



## **Mirror Neuron dalam Proses Empati Manusia kerusakan / Disfungsi yang Terjadi pada Mirror Neuron**

Maria Leony Elvaretta<sup>1✉</sup>, Nurul Azizah Dhuha<sup>2</sup>, Natasha Zefanya<sup>3</sup>, Lativa Tara<sup>4</sup>, Ni Nyoman Putri Pradnyandari<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup>Universitas Gadjah Mada

[marialeony@mail.ugm.ac.id](mailto:marialeony@mail.ugm.ac.id)

### **Abstract**

Humans are essentially created as social creatures and need each other to interact with each other. Human life coexists with other humans, so social interaction cannot be avoided. As humans, we must be sensitive and respectful of each other. One of the social interaction capitals is the ability to empathize. Empathy can be defined as when an individual can feel what others feel, and this can be explained from a neuroscience perspective. The mirror neuron is one of the small parts of the brain that has the primary function as a mirror within the individual, in other words it is the center of the process where empathy occurs. The purpose of this study is to investigate the function of mirror neurons that are closely related to human empathy processes and the damage or dysfunction that occurs in it. Through literature studies, it is known that the mirror neurons are located in some parts of brain structures; in the premotor area and the lower parietal cortex. Mirror neurons generally project events around the individuals so the emotions and such behaviors are felt by the individuals. The lack of empathy experienced by some individuals with psychopathy as well as difficulty in understanding situations or responding to social cues in children with Autism Spectrum Disorder (ASD) can be due to the dysfunction in mirror neurons. However, mirror neurons dysfunction still requires further research to be able to understand the role of mirror neurons in various aspects of mental processes and human behavior.

Keywords: mirror neurons, empathy, brain structure, social cognition, dysfunction

### **Abstrak**

Manusia pada hakekatnya diciptakan sebagai makhluk sosial dan saling membutuhkan untuk berinteraksi dengan makhluk lain satu sama lainnya. Manusia hidup saling berdampingan dengan manusia lainnya, sehingga interaksi sosial tidak dapat dihindarkan. Sebagai manusia, kita harus peka dan menghargai satu sama lainnya. Salah satu modal interaksi sosial adalah kemampuan berempati. Empati bisa didefinisikan sebagai ikut merasakan apa yang dirasakan oleh individu lain, dan faktanya hal ini dapat dijelaskan dalam perspektif neurosains. *Mirror neuron* adalah salah satu bagian kecil dari otak yang memiliki fungsi utama sebagai cermin dalam diri individu, dengan kata lain pusat proses empati terjadi. Tujuan penelitian ini untuk mengkaji terkait fungsi *mirror neuron* yang erat kaitannya dengan proses empati manusia serta kerusakan atau disfungsi yang terjadi pada *mirror neuron*. Melalui hasil kajian literatur, diketahui bahwa letak *mirror neuron* tersebar di beberapa bagian struktur otak, pada area premotor dan korteks parietal inferior. Fungsi *mirror neuron* umumnya memproyeksikan kejadian di sekitar individu sehingga emosi dan seperangkat perilaku tersebut turut dirasakan individu. Kesulitan berempati yang dialami individu dengan psikopati serta kesulitan dalam memahami "situasi" atau merespons secara sosial seperti pada anak dengan *Autism Spectrum Disorder* (ASD), hal ini dapat disebabkan karena terjadinya disfungsi pada *mirror neuron*. Namun, disfungsi *mirror neuron* pada gangguan tersebut masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk dapat memahami peran *mirror neuron* dalam berbagai aspek proses mental dan perilaku manusia.

Kata kunci: *mirror neurons*, empati, struktur otak, kognisi sosial, disfungsi

*Psyche 165 Journal is licensed under a Creative Commons 4.0 International License.*



### **1. Pendahuluan**

Pengalaman hidup terbangun atas dua rangkaian situasi, dialami langsung dan dialami oleh individu lain di sekitar. Pengalaman menghadapi situasi kemudian memberikan kesan tersendiri [1]. Individu yang mengalami situasi tidak nyaman akan merasakan emosi tidak nyaman, namun bagaimana jika situasi tidak nyaman dialami oleh individu lain, apakah individu tersebut akan merasakan perasaan tidak nyaman juga? Kemampuan berempati manusia memperbolehkan mereka turut merasakan hal yang individu lain rasakan. Ilmu psikologi menjelaskan

fenomena di mana individu turut merasakan yang individu lain alami sebagai "empati", namun neuropsikologi memiliki penjelasan lain mengenai fenomena tersebut [2].

Dalam neuropsikologi, terdapat area otak spesifik bernama *mirror neuron* yang bertugas seperti cermin. Fenomena pantulan hal yang diamati dari orang lain sehingga tercermin tindakan dan perilaku orang tersebut menggambarkan aksi cermin atau *mirror action* [3], [4]. Aktivasi *mirror neuron* mereplikasi sensasi sehingga individu seolah-olah juga merasakan dari melakukan hal yang diamatinya. Contohnya saat

menonton perlombaan, seseorang bisa merasakan jantung berdebar kencang saat para pelari bersaing mencapai garis akhir terlebih dahulu [5]. Ketika melihat orang lain berbahagia, *mirror neuron* akan aktif dan mencerminkan keadaan emosional serupa sehingga pelihat juga dapat merasakan kebahagiaan tersebut [6]. Keberadaan *mirror neuron* memungkinkan seseorang merasakan hal yang orang lain rasakan, memahami perspektif, serta berempati terhadap orang lain [7].

*Mirror neuron* merupakan suatu jenis sel saraf yang menjadi pusat penelitian dalam neurologi modern. *Mirror neuron* ditemukan pertama kali oleh ilmuwan neurologi asal Italia [8]. *Mirror neuron* berperan penting dalam memahami interaksi sosial, emosi, serta proses kognitif manusia [9]. *Mirror Neuron* akan teraktivasi baik saat individu beraktivitas atau mengamati individu lain beraktivitas, aktivasi terjadi pada *premotor cortex* dimana otak akan bekerja dalam sistem yang sama, seolah-olah individu sedang melakukan aktivitas tersebut [10]. Penelitian *mirror neuron* telah membuka jendela baru dalam pemahaman mengenai bagaimana otak manusia mengolah emosi dan empati.

Aktivitas *mirror neuron* pada otak manusia terletak di *premotor cortex*, *supplementary motor area*, *primary somatosensory cortex*, dan *inferior parietal cortex* [11]. *Mirror neuron* ditemukan pada *motor*, *premotor areas* serta di *inferior parietal cortex* yang akan otomatis teraktivasi ketika individu sedang berorientasi pada pencapaian atau melihat perilaku individu lain yang dikenal. Kepastian letak dan fungsi *mirror neuron* masih diperdebatkan hingga saat ini, namun telah banyak studi pada hewan dan manusia yang membuktikan *mirror neuron* sebagai neuron yang terdistribusi pada area otak motorik, penginderaan, dan *emotion brain area*, tempat pembentuk *mirror mechanism*, yang berperan dalam interaksi sosial [12].

Peran *mirror neuron* dalam interaksi sosial menjelaskan bahwa peranan *mirror neuron* bukan hanya terkait observasi aspek motorik melainkan juga observasi aspek afektif dalam suatu situasi [13]. Hal tersebut memperbolehkan individu membedakan jenis emosi yang muncul. *Mirror neuron* berperan dalam *general social cognition* serta *social understanding* dengan melakukan diskriminasi terhadap sebuah situasi [14]. *Mirror neuron* merupakan salah satu sistem yang berperan dalam *vicarious value learning* di mana individu mampu mempelajari suatu konsep tanpa harus mengalaminya langsung dan mampu memahaminya melalui pengalaman orang lain [15]. *Mirror neuron* tidak hanya terbatas pada imitasi, namun berperan penting dalam memahami aksi/perilaku (*action*) dan maksud dari aksi tersebut (*intention*). Paparan tersebut memotivasi peneliti untuk mengkaji *mirror neuron* secara lebih mendalam—cara kerja *mirror neuron*, menelusuri keberfungsian dan kaitannya dengan emosi dan empati, serta kemunculan

gangguan perilaku saat terjadi kerusakan pada *mirror neuron*. Kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu pengetahuan serta menambah wawasan seputar *mirror neuron* sebagai salah satu kajian dalam bidang neuropsikologi [16].

## 2. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode *literature review*. Metode *literature review* atau tinjauan literatur adalah studi yang menganalisis dan mensintesis literatur terdahulu, bertujuan untuk meningkatkan pemahaman terkait topik yang ingin didalami [17].

*Systematic literature review* merupakan cara yang dilakukan peneliti secara sistematis, tujuannya untuk mengumpulkan, dan menganalisa dengan kritis, serta menyajikan data ataupun temuan yang di dapatkan dari penelitian-penelitian sebelumnya, dilakukan dengan berurutan dan kompleks. Tahapan dalam literatur *review* juga cukup panjang, tetapi data yang didapatkan juga lebih detail, akurat dan kompleks [18]. Sumber sekunder yang digunakan dalam artikel ini berasal dari bab buku dan artikel jurnal ilmiah nasional dan internasional diperoleh dari *Google Scholar* dan *Scopus*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

### 3.1. *Mirror Neuron*

Penelitian pada *neocortex* mamalia, khususnya hewan pengerat dan primate, memberikan kejelasan mengenai keberadaan *mirror neuron* [19]. *Mirror neuron* pertama kali ditemukan dalam *ventral premotor cortex* dan *inferior parietal lobule* pada monyet [17], [20], [21]. Keberadaan mekanisme *emotional processing mirror* pada kera di wilayah insula dan *anterior cingulate cortex* [22]. Eksistensi *mirror neuron* tidak terbatas pada area otak tertentu. Keberadaannya juga ditemukan dalam *premotor cortex*, *inferior parietal lobule*, dan *ventromedial hypothalamus* pada tikus [19]. Walaupun kepastian probabilitas eksistensi *mirror neuron* per area otak masih minimal, penemuannya dalam primata menghantarkan penelitian mengenai letak, fungsi, dan proyeksi keperilakuan dalam manusia [23], [24].

*Mirror neuron system* (MNS) pada manusia berfungsi: memetakan tindakan yang dirasakan secara langsung ke sistem gerak, mengobservasi tindakan dan peniruan, dan meningkatkan pemahaman mengenai pikiran dan tindakan orang lain melalui simulasi motorik [25]. *Mirror neuron* berperan penting dalam kognisi sosial, perilaku meniru, serta memahami perilaku individu lainnya [26]. *Mirror neuron* juga berkontribusi dalam kemampuan manusia memperoleh keterampilan baru, memahami niat, dan menginterpretasi bahasa tubuh orang di sekitarnya [27], [28], [29], [30].

Penelitian terdahulu menyatakan adanya hubungan antara *mirror neuron* dan emosi dan empati pada

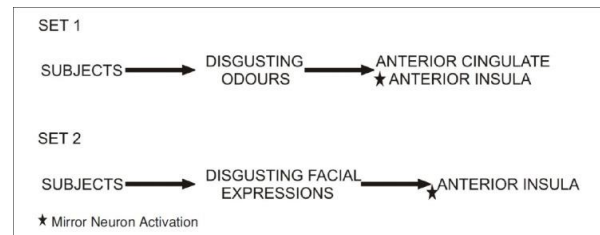
manusia [31], [32], [33]. Keberadaan *mirror neuron* menyanggulkan manusia memahami kondisi mental individu lainnya melalui simulasi mental terhadap apa yang sedang dirasakan dan dipikirkan orang lain, cara individu mampu memahami kondisi emosi orang lain dan menunjukkan rasa empati terhadap mereka [34]. Berbagai penelitian juga menjelaskan bahwa individu dengan rasa empati lebih besar memiliki aktivitas *mirror neuron* yang lebih kuat [35], [36].

Empati merupakan konstruk psikologis yang kompleks. Tiga komponen empati yang berbeda: motorik, emosional, dan kognitif. Komponen motorik empati melibatkan *mimicry* atau imitasi, di mana seorang individu meniru tindakan orang lain. Jenis empati ini ditunjukkan ketika seseorang mengamati ekspresi wajah atau bahasa tubuh orang lain dan secara otomatis menirunya tanpa usaha sadar. Proses empati motorik utamanya terjadi pada tingkat bawah sadar, artinya individu tidak menyadari bahwa mereka meniru bahasa tubuh atau ekspresi orang lain. Konsep empati motorik didasarkan pada gagasan bahwa manusia memiliki kecenderungan alami meniru perilaku orang lain, yang kemudian dapat membantu mereka dalam berinteraksi sosial [23], [32], [37]. Komponen empati afektif beresonansi dengan keadaan emosional orang lain, artinya seorang individu dapat mengalami emosi yang sama dengan orang lain [38], [39]. Hal ini berbeda dengan empati motorik yang berfokus pada imitasi; empati afektif dianggap lebih mencerminkan pengalaman emosi. Respons empatik yang “berhasil” membutuhkan lebih dari perasaan keadaan emosional yang serupa tetapi membutuhkan kemampuan pengambilan perspektif kognitif, yakni memahami apa yang dirasakan orang lain. Komponen empati kognitif melibatkan *Theory of Mind* atau pengambilan perspektif, di mana individu mencoba memahami pikiran dan perasaan orang lain.

Mekanisme empati manusia diduga termediasi *mirror neuron system* jaringan neuron yang diaktifkan ketika individu melakukan suatu tindakan maupun ketika ia mengamati orang lain melakukan tindakan yang sama [25]. *Mirror neuron system* dianggap menduduki peranan penting dalam kemampuan tiruan dan memahami tindakan orang lain, serta dalam kemampuan merasakan empati terhadap orang lain. *Mirror neuron* bertanggung jawab atas proses bawah sadar dan otomatis untuk memahami dan mensimulasikan tindakan orang lain yang memungkinkan munculnya perasaan empati dan ikatan sosial [8].

*Perception Action Model* (PAM) yang menjelaskan ketika seseorang merasakan perilaku dan emosi orang lain, secara otomatis terpicu representasi internal dan aktivasi mekanisme saraf yang bertanggung jawab atas emosi dan perilaku tersebut. Hal ini berarti ketika individu mengamati tindakan atau emosi orang lain, otak secara otomatis mensimulasikan tindakan dan emosi itu dalam diri individu [40].

*Functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI) dengan subjek yang diminta meniru ekspresi wajah terkait suatu kondisi emosional mengungkapkan tingkat aktivitas di area *mirror neuron* pada *anterior insula* dan *amygdala* berkaitan dengan tingkat empati seseorang [10]. Pada eksperimen tersebut, satu kelompok peserta diberikan sebuah bau yang menjijikan dan memberikan kelompok lainnya sebuah film pendek yang memperlihatkan individu yang menunjukkan ekspresi wajah jijik. Eksperimen ini menemukan bahwa paparan bau tidak sedap dan peniruan ekspresi wajah dapat mengaktifkan *anterior insula* dan *anterior cingulate* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Mirror Neuron Activation* pada *Anterior Insula* dan *Anterior Cingulate*

Perasaan sakit selama pengamatan situasi menyakitkan pada orang terdekat sebagai pengamat. Eksperimen ini menemukan bahwa emosi disebabkan oleh aktivasi sirkuit sebagai mediasi respon emosional yang sesuai [41]. *Mirror neuron* juga dapat menjelaskan bagaimana seseorang dapat merasa jijik atau nyeri saat individu lain merasa jijik atau kesakitan. Area otak yang terlihat aktif saat melihat individu lain kesakitan adalah *cinguli anterior cortex* dan area insula saat melihat individu lain merasa jijik.

*Mirror-touch synesthesia* menjelaskan bagaimana seseorang dapat merasakan sensasi saat melihat individu lain diberikan stimulasi sensoris. *Mirror neuron* membawa stimulasi tersebut di bawah ambang atau *threshold* tertentu saat melihat suatu stimulus sensoris. Pada *motor neuron synesthesia*, begitu kuat imitasi mental yang melewati *threshold* sensasi taktil [42]. Seseorang dapat merasakan sensasi sentuhan hanya melalui pengamatan. Hal ini membuktikan adanya stimulasi *secondary somatosensory cortex* tanpa pengaktifan *primary somatosensory cortex*. Penelitian dan penemuan *mirror neuron* membawa dampak yang besar dalam dunia psikologi [36].

### 3.2. Penemuan terhadap Cara Kerja *Mirror Neuron*

Penelitian sebelumnya dilakukan menggunakan seekor kera, yang bertujuan untuk mempelajari neuron yang mengontrol tindakan tangan dan mulut dengan menempatkan elektroda pada *ventral premotor cortex* kera tersebut. Prosedurnya dengan cara merekam sinyal listrik yang dikeluarkan sekelompok neuron pada otak kera saat ia dibiarkan meraih potongan makanan, sehingga para peneliti dapat mengukur respons kera terhadap gerakan tertentu. Para peneliti

menemukan bahwa beberapa neuron akan teraktivasi ketika kera melihat seseorang mengambil sepotong makanan dan ketika kera itu sendiri mengambil makanan [43].

Peran *mirror neuron* dalam pengenalan tindakan, dan mengusulkan bahwa *Broca's area* manusia adalah wilayah homolog dari *premotor cortex*. Penelitian ini juga menggambarkan keberadaan *mirror neuron* yang merespons gerakan mulut dan wajah [44]. *Mirror neuron* manusia dan kera menanggapi suara sebagai sebuah tindakan. Dalam penelitian ini fMRI dapat memeriksa otak dan jaringannya yang luas. Area ini mencakup korteks somatosensorik dan dianggap membuat seorang pengamat dapat merasakan bagaimana rasanya bergerak dengan cara yang diamati. Neuropsikologis mengamati area lesi yang menyebabkan pengetahuan tindakan, interpretasi, pantomim, serta defisit persepsi gerakan biologis. Pengamatan ini menunjukkan hubungan sebab akibat antara integritas *inferior frontal gyrus* dan perilaku tersebut [45].

Penelitian sebelumnya mencatat aktivitas 177 neuron di otak dari 21 pasien yang menderita epilepsi berat. Para pasien ditanamkan elektroda intrakranial untuk mengidentifikasi kejang untuk kemungkinan perawatan bedah. Penelitian ini terdiri dari 3 fase: (1) membuat pasien mengamati ekspresi wajah (fase observasi), menggenggam (fase aktivitas), dan eksperimen kontrol (fase kontrol). Pada tahap observasi, pasien mengamati berbagai tindakan yang diperlihatkan melalui komputer laptop. Pada fase aktivitas, subjek diminta melakukan suatu tindakan berdasarkan kata yang disajikan secara visual. Pada fase kontrol, kata-kata yang sama disajikan, dan pasien diinstruksikan untuk tidak melakukan tindakan tersebut. Para peneliti menemukan beberapa neuron yang memicu aktivitas terbesarnya saat individu mengamati dan melakukan tugas. Neuron tersebut memiliki sifat anti-cermin, dengan merespons ketika peserta melihat suatu tindakan tetapi terhambat ketika dirinya melakukan tindakan tersebut. *Mirror neuron* pada eksperimen ini ditemukan terletak pada *supplementary motor cortex* dan *medial temporal cortex* [37].

### 3.3. Kerusakan pada *Mirror Neuron*

*Mirror neuron* merupakan potensi otak manusia dalam meniru suatu hal atau perilaku mengungkapkan bahwa *mirror neuron* sering dikaitkan dengan *social cognition* di mana seorang individu dapat memahami aksi, maksud, dan emosi orang lain atau memiliki rasa empati, sehingga kerusakan pada *mirror neuron* akan menyebabkan gangguan pada fungsi sosial [3], [38]. Disfungsi pada *mirror neuron* mengakibatkan gangguan pada kemampuan menyadari, mengekspresikan diri, memfungsikan diri secara interpersonal, mengelola dan mengendalikan emosi,

dan sikap untuk memecahkan masalah yang bersifat pribadi dan interpersonal [5].

Kerusakan pada sistem *mirror neuron* akan menyebabkan gangguan pada fungsi sosial seperti pada *Autism Spectrum Disorder* (ASD) [12]. *Autism Spectrum disorder* merupakan gangguan perkembangan yang ditandai dengan keterlambatan dan penyimpangan perkembangan keterampilan sosial, bahasa, komunikasi, dan perilaku [46]. Konsep *mirror neuron* yang dianggap bermasalah pada pengidap autisme dikenal sebagai “*broken mirror*” [47]. Simptom autisme meliputi tiga hal: gangguan motorik, gangguan berbahasa, dan *social impairment*. Ketiga simptom utama tersebut terkait erat dengan peranan *mirror neuron* [48], [49]. Beberapa studi yang menggunakan fMRI mengemukakan korelasi yang kuat antara berkurangnya aktivitas *mirror neuron* dengan meningkatnya gejala autisme. Penemuan tersebut dapat dimanfaatkan untuk menyusun strategi intervensi berbasis *mirror neuron* bagi anak autisme [50], [51], [52]. Beberapa area yang berhubungan dengan fungsi kognitif, seperti *Theory of Mind*, empati, sensasi, bahasa, dan perkembangan dalam konteks autisme masih memerlukan penelitian lanjutan untuk mengemukakan hubungan kausal dengan sistem *mirror neuron*. Walaupun demikian, konsep *mirror neuron* dapat memberikan wawasan mengenai konsep “*social brain*” [53].

Keberfungsian *mirror neuron* terhadap empati juga terlihat pada individu dengan *psychopathy* atau “gangguan kepribadian yang ditandai oleh sejumlah ciri afektif, interpersonal, gaya hidup, dan perilaku anti-sosial, yang asal-usulnya dapat diidentifikasi pada sekelompok individu yang menunjukkan perilaku anti-sosial akut” [54]. Peran *mirror neuron* dalam proses empati pada seorang psikopat, dengan terbaginya dua jenis empati, *cognitive empathy* dan *affective empathy*, yang diukur pada beberapa area spesifik otak dengan *mirror neuron system* seperti *ventromedial prefrontal cortex* (vmPFC), *inferior parietal lobe* (IPL), *inferior frontal gyrus*, dan *superior temporal sulcus*. Hasil dari penelitian tersebut menyatakan bahwa individu dengan *psychopathy* memiliki *cognitive empathy*, namun tidak memiliki *affective empathy* [55]. Selain itu, seorang psikopat bisa melakukan kejahatannya dengan sempurna karena peran *cognitive empathy* untuk mengetahui kondisi mental (*mental state*) orang lain atau pemahaman mengenai perasaan dan kemungkinan dampak dari suatu perilaku terhadap individu lain [56]. Hal ini menjelaskan bagaimana individu psikopat mampu sangat tenang melakukan aksinya, melalui kemampuan penilaian perasaan korbannya dan kemungkinan tindakan yang diambil korbannya, sedangkan *affective empathy*, kemampuan ikut merasakan emosi yang orang lain rasakan tidak dimiliki oleh individu dengan *psychopathy* [57].

#### 4. Kesimpulan

*Mirror neuron* merupakan jenis neuron yang aktif ketika seseorang melakukan suatu tindakan maupun ketika mereka mengamati orang lain, sehingga mereka melakukan tindakan yang sama. Aktivitas *mirror neuron* terletak pada beberapa area otak yang berhubungan dengan sensori-motorik dan emosi. Penelitian pada manusia dan hewan telah membuktikan bahwa *mirror neurons* memainkan peran penting dalam pemahaman sosial, empati, dan interaksi sosial, meskipun masih banyak perdebatan mengenai lokasi dan fungsi spesifik mereka. *Mirror neuron* memungkinkan manusia untuk merasakan emosi yang sama dengan orang lain dan memahami niat dan maksud mereka, serta memfasilitasi pembelajaran nilai secara tidak langsung melalui pengalaman orang lain. Kerusakan pada *mirror neuron* dapat menyebabkan gangguan dalam fungsi sosial dan empati, contohnya dalam gangguan perkembangan seperti *Autism Spectrum Disorder* (ASD) dan gangguan kepribadian seperti psikopati. Penelitian lebih lanjut sangat diperlukan untuk memahami peran *mirror neuron* dalam berbagai aspek kognitif dan perilaku manusia.

#### Daftar Rujukan

- [1] R, D. (2019). Mirror Mirror on the Brain; Tell Me What Do They Feel? Mirror Neurons; The Neural Wi-fi System for Affect Sharing. *Online Journal of Neurology and Brain Disorders*, 2(5). <https://doi.org/10.32474/ojnbd.2019.02.000147>.
- [2] Du, M., Basyouni, R., & Parkinson, C. (2021). How Does the Brain Navigate Knowledge of Social Relations? Testing For Shared Neural Mechanisms for Shifting Attention in Space and Social Knowledge. *NeuroImage*, 235, 118019. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2021.118019>.
- [3] Alcalá-López, D., Vogeley, K., Binkofski, F., & Bzdok, D. (2019). Building Blocks of Social Cognition: Mirror, Mentalize, Share? *Cortex*, 118, 4-18. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.05.006>.
- [4] Bánovský, J. (2023). On the Importance of Infant Carrying for Social Learning and the Development of Social Cognition. *Philosophical Psychology*, 1-28. <https://doi.org/10.1080/09515089.2023.2217211>.
- [5] Basavaraju, R., Mehta, U. M., Pascual-Leone, A., & Thirhalli, J. (2018). Elevated Mirror Neuron System Activity in Bipolar Mania: Evidence from a Transcranial Magnetic Stimulation Study. *Bipolar Disorders*, 21(3), 259-269. <https://doi.org/10.1111/bdi.12723>.
- [6] Plumbe, L. (n.d.). *Imagining The Human Hand: Motor Imagery, Mental Rotation and Mirror Visual Feedback*. <https://doi.org/10.14264/1ba2ad0>.
- [7] Bommel, G., Thijs, J., & Miklikowska, M. (2020). Parallel Empathy and Group Attitudes in Late Childhood: The Role of Perceived Peer Group Attitudes. *The Journal of Social Psychology*, 161(3), 337-350. <https://doi.org/10.1080/00224545.2020.1840326>.
- [8] Bekkali, S., Youssef, G. J., Donaldson, P. H., Albein-Urios, N., Hyde, C., & Enticott, P. G. (2021). Is the Putative Mirror Neuron System Associated with Empathy? a Systematic Review and Meta-Analysis. *Neuropsychology Review*, 31, 14-57. <https://doi.org/10.1007/s11065-020-09452-6>.
- [9] Bonini, L., Rotunno, C., Arcuri, E., & Gallese, V. (2022). Mirror Neurons 30 Years Later: Implications and Applications. *Trends in Cognitive Sciences*, 26(9), 767-781. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2022.06.003>.
- [10] Lamm, C., & Tomova, L. (2018). The Neural Bases of Empathy in Humans. *Neuronal Correlates of Empathy*, 25-36. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-805397-3.00003-6>.
- [11] Ceberio, M. R., & Rodríguez, S. E. (2019). Mirror neurons: A biological Genesis of Relational. *Papeles del Psicólogo*, 40(3), 226-232. <https://doi.org/10.23923/pap.psicol.2019.2900>.
- [12] Chan, M.M.Y., Han, Y.M.Y. (2020). Differential Mirror Neuron System (MNS) Activation During Action Observation with and Without Social-Emotional Components in Autism: A Meta-Analysis of Neuroimaging Studies. *Molecular Autism*, 11(72), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s13229-020-00374-x>.
- [13] Whitford, V., & Guedea, E. L. (2020). Behavioral and Neural Correlates of Bilingual Lexical Ambiguity. *Bilingual Lexical Ambiguity Resolution*, 231-249. <https://doi.org/10.1017/9781316535967.010>.
- [14] Cole, E. J., Barraclough, N. E., & Andrews, T. J. (2019). Reduced Connectivity Between Mentalizing and Mirror Systems in Autism Spectrum Condition. *Neuropsychologia*, 122, 88-97. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.11.008>.
- [15] De Brito, S. A., Forth, A. E., Baskin-Sommers, A. R., Brazil, I. A., Kimonis, E. R., Pardini, D., & Viding, E. (2021). Psychopathy. *Nature Reviews Disease Primers*, 7(1), 49. <https://doi.org/10.1038/s41572-021-00282-1>.
- [16] Depow, G. J., Francis, Z., & Inzlicht, M. (2021). The Experience of Empathy in Everyday Life. *Psychological Science*, 32(8), 1198-1213. <https://doi.org/10.1177/0956797621995202>.
- [17] Bunno, Y. (2020). Effectiveness of Motor Imagery on Physical Therapy: Neurophysiological Aspects of Motor Imagery. *Physical Therapy Effectiveness*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.90277>.
- [18] Krug, K. (2022). *Editor's Evaluation: Non-Shared Coding of Observed and Executed Actions Prevails in Macaque Ventral Premotor Mirror Neurons*. <https://doi.org/10.7554/elife.77513>.
- [19] Ferrari, P. F., Méndez, C. A., & Coudé, G. (2023). Aggression: The Dark Side of Mirror Neurons Sheds Light on Their Functions. *Current Biology*, 33(8), 313-316. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2023.03.028>.
- [20] Neuroscience: Past and Future. (2018). *Neuron*, 98(1), 10-11. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2018.03.029>.
- [21] Sirigu, Angela., & Desmurget, Michel. (2020). The Sensorimotor Posterior Parietal Cortex: from Intention to Action. *The Senses: a Comprehensive Reference*, 349-358. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809324-5.24205-3>.
- [22] Hannah, R., Jana, S., & Muralidharan, V. (2022). Does Action-Stopping Involve Separate Pause and Cancel Processes? A View from Premotor Cortex. *Cortex*, 152, 157-159. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2021.06.015>.
- [23] Donaldson, S., & Mills, K. (2021). Development of Social Cognition in Adolescence and the Importance of Mating. *The Cognitive Basis of Social Interaction Across the Lifespan*, 70-95. <https://doi.org/10.1093/oso/9780198843290.003.0004>.
- [24] Chen, W., & Cheung, O. S. (2021). Flexible Face Processing: Holistic Processing of Facial Identity is Modulated By Task-Irrelevant Facial Expression. *Vision Research*, 178, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.visres.2020.09.008>.
- [25] Arbib, M. A. (2021). From Empathy to Mirror Neurons and Back to Aesthetics. *When Brains Meet Buildings*, 287-358. <https://doi.org/10.1093/med/9780190060954.003.0005>.

- [26] Mather, G. (2022). Somatosensation and Body Sense. *Foundations of Sensation and Perception*, 349–365. <https://doi.org/10.4324/9781003335481-12>.
- [27] Maroda, K. J. (2021). Myths about Empathy and Mirror Neurons. *The Analyst's Vulnerability*, 141–170. <https://doi.org/10.4324/9781003190462-6-9>.
- [28] Kilroy, E., Harrison, L., Butera, C., Jayashankar, A., Cermak, S., Kaplan, J., Williams, M., Haranin, E., Bookheimer, S., Dapretto, M., & Aziz-Zadeh, L. (2021). Unique Deficit in Embodied Simulation In Autism: An Fmri Study Comparing Autism and Developmental Coordination Disorder. *Human Brain Mapping*, 42(5), 1532–1546. <https://doi.org/10.1002/hbm.25312>.
- [29] Knaus, T. A., Burns, C. O., Kamps, J., & Foundas, A. L. (2023). Action Viewing and Language in Adolescents with Autism Spectrum Disorder. *Experimental Brain Research*, 241(2), 559–570. <https://doi.org/10.1007/s00221-022-06540-2>.
- [30] Kraus, S., Breier, M., & Lim, W. M. (2022). Literature Reviews as Independent Studies: Guidelines for Academic Practice. *Review of Managerial Science*, 16, 2577–2595. <https://doi.org/10.1007/s11846-022-00588-8>.
- [31] Kröll, J. P., Friedrich, P., Li, X., Patil, K. R., Mochalski, L., Waite, L., ... & Weis, S. (2023). Naturalistic Viewing Increases Individual Identifiability Based on Connectivity Within Functional Brain Networks. *NeuroImage*, 273, 120083. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.120083>.
- [32] Vannuscorps, G., & Caramazza, A. (2023). Effector-Specific Motor Simulation Supplements Core Action Recognition Processes in Adverse Conditions. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 18(1). <https://doi.org/10.1093/scan/nsad046>.
- [33] Ewbank, M. P., Passamonti, L., Hagan, C. C., Goodyer, I. M., Calder, A. J., & Fairchild, G. (2018). Psychopathic Traits Influence Amygdala–Anterior Cingulate Cortex Connectivity During Facial Emotion Processing. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 13(5), 525–534. <https://doi.org/10.1093/scan/nsy019>.
- [34] Handayani, N., & Pangestu, M. (2023). Studi Q-EEG: Analisis Konektivitas Fungsional Otak pada Anak Autism Spectrum Disorder (ASD). *Lontar Physics Today*, 2(1), 39–47. <https://doi.org/10.26877/lpt.v2i1.14784>.
- [35] Lucariello, A., & Tafuri, D. (2019). Mirror Neurons and Embodied Cognition. *Acta Medica Mediterranea*, 35(1), 353–356. <https://hdl.handle.net/11367/73053>.
- [36] Hickok, G. (2013). Do Mirror Neurons Subserve Action Understanding? *Neuroscience Letters*, 540, 56–58. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2012.11.001>.
- [37] Recording Single-Neuron Activity During Walking in Humans. (2023). *Nature Neuroscience*. <https://doi.org/10.1038/s41593-023-01261-3>.
- [38] Chan, M. M. Y., & Han, Y. M. Y. (2020). *Differential Mirror Neuron System (MNS) Activation During Action Observation with and Without Social-Emotional Components in Autism: A Meta-Analysis of Neuroimaging Studies*. <https://doi.org/10.21203/rs.2.23748/v2>.
- [39] Penagos-Corzo, J. C., Cosio van-Hasselt, M., Escobar, D., Vázquez-Roque, R. A., & Flores, G. (2022). Mirror Neurons and Empathy-Related Regions in Psychopathy: Systematic Review, Meta-Analysis, and A Working Model. *Social Neuroscience*, 17(5), 462–479. <https://doi.org/10.1080/17470919.2022.2128868>.
- [40] Wang, H., & Liou, S. (2018). *Empathy: Its Proximate and Ultimate Bases in Advancing Technology. 2018 International Conference on Orange Technologies (ICOT)*. <https://doi.org/10.1109/icot.2018.8705889>.
- [41] Boggio, T.S.H. Wingenbach, M.L. da Silveira Coêlho, W.E. Comfort, L. Murrins Marques, & M.V.C. Alves (Eds.) *Social and Affective Neuroscience of Everyday Human Interaction: from Theory to Methodology* (pp. 65–84). Springer International Publishing, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-08651-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-08651-9_5).
- [42] Pushpa, N. B. & Ravi, K. S. (2023). Mirror Neuron: The Unit of Imitative Mind and Its Clinical Applicability. *National Journal of Clinical Anatomy*, 12(2), 69–70. [https://doi.org/10.4103/NJCA.NJCA\\_55\\_23](https://doi.org/10.4103/NJCA.NJCA_55_23).
- [43] Biben, V., & Syahida, J. A. (2019). *Application of Mirror Neuron System in Post Stroke Rehabilitation. Proceedings of the 11th National Congress and the 18th Annual Scientific Meeting of Indonesian Physical Medicine and Rehabilitation Association*. <https://doi.org/10.5220/0009064100880094>.
- [44] Rittmo, J., Carlsson, R., Gander, P., & Lowe, R. (2020). Vicarious Value Learning: Knowledge Transfer Through Affective Processing on A Social Differential Outcomes Task. *Acta Psychologica*, 209, Article 103134. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2020.103134>.
- [45] Yang, J. (2018). *Involvement of the Mirror Neuron System and the Mentalizing System During Communicative Gesture Production: A Meta-Analysis*. <https://doi.org/10.7287/peerj.preprints.1975v1>.
- [46] Diedrichsen, J. (2022). *Editor's Evaluation: Motor Actions are Spatially Organized in Motor and Dorsal Premotor Cortex*. <https://doi.org/10.7554/elife.83196.sa0>.
- [47] Shaygan, M., Jaber, A., Firozian, R., & Yazdani, Z. (2022). Comparing The Effects of Multimedia and Face-to-Face Pain Management Education on Pain Intensity and Pain Catastrophizing Among Patients with Chronic Low Back Pain: A Randomized Clinical Trial. *PLOS ONE*, 17(6), e0269785. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0269785>.
- [48] Puiu, A. A., Votinov, M., Habel, U., & Konrad, K. (2022). Testosterone Administration Does Not Alter the Brain Activity Supporting Cognitive and Affective Empathy. *Comprehensive Psychoneuroendocrinology*, 10, 100134. <https://doi.org/10.1016/j.cpnec.2022.100134>.
- [49] Schmidt, S. N., Sojer, C. A., Hass, J., Kirsch, P., & Mier, D. (2020). fMRI Adaptation Reveals: The Human Mirror Neuron System Discriminates Emotional Valence. *Cortex*, 128, 270–280. <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2020.03.026>.
- [50] Beadle, J. N. (n.d.). *The Neuroanatomical Basis of Empathy*. <https://doi.org/10.17077/etd.huhyeiyu>.
- [51] Vecchio, A., & De Pascalis, V. (2023). ERP Indicators of Situational Empathy Pain. *Behavioural Brain Research*, 439, 114224. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2022.114224>.
- [52] Watanabe, R., Kim, Y., Kuruma, H., & Takahashi, H. (2022). Imitation Encourages Empathic Capacity Toward Other Individuals with Physical Disabilities. *NeuroImage*, 264, 119710. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2022.119710>.
- [53] Blachowicz, J. (2023). Correction to: The Bilateral Mind as the Mirror of Nature. *The Bilateral Mind as the Mirror of Nature*, C1–C1. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14478-3\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14478-3_15).
- [54] Shevchenko, D. (2023). Consciousness Reflects the Mind, the Mind Reflects Consciousness. *Mirror of Nature, Mirror of Self*, 40–73. <https://doi.org/10.1093/oso/9780197665510.003.0003>.
- [55] Zarka, D., Cebolla, A. M., & Cheron, G. (2021). Mirror Neurons, Neural Substrate of Action Understanding?. *L'encephale*, 48(1), 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.encep.2021.06.005>.
- [56] Zhao, W., Liu, Q., Zhang, X., Song, X., Zhang, Z., Qing, P., Liu, X., Zhu, S., Yang, W., Kendrick, K. M. (2023). Differential Responses in The Mirror Neuron System During Imitation of

- Individual Emotional Facial Expressions and Association with Autistic Traits. *NeuroImage*, 277, 120263. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2023.120263>.
- [57] Zhou, Z., Chen, S., Li, Y., Zhao, J., Li, G., Chen, L., Wu, Y., Zhang, S., Shi, X., Chen, X., Xu, S., Ren, M., Chang, S., & Shan, C. (2022). Comparison Of Sensory Observation and Somatosensory Stimulation in Mirror Neurons and the Sensorimotor Network: A Task-Based FMRI. *Front. Neurol.*, 13, 916990. <https://doi.org/10.3389/fneur.2022.916990>.