

Neuroembriologi Dan Perkembangan Otak

Firdaus¹, Hendri², Ahmad Lahmi³, Dasrizal Dahlan⁴, Rosniati Hakim⁵

^{1,2,3,4,5}Universitas Muhammadiyah Sumatra Barat

Corresponding Author: firdausgani08@gmail.com

Published: July, 2025

ABSTRAK

Neuroembriologi adalah cabang ilmu yang mempelajari perkembangan sistem saraf sejak tahap awal kehidupan embrio hingga pembentukan struktur otak yang kompleks. Pada tahap pra-kelahiran, proses gastrulasi membentuk tiga lapisan germinal (ektoderm, mesoderm, endoderm), di mana ektoderm selanjutnya berdiferensiasi menjadi neuroektoderm dan memulai neurulasi, yakni pembentukan tabung saraf yang akan berkembang menjadi otak dan medula spinalis. Selama minggu ke-3 hingga ke-8 kehamilan terjadi pembentukan vesikel otak primer (prosencefalon, mesencefalon, rombensefalon), proliferasi dan migrasi neuronal, sinaptogenesis, serta mielinisasi awal yang menjadi fondasi struktur jaringan saraf pusat. Setelah lahir, otak terus berkembang melalui fase arborisasi dendritik, konsolidasi sinaps, dan mielinisasi yang berlangsung hingga masa anak sekolah dan remaja, memungkinkan terjadinya neuroplastisitas yang tinggi. Pemahaman mendalam terhadap tahapan-tahapan ini sangat penting untuk menangani gangguan perkembangan (misalnya cacat tabung saraf) dan memaksimalkan potensi kognitif individu. Implikasi praktis bagi pendidikan mencakup desain kurikulum yang selaras dengan periode kritis perkembangan otak, penggunaan strategi multisensori (misalnya permainan dan aktivitas gerak), serta optimalisasi kecerdasan melalui stimulasi yang mengaktifkan area-area otak secara seimbang (otak kiri-kanan dan tiga lapis triune: logika, emosi, motorik). Pendekatan berbasis neurosains ini bertujuan meningkatkan daya ingat, fokus, dan kreativitas peserta didik melalui pengalaman pembelajaran yang menyenangkan, aktif, dan kontekstual.

Kata Kunci: Neuroembriologi, Otak

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan modern, khususnya dalam bidang neurosains dan embriologi, telah membuka cakrawala baru dalam memahami proses penciptaan dan perkembangan manusia sejak tahap paling dini. Salah satu cabang penting dari ilmu ini adalah neuroembriologi, yaitu studi tentang pembentukan dan perkembangan sistem saraf pusat sejak masa embrio. Pengetahuan ini sangat signifikan dalam menjelaskan bagaimana otak—sebagai pusat kendali biologis, kognitif, dan emosional—terbentuk dan berkembang sebelum kelahiran. Di era modern, neuroembriologi tidak hanya menjadi bidang kajian medis, tetapi juga menjadi referensi penting dalam psikologi perkembangan, pendidikan, dan bahkan studi keagamaan.

Dalam tradisi Islam, persoalan tentang asal-usul dan perkembangan manusia telah lama dibahas dalam al-Qur'an dan hadis. Al-Qur'an secara eksplisit menjelaskan tahapan penciptaan manusia dalam rahim, sebagaimana tercantum dalam QS. Al-Mu'minun ayat 12–14 yaitu:

۱۲ وَلَقَدْ خَلَقْنَا الْإِنْسَانَ مِنْ سُلَالَةٍ مِنْ طِينٍ
ثُمَّ جَعَلْنَاهُ نُطْفَةً فِي قَرَارٍ مَكِينٍ
فَتَبَرَكُ ۙ ثُمَّ أَنْشَأْنَاهُ خَلْقًا آخَرَ
ثُمَّ خَلَقْنَا النَّطْفَةَ عَلَقَةً فَخَلَقْنَا الْعَلَقَةَ مُضْغَةً فَخَلَقْنَا الْمُضْغَةَ عِظْمًا فَكَسَوْنَا الْعِظْمَ لَحْمًا
۱۴ اللَّهُ أَحْسَنُ الْخَالِقِينَ

Artinya: Dan sungguh, Kami telah menciptakan manusia dari saripati (berasal) dari tanah. Kemudian Kami menjadikannya air mani (yang disimpan) dalam tempat yang kokoh

(rahim). Kemudian, air mani itu Kami jadikan sesuatu yang melekat, lalu sesuatu yang melekat itu Kami jadikan segumpal daging, dan segumpal daging itu lalu Kami jadikan tulang belulang, lalu tulang belulang itu Kami bungkus dengan daging. Kemudian, Kami menjadikannya makhluk yang (berbentuk) lain. Mahasuci Allah, Pencipta yang paling baik.

Ayat ini menggambarkan proses penciptaan dari saripati tanah, air mani, segumpal darah, segumpal daging, hingga menjadi makhluk sempurna. Hal ini menunjukkan bahwa Islam telah memberikan perhatian besar terhadap fase-fase biologis manusia jauh sebelum ilmu embriologi berkembang. Bahkan hadis sahih dalam Shahih Bukhari dan Muslim menyebutkan tentang penciptaan manusia selama 120 hari dalam rahim dan peniupan ruh, yang menyiratkan keterkaitan erat antara perkembangan biologis dan spiritual manusia.

Perkembangan otak sebagai bagian dari sistem saraf pusat merupakan aspek fundamental dalam pembentukan karakter, akal, dan fungsi belajar manusia. Otak mulai terbentuk sejak minggu ketiga kehamilan melalui proses pembentukan lempeng saraf (neural plate), yang kemudian mengalami pembelahan, migrasi, dan diferensiasi menjadi berbagai struktur penting seperti korteks serebral, sistem limbik, dan batang otak (Sadler, 2021). Tahapan ini sangat menentukan kesiapan neurologis anak dalam menerima dan mengolah informasi setelah lahir. Oleh karena itu, memahami perkembangan otak sejak dalam kandungan menjadi dasar penting dalam membangun pendekatan pendidikan yang sesuai dengan kodrat biologis manusia.

Ilmu neuroembriologi menjelaskan bahwa selama fase prenatal, perkembangan otak mengalami masa-masa kritis yang sangat menentukan. Misalnya, pembentukan sinapsis (sinaptogenesis) dan mielinisasi menjadi fondasi utama bagi transmisi informasi antar neuron. Periode ini juga dikenal sebagai "golden period" atau masa emas perkembangan otak, di mana stimulus lingkungan dan kondisi biologis sangat memengaruhi struktur dan fungsi otak secara jangka panjang (Purves et al., 2020). Fakta ini menunjukkan bahwa pemahaman tentang perkembangan otak sangat relevan bagi dunia pendidikan, khususnya dalam mendesain pembelajaran yang sesuai dengan kesiapan neurologis anak.

Namun, dalam dunia pendidikan, termasuk pendidikan Islam, pemahaman tentang perkembangan otak masih cenderung terpisah dari paradigma kurikulum. Banyak pendekatan pembelajaran yang tidak mempertimbangkan kesiapan biologis peserta didik, sehingga menimbulkan ketimpangan antara materi dan kemampuan siswa dalam menyerapnya. Hal ini menciptakan beban belajar yang tidak seimbang dan dapat menghambat optimalisasi potensi fitrah yang dimiliki anak. Padahal dalam Islam, pendidikan dipahami sebagai proses menumbuhkan potensi akal, ruh, dan jasad secara harmonis dan integral (Al-Attas, 1990).

Islam mengajarkan bahwa akal adalah karunia utama manusia yang membedakannya dari makhluk lain. Akal inilah yang menjadi dasar taklif (kewajiban moral dan hukum) dan menjadi alat untuk memahami wahyu. Oleh karena itu, pendidikan Islam harus dibangun di atas pemahaman yang mendalam tentang perkembangan akal, yang dalam konteks ilmiah modern sangat erat kaitannya dengan perkembangan otak. Integrasi antara pengetahuan agama dan ilmu modern, seperti neuroembriologi, menjadi langkah penting untuk membangun sistem pendidikan Islam yang tidak hanya normatif, tetapi juga kontekstual dan saintifik.

Konsep fitrah dalam Islam juga menekankan bahwa manusia dilahirkan dalam keadaan suci dan memiliki potensi bawaan untuk mengenal kebenaran, mencintai keadilan, dan beriman kepada Tuhan. Potensi ini bersifat laten dan memerlukan stimulasi yang tepat agar berkembang secara optimal. Dalam hal ini, neuroembriologi menjelaskan bahwa proses pembentukan struktur-struktur otak tertentu sangat mendukung munculnya kecenderungan fitriah tersebut, terutama jika lingkungan sosial dan pendidikan memberikan stimulus yang positif. Oleh sebab itu, pendekatan pendidikan berbasis fitrah perlu didukung dengan pemahaman ilmiah tentang perkembangan otak manusia.

Lebih jauh, integrasi antara neuroembriologi dan pendidikan Islam dapat memberikan dasar ilmiah dalam menyusun strategi pembelajaran berbasis perkembangan

(developmentally appropriate practice). Dengan memahami bahwa fungsi-fungsi otak seperti memori, emosi, dan logika berkembang secara bertahap dan tidak serempak, maka kurikulum Islam bisa dirancang untuk menyesuaikan tahap perkembangan anak, baik secara kognitif maupun spiritual. Pendidikan akidah, ibadah, dan akhlak pun bisa diberikan secara bertahap dan sesuai kadar kemampuan berpikir anak.

Kajian interdisipliner seperti ini menjadi sangat penting untuk menjembatani pemisahan antara ilmu agama dan ilmu sains yang sering terjadi di dunia akademik Muslim. Pendekatan integratif ini sejalan dengan paradigma Islamisasi ilmu pengetahuan, yang menghendaki agar semua ilmu dikembangkan dalam kerangka tauhid dan kemaslahatan umat. Oleh karena itu, pengkajian terhadap neuroembriologi dalam perspektif Islam tidak hanya memperkaya khazanah keilmuan, tetapi juga menjadi kontribusi nyata terhadap pembaharuan sistem pendidikan Islam.

Di sisi lain, pemahaman tentang tahapan perkembangan otak juga memiliki implikasi penting terhadap pembentukan karakter dan kecerdasan emosional dalam pendidikan Islam. Fungsi prefrontal cortex, misalnya, yang berkaitan dengan kemampuan menimbang, mengambil keputusan, dan menahan diri, berkembang perlahan hingga usia dewasa. Fakta ini mendukung prinsip pendidikan Islam yang menekankan pembiasaan dan keteladanan sebelum penanaman nilai secara rasional. Artinya, pengasuhan dan pendidikan dini perlu menitikberatkan pada pembentukan kebiasaan baik dan pemberian lingkungan yang mendukung pertumbuhan spiritual dan intelektual secara alami.

Dengan latar belakang tersebut, kajian tentang neuroembriologi dan perkembangan otak menjadi penting dan strategis untuk dikaji secara mendalam dalam perspektif studi Islam. Makalah ini menjelaskan secara komprehensif konsep dan tahapan neuroembriologi, mengkaji keterkaitannya dengan perkembangan akal dan fitrah menurut Islam, serta merumuskan implikasinya bagi pengembangan pendidikan Islam yang saintifik dan berbasis perkembangan.

NEUROEMBRIOLOGI: KONSEP DAN RUANG LINGKUP

Ilmu neuroembriologi merupakan cabang khusus dari ilmu embriologi yang berfokus pada proses pembentukan dan perkembangan sistem saraf, khususnya otak dan sumsum tulang belakang, sejak tahap paling awal pembuahan hingga masa prenatal berakhir. Neuroembriologi berperan sebagai landasan bagi pemahaman ilmiah mengenai asal usul kemampuan berpikir, kesadaran, emosi, dan fungsi-fungsi kognitif yang menjadikan manusia sebagai makhluk rasional dan spiritual. Secara umum, neuroembriologi mempelajari proses morfogenesis saraf, proliferasi sel-sel saraf (neurogenesis), migrasi neuron, diferensiasi jaringan saraf, pembentukan sinapsis (synaptogenesis), serta mielinisasi akson (Sadler, 2021).

Dalam konteks medis, neuroembriologi menjadi krusial karena menyangkut masa pembentukan struktur dasar otak yang akan mempengaruhi fungsi neurologis dan psikologis manusia sepanjang hidupnya. Proses ini dimulai pada minggu ketiga kehamilan ketika lempeng saraf (neural plate) mulai terbentuk dari lapisan ektoderm embrio. Lempeng ini kemudian melipat membentuk tabung saraf (neural tube) pada minggu ke-4, yang kelak menjadi otak dan sumsum tulang belakang. Gangguan pada tahap ini dapat menyebabkan kecacatan seperti anensefali (tidak terbentuknya otak besar) atau spina bifida (cacat pada penutupan tabung saraf) (Moore & Persaud, 2019).

Tabung saraf berkembang menjadi tiga vesikel otak primer: prosensefalon (otak depan), mesensefalon (otak tengah), dan rombensefalon (otak belakang). Kemudian, vesikel-vesikel ini berkembang menjadi struktur-struktur otak yang lebih kompleks seperti korteks serebral, thalamus, hipotalamus, otak tengah, pons, medula oblongata, dan serebelum. Tahapan ini terjadi secara bertahap dan dipengaruhi oleh faktor genetik serta lingkungan intrauterin seperti nutrisi ibu, hormon, dan stres (Purves et al., 2020).

Neuroembriologi juga mencakup aspek perkembangan sistem saraf perifer, termasuk pembentukan neuron sensorik dan motorik, serta perkembangan sistem otonom yang mengatur fungsi organ-organ tubuh secara otomatis. Sel-sel saraf yang terbentuk melalui proses neurogenesis mengalami migrasi ke lokasi fungsionalnya di korteks otak, kemudian membentuk sambungan-sambungan (sinapsis) yang memungkinkan terjadinya komunikasi

antarneuron. Sinaptogenesis ini sangat padat terjadi pada masa akhir kehamilan dan tahun-tahun awal kehidupan, dan menjadi fondasi penting untuk kemampuan belajar dan berpikir.

Pada fase akhir kehamilan, proses mielinisasi dimulai, yaitu pelapisan akson dengan mielin yang mempercepat transmisi impuls saraf. Proses ini tidak selesai saat lahir, tetapi berlanjut hingga remaja bahkan dewasa. Oleh karena itu, banyak fungsi kognitif seperti pengambilan keputusan, pengendalian emosi, dan berpikir kritis baru berkembang optimal setelah usia dewasa. Dengan demikian, pemahaman tentang neuroembriologi memberikan pemahaman penting bahwa perkembangan neurologis manusia tidak terjadi secara instan, tetapi melalui fase-fase yang kompleks, dinamis, dan sangat rentan terhadap intervensi lingkungan.

Ilmu neuroembriologi bukan hanya memiliki nilai medis, tetapi juga relevan secara teoretis dan praktis dalam pengembangan kebijakan pendidikan dan pengasuhan anak. Hal ini karena sistem saraf, khususnya otak, adalah substrat biologis dari kemampuan belajar, memori, bahasa, atensi, dan regulasi emosi. Dengan memahami bagaimana otak terbentuk dan berkembang, para pendidik dapat menyusun strategi pendidikan yang lebih sesuai dengan kesiapan dan kebutuhan anak pada setiap tahap usia.

Salah satu kontribusi besar neuroembriologi adalah pada konsep periode kritis (critical period) dan periode sensitif dalam perkembangan otak. Pada masa-masa ini, otak sangat responsif terhadap rangsangan lingkungan, dan ketidakhadiran rangsangan yang tepat dapat menyebabkan keterlambatan atau bahkan kehilangan fungsi tertentu secara permanen. Misalnya, jika anak tidak mendapatkan paparan bahasa secara cukup dalam periode sensitif bahasa (0–5 tahun), maka kemampuan bahasa anak dapat terganggu secara permanen meskipun dirangsang kemudian. Oleh karena itu, neuroembriologi menjadi dasar ilmiah untuk mengembangkan pendekatan pembelajaran yang berbasis pada tahapan perkembangan otak (Kolb & Gibb, 2011).

Dari sudut pandang filsafat ilmu, neuroembriologi adalah bentuk pengetahuan empirik yang bersifat eksplanatoris dan prediktif. Ia menjelaskan sebab-musabab perkembangan struktur otak secara fisik, sekaligus memprediksi konsekuensi fungsionalnya bagi perilaku dan kemampuan kognitif. Oleh karena itu, dalam kerangka integrasi antara ilmu keislaman dan sains modern, neuroembriologi dapat ditempatkan sebagai salah satu bentuk ilmu kauniah (pengetahuan tentang alam) yang dapat memperkuat pemahaman terhadap ayat-ayat Allah di dalam diri manusia, sebagaimana disebut dalam QS. Fussilat: 53:

﴿٥٣﴾ عَلَى كُلِّ شَيْءٍ شَهِيدٌ سُرِّيهِمْ آيَاتِنَا فِي الْأَفَاقِ وَفِي أَنْفُسِهِمْ حَتَّىٰ يَتَبَيَّنَ لَهُمْ أَنَّهُ الْحَقُّ أَوَلَمْ يَغْفِرْ بَرَكَةً أَنَّهُ

“Kami akan memperlihatkan kepada mereka tanda-tanda (kekuasaan) Kami di segenap penjuru dan pada diri mereka sendiri, hingga jelas bagi mereka bahwa Al-Qur'an itu adalah benar.”

Lebih jauh, neuroembriologi sebagai ilmu kauniah tidak bertentangan dengan nilai-nilai wahyu, melainkan memperkuat makna dari penciptaan manusia sebagai makhluk yang diciptakan dengan kesempurnaan dan tanggung jawab besar. Hal ini ditegaskan dalam QS. At-Tin: 4:

﴿٤﴾ لَقَدْ خَلَقْنَا الْإِنْسَانَ فِي أَحْسَنِ تَقْوِيمٍ

Artinya: “Sesungguhnya Kami telah menciptakan manusia dalam bentuk yang sebaik-baiknya.”

Dengan memahami bagaimana sistem saraf terbentuk dari sel tunggal menjadi struktur yang sangat kompleks, manusia bisa merenungi kebesaran Allah dan mengembangkan sistem pendidikan yang lebih sesuai dengan realitas biologis dan spiritual manusia. Maka, neuroembriologi dapat menjadi jembatan epistemologis antara sains dan agama, sekaligus menjadi pendorong untuk membentuk pendidikan Islam yang berbasis pada pengetahuan ilmiah dan nilai-nilai tauhid.

Neuroembriologi merupakan disiplin yang sangat vital dalam menjelaskan dimensi biologis dari potensi manusia, khususnya dalam hal akal dan kemampuan belajar. Ruang lingkupnya meliputi seluruh tahap perkembangan sistem saraf sejak konsepsi hingga terbentuknya struktur dan fungsi otak yang matang. Integrasi pemahaman ini dalam studi Islam, khususnya pendidikan Islam, menjadi sangat relevan dalam era modern yang

menuntut pendekatan yang holistik, berbasis data ilmiah, namun tetap berpijak pada nilai-nilai spiritual yang otentik.

TAHAPAN PERKEMBANGAN OTAK PADA FASE PRENATAL

Perkembangan otak manusia selama fase prenatal merupakan proses kompleks dan sangat terstruktur yang berlangsung sejak minggu ketiga setelah pembuahan hingga akhir kehamilan. Proses ini mencerminkan perjalanan luar biasa dari sel-sel awal yang sederhana menuju organ paling kompleks dalam tubuh manusia. Setiap tahapan perkembangan otak pada fase ini memiliki implikasi besar terhadap kapasitas kognitif, emosional, dan spiritual manusia di masa depan (Kolb & Whishaw, 2015).

Tahapan awal dimulai dengan pembentukan lempeng saraf (neural plate) dari lapisan ektoderm embrio sekitar hari ke-18 pasca pembuahan. Lempeng ini kemudian melipat membentuk tabung saraf (neural tube) pada sekitar hari ke-21 hingga 28. Tabung saraf inilah yang kemudian menjadi cikal bakal sistem saraf pusat, yakni otak dan sumsum tulang belakang (Sadler, 2021). Pembentukan dan penutupan tabung saraf harus berlangsung sempurna, karena kegagalannya akan mengakibatkan kelainan seperti spina bifida atau anensefali.

Setelah pembentukan tabung saraf, perkembangan otak memasuki fase diferensiasi regional, yakni pembentukan tiga vesikel otak primer: prosensefalon (otak depan), mesensefalon (otak tengah), dan rombensefalon (otak belakang). Ketiga bagian ini kemudian berkembang menjadi lima vesikel sekunder yang menjadi struktur-struktur utama otak, seperti korteks serebral, thalamus, serebelum, dan medula oblongata (Moore & Persaud, 2019).

Tahap selanjutnya adalah neurogenesis, yaitu proses pembentukan neuron (sel saraf) yang terjadi terutama pada trimester pertama hingga awal trimester kedua. Neuron-neuron ini kemudian bermigrasi menuju posisi akhirnya dalam struktur otak melalui proses migrasi neuron yang diatur oleh kode genetik dan sinyal molekuler. Setelah mencapai posisi yang tepat, neuron akan membentuk koneksi melalui sinaptogenesis atau pembentukan sinapsis.

Penting untuk dicatat bahwa otak janin mengalami lonjakan sinaptogenesis menjelang akhir kehamilan, yang akan terus berlanjut dengan cepat setelah bayi lahir. Proses mielinisasi, yakni pelapisan akson dengan mielin untuk mempercepat transmisi impuls saraf, dimulai pada trimester ketiga dan berlanjut hingga masa remaja. Mielinisasi sangat berpengaruh terhadap kematangan fungsi motorik dan kognitif anak (Purves et al., 2020).

Seluruh tahapan ini terjadi dalam periode kritis perkembangan, yang sangat rentan terhadap pengaruh lingkungan seperti kekurangan gizi, infeksi, stres maternal, dan paparan zat toksik. Gangguan pada fase ini dapat menyebabkan gangguan perkembangan otak permanen yang berdampak pada pembelajaran, perilaku, dan kesehatan mental di kemudian hari (Stiles & Jernigan, 2010).

Dari perspektif pendidikan Islam, pemahaman terhadap tahapan perkembangan otak ini memperkuat urgensi pemberian perhatian pada ibu hamil dan janin sebagai bagian integral dari pendidikan manusia. Tahapan-tahapan ini membuktikan bahwa pendidikan dan pembentukan potensi manusia tidak hanya dimulai setelah lahir, tetapi sejak dalam kandungan, sejalan dengan pandangan Islam tentang pentingnya pengasuhan prenatal (QS. Al-A'raf: 189, QS. Luqman: 14).

PERKEMBANGAN OTAK DAN KESIAPAN BELAJAR ANAK

Pengetahuan tentang perkembangan otak memiliki implikasi langsung terhadap kesiapan belajar anak. Penelitian dalam bidang neurosains menunjukkan bahwa fungsi-fungsi otak seperti memori, perhatian, bahasa, dan pengendalian emosi berkembang secara bertahap dan tidak serempak. **Lobus prefrontal**, yang bertanggung jawab atas fungsi eksekutif seperti penalaran, pengambilan keputusan, dan kontrol impuls, berkembang paling lambat dan baru matang penuh pada usia sekitar 25 tahun (Diamond, 2013).

Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan pendidikan yang terlalu kognitif dan abstrak pada usia dini justru tidak efektif jika belum sesuai dengan kesiapan neurologis anak. Sebaliknya, stimulasi melalui interaksi sosial, permainan edukatif, dan pendekatan afektif lebih sejalan dengan perkembangan otak pada tahap awal. Prinsip ini sejalan dengan

pendekatan *developmentally appropriate practice (DAP)* dalam pendidikan modern, yang menekankan pentingnya menyesuaikan metode dan materi pembelajaran dengan fase perkembangan otak anak.

Dalam konteks pendidikan Islam, hal ini membuka ruang bagi desain pembelajaran yang lebih manusiawi dan berbasis perkembangan alami. Misalnya, penanaman nilai akidah dan akhlak bisa dimulai sejak dini melalui pembiasaan dan teladan, bukan melalui penjelasan rasional yang belum dapat dipahami anak. Dengan demikian, pemahaman terhadap perkembangan otak bisa memperkuat dasar pedagogis dalam sistem pendidikan Islam.

PANDANGAN ISLAM TENTANG PENCIPTAAN MANUSIA DAN PERKEMBANGAN AKAL

Al-Qur'an memberikan penjelasan yang sangat detil mengenai proses penciptaan manusia di dalam rahim, sebagaimana dalam QS. Al-Mu'minun: 12–14 dan QS. Al-Hajj: 5. Ayat-ayat ini menggambarkan penciptaan manusia dalam beberapa tahap: dari *nuthfah* (air mani), *alaqah* (segumpal darah), *mudghah* (segumpal daging), hingga terbentuknya tulang dan daging, kemudian ditiupkan ruh. Hadis sahih riwayat Bukhari dan Muslim menambahkan bahwa proses ini berlangsung selama 120 hari, terbagi dalam fase 40 hari.

Islam juga menegaskan bahwa akal merupakan aspek fundamental dalam diri manusia. Akal adalah instrumen untuk memahami wahyu, membedakan benar dan salah, dan menjadi dasar bagi tanggung jawab moral. Imam al-Ghazali dalam *Ihya' Ulumuddin* menyebut akal sebagai "pokok ilmu dan amal." Maka, perkembangan akal adalah bagian integral dari proses pendidikan dalam Islam.

Penting dicatat bahwa Islam memandang akal tidak terpisah dari unsur spiritual dan moral. Dalam hal ini, konsep akal dalam Islam tidak identik dengan rasio modern Barat yang bersifat sekular dan reduksionis. Akal dalam pandangan Islam adalah perangkat ilahiah yang berkembang seiring perkembangan jasmani, ruhani, dan lingkungan sosial, sehingga harus dididik secara integral dan bertahap.

INTEGRASI TEMUAN NEUROEMBRIOLOGI DENGAN KONSEP FITRAH DAN PENDIDIKAN ISLAM

Salah satu konsep utama dalam pendidikan Islam adalah **fitrah**, yakni keadaan suci dan potensi dasar yang dibawa manusia sejak lahir. Fitrah mencakup kecenderungan kepada kebaikan, kebenaran, dan keimanan kepada Allah (QS. Ar-Rum: 30). Dalam konteks neuroembriologi, fitrah dapat dipahami sebagai potensi biologis dan spiritual yang tertanam dalam struktur otak dan jiwa manusia, yang siap dikembangkan melalui pendidikan yang tepat.

Temuan dalam neuroembriologi memperkuat gagasan bahwa manusia lahir dengan kesiapan biologis untuk belajar, mencintai, dan beriman, tetapi membutuhkan bimbingan lingkungan agar potensi itu berkembang. Maka, pendidikan Islam harus dirancang untuk mengembangkan fitrah tersebut secara bertahap dan sesuai dengan kesiapan otak. Misalnya, fase prasekolah difokuskan pada pembiasaan nilai, pengenalan keindahan ibadah, dan pembentukan karakter melalui interaksi positif, bukan pada hafalan doktrinal yang berat.

Dengan demikian, integrasi antara ilmu neuroembriologi dan ajaran Islam bukanlah hal yang bertentangan, melainkan saling menguatkan. Di satu sisi, ilmu membantu menjelaskan proses biologis yang menopang perkembangan jiwa dan akal; di sisi lain, wahyu memberikan arah moral dan spiritual bagi pengembangan potensi tersebut. Kolaborasi ini penting dalam membangun sistem pendidikan Islam yang kontekstual, saintifik, dan transformatif.

ANALISIS PERKEMBANGAN OTAK DAN IMPLIKASI TERHADAP PEMBELAJARAN

1. Otak sebagai Substrat Belajar

Otak merupakan substrat biologis utama dari seluruh aktivitas kognitif, afektif, dan psikomotorik dalam proses pembelajaran. Dalam pandangan neuropsikologi, semua bentuk

belajar—baik eksplisit maupun implisit—berakar pada aktivitas neurologis di dalam jaringan otak, khususnya pada struktur korteks serebral, sistem limbik, dan otak kecil (cerebellum). Kemampuan untuk memperhatikan, mengingat, memahami, memecahkan masalah, hingga mengekspresikan ide, semuanya bergantung pada kematangan dan efisiensi fungsi otak (Jensen, 2008).

Khususnya dalam fase awal kehidupan, otak anak menunjukkan plastisitas luar biasa, artinya otak memiliki kemampuan membentuk dan memperkuat jaringan sinapsis sebagai respons terhadap pengalaman. Aktivitas belajar secara langsung mendorong terbentuknya koneksi antarneuron, dan koneksi ini akan diperkuat dengan pengulangan serta penguatan emosional. Maka, pembelajaran bukan sekadar proses mental yang abstrak, melainkan proses biologis yang nyata di dalam otak (Tokuhamu-Espinosa, 2011).

Dalam kerangka pendidikan Islam, pernyataan ini sejalan dengan konsep bahwa manusia dianugerahi akal ('aql) yang menjadi pembeda utama dari makhluk lain. QS. Al-Baqarah: 31 menegaskan bahwa Allah mengajarkan kepada manusia nama-nama, yang dalam tafsir banyak ulama dipahami sebagai dasar kemampuan berpikir dan mengetahui. Hal ini tidak akan mungkin terjadi tanpa keberadaan substrat biologis berupa otak yang diciptakan dan dikembangkan secara sempurna sejak fase embriologis.

2. Kapan Waktu Optimal Stimulasi dan Pendidikan?

Hasil kajian neuroembriologi dan neurosains menyepakati bahwa ada periode kritis dan periode sensitif dalam perkembangan otak. Periode kritis (critical period) adalah masa ketika otak harus menerima stimulasi tertentu untuk dapat mengembangkan fungsi-fungsi tertentu, sedangkan periode sensitif (sensitive period) adalah masa ketika otak sangat responsif terhadap stimulasi, meski belum sepenuhnya tertutup jika terlewat.

Dalam hal ini, 1.000 hari pertama kehidupan (sejak konsepsi hingga usia 2 tahun) adalah fase emas perkembangan otak, karena lebih dari 80% struktur otak terbentuk dan tersusun dalam periode ini. Bahkan, pada usia 3 tahun, otak anak telah mencapai 80% ukuran otak dewasa. Oleh karena itu, intervensi pendidikan, pengasuhan, gizi, dan stimulasi emosional yang tepat pada masa ini sangat menentukan kualitas fungsi kognitif dan emosi anak di kemudian hari (Shonkoff & Phillips, 2000).

Artinya, pendidikan tidak dimulai sejak masuk sekolah formal, melainkan sejak dalam kandungan. Dalam Islam, hal ini ditegaskan dalam QS. Luqman: 14 dan QS. Al-Mu'minun: 12–14 yang menunjukkan pentingnya perhatian terhadap pembentukan manusia dari awal penciptaannya. Stimulasi verbal, sentuhan kasih sayang, dan pemenuhan kebutuhan spiritual dan fisik selama masa prenatal dan masa awal anak sangat dianjurkan.

3. Pendidikan Usia Dini Berdasarkan Perkembangan Neuro

Pendidikan usia dini (PAUD) seharusnya tidak dipandang sebagai "pra-sekolah" biasa, melainkan sebagai fase pendidikan paling strategis yang berbasis pada perkembangan neurologis. Konsep *developmentally appropriate practice* (DAP) dalam psikologi pendidikan menyarankan agar kegiatan belajar anak usia dini dirancang berdasarkan tahap perkembangan otak dan kemampuan kognitif-emosional anak.

Otak anak usia dini bekerja sangat aktif dalam membangun sinapsis. Setiap stimulasi, baik dalam bentuk cerita, gerakan, lagu, permainan, atau interaksi sosial, akan memperkuat koneksi neural yang dibutuhkan untuk berpikir, berbahasa, mengendalikan emosi, dan berperilaku sosial. Dengan demikian, pendekatan tematik, integratif, bermain sambil belajar, dan berbasis pengalaman nyata sangat sejalan dengan prinsip neuroedukasi (Sousa, 2011).

Dari perspektif Islam, perhatian terhadap pendidikan sejak usia dini telah lama diangkat oleh para ulama, seperti Al-Ghazali yang menekankan pentingnya ta'dib (pendidikan adab) sejak anak mulai memahami lingkungan. Hal ini selaras dengan perkembangan otak yang mulai mampu membedakan dan merekam respons moral, emosional, dan sosial sejak usia 3 tahun ke atas. Maka, integrasi antara pengetahuan neurosains dan nilai-nilai Islam perlu dijadikan dasar untuk merancang kurikulum PAUD Islami yang efektif.

4. Pentingnya Lingkungan Belajar dalam Masa Emas Otak

Lingkungan belajar memiliki peran sangat penting dalam membentuk struktur dan fungsi otak anak, terutama pada masa-masa sensitif. Lingkungan yang kaya secara sensorik, penuh kasih sayang, bebas stres berlebih, dan menyediakan kesempatan eksplorasi, akan

menstimulasi pertumbuhan sinapsis dan meningkatkan efisiensi koneksi otak. Sebaliknya, lingkungan yang penuh tekanan, kekerasan, atau kekosongan rangsangan dapat menghambat atau bahkan merusak perkembangan otak anak (Center on the Developing Child, Harvard University, 2010).

Perlu ditegaskan bahwa otak berkembang dalam konteks sosial. Interaksi dengan orang tua, guru, teman sebaya, dan lingkungan fisik sangat menentukan kualitas pembelajaran. Oleh karena itu, desain lingkungan belajar di rumah, sekolah, maupun masyarakat harus mempertimbangkan aspek neuropsikologis. Suasana belajar yang menyenangkan, aman, berstruktur, dan memotivasi akan mendorong sekresi neurotransmitter seperti dopamin dan serotonin yang memperkuat proses belajar.

Dalam perspektif Islam, hal ini menguatkan konsep pentingnya lingkungan shalih (bi'ah shalihah) sebagai bagian dari tarbiyah. Nabi Muhammad SAW sangat memperhatikan pembentukan lingkungan madrasah awal (Dar al-Arqam) yang menjadi tempat ideal untuk tumbuhnya para sahabat yang kuat iman dan akalnya. Maka, dalam masa emas perkembangan otak anak, pendidikan Islam hendaknya hadir dalam bentuk lingkungan spiritual-emosional yang sehat, tidak hanya melalui metode pengajaran, tetapi juga melalui keteladanan dan suasana kasih sayang.

INTEGRASI KONSEP NEUROEMBRIOLOGI DENGAN PANDANGAN PENDIDIKAN ISLAM

Integrasi antara neuroembriologi dan pendidikan Islam merupakan pendekatan holistik yang memadukan temuan-temuan ilmiah modern dengan nilai-nilai transendental Islam dalam memahami asal-usul dan potensi manusia. Neuroembriologi menjelaskan secara biologis bagaimana otak manusia berkembang sejak tahap zigot hingga mencapai kompleksitas struktur saraf yang memungkinkan manusia berpikir, merasa, dan bertindak. Dalam Islam, proses ini diungkap secara spiritual dalam Al-Qur'an, seperti pada QS. Al-Mu'minun: 12–14, yang menggambarkan tahapan penciptaan manusia dari tanah, setetes mani, segumpal darah, segumpal daging, hingga ditiupkannya ruh. Ayat ini mencerminkan keselarasan antara dimensi biologis dan spiritual dalam perkembangan manusia.

Dari sudut pandang Islam, penciptaan manusia bukan sekadar proses biologis, tetapi merupakan peristiwa sakral yang sarat dengan tanggung jawab keilmuan dan moral. Pendidikan dalam Islam tidak hanya diarahkan untuk menumbuhkan kemampuan intelektual, tetapi juga untuk mengembangkan dimensi ruhiyah dan akhlak. Oleh karena itu, pengetahuan tentang neuroembriologi semestinya tidak berhenti pada penguasaan ilmu kedokteran atau biologi, tetapi menjadi dasar untuk membangun paradigma pendidikan yang memuliakan fitrah manusia sejak dalam kandungan. Proses ini memperkuat pandangan bahwa pendidikan dimulai jauh sebelum anak memasuki bangku sekolah formal.

Selanjutnya, pendekatan pendidikan Islam menekankan prinsip *tarbiyah*, yakni proses pembinaan manusia secara menyeluruh: jasmani, akal, dan ruhani. Dengan memahami bahwa perkembangan otak dan sistem saraf dimulai sejak fase prenatal, maka tarbiyah harus diarahkan sedini mungkin—melalui perhatian terhadap gizi ibu, pengendalian stres, pembacaan ayat-ayat suci di masa kehamilan, hingga pembiasaan dzikir dan doa. Hal ini mencerminkan pendekatan integratif antara ikhtiar ilmiah dan spiritual untuk menjamin perkembangan anak yang optimal secara neurologis dan spiritual.

Salah satu implikasi penting dari integrasi ini adalah perlunya membangun kesadaran di kalangan pendidik dan orang tua Muslim bahwa kualitas pendidikan tidak hanya ditentukan oleh isi kurikulum, tetapi juga oleh pemahaman terhadap kesiapan otak dan tahapan perkembangan anak. Pendidikan Islam yang tidak mengindahkan perkembangan otak bisa menghasilkan pemaksaan materi di luar kesiapan biologis, yang pada akhirnya menimbulkan tekanan dan ketidakefektifan belajar. Sebaliknya, pemahaman terhadap neuroembriologi akan mendorong penerapan metode yang *rahmatan lil alamin*, sesuai fitrah dan sesuai tahap pertumbuhan anak.

Ulama seperti Ibnu Sina dan Al-Ghazali juga telah menyinggung pentingnya pertumbuhan bertahap dalam pendidikan. Ibnu Sina, misalnya, dalam *Kitab al-Shifa'* membagi tahapan pendidikan berdasarkan usia dan kesiapan berpikir anak. Ini selaras

dengan pendekatan neuroscience modern yang menekankan pada tahapan perkembangan otak, khususnya korteks prefrontal yang belum matang pada usia dini dan baru berkembang penuh sekitar usia 25 tahun. Maka, tuntutan pendidikan moral dan rasional yang berat harus diberikan secara bertahap sesuai kematangan struktur otak.

Lebih lanjut, dalam kerangka integrasi ini, peran lingkungan spiritual dan sosial dalam pendidikan menjadi sangat krusial. Neurosains menunjukkan bahwa lingkungan emosional yang positif mendukung pelepasan hormon-hormon seperti oksitosin dan dopamin yang memperkuat koneksi sinaptik. Hal ini senada dengan prinsip *mahabbah* (cinta) dan *rahmah* (kasih sayang) yang ditekankan dalam pendidikan Islam. Pendidikan bukan sekadar transmisi ilmu, tetapi pembentukan karakter dan jiwa melalui keteladanan, suasana ruhani, dan kehangatan emosional.

Dengan demikian, integrasi antara konsep neuroembriologi dan pendidikan Islam bukan sekadar penyatuan dua disiplin ilmu, tetapi sebuah sinergi paradigmatik yang mengarahkan pendidikan pada keutuhan manusia. Pendidikan tidak cukup hanya berbasis pada logika dan data ilmiah, tetapi juga harus berlandaskan pada nilai-nilai spiritual yang meneguhkan martabat manusia sebagai makhluk mulia (QS. Al-Isra': 70). Maka, pendidikan Islam masa kini dan masa depan harus berpijak pada ilmu-ilmu kontemporer seperti neurosains, sekaligus tidak kehilangan akar nilai wahyu yang membimbing arah dan tujuan kehidupan.

INTEGRASI WAHYU DAN ILMU: STRATEGI PENDIDIKAN BERBASIS FITRAH DAN OTAK

Pendidikan Islam sejatinya tidak bertentangan dengan sains, termasuk sains neurologis dan embriologis modern. Justru, Islam mendorong pencarian dan pengembangan ilmu pengetahuan sebagai bagian dari ibadah dan amanah kekhalifahan manusia di muka bumi (QS. Al-'Alaq: 1–5; QS. Al-Mujadilah: 11). Banyak ayat Al-Qur'an yang mengajak manusia untuk menggunakan akalnya, merenungkan penciptaan, dan mengambil pelajaran dari proses biologis alam semesta—termasuk penciptaan manusia. Maka, sinergi antara wahyu dan ilmu bukanlah konsep baru, tetapi warisan epistemologis Islam yang telah lama ditegaskan oleh ulama seperti Al-Farabi, Ibnu Sina, dan Al-Ghazali.

Konsep fitrah dalam Islam, sebagaimana disebutkan dalam QS. Ar-Rum: 30, menunjukkan bahwa manusia diciptakan dengan kecenderungan dasar menuju kebenaran dan keimanan. Dalam konteks neuropsikologi, fitrah ini memiliki korelasi dengan adanya potensi biologis dalam otak manusia yang memungkinkan berkembangnya fungsi-fungsi moral, spiritual, dan sosial. Studi neurosains menunjukkan bahwa bagian otak seperti prefrontal cortex dan sistem limbik berkaitan dengan empati, pengambilan keputusan etis, serta kesadaran diri (Siegel, 2012). Artinya, potensi dasar manusia untuk mengenal Tuhan, berpikir logis, dan berperilaku baik memang telah diprogramkan dalam struktur otak sejak awal penciptaan. Fitrah bukan hanya konsep teologis, melainkan juga memiliki dasar biologis.

Strategi pendidikan berbasis fitrah dan otak berarti membangun sistem pendidikan yang tidak hanya menyampaikan informasi, tetapi juga mengembangkan potensi akal dan jiwa secara terpadu. Kurikulum Islami dalam konteks ini haruslah menjadi panduan yang menyeimbangkan aspek kognitif, afektif, dan spiritual peserta didik. Kurikulum bukan hanya sebagai perangkat administratif, tetapi sebagai wahana pembinaan karakter dan potensi manusia secara menyeluruh (Azra, 2012). Oleh karena itu, pendekatan kurikulum harus adaptif terhadap tahapan perkembangan otak, mendorong eksplorasi ilmiah, dan tetap membimbing peserta didik dalam nilai-nilai keislaman seperti tauhid, akhlak, dan tanggung jawab sosial.

Sebagai contoh, pada masa anak usia dini, pembelajaran berbasis pengalaman, permainan edukatif, dan cerita-cerita profetik sangat efektif dalam menanamkan nilai-nilai dasar. Sementara itu, pada masa remaja, saat prefrontal cortex mulai matang, kurikulum harus mengarahkan peserta didik untuk berpikir kritis, berdiskusi, dan mengembangkan penalaran moral. Ini menunjukkan bahwa integrasi wahyu dan ilmu dalam pendidikan bukanlah upaya artifisial, melainkan sesuatu yang inheren dalam tradisi pendidikan Islam yang sejati.

KESIMPULAN

Makalah ini membuktikan bahwa kajian neuroembriologi sangat relevan untuk memperkaya pemahaman tentang perkembangan manusia, khususnya dalam konteks pendidikan Islam. Proses perkembangan otak manusia dimulai sejak fase prenatal melalui tahapan biologis yang kompleks, seperti pembentukan tabung saraf, neurogenesis, migrasi neuron, sinaptogenesis, dan mielinisasi. Proses ini membentuk dasar neurologis bagi kemampuan berpikir, belajar, dan berperilaku manusia sepanjang hayat.

Dalam perspektif Islam, tahapan penciptaan manusia sebagaimana dijelaskan dalam Al-Qur'an dan hadis selaras dengan temuan ilmiah modern. Konsep fitrah dalam Islam, yang memandang manusia sebagai makhluk yang memiliki potensi dasar menuju kebaikan, diperkuat oleh keberadaan sistem saraf dan struktur otak yang memang sejak awal dirancang untuk tumbuh, belajar, dan menerima nilai-nilai luhur. Hal ini menunjukkan bahwa Islam tidak bertentangan dengan sains, melainkan dapat berdialog produktif dengan temuan ilmiah kontemporer.

Implikasi pendidikan dari kajian ini sangat jelas. Pendidikan Islam perlu memperhatikan tahapan perkembangan otak dan kesiapan kognitif peserta didik dalam merancang strategi pembelajaran. Stimulasi yang tepat pada masa-masa kritis dan sensitif sangat berperan dalam membentuk kecerdasan, karakter, dan spiritualitas anak. Dengan demikian, integrasi antara ilmu neuroembriologi dan nilai-nilai Islam dapat melahirkan paradigma pendidikan Islam yang lebih kontekstual, ilmiah, dan manusiawi.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Attas, S. M. N. (1990). *Islam and Secularism*. Kuala Lumpur: ISTAC.

Al-Ghazali. *Ihya' Ulumuddin*.

Al-Qur'an al-Karim.

Al-Qur'an al-Karim: QS. Al-'Alaq: 1–5; QS. Ar-Rum: 30; QS. Al-Mujadilah: 11.

Al-Qur'an al-Karim: QS. Al-A'raf: 189; QS. Luqman: 14.

Al-Qur'an al-Karim: QS. Al-Baqarah: 31; QS. Luqman: 14; QS. Al-Mu'minun: 12–14.

Al-Qur'an al-Karim: QS. Fussilat: 53, QS. At-Tin: 4

Azra, A. (2012). *Pendidikan Islam: Tradisi dan Modernisasi Menuju Milenium Baru*. Logos Wacana Ilmu.

Center on the Developing Child. (2010). *The Foundations of Lifelong Health Are Built in Early Childhood*. Harvard University.

Diamond, A. (2013). "Executive Functions." *Annual Review of Psychology*, 64(1), 135–168.

Hadis Shahih Bukhari dan Muslim

Jensen, E. (2008). *Brain-Based Learning: The New Paradigm of Teaching*. Corwin Press.

Kolb, B., & Gibb, R. (2011). "Brain plasticity and behaviour in the developing brain." *Journal of the Canadian Academy of Child and Adolescent Psychiatry*, 20(4), 265–276.

Kolb, B., & Whishaw, I. Q. (2015). *An Introduction to Brain and Behavior*. Worth Publishers.

- Moore, K. L., & Persaud, T. V. N. (2019). *The Developing Human: Clinically Oriented Embryology*. 11th Ed. Elsevier.
- Nasr, S. H. (1993). *Knowledge and the Sacred*. State University of New York Press.
- Purves, D., Augustine, G. J., & Fitzpatrick, D. (2020). *Neuroscience*. 6th Ed. Sinauer Associates.
- Sadler, T. W. (2021). *Langman's Medical Embryology*. 15th Ed. Wolters Kluwer.
- Shonkoff, J. P., & Phillips, D. A. (2000). *From Neurons to Neighborhoods: The Science of Early Childhood Development*. National Academies Press.
- Siegel, D. J. (2012). *The Developing Mind: How Relationships and the Brain Interact to Shape Who We Are*. Guilford Press.
- Sousa, D. A. (2011). *How the Brain Learns*. Corwin Press.
- Stiles, J., & Jernigan, T. L. (2010). "The basics of brain development." *Neuropsychology Review*, 20(4), 327–348.
- Tokuhama-Espinosa, T. (2011). *Mind, Brain, and Education Science: A Comprehensive Guide to the New Brain-Based Teaching*. W. W. Norton & Company.