dengan motorik. Area ini secara bolak balik berhubungan dengan V1, V2 dan V3 melalui jalur langsung dan tidak langsung melewati MT, MST, dan V3A. Lobus frontalis memiliki tiga area (*field*) yang terlibat dalam gerakan mata ketika distimulasi, area ini disebut *frontal eye field*. *Prefrontal eye field* terletak lebih anterior terhadap area 46 dan *area supplementary eye field* yang terletak pada bagian lebih dorsal dari area 6 bagian rostral. Ketiga *frontal eye field* berhubungan secara bolak balik dengan *parietal eye field*. Sebagian besar area ekstrasriata oksipital dalam jalur dorsal juga berhubungan langsung dengan *frontal eye field* dan *prefrontal eye field*.

Jalur proses oksipitotemporal ventralis berkaitan dengan pola diskriminasi dan identifikasi objek penglihatan (system “*what*”). Yang termasuk jalur ini adalah area V1, V2, LO, V4/V8 dan seluruh korteks inferotemporal (area 37, 20, dan 21). Sebagian besar serat-serat dalam jalur ini menghubungkan berbagai area, melewati fasikulus longitudinalis inferior. Pemisahan jalur dorsal dengan jalur ventral tidak jelas. Gangguan pada jalur proses dorsal dan ventral menimbulkan sindrom diskoneksi yang berbeda.

Penilaian spasial akan terganggu dengan adanya lesi pada regio parietalis posterior. Sedangkan pengenalan objek secara selektif akan terganggu bila terjadi lesi pada area oksipitalis inferior dan temporalis (Baehr, 2005; Brodal, 2004; Mendoza, 2008; Nieuwenhuys, 2008).

### 2.3.2 Lobus Parietalis



Gambar 3. Lobus parietalis. A. Pandangan lateral, B. Pandangan medial. Lobus parietalis diwarnai abu-abu. Area fungsional, C. Pandangan lateral, D. Pandangan medial. *AIP*, anterior intraparietal area; *ANG*, angular gyrus; *CIP*, caudal intraparietal area; *LIP*, lateral intraparietal area; *MIP*, medial intraparietal area; *OP1–4*, parietal opercular areas; *par operc*, parietal operculum; *PIVC*, parieto-insular vestibular cortex; *PV*, parietal ventral area; *SPPC*, superior polymodal parietal cortex; *SSAC*, somatosensory association cortex; *SUMG*, supramarginal gyrus; *S1*, primary somatosensory cortex; *S2*, second somatosensory area; *VIP*, ventral intraparietal area; *W*, Wernicke's region; *1, 2, 3, etc.*; *7a, b*, subdivisions of area 7; *2V, 3a*, vestibular cortical areas (Nieuwenhuys, 2008).

Lobus parietalis dapat dibagi menjadi 4 bagian yaitu girus postsentralis, lobulus parietalis superior, lobulus parietalis inferior, dan operculum parietalis. (Baehr, 2005; Campbell, 2005; Duus, 2007; Guyton, 2000; Nieuwenhuys, 2008). Brodmann membagi lobus parietalis menjadi 9 area sitoarsitektonik yaitu area 1, 2, 3, 5, 7, 31, 39, 40, dan 43. (Gambar 3 A,B) Berdasarkan hubungan fungsional lobus parietalis, struktur ini dibagi menjadi empat bagian yaitu korteks somatosensorik dan vestibular, korteks parietalis inferior, intermedia, dan superior. (Gambar 3 C,D)

Area operkulum dapat dibedakan menjadi empat area berdasarkan sitoarsitektonik yang diistilahkan OP1-4, dimana OP4 dan OP3 berhubungan dengan area Brodmann 43. (Nieuwenhuys, 2008)

### **2.3.2.1 Korteks Area Asosiasi Korteks Lobus Parietalis**

#### **Korteks Area Asosiasi Somatosensorik**

Korteks parietal polimodal superior menempati lobulus parietal superior kecuali bagian paling anterior (area 5), yang membentuk korteks somatosensoris asosiasi (unimodal). Terdapat bukti yang menyatakan bahwa region polimodal ini penting untuk koordinasi tangan-mata. Korteks ini berhubungan secara timbal balik dengan korteks prestriata melalui aliran dorsal, somatosensoris area 5 dan bagian dorsal area 8, yang mencakup *frontal eye field* terkait gerakan mata halus. Lobulus parietal superior juga memberikan serat proyeksi menuju korteks premotor bagian dorsal (area 6) dan menuju area motorik suplementar pada lobus frontal permukaan medial (Nieuwenhuys,2008).

Korteks parietal polimodal intermediet dibentuk oleh sejumlah area fungsional, yang menempati tepi sulkus intraparietal. Area ini menerima bermacam-macam input kombinasi dari korteks visual, somatosensoris, vestibuler dan auditoris serta diproyeksikan bolak balik menuju korteks premotorik bagian khusus.

Area intraparietal anterior yang terletak pada tepi lateral sulkus intraparietal anterior berkaitan dengan proses taktil dan visual. Area ini memainkan peranan penting dalam transformasi informasi obyek antara sistem sensorimotor dengan sistem visual. Area AIP dihubungkan dengan area premotor ventral khususnya terhadap subunit yang disebut sebagai F5. Neuron pada subunit ini melepaskan impuls selama gerakan khusus tangan terkait objek. Hal ini menunjukkan bahwa area AIP dalam kombinasi dengan F5 mentransformasikan objek visual dan somatosensori untuk gerakan tangan memanipulasi dan memegang objek (Nieuwenhuys,2008).

Area Ventral Intraparietal (VIP) terletak pada fundus sulkus intraparietal. Area ini menerima serat proyeksi dari beberapa area visual khususnya dari MT dan MST, dari area somatosensoris, auditoris dan area vestibular serta dari korteks

polimodal lainnya. Area ini berhubungan kuat dengan F4, subunit lain dari korteks premotor ventral. Subunit premotor F4 diketahui berkaitan dengan transformasi lokasi objek terhadap gerakan yang sesuai (Nieuwenhuys,2008).

Area intraparietal medial (MIP) terletak pada bagian intermediet tepi medial sulkus intraparietal. Area ini menerima aferen somatosensoris dan visual, serta area ini dengan kuat dihubungkan dengan subunit F2vr, membentuk bagian dorsal area premotor. Area MIP dan F2vr diketahui terlibat dalam merencanakan, eksekusi dan monitoring gerakan meraih.

Area intraparietal lateral (LIP) membentuk bagian jaringan kerja area yang memediasi gerakan sakadik. Area ini menerima input dari beberapa area visual dan dihubungkan dengan *frontal eye field* (FF) dan kolikulus superior(Nieuwenhuys,2008) .

Area intraparietal caudal (CIP), terletak pada tepi medial posterior sulkus intraparietal. Area ini menerima aferen dari beberapa area visual mencakup V3, V3A dan V4. Neuron dalam CIP terlibat dalam analisis gambaran objek tiga dimensi dan khusus berespons terhadap orientasi aksis dan permukaan objek dalam ruang. Beberapa hubungan area korteks intraparietal digambarkan pada gambar 3 A.

### **Girus Angularis (Area Integrasi) dan Girus Supramarginalis (Area Ideomotor)**

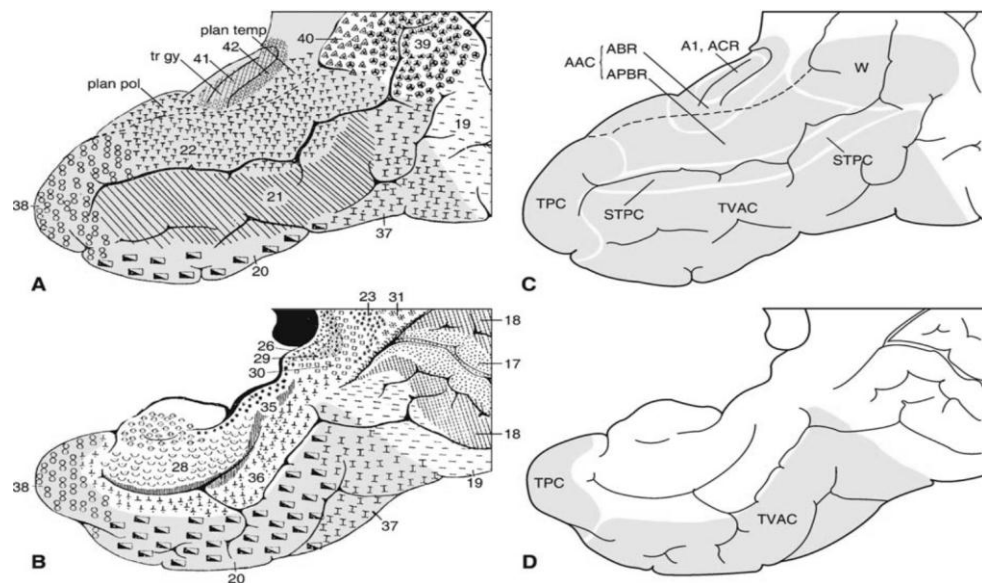
Korteks parietal polimodal inferior menempati lobulus parietal inferior terdiri dari girus angularis dan supramarginalis. Seperti dijelaskan sebelumnya, perluasan area Brodmann 39 dan 40 berhubungan dengan masing-masing girus angularis dan girus supramarginalis. Area bicara Wernicke meluas untuk jarak yang tidak ditentukan sepanjang lobulus parietal inferior. Pusat regio ini menempati lempeng temporal kiri dibelakang *girus transversal Heschl* dan bagian posterior dari girus temporal superior kiri. Kerusakan pada area ini memberikan gambaran afasia reseptif atau afasia Wernicke, menunjukkan defisit dalam pemahaman baik dalam bahasa tulis maupun lisan. Serat asosiasi panjang menghubungkan regio Wernicke via fasikulus longitudinal superior lengan anterior dengan regio premotor dari lobus frontal mencakup regio bahasa Broca pada girus frontal inferior.



Girus angularis dihubungkan dengan area visual baik jalur dorsal (MST) maupun jalur ventral (korteks infratemporal), lobulus parietal superior bagian medial, area okulomotor intraparietal LIP, area temporal polisensoris superior STP, dan dengan area limbik singulatum posterior, regio retrosplenial dan parahipokampus. Hubungan frontal girus angularis berhubungan dengan bagian anterior dari korteks premotor dorsal, area 8<sup>a</sup> dan area prefrontal 45 dan 46 (Gambar 3 B) (Nieuwenhuys,2008). Terdapat bukti yang menyatakan girus angularis berperan dalam gerakan tangan dengan panduan visual.

Hubungan girus supramarginalis yang paling nampak adalah dengan area somatosensoris S1,S2 dan area 5, lobulus parietal superior bagian medial, korteks vestibuler, area singulatum anterior 24, area motorik suplementer, korteks premotorik ventral dan area sekitar 44 serta area prefrontal 45 dan 46 (Gambar 3 B).

### 2.3.3 Lobus Temporalis



Gambar 4. Lobus temporalis. Penomoran berdasarkan Brodmann. A. Pandangan lateral dan B. Medial. Lobus temporalis diwarnai abu-abu. Area Fungsional. Pandangan lateral (C) dan medial (D). *A1*, primary auditory cortex; *AAC*, auditory association cortex; *ABR*, auditory belt region; *ACR*, auditory core region; *APBR*, auditory parabelt region; *plan pol*, planum polare; *plan temp*, planum temporale, *STPC*, superior temporal

polymodal cortex; *TPC*, temporopolar cortex; *TVAC*, temporal visual association cortex; *trgy*, transverse gyrus of Heschl; *W*, Wernicke's region; *19*, *20*, etc., areas Brodmann (Nieuwenhuys, 2008).

Brodman membagi korteks yang menutupi lobus temporal menjadi delapan area sitoarsitektonik yaitu area 41, 42, 22, 21, 20, 36, 37, dan 38 (Baehr, 2005) (Gambar 4 A, B). Area Brodmann 41 yang merupakan area pendengaran primer terletak pada permukaan operkular lobus temporalis. (Nieuwenhuys, 2008). Area 42 terletak langsung posterior dari area 41. Area 22, 21, dan 20 yang ditandai oleh Brodmann sebagai area temporalis superior, media, dan inferior, mengindikasikan bahwa area-area tersebut berhubungan dengan girus-girus yang namanya serupa. Area 20 meluas ke basal pada girus oksipitotemporal lateral anterior. Area 36 terletak pada permukaan medial lobus temporalis. Area ini dikelilingi pada superior oleh sulkus rhina dan sulkus kolateral dan bagian inferior oleh area 20. Area 37 menempati lobus temporalis bagian posterior, meluas sepanjang permukaan lateral dan basomedial. Area 38 menutupi kutub temporalis (Mendoza, 2008; Nieuwenhuys, 2008).

Lobus temporalis dibagi menjadi 5 regio fungsional (Gambar 4 C,D) (Nieuwenhuys, 2008) yaitu korteks pendengaran primer, korteks pendengaran asosiasi, mencakup regio Wernicke, korteks penglihatan asosiasi temporal, korteks temporal polimodal superior, korteks temporopolar.

### **2.3.3.1 Korteks Area Pendengaran Primer**

Area Brodmann 41 pada girus temporalis superior merupakan korteks pendengaran primer atau regio pendengaran inti. Area kortikal auditorik merupakan area penting dari pendengaran manusia tetapi lebih sedikit diteliti dibandingkan area visual, dan masih tidak sepenuhnya dimengerti. Sebagai contoh, bagian berbeda ruang auditorik tidak nampak direpresentasikan pada beberapa bagian korteks auditorik, namun kita dapat melokalisasikan sumber suara dengan sangat akurat.

Masing-masing nukleus pada jalur auditorik terdiri dari subdivisi yang berbeda secara morfologi, konektivitas, dan fungsi. Hal ini termasuk nukleus koklearis, oliva superior, kolikulus inferior, dan korpus genikulatum medialis (KGM). Korteks auditorik juga menunjukkan pembagian. Serabut dari KGM berakhir dengan lokalisasi tonotopik

yang tepat pada korteks auditorik primer (A1). Hal ini seperti area striata pada sistem visual (Brodal, 2004; Mendoza, 2008; Nieuwenhuys, 2008).

Sel pada A1 merespon suara dalam frekuensi lebih sempit daripada sel di area auditorik lainnya. Banyak sel pada A1 memiliki sifat yang kompleks, beberapa merespon suara dengan baik ketika frekuensi meningkat atau menurun. Banyak sel dipengaruhi dari kedua telinga, tetapi sering juga mereka dieksitasi salah satu telinga dan diinhibisi oleh telinga lainnya. Lesi bilateral terbatas pada girus temporalis superior dapat menurunkan persepsi nada musik dan prosodi (modulasi suara) tanpa mengurangi pengertian berbicara (Brodal, 2004).

### **2.3.3.2 Korteks Area Asosiasi Pendengaran**

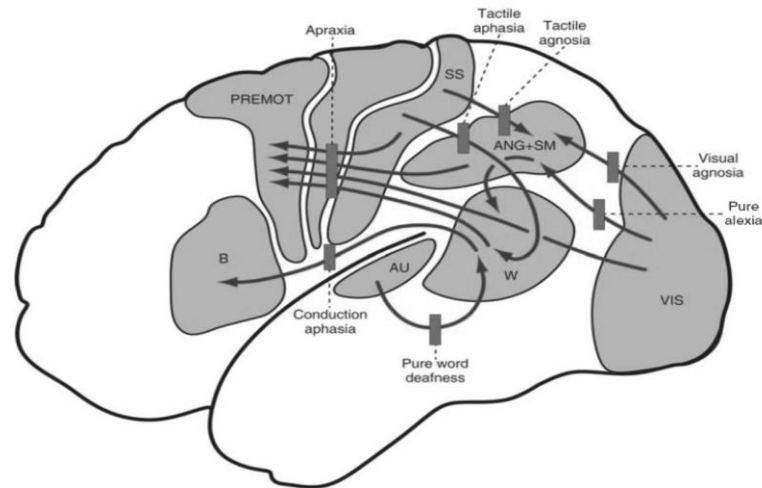
Peran fungsional tunggal merupakan bukti yang kurang untuk area asosiasi temporal daripada lobus parietalis dan frontalis. Terlepas dari korteks auditorik (area 41 dan 42) dan bagian yang tua secara filogenetik pada aspek medialis, lobus temporalis terdiri sebagian besar dari area 20, 21, dan 22, yang diduga sebagai area asosiasi. Korteks girus temporalis superior ditandai dengan koneksi dengan korteks auditorik, sedangkan bagian inferior lobus temporalis yang didominasi oleh proses informasi visual dari area visual ekstrasriata. Sebagai tambahan, terdapat hubungan yang kuat dengan struktur limbik seperti formatio hipokampus (melalui area entorinal) dan amigdala (Brodal, 2004).

Korteks asosiasi pendengaran dapat dibagi menjadi regio *belt* dan *parabelt*. Regio *belt* mengelilingi inti pendengaran primer pada bagian anterior, lateral dan posteriornya. Regio *belt* terdiri dari beberapa kumpulan sitoarsitektonik sel neuron yang termasuk dalam area Brodmann 42 dan sebagian besar terkait dengan area Brodmann 22. Serat proyeksi asosiasi pendek menghubungkan inti pendengaran dengan regio *belt* dan korteks *parabelt*. Lesi pada inti, *belt* atau *parabelt* menyebabkan degenerasi yang bertanggung jawab ke hemisfer kontralateral. Serat komisura pendengaran terletak pada trunkus korpus kalosum bagian posterior,

bersama dengan serat komisura lobus parietalis (Mendoza, 2008; Nieuwenhuys, 2008).

Korteks asosiasi pendengaran berada di posterior regio *parabelt* pada sisi kiri menuju korteks heteromodal regio bicara Wernicke. Area ini mencakup bagian posterior dari planum temporale dan girus temporalis superior dan sebagian besar bagian basal dari girus angularis dan supramarginalis (Mendoza, 2008).

Area kortikal auditorik nampak asimetris pada kebanyakan orang. Berdasarkan beberapa penelitian MRI dan postmortem disebut girus Heschl, meliputi A1 yang lebih besar pada sisi kiri dibandingkan sisi kanan, dan hal yang sama untuk regio di sekitar A1 pada planum temporale. Hubungan intrinsik (horizontal) di area 22 menunjukkan sejumlah besar kelompok yang terpisah dari serabut-serabut terminal pada sisi kiri dibandingkan sisi kanan, yang diduga memungkinkan analisis yang menyatu dengan baik. Lebih jauh lagi dilaporkan bahwa serabut pada substansia alba lebih kaya mielin pada sisi kiri daripada sisi kanan planum temporale, yang memungkinkan proses yang lebih cepat. Perbedaan anatomi sesuai dengan bukti bahwa korteks auditorik kiri memiliki derajat yang lebih tinggi untuk sensitivitas temporal yang diperlukan untuk diskriminasi bicara yang optimal. Korteks auditorik kanan nampak lebih baik dalam diskriminasi *pitch*, nada, dan intensitas suara dibandingkan sisi kiri (Brodal, 2004).



Gambar 5. Sindrom diskoneksi Geschwinds. *ANG+SM*, angular dan supramarginal gyri; *AU*, auditory cortex; *B*, Broca's speech area; *PREMOT*, premotor cortex; *SS*, somatosensory cortex; *VIS*, visual cortex; *W*, Wernicke's speech area (Nieuwenhuys, 2008).

Gangguan proyeksi pendengaran, penglihatan atau taktil menuju area Wernicke menyebabkan terjadinya tuli kata, aleksia murni, dan afasia taktil (Gambar 5). Kerusakan pada area Wernicke akan menimbulkan afasia Wernicke atau afasia reseptif (Mendoza, 2008).

Pada eksperimen kera *macaque* menunjukkan bahwa korteks asosiasi pendengaran berhubungan kuat dan timbal balik dengan korteks prefrontalis. Hubungan audito-prefrontal membentuk dua jalur, jalur anterior dan posterior yang menghubungkan sektor yang berbeda dari korteks asosiasi pendengaran dengan area prefrontalis yang berbeda pula. Area yang menerima input dari *belt* dan *parabelt* anterior berperan dalam fungsi luhur non spasial. Sedangkan regio yang menerima input dari *belt* dan *parabelt* posterior berperan dalam proses spasial (Nieuwenhuys, 2008).

Korteks inferotemporalis yang mencakup area Brodmann 20, 21, dan 37 adalah area yang penting, terutama untuk interpretasi stimulus visual yang kompleks. Dan bila regio ini diambil secara bilateral menyebabkan ketidakmampuan mengenali dan membedakan pola visual yang kompleks. Hal ini

dan observasi lainnya mengarah ke kesimpulan bahwa korteks inferotemporal sangat penting untuk mengelompokkan stimulus visual. Kebutaan psikis atau agnosia visual merupakan gejala tipikal lesi lobus temporalis yang mengenai bagian inferotemporal. Pasien tidak dapat melihat obyek dan orang yang dilihatnya, walaupun penglihatannya normal. Seperti area asosiasi yang lain, terdapat kerusakan interpretasi informasi sensorik, bukan pengalaman sensorik. Pada kera, beberapa neuron korteks inferotemporal merespons hanya ketika kera melihat, beberapa merespon wajah seseorang yang khusus, sedangkan neuron lainnya merespon wajah lain. Kehilangan selektif pengenalan wajah, yang disebut prosopagnosia, kadang terjadi setelah lesi lobus temporalis dan akan mengesankan keberadaan sistem pemisahan pengenalan wajah. Lebih jauh, penelitian fMRI menunjukkan bahwa aktivasi girus fusiformis di korteks inferotemporal berhubungan dengan pengenalan wajah pada manusia. Data lain mengatakan lebih sesuai untuk identifikasi obyek yang juga digunakan untuk pengenalan wajah. Jadi, obyek selain wajah dapat mengaktivasi girus fusiformis dan sebaliknya pengenalan wajah dihubungkan dengan aktivasi beberapa tempat di luar girus fusiformis. Karena pengenalan wajah sangat penting untuk interaksi sosial dan digunakan secara intensif sejak lahir, kemungkinan proporsi besar neuron pada area asosiasi temporal menjadi mengkhusus untuk wajah dibandingkan terhadap benda lainnya (Brodal, 2004; Nieuwenhuys, 2008).

Studi elektrofisiologi menunjukkan bahwa neuron pada area sulkus temporalis superior berespons terhadap stimulasi pendengaran, penglihatan atau somatosensoris. Karena hal itu korteks sulkus diistilahkan sebagai korteks *Superior Temporal Polymodal* (STP). Garis perpanjangan korteks STP dibedakan berdasarkan sitoarsitektoniknya dan kemoarsitektonik menjadi empat unit yang tersusun secara rostrokaudal dengan istilah TPO1-TPO4 yang berfungsi sebagai proyeksi umpan balik (Nieuwenhuys, 2008).

Studi pencitraan terkini menunjukkan pada manusia, korteks *Superior Temporal Sulcal* (STS) terlibat dalam proses dan integrasi kompleks informasi penglihatan dan pendengaran, menghasilkan pengertian fungsi luhur dan kehendak individu lainnya. Informasi yang terlibat dalam persepsi sosial ini mencakup

pandangan mata, bahasa tubuh, ekspresi emosi pada wajah dan persepsi suara. Pada autisme suatu kelainan mental dengan defisit komunikasinya yang dominan merupakan sebagai akibat abnormalitas anatomi dan fungsional korteks STS (Nieuwenhuys, 2008).

Korteks temporopolar yang berkaitan dengan area Brodmann 38, sering disebut dengan struktur paralimbik yang secara morfologi berada di luar korteks limbik, namun secara struktural area ini membentuk *paralimbic belt* (Nieuwenhuys, 2008).

Lesi bilateral pada korteks temporopolar menyebabkan amnesia retrograd yang mencakup kehilangan semua memori jangka panjang namun masih dipertahankan memori yang baru. Umumnya pasien dengan lesi ini tidak hanya kehilangan memori autobiografi secara episodik, namun juga kehilangan kemampuan untuk mengenali wajah dan nama orang-orang yang dikenali melalui proses belajar jangka panjang. Berdasarkan lesi ini dapat disimpulkan bahwa aktivitas neuron yang memberikan kesadaran akan pengenalan objek masa lalu terjadi pada korteks temporopolar. Bukti klinis dan eksperimen menunjukkan bahwa suatu pusat yang memberikan kesadaran akan pengenalan objek yang baru dipelajari terletak pada area paralimbik lainnya yaitu korteks orbitofrontal medial (Mendoza, 2008; Nieuwenhuys, 2008).

Lesi terbatas pada jalur auditorik atau pada korteks auditorik (lesi sentral) biasanya menyebabkan gejala yang tidak jelas batasannya. Hal ini karena koneksi dari nukleus koklearis ke korteks serebri berjalan bilateral (walaupun dengan kecenderungan yang lebih banyak ke kontralateral). Pasien dengan kerusakan korteks auditorik bilateral dilaporkan masih dapat mendengar suara dan bahkan dapat mendiskriminasi nada dengan *pitch* dan intensitas yang berbeda (walaupun tidak memungkinkan dengan kecepatan dan ketepatan yang normal). Kemampuan untuk mengenali dan menginterpretasikan nada pada pola yang khusus berkurang atau menghilang. Pasien tersebut tidak memungkinkan mengenali suara yang dikenal seperti suara tertawa, bel yang berbunyi, suara binatang, dan lainnya. Mereka lebih jauh tidak dapat mengerti pembicaraan orang lain, walaupun mereka dapat berbicara dan membaca. Hal ini disebut agnosia akustik (Brodal, 2004).

#### **2.3.2.4. Korteks Olfaktorik Primer**

Korteks olfaktorik primer terletak di dalam unkus lobus temporalis dan tersusun atas korteks prepiriformis, area periamigdaloideum, dan bagian area entorinal. Korteks prepiriformis merupakan regio pada masing-masing sisi dan di berada di bawah stria olfaktorik lateralis, karena itu disebut girus olfaktorik lateralis, yang diperkirakan menjadi bagian utama korteks olfaktorik primer. Korteks olfaktorik primer relatif besar pada beberapa binatang, seperti kelinci, tetapi pada manusia hanya berupa area kecil. Pada manusia, korteks ini dihubungkan dengan persepsi sadar stimulus olfaktorik. Tidak seperti korteks sensorik primer lainnya (visual, auditorik, pengecap, dan sensibilitas somatik), korteks olfaktorik primer memiliki kekhususan yaitu serabut aferen dari reseptornya mencapai area korteks secara langsung tanpa melalui talamus (Afifi, 2005).

Pada lamina kortikal di mana serabut-serabut berakhir, serabut olfaktorius berakhir di lapisan terluar, sedangkan serabut talamokortikal berakhir pada lapisan yang lebih dalam. Sebagian besar serabut eferen dari bulbus olfaktorius berakhir pada aspek medialis lobus temporalis di korteks dan sebagian lagi di amigdala, yang berada di bawah ujung lobus temporalis. Di korteks serabut ini berakhir di korteks piriformis pada unkus, dan di bagian yang berbatasan dengan area entorinal. Serabut yang menuju ke amigdala berakhir pada nukleus kortikomedialis, yang mengirimkan serabut eferennya ke hipotalamus. Korteks olfaktorik primer terdiri dari 2 jenis neuron, yaitu neuron pokok (sel piramidalis) dengan akson yang meninggalkan korteks olfaktorik dan memproyeksi ke regio sekitar ataupun jauh, serta neuron intrinsik (sel stelata) dengan akson yang tetap di dalam korteks olfaktorik. Input utama ke korteks olfaktorik primer berasal dari bulbus olfaktorius yang terletak di atas rongga nasal di bawah lobus frontalis, melalui stria olfaktorik lateralis dan dari daerah sentral otak lainnya. Keluaran dari korteks ini melalui akson-akson neuron pokok yang memproyeksi ke area sekitarnya mengelilingi korteks olfaktorik primer, dan ke area yang letaknya jauh, seperti talamus dan hipotalamus, yang berperan penting dalam pengaturan perilaku dan emosi (Afifi, 2005; Brodal, 2004).



Lesi yang mengenai unkus dan daerah sekitarnya dapat diikuti dengan pengalaman olfaktorik subyektif yang terkadang tidak menyenangkan. Sensasi seperti ini terjadi disebut serangan uncinatus (*uncinate fit*) yang sering meliputi perasaan aneh mengalami kejadian ini pada keadaan bermimpi. Seringkali pasien merasa bahwa mereka mengalami kejadian tersebut sebelumnya (*déjà vu*), dan serangan uncinatus ini dapat berkembang menjadi bangkitan epilepsi dan kondisi ini dianggap sebagai suatu bentuk epilepsi (Brodal, 2004).

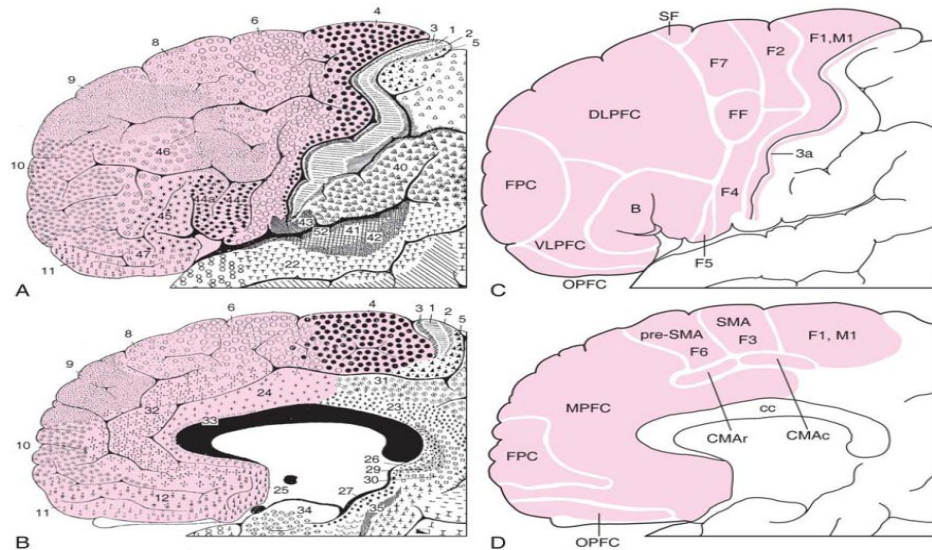
Korteks olfaktorik primer dan amigdala meneruskan impuls ke bagian otak lainnya. Hubungan ke bagian korteks lain menyediakan integrasi olfaktorik dengan informasi sensorik lainnya, menghasilkan analisis pengertian. Dari korteks olfaktorik primer, serabut langsung mencapai area sekitar pada bagian bawah lobus frontalis, korteks orbitofrontalis. Sebagai tambahan, bagian korteks ini menerima informasi olfaktorik secara tidak langsung melalui jalur dari nukleus talamik mediodorsalis, yang menerima serabutnya dari amigdala. Korteks orbitofrontalis menerima proyeksi yang bersatu dari banyak area kortikal, seperti area asosiasi visual dan somatosensorik, bagian insula yang menerima informasi pengecap, serta area yang berhubungan dengan emosi, motivasi, dan memori. Koneksi ini berlangsung timbal balik secara umum. Jalur penting sinyal olfaktorik mencapai bagian hipotalamus, yang terlibat dalam pengaturan selera makan, pencernaan, dan perilaku memberi makan. Hipotalamus menerima serabut dari korteks orbitofrontalis, area ini menerima informasi olfaktorik murni dari amigdala dan informasi tingkat tinggi yang sudah dianalisis. Informasi olfaktorik dari kedua sisi rongga nasal diolah di masing-masing hemisfer (Afifi, 2005; Brodal, 2004).

#### **2.3.4 Lobus Frontal**

Pembagian sitoarsitektonik lobus frontal berdasarkan Brodmann ditunjukkan pada gambar 26 A,B. Lobus frontal terdiri dari 14 area yaitu area granular (4,6,24,25,32), area disgranular (8,44,45) dan area granular (9,10,11,12,46,47) (Snell,2009).

Korteks frontal dapat dibedakan menjadi dua domain fungsional yang besar yaitu korteks motorik dan korteks prefrontal (asosiasi). Korteks motorik berada di depan sulkus sentralis dan meluas sepanjang permukaan medial hemisfer. Korteks prefrontal menempati

regio yang luas yang berada di rostral korteks motorik presentralis. Korteks motorik dibedakan menjadi korteks motorik primer (M1) dan korteks motorik non primer (Nieuwenhuys,2008).



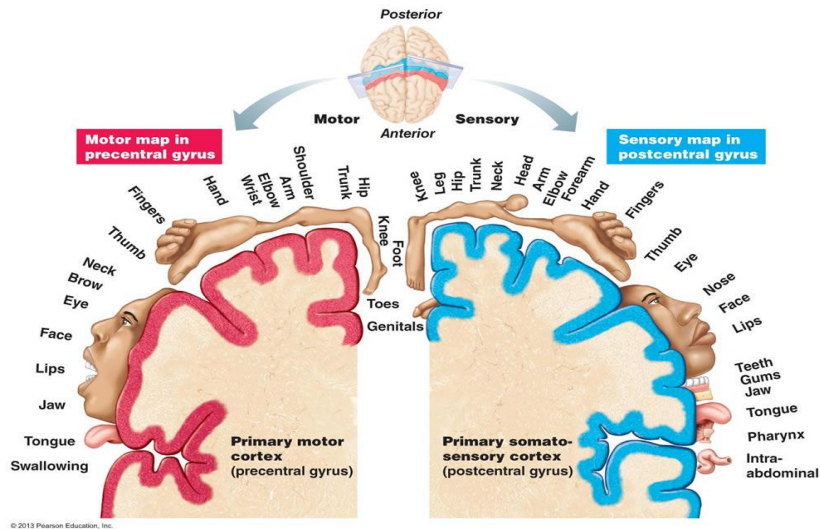
**Gambar 6.** A-D. Lobus Frontalis. Sesuai peta Brodmann, pandangan lateral (A) dan medial (B). Lobus frontal diwarnai merah . Area fungsional, pandangan lateral (C), dan medial (D). *B*, Broca's speech region; *cc*, corpus callosum; *CAMc,r*, caudal and rostral cingulate motor area; *DLPFC*, dorsolateral prefrontal cortex; *F1–F7*, subdivisions of motor cortex; *FF*, frontal eye field; *FPC*, frontopolar cortex; *M1*, primary motor cortex; *MPFC*, medial prefrontal cortex; *OPFC*, orbital prefrontal cortex; *pre-SMA*, pre-supplementary motor cortex; *SF*, supplementary eye field; *SMA*, supplementary motor area; *VLPFC*, ventrolateral prefrontal cortex (Nieuwenhuys,2008)

### 2.3.4.1 Korteks Area Motorik

Area F1 (atau M1) menggambarkan korteks motorik primer. Area ini sesuai dengan area Brodmann 4, yang dikenali karena memiliki sel piramidal raksasa Betz. Terdapat kurang lebih 34.000 sel Betz pada area 4 otak manusia. Studi stimulasi listrik pada korteks motorik baik pada manusia dan binatang percobaan menunjukkan adanya suatu peta topografi didalam korteks terhadap separuh tubuh kontralateral, menyerupai dengan peta yang ditemukan pada area sensoris primer.

Area 3a digambarkan dengan area panjang yang sempit, terletak pada fundus sulkus sentralis. Secara sitematiktoniknya menyerupai area 4, namun area ini menerima informasi dari reseptor otot melalui talamus. Hubungan kortikalnya menyerupai hubungan korteks motorik primer. Korteks motorik primer menerima serat aferen dari sumber kortikal dan subkortikal. Aferen subkortikal terutama berasal dari nukleus dentatus kontralateral melalui nukleus talamus ventral lateral bagian posterior dan yang berasal dari globus pallidus ipsilateral melewati bagian anterior nukleus talamus yang sama. Serat aferen menuju korteks motorik primer berasal dari beberapa area motorik non primer yang mencakup area premotorik dorsal dan ventral, area motorik asosiasi dan area motorik singulatum serta dari korteks somatosensorik primer (S1) dan korteks somatosensorik asosiasi (area 5). Serat proyeksi dari S1 yang berasal dari area 1, 2, dan 3b, terorganisasi secara topografi. Area somatosensorik asosiasi terutama berperan dalam analisis informasi proprioseptif. Hal ini menunjukkan bahwa serat eferen dari area asosiasi menuju korteks motorik primer memberikan informasi berdasarkan lokalisasi bagian tubuh, yang diperlukan dalam mengatur gerakan ekstremitas (Nieuwenhuys, 2008).

Korteks motorik diorganisasi secara somatotopis : bibir, lidah, wajah, dan tangan direpresentasikan di bagian peta seperti homunkulus di bagian bawah konveksitas hemisfer. Bagian tubuh ini memiliki ukuran yang besar seperti yang diproyeksikan ke korteks, merefleksikan sejumlah besar korteks yang ditujukan untuk mengatur jari dan gerakan *buccolingual*. Lengan, badan, dan pinggul direpresentasikan pada bagian yang lebih tinggi pada konveksitas. Kaki, tungkai inferior bagian bawah, dan genitalia pada fisura interhemisfer (Baehr, 2005). Bersama S1, bagian M1 secara tidak proporsional disediakan untuk mengatur tangan (khususnya jempol dan jari telunjuk) serta bibir dan lidah. Sebagai perbandingan, hanya bagian kecil M1 mengandung neuron yang mengatur otot punggung dan abdomen. Neuron kortikal berhubungan dengan kontrol motorik dari bagian tubuh tertentu tergantung pada jenis dan ketepatan gerakan daripada ukuran bagian tersebut (Brodal, 2004).



Gambar 7. Ukuran relatif representasi kortikal berbagai bagian tubuh pada area korteks motorik (merah) dan somatosensorik (biru) (Guyton, 2013).

Korteks motorik primer merupakan sumber utama traktus piramidalis. Traktus ini berasal dari area korteks motorik dan somatosensorik sekitar sulkus sentralis. Serat traktus piramidalis berasal dari sel neuron piramida pada lapisan V korteks dan melalui kapsula interna turun menuju batang otak dan medula spinalis. Serat piramid yang berasal dari girus presentralis (area 3a dan 4) berlalu menuju interneuron premotorik dan juga secara langsung menuju motoneuron. Hubungan kortikomotoneuron langsung dilakukan oleh serat kasar yang berasal dari sel raksasa Betz. Hubungan traktus piramidalis langsung ini, khususnya yang menginervasi otot ekstremitas distal, memberikan kemampuan untuk mengeksekusi gerakan kecil yang digambarkan oleh gerakan independen jari-jari. Bukti terbaru menunjukkan bahwa hubungan antara korteks motorik primer dan otot tidak terfiksasi namun plastis, berubah secara konstan berdasarkan umpan balik dari perifer. Lebih jauh, stimulasi listrik dengan durasi lebih lama daripada yang digunakan dalam studi pemetaan klasik (500ms dibandingkan 50ms), gerakan kompleks menyerupai gerakan yang penuh arti seperti meletakkan tangan ke dalam mulut, gesture melawan, gerakan meraih dan membentuk tangan ketika memegang suatu objek, dapat ditimbulkan dari korteks presentral (Nieuwenhuys, 2008).

#### 2.3.4.2 Korteks Area Premotorik

Area 6 Brodmann berada pada anterior terhadap korteks motorik primer. Area ini meluas pada dinding medial hemisfer. Bagian area 6 yang berada pada permukaan lateral hemisfer berhubungan dengan korteks Premotorik (PM), yang dapat dibedakan menjadi zone dorsal (PMD), dan zone ventral (PMV). Kedua zona tersebut kemudian dibagi menjadi bagian kaudal dan rostral. Bagian kaudal dari zone premotorik ventral, PMNc atau area F4, terletak langsung didepan representasi gerakan orofasial pada korteks motorik primer. Bagian rostral zone premotor ventral, PMVr atau area F5 pada kera makaka terdiri dari dua area fungsional yang berbeda, area F5ab pada kaudal dan area F5c yang terletak lebih rostral. Hal ini menunjukkan bahwa area 6 pada bagian yang lebih rostroventral pada primata homolog dengan area bicara Broca pada manusia. Zone premotor dorsal (PMD) dibedakan berdasarkan struktur dan fungsinya menjadi PMDc kaudal atau area F2 dan PMDr rostral atau area F7 (Gambar 6 C) (Nieuwenhuys,2008).

Area 6 Brodmann bagian medial ditempati oleh dua area fungsional yaitu area motorik suplementer (SMA) atau area F7 pada kaudal yang juga dikenal sebagai M2 dan pada bagian rostral terdapat area motorik presuplementer (pre-SMA) atau area F6 (2.16 D). Dinding medial hemisfer terdiri dari dua area yang berhubungan dengan kontrol motorik. Area ini yang diistilahkan dengan area motorik singulatum kaudal dan rostral, CMAc dan CMAr yang terletak pada sulkus singulatum. CMAc, yang membatasi SMA dan bagian rostral dari korteks motorik primer membentuk sub area 24 Brodmann. Bagian ini mengandung populasi sel neuron gigantopiramidal, serupa dengan korteks motorik primer yang letaknya berdekatan. Area CMAr berlokasi pada tingkat rostrokaudal yang sama dengan pre SMA (Gambar 6 D). Area ini juga membentuk bagian area 24 Brodmann namun kemungkinan mencakup area 32. Area CMAr juga diistilahkan dengan M3 dan CMAc dengan M4 (Nieuwenhuys,2008).

Sistem skeletomotorik sentral menyusun suatu hierarki. Neuron piramidal eferen pada korteks motorik primer secara kolektif disebut dengan ”*Upper MotoNeuron(UMN)*” atau ”*final common pathway*” untuk kendali gerakan sentral, menyampaikan persepsi baik secara langsung atau tidak langsung (melalui

interneuron) pada "lower motoneuron(LMN)" pada batang otak dan medula spinalis. Proyeksi dari area motorik terkait yang lain, bergabung pada korteks motorik primer, yang menggambarkan suatu hierarki pada tingkat UMN. Studi neuroanatomi eksperimen menunjukkan bahwa bagian motorik dari traktus piramidalis (sistem UMN) tidak berasal dari korteks motorik primer saja, namun sistem serat ini nampak berasal dari beberapa area motorik non primer seperti PMVc dan PMDc, SMA dan area CMAr dan CMAc (Nieuwenhuys,2008). Sehingga semua area ini memiliki kemampuan untuk mempengaruhi pembentukan dan kendali gerakan yang tidak tergantung korteks motorik primer. Semua area ini memberikan serat ke traktus piramidalis juga memberikan serat proyeksi menuju korteks motorik primer. Sehingga area-area ini mempengaruhi aktivitas motorik melalui sedikitnya dalam dua jalur, yaitu proyeksi kortikospinalis dan kortikokortikal menuju korteks motorik primer.

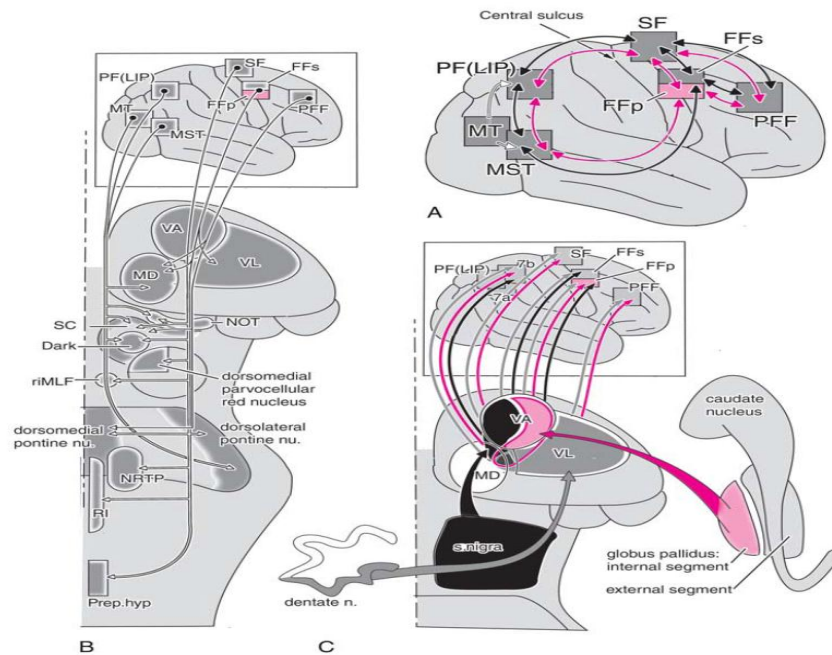
Serat aferen prefrontal menuju area motorik singulatum terdiri dari proyeksi yang kuat dari korteks prefrontal dorsolateral dan proyeksi yang kurang substansial dari korteks prefrontal ventrolateral dan orbitofrontalis kaudal. Yang penting untuk diperhatikan bahwa area motorik singulatum seperti aferen korteks prefrontal dan yang terkait motorik, juga menerima input dari area korteks limbik yang berbeda dan tersebar luas yang mencakup area singulatum 24, 23, dan 32, area retrosplenial 29 dan 30 dan area temporal 35, TF dan TH (Nieuwenhuys,2008).

Fungsi CMAr dan CMAc tidak diketahui dengan baik. Studi neuroimaging selama aktivitas motorik yang melibatkan eksekusi variasi gerakan lengan, menunjukkan bahwa CMAr diaktivasi terkait gerakan yang kompleks sedangkan CMAc teraktivasi selama tugas yang lebih sederhana (Nieuwenhuys,2008).

Area motorik singulatum berperan penting dalam perkembangan emosi, motivasi dan informasi terkait memori yang ditimbulkan pada domain lobus limbik secara langsung terkait dengan area motorik neokorteks dan kemudian menuju sistem motorik volunter. Korteks motorik non primer juga mencakup area *frontal eye field* dan *supplementary eye field* yang sesuai dengan namanya mengindikasikan keduanya terlibat dalam mengendalikan gerakan mata, dan area bicara Broca (Nieuwenhuys,2008) (Gambar 2.16 C).

### 2.3.4.3 Korteks Daerah Optokinetik Frontal

*Frontal eye field* (FF) terletak pada ujung kaudal girus frontalis tengah, sekitar sulkus presentralis. Pada peta Brodmann, regio ini terletak dalam area 6. Area FF dibedakan berdasarkan fungsinya menjadi dua subregio, yaitu subregio rostral yang berperan dalam gerakan sakade (FF sac) dan area subregio kaudal berperan dalam pembentukan gerakan mata yang halus (FF sem) (Gambar 8 A) (Nieuwenhuys, 2008).



**Gambar 8.** Korteks eye fields . (saccades: FFs, pursuit: FFp). the lateral intraparietal area (LIP), medial intraparietal area MIP; *dark*, nucleus of Darkschewitsch; *FFp*, pursuit subfield of frontal visual area; *FFs*, saccade subfield of frontal visual area; *MD*, mediodorsal thalamic nucleus; *MST*, medial superior temporal visual area; *MT*, middle temporal visual area; *NOT*, nucleus of the optic tract; *NRTP*, nucleus reticularis tegmenti pontis; *PF*, parietal visual field; *PFF*, prefrontal visual field; *Prep.hyp*, nucleus prepositus hypoglossi; *RI*, nucleus raphes interpositus; *riMLF*, rostral interstitial nucleus of the medial longitudinal fascicle; *SC*, superior colliculus; *SF*, supplementary visual field; *s.nigra*, substantia nigra; *VA*, Ventral anterior thalamic nucleus; *VL*, ventrolateral thalamic nucleus (Nieuwenhuys, 2008)

Area *eye field* tambahan (SF) terletak pada bagian rostradorsal dari sub area Brodmann 6, oleh Vogt dan Vogt digambarkan sebagai area 6 (Gambar 8 C) dan oleh Matelli digambarkan sebagai bagian PMDr atau F7 (Gambar 8 C). Neokorteks mengandung sejumlah regio yang saling berhubungan yang memberikan kontribusi langsung dalam memulai dan mengendalikan gerakan mata yang disadari. Tambahan untuk FF dan SF, regio ini mencakup area 7 bagian medial, area lateral intraparietal (LIP), area *visual middle superior temporal* (MST) dan area *prefrontal eye field* (PF), membentuk bagian dari area 46 Brodmann.

Lynch dan Tian juga melaporkan bahwa area sakade subregio dari *frontal eye field* (FF sac) dan *regio pursuit field* yang sama (FF sem) secara selektif berhubungan dengan subregion yang berbeda pada masing-masing *eye field* lainnya. Terdapat dua jaringan kerja korteks okulomotor yang sejajar, satu yang memberikan kendali gerakan mata sakadik dan yang kedua memberikan kendali gerakan mata pursuit. Jaringan kerja yang mengendalikan pandangan, selain dari korteks *eye field*, juga mencakup sejumlah struktur subkortikal, termasuk thalamus, basal ganglia, serebelum, kolikulus superior, *paramedian pontine reticular formation* dan nukleus okulomotorius.

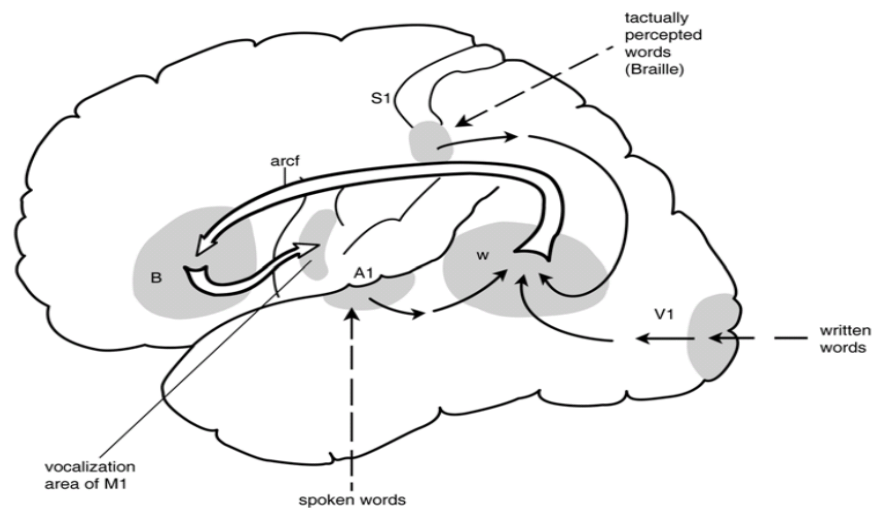
#### **2.3.4.4 Pusat Bicara Motorik Broca**

Area bicara Broca terletak pada girus frontal inferior bagian operkulum dan triangularis hemisfer dominan (umumnya hemisfer kiri). Secara luas diterima bahwa area 44 dan 45 Brodmann memiliki gambaran sitoarsitektonik berkaitan dengan area Broca. Kedua area ini mengandung lapisan *inner granular* tipis yang tidak jelas sehingga diklasifikasikan sebagai lapisan *disgranular*. Lokasi dan perluasan area 44 dan 45 bervariasi diantara subjek. Suatu studi kuantitatif yang melibatkan sepuluh otak yang berbeda menunjukkan bahwa walaupun volume area 44 bervariasi antara subyek, volume area ini lebih besar pada hemisfer kiri dibandingkan sisi kanannya pada kesepuluh otak tersebut. Area 45 tidak menunjukkan perbedaan interhemisfer. Kerusakan pada regio Broca secara umum dapat menimbulkan afasia motorik. Afasia ini yang juga dikenal dengan istilah afasia ekspresif atau afasia Broca terdiri dari kumpulan gangguan berbahasa yang mencakup nonfluen, bicara yang memerlukan usaha, gangguan repetisi dan



komprehensif yang relatif tidak terganggu. Nonfluen berbeda dengan tidak bicara secara spontan, jarang bicara atau bicara lambat, namun digambarkan dengan pengurangan atau kehilangan gramatik dan pengurangan jumlah huruf dalam setiap ucapan. Area bicara Broca anterior berhubungan dengan area bicara Wernicke posterior dan memberikan serat proyeksi menuju korteks motorik primer. Serat yang menghubungkan area Broca dan Wernicke mengikuti dua rute yang berbeda, jalur dorsal dan ventral (Nieuwenhuys,2008).

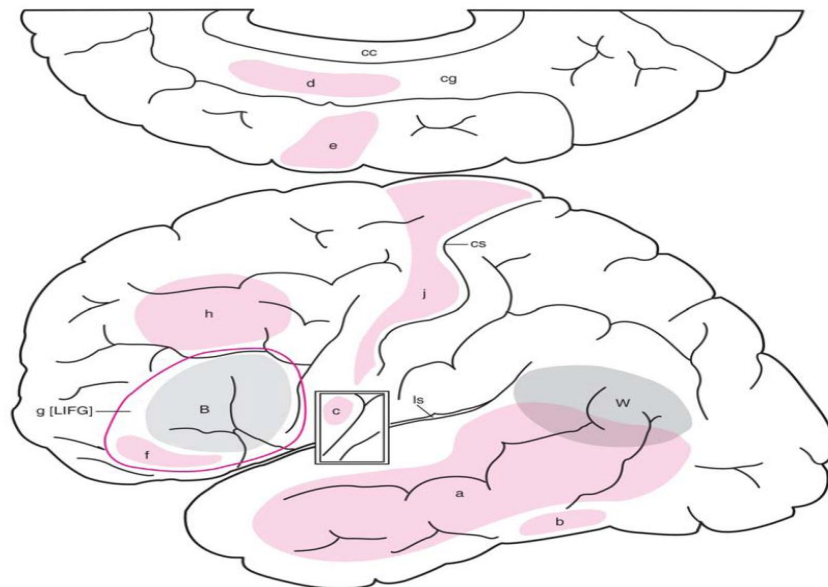
Serat yang melalui jalur dorsal melewati region Wernicke bagian dorsal, melengkung sepanjang sulkus lateral bagian posterior, dan kemudian berjalan ke arah rostral dibawah area supramarginalis dan somatosensoris pada operculum parietal untuk mencapai area Broca. Serat-serat ini membentuk bagian yang dinamakan fasikulus arkuatum misalnya lengan anterior dari fasikulus longitudinalis superior (Nieuwenhuys,2008).



**Gambar 9.** Model klasik atau Wernicke-Geschwind untuk sirkuit yang berhubungan dengan produksi dan pemahaman bahasa. *A1*, primary auditory area; *arcf*, arcuate fasciculus; *B*, Broca's speech region; *M1*, primary motor cortex; *S1*, primary somatosensory cortex; *V1*, primary visual cortex; *W*, Wernicke's speech region (Nieuwenhuys,2008)

Serat-serat yang mengikuti jalur ventral, langsung berlalu dari area Wernicke dan mencapai area Broca melalui jalur kapsula ekstrema, langsung

melewati korteks insula. Serat eferen dari area Broca berjalan menuju area 4 bagian lebih bawah, dimana merupakan tempat presentasi otot-otot laring, lidah dan bibir. Seperti telah dijelaskan di atas, kerusakan pada area Wernicke menimbulkan afasia sensoris atau reseptif dimana komprehensif terhadap tulisan dan bahasa lisan mengalami gangguan yang berat. Gangguan pada hubungan antara area Broca dengan Wernicke dan antara serat yang melewati dari area Broca menuju korteks motorik primer inferior menyebabkan terjadinya dua tipe afasia yang lain, yang dikenal dengan afasia konduksi dan afasia motorik subkortikal. Afasia konduksi ditandai oleh gangguan pada repetisi bahasa lisan disertai komprehensif yang masih normal. Afasia motorik subkortikal di klinik menyerupai afasia korteks motorik karena kerusakan area Broca (Mendoza,2008; Nieuwenhuys,2008).



**Gambar 10.** Area korteks yang terlibat dalam produksi dan pemahaman bahasa, Area Wernicke (W) dan Broca (B) diwarnai abu-abu, area terkait bahasa lain diwarnai merah. *cc*, corpus callosum; *cg*, cingulate gyrus; *cs*, central sulcus; *LIFG*, left inferior frontal cortex; *ls*, lateral sulcus (Nieuwenhuys,2008)

#### 2.3.4.5 Korteks Area Prefrontalis

Korteks prefrontal dapat dibedakan dari area motorik dan premotorik dengan adanya lapisan granular internal yang mencolok dan area ini berhubungan timbal balik dengan inti talamus mediodorsal (MD).

Area citoarsitektur yang bervariasi pembentuk korteks prefrontal dengan kuat terhubung serta juga berhubungan bolak balik. Jalur output yang penting dari korteks prefrontal adalah yang dibentuk oleh serangkaian serat asosiasi pendek yang melalui korteks premotorik, berkumpul pada korteks motorik primer. Terdapat beraneka macam hubungan serat korteks prefrontal. Serat aferen dari beraneka area asosiasi dihubungkan secara timbal balik oleh serat eferen. Serat ini menerima aferen kolinergik dan GABAergik dari inti Meynert bagian basal, histaminergik, oreksinergik dan serat yang mengandung hormon melanin dari hipotalamus, serat serotoninergik dari inti raphe mesensefalon, serat dopaminergik dari area tegmentum ventral dan serat noradrenergik dari lokus seruleus. Korteks prefrontal berhubungan bolak balik dengan berbagai bagian dari lobus limbik, amigdala, hipotalamus dan proyeksinya menuju nukleus kaudatus, *periaqueductal grey* (PAG) dan pons (Nieuwenhuys,2008).

Korteks prefrontal berperan penting dalam fungsi otak yang lebih kompleks seperti orientasi dan perhatian, pembuat keputusan berdasarkan informasi eksteroseptif dan interoseptif dan pengalaman masa lalu, merencanakan dan merangkaikan suatu tindakan, emosi dan kepribadian.

Lesi bilateral yang besar pada korteks prefrontal menimbulkan suatu kelainan yang dikenal sebagai sindrom lobus frontal. Gambaran penting dari sindrom ini adalah berkurangnya kemampuan untuk mempertahankan perhatian dan konsentrasi, kehilangan inisiatif dan spontanitas, penghambatan dan impulsifitas dari afek, pikiran dan tindakan, ketidakmampuan untuk merencanakan, mengorganisasikan dan mengeksekusi perilaku kompleks dan hilangnya nilai sosial

Perubahan seperti ini dapat ditemukan pada pasien psikiatri yang menjalani *prefrontal leucotomy*. Prinsip operasi ini adalah memotong hubungan serat-serat yang berasal dan menuju korteks prefrontal.

## **BAB 3**

### **RINGKASAN**

Hubungan korteks dengan korteks bagian lainnya dan daerah subkortikal diantarkan oleh serat-serat saraf. Untuk itu dikenal serat eferen korteks, serat aferen korteks serta serat asosiasi. Hubungan ini mengintegrasikan impuls yang diterima oleh suatu area spesifik korteks dengan area lainnya dan mengirimkan persepsi ke bagian subkortikal sehingga tercipta persepsi yang diinginkan. Dalam hal ini korteks serebri sebagai pusat dari susunan saraf. Pada korteks serebri terdapat pusat-pusat yang mengatur semua kegiatan manusia. Pusat ini sangat spesifik terdapat pada lobus serebri tertentu. Pada masing-masing lobus serebri terdapat berbagai macam pusat pengatur motorik dan sensorik.

Korteks serebri pada lobus serebri yang berbeda mempunyai fungsi yang berbeda pula. Berikut fungsi korteks serebri berdasarkan lobus serebri:

1. Lobus Frontalis : korteks area motorik, korteks area premotorik, daerah optokinetik Frontal, Pusat bicara motorik Broca, korteks area prefrontal
2. Lobus Parietalis : korteks area somatosensorik, daerah asosiasi korteks lobus parietalis (somatosensorik asosiasi, area integrasi umum dan area ideomotor)
3. Lobus Temporalis : korteks area pendengaran primer, korteks area pendengaran asosiasi, korteks area olfaktorik primer
4. Lobus Oksipital : korteks area penglihatan primer, korteks area asosiasi penglihatan

Korteks serebri juga berinteraksi dengan area korteks yang lain atau area subkorteks untuk membentuk fungsi kortikal luhur, kesadaran dan proses belajar. Manifestasi klinis yang muncul pada pasien dengan karakteristik spesifik dari masing-masing lobus atau sindrom lobus dapat membantu para klinikus untuk menentukan letak lesi pada korteks serebri.

## DAFTAR PUSTAKA

Campbell, W.W. 2013. *DeJong's The Neurologic Examination, 7<sup>th</sup> ed.* Lippincott Williams & Wilkins: Philadelphia.

Duus, P. 2007. *Diagnosis Topik Neurologi disiv.* Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta.  
Hal.263-294

Baehr, M., Frotscher, M. 2005. *Duus' Topical Diagnosis in Neurology. 4<sup>th</sup> ed.* Thieme: New York. pp 350-353

Nieuwenhuys et al., 2008. *The Human Central Nervous System. 4<sup>th</sup> ed.* Springer, Germany. Pp 20-22

Snell Richard S. 2009. *Neuroanatomiklinik.* Penerbit Buku Kedokteran EGC, Jakarta. Hal 292-303

Guyton; Hall. 2013. *Textbook of Medical Physiology, 12<sup>th</sup> ed.* Pp 1068-1275

Mendoza, J., Foundas, A.L. 2008. *Clinical Neuroanatomy : a Neurobehavioral Approach.* USA : Springer

Brodal, P. 2004. *The Central Nervous System : Structure and Function, 3<sup>rd</sup> ed.* Oxford University Press

Afifi, A.K., Bergman, R.A. 2005. *Functional Neuroanatomy: Text and Atlas, 2nd ed.* McGraw Hill