Judex Laguens
Jurnal Hukum dan Peradilan Ikatan Hakim Indonesia (IKAHI)
Vol. 3 No. 3, Desember 2025, PP. 454-480
E-ISSN. 3025-7182

Forensic Neuroimaging: Revolusi Pembuktian Ilmiah dalam Reformasi Peradilan Pidana Indonesia

Zico Junius Fernando[a.1]
[a] Universitas Bengkulu, Indonesia
[1] zjfernando@unib.ac.id.*

* corresponding author

Article History : Received: 16-02-2025 Revised: 28-10-2025 Accepted: 01-05-2026 Published: 01-05-2026

Kata Kunci

Forensic Neuroimaging; Peradilan Pidana; Neurosains; Pembuktian Ilmiah; Reformasi Hukum.

ABSTRAK

Perkembangan teknologi forensik telah membawa perubahan signifikan dalam sistem peradilan pidana, salah satunya melalui *forensic neuroimaging* teknik pemindaian otak yang digunakan untuk menilai kondisi mental terdakwa dan kapasitas pertanggungjawaban pidana. Dalam konteks Indonesia, penerapan *neuroimaging* dalam pembuktian hukum masih menghadapi berbagai tantangan, baik dari segi regulasi, etika, maupun penerimaan hakim terhadap bukti berbasis neurosains. Penelitian ini menganalisis potensi *forensic neuroimaging* dalam merevolusi peradilan pidana Indonesia, khususnya dalam kasus yang melibatkan gangguan mental, rekonstruksi niat kriminal, dan evaluasi kredibilitas kesaksian. Dengan pendekatan normatif dengan pendekatan konseptual dan komparatif, penelitian ini membandingkan penerapan bukti *neuroimaging* di berbagai negara, seperti Amerika Serikat, Inggris, dan Jepang, guna mengidentifikasi model ideal bagi sistem hukum Indonesia. Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan *forensic neuroimaging* dapat meningkatkan akurasi dalam proses peradilan, mencegah salah vonis, serta memperkuat prinsip keadilan restoratif. Namun, diperlukan regulasi yang jelas dan standar operasional yang ketat untuk memastikan akuntabilitas penggunaan teknologi ini. Oleh karena itu, penelitian ini merekomendasikan reformasi hukum yang mengakomodasi pemanfaatan *forensic neuroimaging* sebagai instrumen ilmiah dalam sistem peradilan pidana Indonesia.

Keywords

Forensic Neuroimaging; Criminal Justice; Neuroscience; Scientific Evidence; Legal Reform.

ABSTRACT

The advancement of forensic technology has brought significant changes to the criminal justice system, one of which is Forensic Neuroimaging, a brain imaging technique used to assess the mental condition of defendants and their capacity for criminal responsibility. In the context of Indonesia, the application of neuroimaging as legal evidence still faces various challenges, including regulatory gaps, ethical concerns, and judicial acceptance of neuroscientific evidence. This study analyzes the potential of Forensic Neuroimaging to revolutionize Indonesia's criminal justice system,

This is an open-access article under the CC–BY 4.0 license.

Vol. 3 No. 3, Desember 2025, pp. 454-480
E-ISSN: 3025-7182

particularly in cases involving mental disorders, the reconstruction of criminal intent, and the evaluation of witness credibility. Using a normative approach with conceptual and comparative perspectives, this research examines the application of neuroimaging evidence in various countries, such as the United States, the United Kingdom, and Japan, to identify an ideal model for Indonesia's legal system. The analysis results indicate that the application of Forensic Neuroimaging can enhance judicial accuracy, prevent wrongful convictions, and reinforce restorative justice principles. However, clear regulations and strict operational standards are required to ensure accountability in its implementation. Therefore, this study recommends legal reforms to accommodate the use of Forensic Neuroimaging as a scientific instrument in Indonesia's criminal justice system.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam bidang forensik telah membawa perubahan besar dalam sistem peradilan pidana di berbagai negara. Salah satu inovasi yang paling menonjol dalam beberapa dekade terakhir adalah *forensic neuroimaging*, yakni teknik pemindaian otak yang digunakan untuk menilai kondisi mental terdakwa dan kapasitas pertanggungjawaban pidana mereka. *Forensic neuroimaging* memanfaatkan berbagai metode pencitraan otak, seperti *functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI) dan *Positron Emission Tomography* (PET Scan), yang memungkinkan pengamatan terhadap aktivitas dan struktur otak dalam konteks pengambilan keputusan, kontrol impuls, serta kelainan neurologis atau psikiatris yang dapat berpengaruh terhadap perilaku kriminal seseorang.[1]

Dalam praktik peradilan pidana internasional, penerapan *forensic neuroimaging* mulai mendapatkan perhatian sebagai instrumen ilmiah yang dapat membantu hakim dalam menentukan apakah terdakwa memiliki kapasitas mental untuk bertanggung jawab atas perbuatannya. Contoh kasus yang paling terkenal adalah John Hinckley Jr. di Amerika Serikat, yang mencoba membunuh Presiden Ronald Reagan pada tahun 1981.[2] Dalam persidangan, tim pembela menggunakan bukti dari PET Scan yang menunjukkan adanya kelainan pada otaknya yang berkaitan dengan *skizofrenia paranoid*. Bukti ini menjadi salah satu faktor kunci dalam keputusan hakim untuk menyatakan Hinckley tidak bersalah karena alasan gangguan jiwa (*Not Guilty by Reason of Insanity*), yang kemudian memicu perubahan kebijakan hukum tentang pembelaan berdasarkan gangguan mental di Amerika Serikat.

[1] David S Husted, Wade C Myers, and Yuijin Lui, "The Limited Role of Neuroimaging in Determining Criminal Liability: An Overview and Case Report," *Forensic Science International* 179, no. 1 (2008): 9–15, https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.04.002.

[2] Douglas Linder, "The Trial of John W. Hinckley, Jr.," *SSRN Electronic Journal*, December 28, 2007, 1–10, https://doi.org/10.2139/SSRN.1030556.

Di Inggris, *forensic neuroimaging* juga telah digunakan dalam berbagai kasus untuk membantu pengadilan dalam mengevaluasi kapasitas mental terdakwa. Kasus *R v. Golds* (2016) di Inggris berkaitan dengan pembelaan diminished responsibility dalam kasus pembunuhan. Mark Golds mengakui membunuh pasangannya dengan 22 tusukan, tetapi mengklaim mengalami gangguan mental yang mengurangi kapasitasnya dalam mengendalikan impuls.[3] Dua psikiater memberikan kesaksian bahwa Golds memiliki gangguan mental serius, termasuk kemungkinan *skizofrenia* atau gangguan kepribadian campuran, yang secara substansial memengaruhi kemampuannya untuk berpikir rasional dan mengendalikan diri. Mahkamah Agung Inggris dalam putusannya menegaskan bahwa "gangguan substansial" harus berarti sesuatu yang signifikan, bukan sekadar minimal atau sepele. Namun, juri menolak pembelaan Golds dan memvonisnya bersalah atas pembunuhan, menjadikan kasus ini preseden penting dalam menentukan *standar diminished responsibility* dalam hukum pidana Inggris. Pemindaian otak menunjukkan adanya kelainan pada *lobus frontal*nya, yang secara ilmiah dikaitkan dengan gangguan kontrol impuls dan pengambilan keputusan. Berdasarkan temuan ini, hakim mempertimbangkan faktor gangguan mental terdakwa dalam menentukan putusan hukum.

Di Jepang, penggunaan *forensic neuroimaging* masih sangat terbatas dalam persidangan tetapi mulai mendapatkan perhatian dalam konteks rehabilitasi narapidana dengan gangguan mental. Dalam beberapa kasus, teknologi ini digunakan untuk mengevaluasi apakah seorang terdakwa memiliki kapasitas untuk memahami perbuatannya dan menjalani rehabilitasi sebagai bagian dari hukuman. Dalam kasus Shoko Asahara, pemimpin sekte Aum Shinrikyo yang bertanggung jawab atas serangan gas sarin di Tokyo pada tahun 1995, tim pembela berusaha menggunakan argumen gangguan mental untuk meringankan hukuman. Mereka mengklaim bahwa Asahara mengalami penyimpangan mental yang signifikan, yang memengaruhi tindakannya. Namun, tidak ditemukan bukti bahwa tim pembela menggunakan bukti neuroimaging untuk mendukung klaim tersebut. Selain itu, pada saat itu, sistem hukum Jepang belum memiliki regulasi yang mengakomodasi bukti berbasis neurosains. Akibatnya, argumen mengenai gangguan mental Asahara tidak diterima oleh pengadilan, dan ia tetap dijatuhi hukuman mati atas perannya dalam serangan tersebut.[4]

[3] Jonathan Rogers, "The Amended Diminished Responsibility Plea," *The Cambridge Law Journal* 74, no. 2 (2015): 201–5, https://doi.org/DOI: 10.1017/S0008197315000501.

[4] James Griffiths and Yoko Wakatsuki, "Shoko Asahara: Japan Doomsday Cult Leader Executed 23 Years After Tokyo Sarin Attack," https://edition.cnn.com/, 2018, https://edition.cnn.com/2018/07/05/asia/japan-aum-shinriyko-leader-executed-intl/index.html.

Vol. 3 No. 3, Desember 2025, pp. 454-480
E-ISSN: 3025-7182

Sementara itu, di Indonesia, sistem peradilan pidana masih bergantung pada *visum et repertum psikiatrikum*, yang dilakukan oleh psikiater forensik melalui wawancara klinis tanpa adanya dukungan dari teknologi pemindaian otak. Pendekatan ini sering kali bersifat subjektif dan tidak memiliki validitas ilmiah yang kuat dalam menentukan sejauh mana gangguan mental seseorang dapat memengaruhi pertanggungjawaban pidana. Sebagai contoh, Salah satu contoh nyata adalah kasus Panca Darmansyah, yang pada Desember 2023 membunuh empat anak kandungnya di Jagakarsa, Jakarta Selatan.[5] Meskipun tim kuasa hukum mengklaim bahwa Panca mengalami gangguan kejiwaan berdasarkan hasil pemeriksaan forensik yang menunjukkan adanya ketidakstabilan mental, pengadilan tetap menjatuhkan vonis hukuman mati. Kasus lain kasus Andi Andoyo, seorang pemuda berusia 18 tahun yang didiagnosis menderita *skizofrenia paranoid*, divonis 16 tahun penjara atas pembunuhan seorang anak berusia 12 tahun di Kabupaten Sikka, Nusa Tenggara Timur. Meskipun ada diagnosis gangguan mental, pengadilan tetap menjatuhkan hukuman penjara tanpa mempertimbangkan perawatan khusus.[6]

Hal ini menunjukkan bahwa sistem peradilan pidana Indonesia masih mengandalkan *visum et repertum psikiatrikum* yang dilakukan melalui wawancara klinis oleh *psikiater forensik*, tanpa dukungan teknologi pemindaian otak. Pendekatan ini sering kali bersifat subjektif dan kurang memiliki validitas ilmiah yang kuat dalam menentukan sejauh mana gangguan mental seseorang memengaruhi pertanggungjawaban pidana. Akibatnya, terdapat pertanyaan mengenai akurasi dan keadilan dalam penilaian kapasitas mental terdakwa, terutama dalam kasus-kasus yang melibatkan dugaan gangguan neurologis.

Oleh karena itu, penerapan *forensic neuroimaging* dalam sistem peradilan pidana Indonesia menjadi urgensi yang perlu dikaji lebih lanjut, baik dari aspek hukum, regulasi, maupun kesiapan infrastruktur dan sumber daya manusia yang mendukung penerapannya dalam konteks pembuktian ilmiah di pengadilan. Perkembangan penelitian di bidang *forensic neuroimaging* telah menarik perhatian berbagai akademisi dalam bidang hukum dan neurosains. Dalam sepuluh tahun terakhir, banyak studi yang berfokus pada bagaimana teknologi pemindaian otak dapat digunakan dalam sistem peradilan pidana, baik dalam menilai kapasitas mental terdakwa maupun sebagai alat bukti dalam persidangan. Meskipun demikian, belum ada konsensus global mengenai standar penggunaan bukti

[5] Luthfia Miranda Putri, "Kasus Pembunuhan Anak, Panca Darmansyah Idap Gangguan Jiwa," ANTARA News, 2024, https://www.antaranews.com/berita/4338783/kasus-pembunuhan-anak-panca-darmansyah-idap-gangguan-jiwa.

[6] "Hukum: Pemuda Skizofrenia Divonis 16 Tahun Penjara Atas Pembunuhan Di Jakarta Barat - Apakah ODGJ Dapat Dipidana? - BBC News Indonesia," accessed February 8, 2025, https://www.bbc.com/indonesia/articles/c2v030n390yo?utm_source=chatgpt.com.

neuroimaging dalam hukum pidana, dan di banyak negara, penerapannya masih menghadapi tantangan regulasi dan etika.

Salah satu penelitian yang membahas secara luas hubungan antara neurosains dan sistem hukum adalah studi yang dilakukan oleh Henry T. Greely & Nita A. Farahany (2018) dengan judul *"Neuroscience and the Criminal Justice System"* yang membahas bagaimana kemajuan neurosains mulai memengaruhi sistem peradilan pidana, terutama dalam menilai tanggung jawab pidana, memprediksi perilaku kriminal, dan mendukung rehabilitasi pelaku kejahatan. Dengan teknologi *neuroimaging*, hukum kini memiliki alat untuk lebih memahami kondisi mental terdakwa secara objektif, meskipun masih ada tantangan dalam hal validitas ilmiah dan implikasi etika. Artikel ini menegaskan bahwa penerapan neurosains dalam hukum akan terus berkembang, tetapi perlu diiringi dengan regulasi yang jelas agar tetap menghormati hak asasi manusia dan prinsip keadilan.[7] Penelitian Lucas Noyon et al. dengan judul *"Integrating Neuroscience in Criminal Law: The Dutch Situation as an Example"* yang membahas bagaimana neurosains semakin banyak digunakan dalam sistem peradilan pidana, termasuk di Belanda. Studi ini menyoroti bagaimana konsep pertanggungjawaban hukum dan integrasi neurosains dalam hukum berbeda di setiap negara, sehingga diperlukan analisis berbasis yurisdiksi. Penelitian ini mengevaluasi apakah sistem hukum pidana Belanda dapat beradaptasi dengan perkembangan neurosains, bagaimana bukti *neuroimaging* digunakan di pengadilan, serta sejauh mana penilaian forensik dapat mengakomodasi informasi neurosains.[8] Selanjutnya penelitian Zico Junius Fernando et al dengan judul "*Neurolaw: A Concept in Development and Enforcement of Criminal Law in Indonesia*" oleh membahas potensi penerapan neurolaw dalam sistem hukum pidana Indonesia. Neurolaw adalah bidang interdisipliner yang menggabungkan hukum dan neurosains untuk memahami perilaku manusia, pengambilan keputusan, serta implikasi hukumnya. Penelitian ini menemukan bahwa neurolaw dapat membantu dalam menilai kesaksian, mengungkap kebenaran, dan memastikan keadilan dalam proses peradilan melalui teknik seperti pemindaian otak dan tes neuropsikologi yang mendukung validitas pernyataan terdakwa dan saksi.[9]

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar studi masih berfokus pada analisis teoritis dan

[7] Henry T. Greely and Nita A. Farahany, "Neuroscience and the Criminal Justice System," *Annual Review of Criminology* 2 (January 13, 2019): 451–71, https://doi.org/10.1146/ANNUREV-CRIMINOL-011518-024433.

[8] Lucas Noyon et al., "Integrating Neuroscience in Criminal Law: The Dutch Situation as an Example," *International Journal of Forensic Mental Health* 18, no. 3 (July 1, 2019): 281–91, https://doi.org/10.1080/14999013.2018.1525778.

[9] Zico Junius Fernando et al, "Neurolaw: A Concept in Development and Enforcement of Criminal Law in Indonesia," *Jambura Law Review* 7, no. 1 (2025): 55–87, https://doi.org/10.33756/JLR.V7I1.24144.

Vol. 3 No. 3, Desember 2025, pp. 454-480
E-ISSN: 3025-7182

tantangan penerapan *neuroimaging* dalam hukum pidana, baik dari segi regulasi, etika, maupun interpretasi ilmiah. Meskipun ada berbagai penelitian yang mengulas penerapan teknologi ini di beberapa negara, belum ada studi yang secara spesifik membahas bagaimana *forensic neuroimaging* dapat diadopsi dalam sistem peradilan pidana Indonesia dengan mempertimbangkan aspek hukum yang berlaku di dalam negeri. Oleh karena itu, penelitian ini memiliki perbedaan fokus dibandingkan dengan penelitian terdahulu, yaitu dengan meneliti kemungkinan penerapan *forensic neuroimaging* dalam sistem peradilan pidana Indonesia serta melakukan perbandingan dengan negara-negara yang telah lebih dahulu menggunakan teknologi ini. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat mengisi kesenjangan dalam literatur hukum pidana dan forensik di Indonesia dengan memberikan analisis yang lebih komprehensif mengenai potensi, tantangan, serta reformasi hukum yang diperlukan untuk mengakomodasi penggunaan *forensic neuroimaging* sebagai alat bukti dalam sistem peradilan pidana.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode hukum normatif[10], yaitu metode penelitian yang bertumpu pada kajian terhadap peraturan perundang-undangan, doktrin hukum, serta praktik hukum yang relevan dengan penggunaan *forensic neuroimaging* dalam sistem peradilan pidana. Pendekatan hukum normatif ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana regulasi yang ada di Indonesia dapat mengakomodasi penggunaan bukti pemindaian otak dalam proses persidangan, serta bagaimana aspek hukum dan etika memengaruhi penerapannya. Selain itu, metode ini juga digunakan untuk mengidentifikasi prinsip-prinsip hukum yang dapat menjadi dasar dalam perumusan kebijakan terkait penggunaan *neuroimaging* sebagai alat bukti dalam sistem peradilan pidana Indonesia. Dalam penelitian ini, digunakan dua pendekatan utama, yaitu pendekatan konseptual (*conceptual approach*) dan pendekatan komparatif (*comparative approach*).[11] Pendekatan konseptual digunakan untuk mengidentifikasi dan mengkaji konsep dasar yang berkaitan dengan *forensic neuroimaging*, seperti kapasitas pertanggungjawaban pidana, hubungan antara neurosains dan hukum, serta konsep pembuktian ilmiah dalam peradilan pidana. Pendekatan ini juga bertujuan untuk memahami sejauh mana ilmu neurosains dapat berkontribusi dalam menentukan kesadaran dan niat kriminal seseorang dalam

[10] Panca Sarjana Putra et al., "Judicial Transformation: Integration of AI Judges in Innovating Indonesia's Criminal Justice System," *Kosmik Hukum* 23, no. 3 (2023): 233–47, https://doi.org/10.30595/kosmikhukum.v23i3.18711.

[11] Hendra Karianga and Zico Junius Fernando, "The Damage of the Shadow Economy: The Urgency of Addressing Foreign Bribery in Indonesia," *Pakistan Journal of Criminology* 16, no. 2 (April 1, 2024): 783–96, https://doi.org/10.62271/PJC.16.2.783.796.

sistem hukum pidana. Sementara itu, pendekatan komparatif digunakan untuk membandingkan bagaimana negara lain, seperti Amerika Serikat, Inggris, dan Jepang, telah mengintegrasikan *forensic neuroimaging* dalam sistem hukum mereka. Dengan melakukan perbandingan ini, penelitian ini dapat mengidentifikasi model terbaik yang dapat diadaptasi dalam konteks hukum Indonesia, serta mengevaluasi tantangan dan peluang yang muncul dari penerapan teknologi ini di berbagai yurisdiksi. Selain itu, penelitian ini bersifat deskriptif-preskriptif[12], yang berarti bahwa penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk menggambarkan kondisi hukum yang berlaku, tetapi juga memberikan rekomendasi terhadap kebijakan hukum yang dapat diterapkan di Indonesia dalam mengakomodasi *forensic neuroimaging* sebagai alat bukti yang sah di pengadilan. Untuk menganalisis data yang telah dikumpulkan, penelitian ini menggunakan metode analisis isi (*content analysis*)[13], yaitu metode yang digunakan untuk menelaah dan menginterpretasikan isi dokumen hukum, putusan pengadilan, serta literatur ilmiah yang berkaitan dengan *forensic neuroimaging*. Dengan menggunakan metode ini, penelitian ini berusaha memberikan pemahaman yang komprehensif mengenai bagaimana regulasi yang ada dapat disesuaikan untuk mendukung penggunaan teknologi forensik berbasis neurosains dalam sistem peradilan pidana di Indonesia.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Forensic Neuroimaging sebagai Revolusi Pembuktian dalam Sistem Peradilan Pidana

Pembuktian merupakan aspek fundamental dalam proses peradilan pidana.[14] Sejak dahulu, sistem hukum pidana di berbagai negara mengandalkan kombinasi kesaksian saksi, bukti fisik, dan dokumentasi forensik untuk menentukan bersalah atau tidaknya seorang terdakwa. Namun, dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, pendekatan dalam pembuktian hukum terus mengalami inovasi. Kemunculan *forensic neuroimaging* menandai era baru dalam pembuktian ilmiah, di mana kondisi mental seseorang dapat diukur melalui teknologi pencitraan

[12] Yagie Sagita Putra et al., "EIT Law at the Crossroads: Exploring Legal Dilemmas, Freedom of Expression, and Human Rights," *Pakistan Journal of Criminology* 16, no. 3 (July 1, 2024): 1315–32, https://doi.org/10.62271/PJC.16.3.1315.1332.

[13] Zico Junius Fernando, Sri Wulandari, and Panca Sarjana Putra, "Potential Overcriminalization in Religious Offenses : A Critical Analysis of The Formulation of The New National Criminal Code (Law 1 Number 2023)," *Jurnal HAM* 14, no. 3 (2023): 205–16, https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30641/ham.2023.14.3.

[14] Rohman Rohman et al., "Sistem Pembuktian Dalam Hukum Pidana Indonesia Dan Tantangan Dalam Proses Peradilan," *Jimmi: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Multidisiplin* 1, no. 3 (October 27, 2024): 279–92, https://doi.org/10.71153/JIMMI.V1I3.146.

Vol. 3 No. 3, Desember 2025, pp. 454-480
E-ISSN: 3025-7182

otak yang semakin canggih.[15]

Dalam konteks peradilan pidana modern, banyak kasus yang melibatkan terdakwa dengan dugaan gangguan mental, seperti *skizofrenia*, gangguan *bipolar*, atau cedera otak traumatis.[16] Dalam kasus-kasus semacam ini, sistem hukum sering menghadapi tantangan dalam menentukan sejauh mana kondisi mental terdakwa memengaruhi tindakannya.[17] *forensic neuroimaging* hadir sebagai solusi inovatif untuk membantu mengidentifikasi keterkaitan antara kondisi neurologis terdakwa dan perilaku kriminal yang dilakukannya.

Forensic neuroimaging merupakan disiplin yang memanfaatkan teknologi pemindaian otak untuk mendukung pembuktian dalam sistem hukum. Teknologi ini memungkinkan analisis struktur dan fungsi otak terdakwa, memberikan informasi tentang kemungkinan adanya gangguan neurologis atau psikiatris yang dapat memengaruhi kapasitas tanggung jawab pidana mereka. Beberapa teknik pencitraan otak yang paling umum digunakan dalam *forensic neuroimaging* meliputi:

a. *Functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI)

Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI) adalah teknik pencitraan otak yang digunakan untuk mengamati aktivitas otak secara *real-time* dengan mengukur perubahan aliran darah dan kadar oksigen di berbagai area otak. Teknik ini berbasis pada prinsip bahwa ketika suatu area otak aktif, kebutuhan oksigen di area tersebut meningkat, sehingga terjadi peningkatan aliran darah lokal yang membawa lebih banyak *oksihemoglobin* (*hemoglobin* yang mengandung oksigen).[18] fMRI memanfaatkan *Blood-Oxygen-Level Dependent* (BOLD) signal, yaitu sinyal yang mengindikasikan perubahan kadar oksigen dalam darah sebagai respons terhadap aktivitas otak tertentu. Semakin aktif suatu bagian otak, semakin tinggi aliran darah dan kadar oksigennya, yang kemudian dapat divisualisasikan dalam citra berwarna. Dengan demikian, fMRI memungkinkan para peneliti dan ahli forensik untuk mengidentifikasi area otak yang aktif saat seseorang melakukan tugas kognitif tertentu atau mengalami emosi tertentu. Teknik ini sangat berguna dalam penelitian neurologi, psikologi kognitif, dan *Forensic Neuroimaging*, karena dapat memberikan

---

[15] Joseph H Baskin, Judith G Edersheim, and Bruce H Price, "Is a Picture Worth a Thousand Words? Neuroimaging in the Courtroom," *American Journal of Law & Medicine* 33, no. 2–3 (2007): 239–69, https://doi.org/DOI: 10.1177/009885880703300205.

[16] Alison Lynch, Michael L. Perlin, and Heather Cucolo, "'My Bewildering Brain Toils in Vain': Traumatic Brain Injury, the Criminal Trial Process, and the Case of Lisa Montgomery," *SSRN Electronic Journal*, February 1, 2021, 1–86, https://doi.org/10.2139/SSRN.3777551.

[17] Julastrid Jelita Katili and Rugun Romaida Hutabarat, "Pertangungjawaban Pidana Pengidap Bipolar Disorder Dalam Menghapus Unsur Kesalahan Pidana," *Jurnal Pendidikan Indonesia* 5, no. 12 (December 28, 2024): 2064–74, https://doi.org/10.59141/JAPENDI.V5I12.7023.

[18] Vijay Khare et al., "FMRI: A Benediction to Neuroscience," *International Journal of Robotics and Automation Technology* 5 (2018): 14–22, https://doi.org/10.31875/2409-9694.2018.05.3.

pemahaman tentang bagaimana otak bekerja dalam berbagai kondisi, termasuk dalam situasi stres, kebohongan, atau saat individu sedang mengalami gangguan mental.

b. *Positron Emission Tomography* (PET Scan)

Positron Emission Tomography (PET Scan) adalah teknik pencitraan medis yang digunakan untuk menganalisis metabolisme otak serta mendeteksi kelainan dalam aktivitas neuron yang dapat berkaitan dengan gangguan neurologis dan kejiwaan.[19] PET Scan bekerja dengan cara menganalisis distribusi zat radioaktif (*tracer*) dalam tubuh, yang kemudian memberikan gambaran tentang aktivitas kimia dan fungsional otak. Teknik ini berbeda dari *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) atau *Computed Tomography* (CT Scan) yang hanya memberikan gambaran struktural otak. PET Scan lebih unggul dalam mendeteksi bagaimana otak bekerja secara *real-time*, dengan cara mengukur metabolisme glukosa, aliran darah, dan tingkat neurotransmiter di berbagai area otak.[20] Karena itu, PET Scan sangat berguna dalam *forensic neuroimaging* untuk menilai kapasitas mental seseorang, mendeteksi gangguan kejiwaan, dan menganalisis apakah terdakwa memiliki gangguan otak yang dapat memengaruhi perilakunya.

c. *Electroencephalography* (EEG)

Electroencephalography (EEG) adalah teknik pencitraan neurofisiologis yang digunakan untuk mengukur dan merekam aktivitas listrik otak melalui elektroda yang ditempatkan di kulit kepala. EEG mendeteksi gelombang listrik otak yang dihasilkan oleh aktivitas neuron, memungkinkan analisis terhadap pola aktivitas otak yang dapat mengindikasikan gangguan neurologis, epilepsi, atau kondisi mental abnormal lainnya.[21] Dibandingkan dengan teknik pencitraan lainnya seperti *Functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI) atau *Positron Emission Tomography* (PET Scan) yang mengamati aliran darah atau metabolisme otak, EEG lebih berfokus pada aktivitas listrik otak secara langsung, sehingga mampu menangkap perubahan sinyal otak dalam waktu nyata (real-time) dengan resolusi waktu yang sangat tinggi. Karena itu, EEG sangat berguna dalam menganalisis pola aktivitas otak yang abnormal dan mendeteksi kelainan neurologis yang mungkin berkontribusi terhadap perilaku kriminal.

---

[19] Jane Campbell Moriarty, Daniel D. Langleben, and James M. Provenzale, "Brain Trauma, PET Scans and Forensic Complexity," *Behavioral Sciences & the Law* 31, no. 6 (November 1, 2013): 702–20, https://doi.org/10.1002/BSL.2089.

[20] J. A. Detre and T. F. Floyd, "Functional MRI and Its Applications to the Clinical Neurosciences," *The Neuroscientist* 7, no. 1 (February 1, 2001): 64–79, https://doi.org/10.1177/107385840100700110.

[21] Shiva Asadzadeh et al., "A Systematic Review of EEG Source Localization Techniques and Their Applications on Diagnosis of Brain Abnormalities," *Journal of Neuroscience Methods* 339 (2020): 1–10, https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2020.108740.

Vol. 3 No. 3, Desember 2025, pp. 454-480
E-ISSN: 3025-7182

d. *Diffusion Tensor Imaging* (DTI)

Diffusion Tensor Imaging (DTI) adalah teknik pencitraan berbasis *Magnetic Resonance Imaging* (MRI) yang dirancang untuk menganalisis konektivitas dan struktur serat putih dalam otak.[22] Serat putih (*white matter*) berfungsi sebagai jalur komunikasi antarbagian otak, memungkinkan transmisi informasi antara korteks otak dan struktur lainnya. DTI memungkinkan ahli forensik dan neurologis untuk mengidentifikasi gangguan dalam jalur komunikasi ini, yang dapat berhubungan dengan cedera otak, gangguan mental, atau perilaku kriminal tertentu.[23] Teknologi ini bekerja dengan mendeteksi pergerakan molekul air di sepanjang serat putih otak. Pada otak yang sehat, molekul air bergerak secara terarah mengikuti struktur serat putih. Namun, jika terdapat cedera otak, degenerasi saraf, atau gangguan neurologis lainnya, pola difusi air menjadi terganggu, yang dapat divisualisasikan melalui DTI. Dengan demikian, teknik ini sangat berguna dalam mendeteksi gangguan otak yang tidak terlihat pada MRI konvensional.

Tabel 1. Cara Kerja Alat Pencitraan Otak

TEKNIK PENCITRAAN	PRINSIP DASAR	KOMPONEN UTAMA	PROSES PENGUKURAN	KEUNGGULAN	APLIKASI UTAMA
***Functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI)**	Memanfaatkan sinyal *Blood-Oxygen-Level Dependent* (BOLD) untuk mengukur perubahan aliran darah dan kadar oksigen dalam otak.	Magnet kuat, gelombang radio, dan komputer untuk merekonstruksi citra otak berdasarkan perubahan aliran darah.	Saat area otak aktif, terjadi peningkatan kadar oksigen dan aliran darah. Scanner MRI menangkap perubahan ini dan menampilkan citra berwarna.	Memiliki resolusi spasial tinggi, memungkinkan analisis detail area otak yang aktif saat melakukan tugas tertentu.	Meneliti fungsi otak dalam tugas kognitif, emosi, serta *forensic neuroimaging* untuk mendeteksi pola aktivitas otak.
***Positron Emission Tomography* (PET Scan)**	Menggunakan zat radioaktif (*tracer*) untuk mengamati metabolisme otak dan aliran darah	*Tracer* radioaktif, scanner PET, dan detektor gamma untuk menangkap pola	*Tracer* disuntikkan ke dalam tubuh, dan distribusinya dianalisis untuk mengamati	Mampu mengukur aktivitas metabolisme otak secara langsung, berguna untuk mendeteksi	Mendiagnosis gangguan neurologis seperti *Alzheimer*, *skizofrenia*, dan gangguan mental lainnya.

[22] Martha E Shenton et al., "Mild Traumatic Brain Injury: Is DTI Ready for the Courtroom?," *International Journal of Law and Psychiatry* 61 (2018): 50–63, https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijlp.2018.09.002.

[23] Thomas J. Whitford, Marek Kubicki, and Martha E. Shenton, "Diffusion Tensor Imaging, Structural Connectivity, and Schizophrenia," *Schizophrenia Research and Treatment* 2011 (2011): 1–7, https://doi.org/10.1155/2011/709523.

	di berbagai area otak.	metabolisme otak.	metabolisme glukosa, aliran darah, dan neurotransmiter.	gangguan neurodegenera tif.	
***Electroencephalography* (EEG)**	Mendeteksi aktivitas listrik otak melalui elektroda yang ditempatkan di kulit kepala untuk mengukur gelombang otak.	Elektroda yang ditempatkan pada kulit kepala, amplifier sinyal, dan komputer untuk analisis gelombang otak.	Elektroda menangkap sinyal listrik dari aktivitas neuron dan menampilkan gelombang otak dalam bentuk grafik.	Mampu menangkap perubahan aktivitas listrik otak dalam waktu nyata dengan resolusi temporal sangat tinggi.	Menganalisis pola gelombang otak abnormal untuk mendeteksi epilepsi, gangguan tidur, dan kejang.
***Diffusion Tensor Imaging* (DTI)**	Menganalisis difusi molekul air di sepanjang serat putih otak untuk menilai konektivitas struktur otak.	Magnet kuat dan perangkat pemrosesan gambar berbasis MRI untuk menganalisis jalur serat putih otak.	Menganalisis arah dan pola pergerakan molekul air di serat putih otak untuk mendeteksi abnormalitas struktural.	Dapat mengidentifikasi perubahan struktur serat putih otak yang tidak terlihat dalam MRI konvensional.	Mengidentifikasi cedera otak traumatis, gangguan neurodegenera tif, dan konektivitas otak abnormal.

Sumber: diolah dari berbagai sumber

Dalam konteks peradilan pidana, teknologi-teknologi ini digunakan untuk menilai apakah seorang terdakwa benar-benar memiliki gangguan mental yang mengurangi kapasitas pertanggungjawaban pidananya atau apakah gangguan tersebut hanya dijadikan alasan untuk menghindari hukuman.

Salah satu manfaat utama *forensic neuroimaging* adalah membantu sistem peradilan dalam menilai kapasitas mental terdakwa. Dalam hukum pidana, kapasitas mental berkaitan dengan kemampuan seseorang untuk memahami konsekuensi perbuatannya dan bertanggung jawab secara hukum atas tindakan yang dilakukan. Dalam beberapa kasus, terdakwa mungkin mengalami gangguan neurologis yang memengaruhi kemampuannya dalam mengambil keputusan atau mengendalikan impuls.[24] Sebagai contoh, seseorang yang mengalami cedera otak di *lobus frontal* bagian otak yang berperan dalam pengambilan keputusan dan kontrol emosi cenderung lebih impulsif dan kurang mampu mempertimbangkan konsekuensi tindakannya. Dengan pemindaian fMRI atau PET Scan, ahli dapat mengidentifikasi apakah terdakwa mengalami disfungsi di area otak ini, yang

[24] Barbara Bottalico, "Cognitive Neuroscience, Decision Making and the Law," *European Journal of Risk Regulation* 2, no. 3 (2011): 427–32, https://doi.org/DOI: 10.1017/S1867299X00001458.

Vol. 3 No. 3, Desember 2025, pp. 454-480
E-ISSN: 3025-7182

berpotensi menjadi faktor yang memengaruhi tindakannya dalam kasus kriminal tertentu. Selain itu, *forensic neuroimaging* juga berperan dalam membedakan antara gangguan mental yang sah secara medis dengan klaim gangguan mental yang dibuat untuk kepentingan hukum. Dalam beberapa kasus, terdakwa mungkin berpura-pura memiliki gangguan mental untuk menghindari hukuman yang lebih berat. Dengan bantuan *neuroimaging*, dokter forensik dapat mengevaluasi apakah terdapat bukti neurologis yang mendukung klaim tersebut atau tidak. Dalam sistem peradilan pidana, salah vonis merupakan salah satu ancaman terbesar terhadap prinsip keadilan.[25]

Salah satu penyebab utama salah vonis adalah kurangnya bukti ilmiah yang akurat dalam menilai kondisi mental terdakwa. Banyak kasus di mana seseorang yang sebenarnya mengalami gangguan neurologis dihukum seolah-olah ia memiliki kesadaran penuh atas tindakannya, karena sistem hukum tidak memiliki alat yang cukup untuk membuktikan kondisi mentalnya.

Kasus Donta Page di Amerika Serikat menjadi salah satu contoh bagaimana *neuroimaging* memainkan peran dalam sistem peradilan pidana, terutama dalam menilai kapasitas mental terdakwa. Donta Page didakwa atas kasus pembunuhan brutal yang dilakukan terhadap seorang wanita di Denver, Colorado. Selama proses persidangan, pembela mengajukan bukti dari pemindaian otak yang menunjukkan bahwa terdakwa mengalami cedera otak traumatis yang disebabkan oleh kekerasan fisik yang dialaminya sejak kecil. Cedera tersebut ditemukan di area lobus frontal, bagian otak yang bertanggung jawab atas pengendalian impuls, pengambilan keputusan, dan regulasi emosi.

Hasil pemindaian menunjukkan hipoaktivitas di area tersebut, yang sering dikaitkan dengan ketidakmampuan dalam mengendalikan perilaku impulsif dan meningkatkan kecenderungan seseorang untuk bertindak agresif tanpa pertimbangan jangka panjang. Dalam persidangan, ahli neurosains forensik dihadirkan untuk menjelaskan bagaimana cedera otak tersebut dapat memengaruhi tindakan terdakwa, yang pada akhirnya dapat mengubah cara pengadilan memandang tingkat kesalahan dan kapasitas pertanggungjawaban pidana terdakwa. Selain bukti pemindaian otak, pengacara juga menghadirkan catatan psikologis yang menunjukkan bahwa Page mengalami trauma berat sejak kecil, yang memperparah kondisi neurologisnya. Dengan mempertimbangkan semua faktor ini, pengadilan memeriksa bagaimana gabungan antara cedera otak, trauma masa kecil, dan faktor lingkungan dapat berdampak terhadap pengendalian perilaku dan pemahaman moral seseorang dalam konteks hukum pidana. Selama persidangan, *neuroimaging* menjadi bagian dari bukti ilmiah yang mendukung klaim bahwa

[25] Faizal Adi Surya, "Pemulihan Hak Korban Salah Tangkap Berdasarkan Perspektif Teori Keadilan," *Jurnal Hukum Samudra Keadilan* 16, no. 1 (2021): 218–30.

terdakwa memiliki keterbatasan dalam mengendalikan impulsnya, meskipun tidak menghapus sepenuhnya tanggung jawabnya dalam tindakan yang dilakukan. Keberadaan bukti *neuroimaging* dalam kasus ini membuka perdebatan mengenai bagaimana sistem peradilan harus menilai tindakan kriminal yang dilakukan oleh individu dengan gangguan neurologis, serta sejauh mana bukti ilmiah tentang struktur dan fungsi otak dapat memengaruhi keputusan hukum dalam kasus-kasus berat seperti pembunuhan.[26]

Penerapan teknologi ini di Indonesia juga dapat membantu dalam mencegah salah vonis terhadap individu yang mengalami gangguan neurologis. Dengan mengintegrasikan *forensic neuroimaging* dalam sistem hukum, pengadilan dapat memiliki bukti ilmiah yang lebih kuat dalam menentukan apakah seseorang benar-benar memiliki kapasitas untuk bertanggung jawab secara hukum atas tindakannya atau tidak.

Tantangan Regulasi dan Etika dalam Penerapan *Forensic Neuroimaging* di Indonesia

Dalam beberapa dekade terakhir, kemajuan teknologi dalam bidang neurosains telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam sistem peradilan pidana. *Forensic neuroimaging* muncul sebagai salah satu inovasi penting yang memungkinkan analisis aktivitas dan struktur otak terdakwa guna menilai kapasitas mental serta tingkat pertanggungjawaban pidananya. Teknologi seperti *Functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI), *Positron Emission Tomography* (PET Scan), *Electroencephalography* (EEG), dan *Diffusion Tensor Imaging* (DTI) telah digunakan di berbagai negara untuk mendukung pembuktian ilmiah dalam kasus hukum yang melibatkan gangguan mental atau cedera otak. Namun, meskipun menawarkan potensi besar dalam meningkatkan akurasi sistem peradilan, penerapan *forensic neuroimaging* di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan. Ketiadaan regulasi yang jelas, validitas dan keabsahan bukti *neuroimaging* di pengadilan, keterbatasan infrastruktur, serta dilema etika dan hak asasi manusia menjadi hambatan utama dalam mengintegrasikan teknologi ini ke dalam sistem hukum Indonesia. Oleh karena itu, diperlukan kajian mendalam mengenai tantangan-tantangan ini guna merumuskan kebijakan yang tepat agar *forensic neuroimaging* dapat digunakan secara sah dan adil dalam sistem peradilan pidana di Indonesia.

a. Ketiadaan Regulasi yang Jelas dalam Sistem Hukum Indonesia

[26] Zain Khalid, Ruby Lee, and Barry W. Wall, "The Use of Neurobiological Evidence in Sentencing Mitigation," *Behavioral Sciences & the Law* 42, no. 2 (March 1, 2024): 65–78, https://doi.org/10.1002/BSL.2645.

Vol. 3 No. 3, Desember 2025, pp. 454-480
E-ISSN: 3025-7182

Salah satu hambatan utama dalam penerapan *forensic neuroimaging* di Indonesia adalah ketiadaan regulasi yang secara eksplisit mengatur penggunaan bukti pemindaian otak dalam sistem peradilan pidana. Sistem hukum Indonesia hingga saat ini masih bergantung pada *visum et repertum psikiatrikum*, yang mengandalkan evaluasi klinis oleh psikiater forensik dalam menentukan kapasitas mental terdakwa dalam suatu perkara pidana. Namun, metode ini sering kali menghadapi tantangan dalam aspek objektivitas, karena penilaian yang dilakukan berbasis wawancara dan observasi tanpa adanya dukungan bukti ilmiah berbasis pencitraan otak, seperti yang ditawarkan oleh *Functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI), *Positron Emission Tomography* (PET Scan), *Electroencephalography* (EEG), atau *Diffusion Tensor Imaging* (DTI). Di negara-negara maju seperti Amerika Serikat dan Inggris, *forensic neuroimaging* telah mendapatkan tempat dalam persidangan sebagai alat bukti yang sah. Sebagai contoh, dalam kasus *Roper v. Simmons* (2005), bukti *neuroimaging* digunakan untuk menunjukkan bahwa remaja memiliki perkembangan otak yang belum matang sepenuhnya, yang akhirnya menjadi dasar bagi Mahkamah Agung AS untuk menghapus hukuman mati bagi terdakwa di bawah usia 18 tahun.[27] Namun, di Indonesia, belum ada preseden hukum atau putusan pengadilan yang mengakui hasil pemindaian otak sebagai bukti dalam persidangan. Akibatnya, hakim dan jaksa masih enggan menerima bukti ini dalam praktik peradilan karena belum ada regulasi yang mengaturnya secara spesifik. Ketiadaan regulasi ini menyebabkan ketidakpastian hukum, terutama dalam menentukan bagaimana hasil pemindaian otak harus digunakan, diinterpretasikan, dan dievaluasi dalam konteks hukum pidana. Tanpa adanya standar hukum yang jelas, terdapat risiko bahwa bukti *neuroimaging* bisa ditolak dalam persidangan atau justru digunakan secara berlebihan tanpa mekanisme kontrol yang memadai. Oleh karena itu, diperlukan reformasi hukum yang mengakomodasi perkembangan teknologi forensik ini, sehingga penerapannya dalam sistem peradilan pidana Indonesia dapat dilakukan secara sah dan proporsional.

b. Validitas dan Keabsahan Bukti *Neuroimaging* di Pengadilan

Meskipun *forensic neuroimaging* memiliki potensi besar untuk mendukung sistem hukum pidana, masih ada perdebatan akademik dan hukum mengenai validitas serta keabsahan bukti yang diperoleh dari pemindaian otak dalam konteks persidangan. Salah satu kritik utama terhadap bukti *neuroimaging* adalah bahwa hasil pemindaian otak sering kali bersifat interpretatif, yang berarti bahwa tidak ada hubungan kausal langsung antara aktivitas otak dan niat kriminal seseorang. Sebagai contoh, seseorang dengan hipoaktivitas di *lobus frontal* area otak yang bertanggung

[27] Marsha Levick, "Kids Are Different: The United States Supreme Court Reforms Youth Sentencing Practices for Youth Prosecuted in the Criminal Justice System," *Juvenile and Family Court Journal* 70, no. 3 (September 1, 2019): 25–44, https://doi.org/10.1111/JFCJ.12144.

jawab atas pengendalian impuls dan pengambilan keputusan mungkin memiliki kecenderungan untuk melakukan tindakan impulsif atau agresif. Namun, hal ini tidak secara otomatis berarti bahwa individu tersebut tidak memiliki kapasitas untuk bertanggung jawab atas perbuatannya. Dalam sistem hukum pidana, konsep kesengajaan dan niat (*mens rea*) masih lebih diutamakan dibandingkan dengan bukti neurologis, sehingga pemindaian otak tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya faktor dalam menentukan bersalah atau tidaknya seorang terdakwa. Selain itu, ada kekhawatiran mengenai kemungkinan *overclaiming*, yaitu penyalahgunaan atau interpretasi yang berlebihan terhadap hasil *neuroimaging* dalam persidangan. Jika tidak dikontrol dengan baik, ada risiko bahwa pihak pembela atau jaksa dapat menggunakan hasil pemindaian otak untuk mendukung narasi mereka, tanpa mempertimbangkan faktor lain seperti riwayat sosial, kondisi psikologis, dan bukti fisik lainnya.

c. Biaya Tinggi dan Keterbatasan Infrastruktur di Indonesia

Tantangan berikutnya dalam penerapan *forensic neuroimaging* di Indonesia adalah biaya yang sangat tinggi serta keterbatasan fasilitas kesehatan forensik yang mampu melakukan pemindaian otak sesuai dengan standar medis dan hukum yang diperlukan. Teknologi seperti fMRI, PET Scan, EEG, dan DTI memerlukan peralatan canggih serta tenaga ahli yang terlatih, yang saat ini masih terbatas hanya di rumah sakit besar atau institusi penelitian tertentu di Indonesia. Sebagai perbandingan, di Amerika Serikat, pemindaian fMRI atau PET Scan dapat dilakukan dengan dukungan dana dari sistem peradilan, serta laboratorium forensik yang telah mengintegrasikan teknologi ini ke dalam investigasi kriminal. Sementara itu, di Indonesia, sistem peradilan pidana masih mengandalkan metode konvensional seperti wawancara psikiatri dan observasi perilaku, yang sering kali kurang akurat dalam kasus-kasus dengan kompleksitas neurologis yang tinggi. Selain keterbatasan infrastruktur, faktor biaya juga menjadi kendala utama. Untuk melakukan pemindaian otak menggunakan fMRI atau PET Scan, biaya per pemeriksaan bisa mencapai puluhan juta rupiah, sehingga sulit diterapkan secara luas dalam sistem peradilan yang memiliki keterbatasan anggaran. Oleh karena itu, sebelum teknologi ini dapat diimplementasikan secara luas, pemerintah perlu berinvestasi dalam infrastruktur medis dan forensik, serta mempertimbangkan subsidi atau mekanisme pendanaan untuk terdakwa yang tidak mampu membayar pemeriksaan ini.

d. Isu Etika dan Hak Asasi Manusia dalam Penggunaan *Forensic Neuroimaging*

Selain tantangan dalam aspek regulasi dan teknis, penggunaan *forensic neuroimaging* dalam sistem hukum juga menimbulkan berbagai dilema etika dan hak asasi manusia yang perlu diperhatikan. Salah satu isu utama adalah potensi pelanggaran hak privasi terdakwa, terutama jika pemindaian otak dilakukan tanpa persetujuan mereka. Dalam sistem hukum pidana, setiap terdakwa memiliki hak

Vol. 3 No. 3, Desember 2025, pp. 454-480
E-ISSN: 3025-7182

untuk tidak dipaksa memberikan bukti yang dapat memberatkan dirinya sendiri (*privilege against self-incrimination*).[28] Namun, dalam konteks *forensic neuroimaging*, ada kemungkinan bahwa terdakwa akan dipaksa menjalani pemindaian otak untuk membuktikan apakah mereka memiliki kapasitas mental yang cukup untuk bertanggung jawab atas perbuatannya. Hal ini menimbulkan pertanyaan etis yang mendalam tentang apakah pemindaian otak dapat dilakukan tanpa persetujuan terdakwa, atau apakah terdakwa memiliki hak untuk menolak pemeriksaan tersebut. Selain itu, ada kekhawatiran bahwa hasil pemindaian otak dapat digunakan untuk *neuroprofiling*, yaitu memprediksi kemungkinan seseorang melakukan kejahatan di masa depan berdasarkan pola aktivitas otaknya. Jika hasil pemindaian menunjukkan bahwa seseorang memiliki pola otak yang mirip dengan pelaku kriminal lainnya, apakah hal ini dapat dijadikan dasar untuk menghukum atau membatasi kebebasan individu tersebut sebelum mereka melakukan tindak pidana? Jika tidak dikontrol dengan baik, neuroprofiling dapat menyebabkan diskriminasi terhadap individu dengan kelainan neurologis, meskipun mereka belum pernah melakukan kejahatan. Untuk mengatasi tantangan etika ini, diperlukan kode etik dan pedoman yang jelas yang memastikan bahwa *forensic neuroimaging* digunakan secara sah, proporsional, dan tidak melanggar hak asasi manusia. Regulasi yang tepat akan membantu memastikan bahwa teknologi ini dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan keadilan dalam sistem hukum, tanpa menimbulkan penyalahgunaan atau pelanggaran hak terdakwa. Dalam beberapa dekade terakhir, kemajuan teknologi dalam bidang neurosains telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam sistem peradilan pidana. *Forensic neuroimaging* muncul sebagai salah satu inovasi penting yang memungkinkan analisis aktivitas dan struktur otak terdakwa guna menilai kapasitas mental serta tingkat pertanggungjawaban pidananya.

Teknologi seperti *Functional Magnetic Resonance Imaging* (fMRI), *Positron Emission Tomography* (PET Scan), *Electroencephalography* (EEG), dan *Diffusion Tensor Imaging* (DTI) telah digunakan di berbagai negara untuk mendukung pembuktian ilmiah dalam kasus hukum yang melibatkan gangguan mental atau cedera otak. Namun, meskipun menawarkan potensi besar dalam meningkatkan akurasi sistem peradilan, penerapan *forensic neuroimaging* di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan. Ketiadaan regulasi yang jelas, validitas dan keabsahan bukti *neuroimaging* di pengadilan, keterbatasan infrastruktur, serta dilema etika dan hak asasi manusia menjadi hambatan utama dalam mengintegrasikan teknologi ini ke dalam sistem hukum Indonesia. Diperlukan kajian mendalam mengenai tantangan-tantangan ini

[28] Mahsun Ismail, "Telaah Terhadap Konstruksi Proses Hukum Yang Adil Dalam Sistem Peradilan Pidana," *Jurnal Hukum Ekonomi Syariah* 1, no. 1 (December 19, 2018): 99–116, https://doi.org/10.30595/JHES.V1I1.3714.

guna merumuskan kebijakan yang tepat agar *Forensic Neuroimaging* dapat digunakan secara sah dan adil dalam sistem peradilan pidana di Indonesia.

Studi Komparatif: Pembelajaran dari Amerika Serikat, Inggris, dan Jepang dalam Integrasi *Forensic Neuroimaging*

Penerapan *forensic neuroimaging* dalam sistem peradilan pidana telah mengalami perkembangan pesat di berbagai negara, terutama di Amerika Serikat, Inggris, dan Jepang. Ketiga negara ini telah melakukan berbagai uji coba dan penelitian tentang bagaimana pemindaian otak dapat digunakan dalam persidangan untuk menilai kapasitas mental terdakwa, menentukan kesesuaian hukuman, serta mengevaluasi gangguan neurologis yang dapat memengaruhi perilaku kriminal. Meskipun memiliki pendekatan hukum yang berbeda, ketiga negara ini telah membuka ruang bagi *neuroimaging* untuk digunakan sebagai bukti ilmiah, meskipun dengan berbagai batasan dan regulasi yang ketat.

Studi komparatif ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana Amerika Serikat, Inggris, dan Jepang telah mengintegrasikan teknologi *forensic neuroimaging* dalam sistem hukum mereka. Melalui perbandingan ini, Indonesia dapat mempelajari keberhasilan, tantangan, serta kebijakan hukum yang telah diterapkan di negara-negara tersebut sebagai referensi dalam merancang regulasi yang dapat mengakomodasi pemanfaatan *forensic neuroimaging* dalam sistem peradilan pidana.

a. Amerika Serikat (Pelopor dalam Penerapan *Forensic Neuroimaging* di Peradilan Pidana)

Amerika Serikat merupakan negara yang paling maju dalam penerapan *forensic neuroimaging* dalam sistem hukum pidana. Sejak awal tahun 2000-an, berbagai kasus pidana di Amerika Serikat telah melibatkan pemindaian otak sebagai alat bukti dalam persidangan, khususnya dalam kasus yang menyangkut gangguan mental, cedera otak traumatis (*Traumatic Brain Injury*/TBI), serta evaluasi kapasitas pertanggungjawaban terdakwa.[29] Salah satu kasus terkenal yang menggunakan bukti *neuroimaging* adalah *Roper v. Simmons* (2005), di mana Mahkamah Agung Amerika Serikat menggunakan hasil pemindaian otak untuk membuktikan bahwa remaja di bawah usia 18 tahun belum memiliki perkembangan otak yang matang sepenuhnya, sehingga tidak boleh dijatuhi hukuman mati. Kasus ini menjadi tonggak penting dalam hukum pidana AS, karena untuk pertama kalinya bukti dari neurosains digunakan untuk mengubah kebijakan hukum pidana terkait hukuman

[29] Lyn M Gaudet and Gary E Marchan, "Under the Radar: Neuroimaging Evidence in the Criminal Courtroom," *Drake Law Review* 64, no. 3 (2016): 577–661, https://zeus.tarleton.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=117839366&site=eds-live.

Vol. 3 No. 3, Desember 2025, pp. 454-480
E-ISSN: 3025-7182

mati.[30] Selain itu, dalam kasus *Miller v. Alabama* (2012), *neuroimaging* juga digunakan untuk mendukung keputusan Mahkamah Agung AS bahwa hukuman seumur hidup tanpa pembebasan bersyarat untuk remaja adalah tidak konstitusional, dengan alasan bahwa otak remaja masih berkembang dan lebih rentan terhadap pengaruh eksternal dibandingkan orang dewasa.[31] Namun, meskipun *neuroimaging* telah digunakan secara luas di pengadilan AS, masih ada tantangan dalam penerimaannya sebagai alat bukti yang sah. Hakim sering kali bersikap skeptis terhadap *neuroimaging*, terutama karena hasil pemindaian otak masih bersifat interpretatif dan belum dapat secara langsung menunjukkan hubungan kausal antara aktivitas otak dan tindakan kriminal seseorang. Oleh karena itu, *neuroimaging* di Amerika Serikat hanya digunakan sebagai bukti pendukung, bukan sebagai bukti utama dalam menentukan bersalah atau tidaknya seseorang.

b. Inggris (Pendekatan yang Berbasis Prinsip Etika dan Regulasi yang Ketat)

Berbeda dengan Amerika Serikat, Inggris memiliki pendekatan yang lebih hati-hati dan berbasis etika dalam mengintegrasikan *forensic neuroimaging* ke dalam sistem hukumnya. Pemerintah Inggris telah membentuk berbagai komisi etik yang bertugas untuk mengevaluasi potensi penggunaan *neuroimaging* dalam sistem peradilan, dengan mempertimbangkan aspek validitas ilmiah, etika, dan keadilan hukum. Di Inggris, penggunaan bukti *neuroimaging* telah diuji dalam berbagai kasus, khususnya dalam penentuan kapasitas mental terdakwa dalam sistem hukum Insanity Defense dan Diminished Responsibility. Sebagai contoh, dalam kasus *R v. Golds* (2016), pengadilan Inggris mempertimbangkan bukti pemindaian otak untuk menilai apakah terdakwa mengalami gangguan mental yang cukup berat sehingga memengaruhi kapasitasnya dalam memahami tindakan yang dilakukan. Selain itu, Inggris juga telah menerapkan Undang-Undang Kesehatan Mental (*Mental Health Act 1983*) yang memungkinkan pemanfaatan *neuroimaging* untuk menentukan kelayakan terdakwa dalam menerima perawatan dibandingkan hukuman pidana. Pendekatan ini lebih mengutamakan rehabilitasi dibandingkan pemenjaraan, terutama bagi terdakwa dengan gangguan neurologis atau psikiatris yang signifikan. Meskipun demikian, sistem hukum Inggris tetap membatasi penggunaan *forensic neuroimaging* dengan berbagai regulasi ketat. Salah satu perdebatan utama di Inggris adalah mengenai privasi dan kebebasan individu, di mana pemindaian otak tidak boleh dilakukan tanpa persetujuan terdakwa. Selain itu, pengadilan juga sering kali

[30] Jay D. Aronson, "Brain Imaging, Culpability, and the Juvenile Death Penalty," *Psychology, Public Policy, and Law* 13, no. 2 (May 2007): 115–42, https://doi.org/10.1037/1076-8971.13.2.115.

[31] Eraka Bath et al., "Juvenile Life Without Parole: Updates on Legislative and Judicial Trends and on Facilitating Fair Sentencing," *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 54, no. 5 (May 1, 2015): 343–47, https://doi.org/10.1016/j.jaac.2015.02.011.

membutuhkan bukti tambahan dari ahli psikologi atau psikiatri sebelum menerima hasil *neuroimaging* sebagai bukti yang sah dalam persidangan.

c. Jepang (Pendekatan Teknologis dengan Fokus pada Rehabilitasi)

Jepang memiliki pendekatan yang unik dalam penerapan *forensic neuroimaging*, yang lebih berfokus pada rehabilitasi terdakwa dan prediksi risiko *residivisme* (pengulangan tindak pidana).[32] Pemerintah Jepang telah mendukung penelitian dalam bidang neurosains forensik untuk memahami bagaimana gangguan neurologis dapat memengaruhi perilaku kriminal, serta bagaimana teknologi pemindaian otak dapat digunakan untuk meningkatkan program rehabilitasi narapidana. Salah satu contoh penerapan *neuroimaging* di Jepang adalah dalam sistem *hōken shisetsu* (hukum perawatan khusus), yang memungkinkan terdakwa dengan gangguan mental menjalani rehabilitasi medis daripada menerima hukuman pidana konvensional. Dalam beberapa kasus, *neuroimaging* digunakan untuk menentukan apakah seorang terdakwa memiliki gangguan otak yang dapat memengaruhi kontrol impuls dan pengambilan keputusan, sehingga mereka dapat dialihkan ke program rehabilitasi yang lebih sesuai. Selain itu, Jepang juga menggunakan *neuroimaging* dalam penelitian prediksi residivisme, yaitu untuk menilai apakah seorang narapidana memiliki risiko tinggi untuk melakukan kejahatan kembali setelah dibebaskan. Pendekatan ini bertujuan untuk mengurangi angka pengulangan tindak pidana dengan cara menyusun program rehabilitasi yang disesuaikan dengan kondisi neurologis individu. Namun, sama seperti di Amerika Serikat dan Inggris, penggunaan *forensic neuroimaging* di Jepang masih menghadapi tantangan regulasi. Salah satu isu utama adalah ketepatan interpretasi hasil pemindaian otak, serta kekhawatiran mengenai potensi diskriminasi terhadap individu yang memiliki kelainan neurologis tetapi belum pernah melakukan tindak pidana. Oleh karena itu, Jepang masih terus melakukan penelitian untuk menyempurnakan standar penerapan *neuroimaging* dalam sistem hukumnya.

Studi komparatif dari Amerika Serikat, Inggris, dan Jepang menunjukkan bahwa meskipun *forensic neuroimaging* memiliki potensi besar dalam sistem peradilan pidana, setiap negara memiliki pendekatan yang berbeda dalam mengintegrasikan teknologi ini. Amerika Serikat lebih terbuka dalam penggunaannya, tetapi masih menghadapi tantangan dalam penerimaan bukti di pengadilan. Inggris lebih berhati-hati dan fokus pada aspek etika serta regulasi ketat. Jepang menggunakan *neuroimaging* untuk mendukung rehabilitasi dan prediksi residivisme.

[32] Kei Someda, "An International Comparative Overview on the Rehabilitation of Offenders and Effective Measures for the Prevention of Recidivism," *Legal Medicine* 11 (2009): S82–85, https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2009.01.064.

Vol. 3 No. 3, Desember 2025, pp. 454-480
E-ISSN: 3025-7182

Indonesia dapat belajar dari ketiga negara ini dalam merancang regulasi yang sesuai dengan sistem hukumnya, dengan menyesuaikan pendekatan berbasis validitas ilmiah, keadilan hukum, serta hak asasi manusia agar teknologi ini dapat diterapkan secara etis dan efektif dalam peradilan pidana nasional.

a. Penguatan Regulasi yang Berbasis Validitas Ilmiah

Salah satu aspek utama yang perlu dikembangkan di Indonesia adalah regulasi yang mengatur penggunaan bukti *neuroimaging* dalam peradilan pidana. Saat ini, belum ada peraturan yang mengakomodasi hasil pemindaian otak sebagai alat bukti yang sah dalam sistem hukum Indonesia. Sementara itu, negara-negara seperti Amerika Serikat dan Inggris telah menetapkan standar mengenai kapan dan bagaimana *neuroimaging* dapat digunakan di pengadilan. Oleh karena itu, Indonesia perlu menyusun regulasi yang mengatur protokol penggunaan teknologi ini, termasuk validitas hasil pemindaian otak, metode interpretasi, dan peran ahli forensik dalam menjelaskan bukti *neuroimaging* kepada hakim dan jaksa. Regulasi ini juga harus berbasis pada standar ilmiah internasional, seperti yang telah dikembangkan dalam penelitian forensik dan neurosains. Misalnya, Amerika Serikat menerapkan *standar Daubert* dalam menerima bukti ilmiah, yang menilai apakah metode yang digunakan telah diuji, memiliki tingkat kesalahan yang dapat diterima, dan telah diakui oleh komunitas ilmiah.[33] Indonesia dapat mengadopsi pendekatan serupa dengan memastikan bahwa hanya bukti *neuroimaging* yang telah melalui validasi ilmiah yang ketat yang dapat digunakan dalam persidangan.

b. Menerapkan Prinsip Keadilan dalam Penggunaan *Neuroimaging* di Pengadilan

Selain validitas ilmiah, penerapan *forensic neuroimaging* di Indonesia juga harus didasarkan pada prinsip keadilan hukum. Seperti yang terlihat dalam praktik di Inggris dan Jepang, *neuroimaging* tidak hanya digunakan untuk mendukung hukuman pidana, tetapi juga untuk menilai apakah seorang terdakwa lebih layak menerima rehabilitasi dibandingkan hukuman penjara. Pendekatan ini dapat diterapkan di Indonesia dalam kasus-kasus di mana terdakwa memiliki gangguan neurologis yang signifikan, seperti cedera otak traumatis (*Traumatic Brain Injury*/TBI), *skizofrenia*, atau gangguan kontrol impuls. Dengan adanya regulasi yang memungkinkan penggunaan *neuroimaging* dalam menilai kapasitas mental terdakwa, pengadilan dapat membuat keputusan yang lebih adil dalam menentukan hukuman yang sesuai, termasuk kemungkinan perawatan medis dibandingkan hukuman penjara konvensional. Selain itu, prinsip keadilan juga harus diterapkan dalam akses terhadap teknologi ini. Seperti yang terjadi di Amerika Serikat, ada kekhawatiran bahwa hanya terdakwa yang memiliki sumber daya finansial cukup

[33] Steven E Merwin et al., "Application of The Supreme Court's Daubert Criteria in Radiation Litigation," *Health Physics* 81, no. 6 (2001): 1–7, https://journals.lww.com/health-physics/fulltext/2001/12000/application_of_the_supreme_court_s_daubert.17.aspx.

yang dapat mengakses pemeriksaan *neuroimaging*, sedangkan terdakwa yang kurang mampu tidak memiliki kesempatan yang sama. Oleh karena itu, jika Indonesia ingin mengadopsi teknologi ini, pemerintah harus memastikan bahwa semua terdakwa memiliki hak yang sama dalam mengakses pemindaian otak, terutama dalam kasus-kasus di mana *neuroimaging* dapat menentukan kapasitas mental seseorang dalam menghadapi persidangan.

c. Menjaga Hak Asasi Manusia dan Etika dalam Penggunaan *Neuroimaging*

Seperti yang terlihat dalam regulasi di Inggris dan Jepang, aspek etika dan hak asasi manusia menjadi perhatian utama dalam penggunaan *forensic neuroimaging*. Salah satu tantangan terbesar dalam penerapan teknologi ini adalah bagaimana memastikan bahwa pemindaian otak dilakukan secara sukarela, tanpa tekanan atau paksaan dari sistem hukum. Di banyak negara, termasuk Inggris, pemindaian otak tidak dapat dilakukan tanpa persetujuan terdakwa, karena hal ini dapat melanggar hak untuk tidak dipaksa memberikan bukti yang memberatkan diri sendiri (*privilege against self-incrimination*). Indonesia perlu menerapkan prinsip yang sama dengan memastikan bahwa tidak ada terdakwa yang dipaksa menjalani pemindaian otak tanpa persetujuannya. Selain itu, ada juga kekhawatiran mengenai neuroprofiling, yaitu prediksi risiko kriminalitas seseorang berdasarkan hasil pemindaian otaknya. Di Jepang, misalnya, *neuroimaging* digunakan untuk menganalisis apakah seorang narapidana memiliki risiko tinggi untuk melakukan tindak pidana kembali setelah dibebaskan. Jika diterapkan di Indonesia, pendekatan ini harus dilakukan dengan hati-hati, karena bisa berisiko menimbulkan diskriminasi terhadap individu dengan kelainan neurologis yang belum pernah melakukan kejahatan. Oleh karena itu, pemerintah harus menetapkan batasan etis yang ketat untuk mencegah penggunaan *neuroimaging* secara berlebihan dalam sistem hukum.

d. Membangun Infrastruktur dan Kapasitas Ahli Forensik

Selain regulasi dan etika, penerapan *forensic neuroimaging* di Indonesia juga membutuhkan investasi dalam infrastruktur dan pengembangan tenaga ahli. Seperti yang terjadi di Amerika Serikat, Inggris, dan Jepang, penggunaan pemindaian otak dalam sistem hukum memerlukan peralatan yang canggih serta ahli yang terlatih dalam membaca dan menginterpretasikan hasil pemindaian. Saat ini, fasilitas *neuroimaging* di Indonesia masih terbatas dan hanya tersedia di beberapa rumah sakit besar atau pusat penelitian. Untuk menerapkan teknologi ini secara luas, pemerintah perlu membangun laboratorium forensik yang dilengkapi dengan teknologi fMRI, PET Scan, EEG, dan DTI, serta memastikan bahwa ada tenaga ahli yang dapat memberikan analisis yang objektif dan akurat dalam persidangan. Selain itu, pelatihan bagi hakim, jaksa, dan pengacara juga sangat diperlukan agar mereka memiliki pemahaman yang cukup tentang cara kerja, validitas, dan keterbatasan bukti *neuroimaging*. Seperti yang terjadi di Inggris, sistem hukum Indonesia juga

Vol. 3 No. 3, Desember 2025, pp. 454-480
E-ISSN: 3025-7182

perlu menerapkan prosedur khusus yang memungkinkan hakim untuk meminta keterangan dari ahli neurosains sebelum menerima atau menolak bukti *neuroimaging* dalam suatu persidangan.

KESIMPULAN

Perkembangan *forensic neuroimaging* telah membuka babak baru dalam sistem peradilan pidana dengan menghadirkan bukti ilmiah berbasis pencitraan otak untuk menilai kapasitas mental terdakwa dan mengevaluasi kemungkinan gangguan neurologis yang dapat memengaruhi tindakan kriminal. Teknologi seperti *functional magnetic resonance imaging* (fMRI), *positron emission tomography* (PET Scan), *electroencephalography* (EEG), dan *diffusion tensor imaging* (DTI) telah digunakan di berbagai negara untuk memperkuat argumentasi hukum dalam menentukan tanggung jawab pidana seseorang. Namun, penerapan teknologi ini dalam sistem hukum tidak terlepas dari berbagai tantangan, termasuk ketiadaan regulasi yang jelas, validitas dan keabsahan bukti di pengadilan, keterbatasan infrastruktur, serta dilema etika dan hak asasi manusia. Indonesia dapat mengambil pembelajaran dari praktik yang telah diterapkan di Amerika Serikat, Inggris, dan Jepang dalam mengintegrasikan *forensic neuroimaging* ke dalam sistem hukum nasional. Regulasi yang berbasis validitas ilmiah sangat diperlukan untuk menghindari penyalahgunaan bukti *neuroimaging* dalam persidangan serta memastikan bahwa hasil pemindaian otak hanya dapat digunakan jika telah divalidasi oleh komunitas ilmiah. Selain itu, Indonesia harus menyesuaikan penerapan *neuroimaging* dengan prinsip keadilan, sehingga teknologi ini tidak hanya digunakan untuk menjatuhkan hukuman, tetapi juga untuk mempertimbangkan kemungkinan rehabilitasi bagi terdakwa dengan gangguan neurologis. Selain aspek regulasi dan keadilan, perlindungan hak asasi manusia dalam penerapan *neuroimaging* juga menjadi hal yang sangat penting. Pemindaian otak tidak boleh dilakukan tanpa persetujuan terdakwa, karena hal ini dapat melanggar hak seseorang untuk tidak dipaksa memberikan bukti yang dapat memberatkannya sendiri (*privilege against self-incrimination*). Pemerintah juga harus menetapkan batasan etis yang ketat untuk mencegah diskriminasi berbasis *neuroprofiling*, di mana individu dengan kelainan neurologis berisiko dikriminalisasi meskipun mereka belum melakukan kejahatan. Selain aspek regulasi dan etika, Indonesia perlu membangun infrastruktur forensik yang memadai untuk mendukung penggunaan *forensic neuroimaging* dalam sistem hukum. Investasi dalam laboratorium forensik modern yang dilengkapi dengan teknologi pemindaian otak seperti fMRI, PET Scan, EEG, dan DTI sangat diperlukan agar hasil *neuroimaging* dapat digunakan dengan standar yang sama seperti di negara-negara maju. Selain itu, pengembangan kapasitas tenaga ahli forensik, pelatihan bagi hakim, jaksa, dan pengacara dalam memahami *neuroimaging*, serta

standarisasi prosedur pengadilan terkait bukti pencitraan otak harus menjadi bagian dari strategi implementasi teknologi ini dalam sistem peradilan Indonesia. Secara keseluruhan, *forensic neuroimaging* memiliki potensi besar untuk meningkatkan keadilan dalam sistem peradilan pidana Indonesia, terutama dalam mencegah salah vonis, menilai kapasitas mental terdakwa secara lebih akurat, serta mendukung rehabilitasi bagi pelaku kriminal dengan gangguan neurologis. Namun, penerapannya harus dilakukan dengan penuh kehati-hatian, dengan mempertimbangkan validitas ilmiah, keadilan hukum, perlindungan hak asasi manusia, serta kesiapan infrastruktur dan sumber daya manusia. Dengan regulasi yang tepat dan penerapan yang terkontrol, Indonesia dapat memanfaatkan teknologi ini untuk mewujudkan sistem hukum yang lebih berbasis bukti ilmiah, lebih adil, dan lebih modern, sekaligus menjaga keseimbangan antara hak individu dan kepentingan keadilan pidana.

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterimakasih kepada seluruh pimpinan Fakultas Hukum Universitas Bengkulu yang memberikan kesempatan dan mendukung proses penyelesaian penelitian ini. Kepada keluarga tercinta terima kasih banya katas dukungan moril selama dalam proses penelitian dan penulisan artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aronson, Jay D. "Brain Imaging, Culpability, and the Juvenile Death Penalty." *Psychology, Public Policy, and Law* 13, no. 2 (May 2007): 115–42. https://doi.org/10.1037/1076-8971.13.2.115.

Asadzadeh, Shiva, Tohid Yousefi Rezaii, Soosan Beheshti, Azra Delpak, and Saeed Meshgini. "A Systematic Review of EEG Source Localization Techniques and Their Applications on Diagnosis of Brain Abnormalities." *Journal of Neuroscience Methods* 339 (2020): 1–10. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2020.108740.

Baskin, Joseph H, Judith G Edersheim, and Bruce H Price. "Is a Picture Worth a Thousand Words? Neuroimaging in the Courtroom." *American Journal of Law & Medicine* 33, no. 2–3 (2007): 239–69. https://doi.org/DOI: 10.1177/009885880703300205.

Bath, Eraka, Kayla Pope, Roya Ijadi-Maghsoodi, and Christopher Thomas. "Juvenile Life Without Parole: Updates on Legislative and Judicial Trends and on Facilitating Fair Sentencing." *Journal of the American Academy of Child and Adolescent Psychiatry* 54, no. 5 (May 1, 2015): 343–47.

Vol. 3 No. 3, Desember 2025, pp. 454-480
E-ISSN: 3025-7182

https://doi.org/10.1016/j.jaac.2015.02.011.

Bottalico, Barbara. "Cognitive Neuroscience, Decision Making and the Law." *European Journal of Risk Regulation* 2, no. 3 (2011): 427–32. https://doi.org/DOI: 10.1017/S1867299X00001458.

Detre, J. A., and T. F. Floyd. "Functional MRI and Its Applications to the Clinical Neurosciences." *The Neuroscientist* 7, no. 1 (February 1, 2001): 64–79. https://doi.org/10.1177/107385840100700110.

Fernando, Zico Junius, Sri Wulandari, and Panca Sarjana Putra. "Potential Overcriminalization in Religious Offenses : A Critical Analysis of The Formulation of The New National Criminal Code (Law 1 Number 2023)." *Jurnal HAM* 14, no. 3 (2023): 205–16. https://doi.org/http://dx.doi.org/10.30641/ham.2023.14.3.

Gaudet, Lyn M, and Gary E Marchan. "Under the Radar: Neuroimaging Evidence in the Criminal Courtroom." *Drake Law Review* 64, no. 3 (2016): 577–661. https://zeus.tarleton.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=117839366&site=eds-live.

Greely, Henry T., and Nita A. Farahany. "Neuroscience and the Criminal Justice System." *Annual Review of Criminology* 2 (January 13, 2019): 451–71. https://doi.org/10.1146/ANNUREV-CRIMINOL-011518-024433.

"Hukum: Pemuda Skizofrenia Divonis 16 Tahun Penjara Atas Pembunuhan Di Jakarta Barat - Apakah ODGJ Dapat Dipidana? - BBC News Indonesia." Accessed February 8, 2025. https://www.bbc.com/indonesia/articles/c2v030n390yo?utm_source=chatgpt.com.

Husted, David S, Wade C Myers, and Yuijin Lui. "The Limited Role of Neuroimaging in Determining Criminal Liability: An Overview and Case Report." *Forensic Science International* 179, no. 1 (2008): 9–15. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.04.002.

Ismail, Mahsun. "Telaah Terhadap Konstruksi Proses Hukum Yang Adil Dalam Sistem Peradilan Pidana." *Jurnal Hukum Ekonomi Syariah* 1, no. 1 (December 19, 2018): 99–116. https://doi.org/10.30595/JHES.V1I1.3714.

James Griffiths and Yoko Wakatsuki. "Shoko Asahara: Japan Doomsday Cult Leader Executed 23 Years After Tokyo Sarin Attack." https://edition.cnn.com/, 2018. https://edition.cnn.com/2018/07/05/asia/japan-aum-shinriyko-leader-executed-intl/index.html.

Karianga, Hendra, and Zico Junius Fernando. "The Damage of the Shadow Economy: The Urgency of Addressing Foreign Bribery in Indonesia." *Pakistan Journal of Criminology* 16, no. 2 (April 1, 2024): 783–96.

https://doi.org/10.62271/PJC.16.2.783.796.

Katili, Julastrid Jelita, and Rugun Romaida Hutabarat. "Pertangungjawaban Pidana Pengidap Bipolar Disorder Dalam Menghapus Unsur Kesalahan Pidana." *Jurnal Pendidikan Indonesia* 5, no. 12 (December 28, 2024): 2064–74. https://doi.org/10.59141/JAPENDI.V5I12.7023.

Khalid, Zain, Ruby Lee, and Barry W. Wall. "The Use of Neurobiological Evidence in Sentencing Mitigation." *Behavioral Sciences & the Law* 42, no. 2 (March 1, 2024): 65–78. https://doi.org/10.1002/BSL.2645.

Levick, Marsha. "Kids Are Different: The United States Supreme Court Reforms Youth Sentencing Practices for Youth Prosecuted in the Criminal Justice System." *Juvenile and Family Court Journal* 70, no. 3 (September 1, 2019): 25–44. https://doi.org/10.1111/JFCJ.12144.

Linder, Douglas. "The Trial of John W. Hinckley, Jr." *SSRN Electronic Journal*, December 28, 2007, 1–10. https://doi.org/10.2139/SSRN.1030556.

Luthfia Miranda Putri. "Kasus Pembunuhan Anak, Panca Darmansyah Idap Gangguan Jiwa." ANTARA News, 2024. https://www.antaranews.com/berita/4338783/kasus-pembunuhan-anak-panca-darmansyah-idap-gangguan-jiwa.

Lynch, Alison, Michael L. Perlin, and Heather Cucolo. "'My Bewildering Brain Toils in Vain': Traumatic Brain Injury, the Criminal Trial Process, and the Case of Lisa Montgomery." *SSRN Electronic Journal*, February 1, 2021, 1–86. https://doi.org/10.2139/SSRN.3777551.

Merwin, Steven E, Dade W Moeller, William E Jr Kennedy, and Matthew P Moeller. "Application of The Supreme Court's Daubert Criteria in Radiation Litigation." *Health Physics* 81, no. 6 (2001): 1–7. https://journals.lww.com/health-physics/fulltext/2001/12000/application_of_the_supreme_court_s_daubert.17.aspx.

Moriarty, Jane Campbell, Daniel D. Langleben, and James M. Provenzale. "Brain Trauma, PET Scans and Forensic Complexity." *Behavioral Sciences & the Law* 31, no. 6 (November 1, 2013): 702–20. https://doi.org/10.1002/BSL.2089.

Noyon, Lucas, Michiel J F van der Wolf, Paul A M Mevis, and Hjalmar J C van Marle. "Integrating Neuroscience in Criminal Law: The Dutch Situation as an Example." *International Journal of Forensic Mental Health* 18, no. 3 (July 1, 2019): 281–91. https://doi.org/10.1080/14999013.2018.1525778.

Putra, Panca Sarjana, Zico Junius Fernando, Bhanu Prakash Nunna, and Rizaldy Anggriawan. "Judicial Transformation: Integration of AI Judges in Innovating Indonesia's Criminal Justice System." *Kosmik Hukum* 23, no. 3 (2023): 233–47. https://doi.org/10.30595/kosmikhukum.v23i3.18711.

Vol. 3 No. 3, Desember 2025, pp. 454-480
E-ISSN: 3025-7182

Putra, Yagie Sagita, Pujiyono Pujiyono, Nur Rochaeti, and Zico Junius Fernando. "EIT Law at the Crossroads: Exploring Legal Dilemmas, Freedom of Expression, and Human Rights." *Pakistan Journal of Criminology* 16, no. 3 (July 1, 2024): 1315–32. https://doi.org/10.62271/PJC.16.3.1315.1332.

Rogers, Jonathan. "The Amended Diminished Responsibility Plea." *The Cambridge Law Journal* 74, no. 2 (2015): 201–5. https://doi.org/DOI: 10.1017/S0008197315000501.

Rohman, Rohman, Muliadi Muliadi, Farhan Pratama, Irka Saputra, Aidil Firmansyah, T Marwan, and Irfandi Irfandi. "Sistem Pembuktian Dalam Hukum Pidana Indonesia Dan Tantangan Dalam Proses Peradilan." *Jimmi: Jurnal Ilmiah Mahasiswa Multidisiplin* 1, no. 3 (October 27, 2024): 279–92. https://doi.org/10.71153/JIMMI.V1I3.146.

Shenton, Martha E, Bruce H Price, Laura Levin, and Judith G Edersheim. "Mild Traumatic Brain Injury: Is DTI Ready for the Courtroom?" *International Journal of Law and Psychiatry* 61 (2018): 50–63. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijlp.2018.09.002.

Someda, Kei. "An International Comparative Overview on the Rehabilitation of Offenders and Effective Measures for the Prevention of Recidivism." *Legal Medicine* 11 (2009): S82–85. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2009.01.064.

Surya, Faizal Adi. "Pemulihan Hak Korban Salah Tangkap Berdasarkan Perspektif Teori Keadilan." *Jurnal Hukum Samudra Keadilan* 16, no. 1 (2021): 218–30.

Vijay Khare, Shaurya Singh, Neha Mehra, Shamim Akhter, and Chakresh Kumar Jain. "FMRI: A Benediction to Neuroscience." *International Journal of Robotics and Automation Technology* 5 (2018): 14–22. https://doi.org/10.31875/2409-9694.2018.05.3.

Whitford, Thomas J., Marek Kubicki, and Martha E. Shenton. "Diffusion Tensor Imaging, Structural Connectivity, and Schizophrenia." *Schizophrenia Research and Treatment* 2011 (2011): 1–7. https://doi.org/10.1155/2011/709523.

Zico Junius Fernando et al. "Neurolaw: A Concept in Development and Enforcement of Criminal Law in Indonesia." *Jambura Law Review* 7, no. 1 (2025): 55–87. https://doi.org/10.33756/JLR.V7I1.24144.

PERNYATAAN PENULIS

Kontribusi dan Tanggung Jawab Penulis

Penulis memberikan kontribusi substantial terhadap konsepsi dan desain penelitian. Penulis bertanggung jawab atas analisis bahan hukum, interpretasi, dan diskusi hasil. Penulis membacadanmenyetujui naskah akhir.

Pendanaan

Penelitian ini dilakukan dengan dana pribadi penulis. Tidak ada pendanaan dari pihak lain.

Ketersediaan Bahan Hukum

Semua bahan hukum dan materi penelitian yang telah tersaji diolah sendiri oleh penulis.

Interest Kepentingan

Penulis menyatakan penelitian ini dilakukan dengan tidak ada interest kepentingan dengan pihak manapun.

Informasi Tambahan

Tidak ada informasi tambahan dari penulis.