Journal of Dietetics Science (JDS)
Volume 2, Nomor 1, 2026
ISSN 3109-2446
https://ejurnal.poltekkes-tjk.ac.id/index.php/jds

Neuronutrisi dalam Siklus Kehidupan: Tinjauan Naratif tentang Pengaruh Pola Makan terhadap Fungsi Neuropsikologis

Anwar Lubis[1]*
[1]Program Studi Tata Boga, Jurusan Pariwisata dan Perhotelan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar, Makassar, Indonesia

*email: anwar.lubis@unm.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel

Dikirim: 5 Mei 2026

Revisi: 21 Mei 2026

Diterima: 5 Juni 2026

Keywords:

diet;
neuronutrition;
nervous system;
lifespan.

ABSTRACT

Dietary patterns play a crucial role in shaping neuropsychological function across the human lifespan. This study aims to synthesize current evidence on the relationship between nutrition and brain function from the prenatal period to old age using a narrative review approach. A systematic literature search was conducted across PubMed, Scopus, ScienceDirect, and Google Scholar within the 2020–2026 range. A total of 150 articles were identified, with 10 studies meeting the inclusion criteria and included in the final synthesis. The findings indicate that during the prenatal phase, brain development is highly dependent on maternal nutrition, particularly through mechanisms involving glucose transporters (GLUT1 and GLUT3) that regulate neuronal energy supply. In adulthood, neuronutrition strategies—such as anti-inflammatory diets, omega-3 fatty acids, creatine, and polyphenols—demonstrate significant potential in enhancing neuroplasticity and supporting recovery from neurological impairments. In older adults, adherence to healthy dietary patterns, including the Mediterranean diet, is consistently associated with reduced cognitive decline and lower risk of neurodegenerative diseases. These findings highlight that stage-specific nutritional interventions can serve as effective preventive and therapeutic strategies to maintain brain health. The integration of evidence-based and personalized neuronutrition approaches is therefore essential in optimizing neuropsychological outcomes across the lifespan.

Kata Kunci*:*

diet;
neuronutrisi;
sistem saraf;
siklus kehidupan

ABSTRAK

Pola makan memiliki peran penting dalam membentuk fungsi neuropsikologis sepanjang siklus kehidupan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis bukti terkini mengenai hubungan antara nutrisi dan fungsi otak sejak periode prenatal hingga usia lanjut dengan menggunakan pendekatan tinjauan naratif. Pencarian literatur dilakukan secara sistematis melalui basis data PubMed, Scopus, ScienceDirect, dan Google Scholar pada rentang tahun 2020–2026. Sebanyak 150 artikel teridentifikasi, dengan 10 studi memenuhi kriteria inklusi dan dianalisis dalam sintesis akhir. Hasil kajian menunjukkan bahwa pada fase prenatal, perkembangan otak sangat bergantung pada nutrisi maternal, khususnya melalui mekanisme yang melibatkan transporter glukosa (GLUT1 dan GLUT3) dalam mengatur suplai energi neuronal. Pada usia dewasa, strategi neuronutrisi, seperti diet anti-inflamasi, asam lemak omega-3, kreatin, dan polifenol; menunjukkan potensi signifikan dalam meningkatkan neuroplastisitas serta mendukung pemulihan gangguan neurologis. Pada kelompok lansia, kepatuhan terhadap pola makan sehat, termasuk diet Mediterania, secara konsisten dikaitkan dengan penurunan risiko penurunan kognitif dan penyakit neurodegeneratif. Temuan ini menegaskan bahwa intervensi nutrisi berbasis tahap kehidupan dapat menjadi strategi preventif dan terapeutik yang efektif dalam menjaga kesehatan otak. Integrasi pendekatan neuronutrisi yang berbasis bukti dan bersifat personalisasi menjadi penting untuk mengoptimalkan luaran neuropsikologis sepanjang siklus kehidupan.

Karya ini dilisensikan di bawah Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0

PENDAHULUAN

Kebiasaan makan memiliki korelasi yang sangat kuat dengan fungsi neuropsikologis manusia di setiap tahapan kehidupan. Status kardiometabolik yang sehat merupakan faktor pelindung utama terhadap demensia vaskular dan penyakit neurologis lainnya, di mana nutrisi yang seimbang terbukti mampu memperlambat laju penurunan kognitif seiring bertambahnya usia (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025). Hubungan ini bersifat persisten dan dinamis, dimulai sejak periode prenatal hingga masa lansia. Diet yang buruk, yang ditandai dengan asupan tinggi lemak jenuh dan gula rafinasi, telah dikaitkan dengan berbagai hasil kesehatan negatif, termasuk perubahan kimia otak yang berkontribusi pada munculnya gangguan makan dan kerusakan kognitif jangka panjang (Reivan Ortiz et al., 2025). Meskipun banyak penelitian telah mengeksplorasi nutrisi pada kelompok usia tertentu, integrasi data lintas generasi diperlukan untuk memahami bagaimana intervensi diet dapat bertindak sebagai strategi pencegahan dan rehabilitasi yang komprehensif.

Pada tahap awal kehidupan, kualitas diet ibu selama kehamilan sangat menentukan perkembangan saraf janin melalui regulasi transporter glukosa seperti GLUT1 dan GLUT3 yang menyuplai energi ke sel saraf (Daida et al., 2024). Gangguan pada ekspresi transporter ini, yang dipicu oleh malnutrisi energi-protein maternal, berpotensi memicu gangguan perkembangan saraf seperti autisme (ASD) dan ADHD (Daida et al., 2024). Memasuki masa dewasa, fokus bergeser pada "neuronutrisi" sebagai strategi adjuvan dalam rehabilitasi fungsional, misalnya pasca-stroke, dengan memanfaatkan diet anti-inflamasi dan antioksidan untuk meningkatkan plastisitas neuronal (Ciancarelli et al., 2024). Hingga pada masa lansia, status nutrisi menjadi faktor prognostik vital dalam mempertahankan fungsi eksekutif, memori, dan perhatian (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025).

Penelitian ini menggunakan rancangan tinjauan naratif integratif (integrative narrative review) yang mensintesis temuan dari berbagai metodologi, mulai dari studi model hewan, laporan kasus klinis, hingga uji klinis acak terkontrol yang terdapat dalam literatur terbaru. Kebaruan dari penelitian ini terletak pada pendekatan multi-generasi dan transdiagnostik yang menghubungkan profil neurokognitif (seperti fleksibilitas kognitif dan kontrol penghambatan) dengan pola makan biochemical di berbagai kondisi klinis yang berbeda, seperti gangguan makan, pemulihan stroke, dan kelelahan kognitif kronis. Penelitian ini melampaui analisis diet konvensional dengan mengintegrasikan peran sumbu usus-otak dan modulasi biomarker inflamasi dalam menjelaskan mekanisme aksi nutrisi terhadap otak.

Tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk memetakan pengaruh pola makan spesifik terhadap morfologi otak dan performa neuropsikologis pada setiap fase kehidupan. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji hipotesis bahwa pola makan yang mempromosikan eubiosis mikrobiota usus dan mengurangi stres oksidatif dapat secara signifikan memperbaiki gejala klinis pada individu dengan gangguan perkembangan saraf dan degeneratif. Secara spesifik, penelitian ini menghipotesiskan bahwa intervensi nutrisi yang terpersonalisasi, seperti suplementasi L-karnosin atau diet rendah glutamat, mampu memitigasi respons stres dan meningkatkan kesejahteraan psikologis pada populasi rentan. Melalui sintesis ini, diharapkan dapat dirumuskan landasan kuat bagi pengembangan protokol intervensi berbasis bukti yang disesuaikan dengan kebutuhan neuropsikologis spesifik pasien di seluruh rentang usia.

METODE

Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan rancangan **tinjauan naratif integratif (*integrative narrative review*)**. Pendekatan integratif dipilih karena memiliki fleksibilitas untuk mensintesis dan menggabungkan temuan dari berbagai ragam metodologi yang berbeda, mulai dari studi model hewan, laporan kasus klinis, hingga uji klinis acak terkontrol (*randomized controlled trials*). Pendekatan transdiagnostik ini memfasilitasi pemetaan komprehensif mengenai bagaimana intervensi diet bertindak sebagai strategi pencegahan dan rehabilitasi fungsi saraf di sepanjang lintasan hayat.

Strategi Pencarian Literatur

Pencarian literatur dilakukan secara elektronik pada bulan Januari hingga Mei 2026 melalui empat basis data ilmiah bereputasi global, yaitu **PubMed/MEDLINE, Scopus, ScienceDirect, dan Google Scholar**. Artikel yang ditargetkan difokuskan pada literatur mutakhir yang diterbitkan dalam rentang waktu lima tahun terakhir (2020–2026) guna menjamin kebaruan data.

Strategi pencarian disusun menggunakan kombinasi kata kunci (kosa kata indeks/Mesh term) dan operator Boolean (*AND/OR*) sebagai berikut:

- (*"diet"* OR *"neuronutrition"* OR *"dietary habits"* OR *"nutritional intake"*)
- AND (*"central nervous system"* OR *"brain morphology"* OR *"neuroplasticity"*)
- AND (*"lifespan"* OR *"neuropsychological performance"* OR *"cognitive function"*)

Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Untuk memastikan draf studi yang dianalisis memiliki relevansi tinggi, ditetapkan kriteria seleksi formal sebagai berikut:

Tabel 1. Kriteria Seleksi Formal

Komponen	Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Desain Studi	Studi eksperimental model hewan, laporan kasus klinis, dan uji klinis acak terkontrol (RCT) yang diterbitkan di jurnal ilmiah ditinjau sejawat (*peer-reviewed*).	Artikel opini, ulasan editorial, abstrak prosiding konferensi, dan draf artikel yang tidak memiliki penelaahan sejawat formal.
Fokus Konten	Studi yang menguji pengaruh pola makan spesifik atau strategi gizi terhadap integritas morfologi otak, fungsi neuropsikologis, atau kondisi klinis neurologis.	Studi nutrisi umum skala makro yang tidak membahas mekanisme aksi biokimiawi atau hubungannya dengan sistem saraf pusat.
Rentang Populasi	Subjek lintas generasi yang mencakup salah satu fase kritis: prenatal/fetal, anak-anak, remaja, dewasa, hingga lansia.	Studi dengan populasi spesifik yang tidak mendefinisikan fase perkembangan atau usia subjek secara jelas.

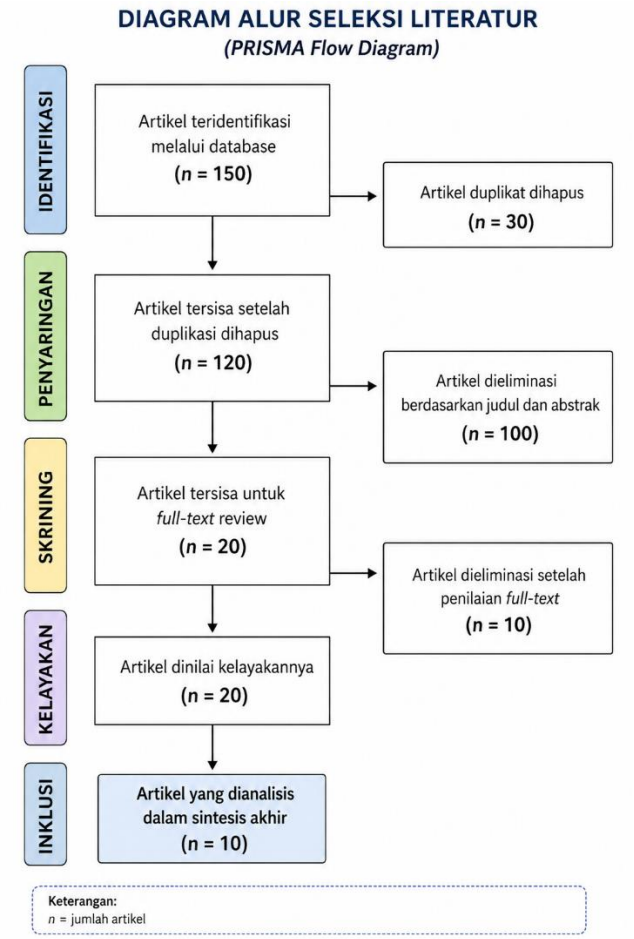
Ekstraksi dan Sintesis Data

Artikel-artikel yang lolos seleksi kemudian diekstraksi secara sistematis menggunakan formulir standardisasi data. Komponen data utama yang diambil meliputi: nama penulis, tahun publikasi, model/subjek penelitian, fase siklus kehidupan, intervensi nutrisi (misalnya diet Mediterania, suplementasi kreatin, atau diet rendah glutamat), mekanisme biokimiawi yang terlibat (seperti ekspresi transporter GLUT1/GLUT3, jalur dopaminergik, eksitotoksisitas NMDA, atau regulasi BDNF), serta parameter luaran neuropsikologisnya. Sintesis data dilakukan menggunakan teknik analisis tematik naratif. Temuan-temuan ilmiah dikategorisasikan secara kronologis ke dalam empat pilar fase kehidupan: (1) masa fetal dan awal kehidupan, (2) masa kanak-kanak dan remaja, (3) masa dewasa, serta (4) masa lansia. Analisis kritis diarahkan untuk memetakan hubungan kausalitas antara pola makan biochemical dengan profil neurokognitif (seperti fleksibilitas kognitif dan kontrol penghambatan) pada setiap kelompok populasi tersebut.

HASIL

Proses Seleksi dan Penyaringan Literatur

Proses identifikasi dan seleksi literatur dilakukan secara sistematis untuk memastikan bahwa artikel yang dianalisis memiliki kualitas metodologis yang tinggi serta relevansi yang kuat terhadap topik neuronutrisi dan fungsi neuropsikologis lintas siklus kehidupan. Berdasarkan Gambar 1, hasil pencarian pada empat basis data utama (PubMed, Scopus, ScienceDirect, dan Google Scholar) menghasilkan sebanyak 150 artikel pada tahap identifikasi awal. Setelah proses penghapusan duplikasi, sebanyak 30 artikel dieliminasi, sehingga tersisa 120 artikel unik untuk tahap skrining. Pada tahap skrining judul dan abstrak, sebanyak 100 artikel dikeluarkan karena tidak sesuai dengan fokus penelitian, seperti tidak membahas hubungan antara pola makan dan sistem saraf pusat atau tidak memiliki luaran neuropsikologis yang relevan. Dengan demikian, sebanyak 20 artikel dilanjutkan ke tahap penilaian teks lengkap (*full-text review*). Pada tahap evaluasi kelayakan (*eligibility assessment*), sebanyak 10 artikel dieliminasi karena: (1) tidak membahas mekanisme biokimiawi yang relevan, (2) desain penelitian tidak memenuhi kriteria inklusi, atau (3) tidak memiliki keterkaitan langsung dengan fungsi neuropsikologis. Akhirnya, sebanyak 10 artikel dinyatakan memenuhi kriteria dan dimasukkan dalam sintesis naratif.



Gambar 1. Diagram alur pemilihan artikel

Karakteristik Studi yang Diinklusi

Sepuluh artikel yang dianalisis pada tabel 2 menunjukkan variasi desain penelitian yang meliputi studi eksperimental, uji klinis terkontrol, serta tinjauan sistematis. Populasi penelitian mencakup model hewan dan manusia pada berbagai fase siklus kehidupan, mulai dari masa prenatal hingga lansia. Intervensi yang diteliti meliputi pola makan spesifik (diet Mediterania, diet rendah glutamat), suplementasi nutrisi (DHA, kreatin, polifenol, L-karnosin), serta pendekatan kombinasi nutrisi dan neuromodulasi. Outcome utama yang diamati secara

konsisten mencakup fungsi kognitif, regulasi emosi, neuroplastisitas, serta biomarker neurobiologis seperti BDNF dan aktivitas neurotransmiter.

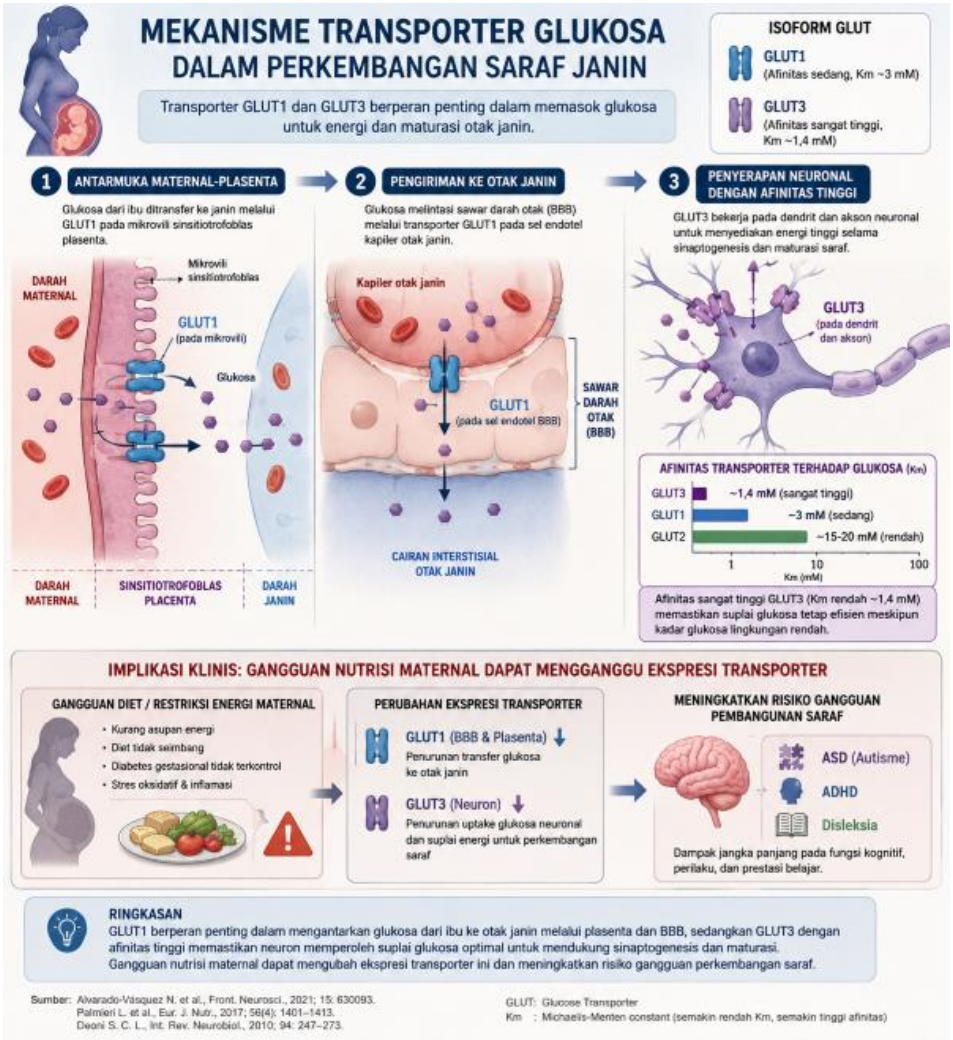
Tabel 2. Karakteristik 10 Artikel yang Dianalisis dalam Sintesis Akhir

Penulis (Tahun)	Desain Studi	Populasi/ Model	Fokus Intervensi	Outcome Neuropsikologis	Temuan Kunci
Daida et al. (2024)	Review eksperimental dan translasi	Model hewan dan manusia	Diet maternal dan transporter GLUT1/GLUT3	Perkembangan saraf	Diet maternal memodulasi ekspresi GLUT dan risiko ASD/ADHD
Ciancarelli et al. (2024)	Review klinis	Pasien stroke	Diet anti-inflamasi dan antioksidan	Neuroplastisitas	Nutrisi meningkatkan pemulihan fungsi saraf pasca stroke
Finnegan et al. (2024)	Review intervensi olahraga	Atlet (mTBI)	DHA dan kreatin	Fungsi kognitif dan energi otak	Mengurangi krisis energi serebral pasca cedera
Maury dan Holton (2024)	Uji intervensi diet	Veteran GWI	Diet rendah glutamat	Depresi dan fungsi kognitif	Penurunan eksitotoksisitas NMDA memperbaiki mood
Morton et al. (2024)	Eksperimental (RCT)	Atlet	Suplementasi polifenol	BDNF dan kognisi	Polifenol meningkatkan BDNF dan fungsi kognitif
Tsuji et al. (2024)	Eksperimental hewan	Mencit model ASD	L-karnosin	Respons stres dan ansietas	Menurunkan kortikosteron dan perilaku ansietas
Arata et al. (2024)	Eksperimental hewan	Tikus betina	Interaksi hormon dan nutrisi	Regulasi oksitosin	Nutrisi memodulasi sistem neuroendokrin
Krug et al. (2024)	Studi neurokognitif	Pasien eating disorder	Pola makan dan kognisi	Fungsi eksekutif	Gangguan makan terkait rigiditas kognitif
Chmiel et al. (2023)	Studi intervensi	Pasien anoreksia	tDCS + nutrisi	Regulasi emosi	Perbaikan depresi dan perilaku makan
Granero dan Guillazo-Blanch (2025)	Review populasi	Lintas usia	Pola makan sehat	Fungsi kognitif dan demensia	Diet seimbang menurunkan risiko penurunan kognitif

PEMBAHASAN

Masa Fetal dan Awal Kehidupan: Fondasi Perkembangan Saraf

Kualitas nutrisi selama periode prenatal dan pascanatal awal merupakan faktor penentu utama yang membentuk lintasan kesehatan neuropsikologis individu sepanjang hidupnya. Kualitas diet ibu yang buruk selama kehamilan, terutama dalam bentuk kekurangan nutrisi esensial dan malnutrisi energi-protein, terbukti memberikan dampak negatif yang signifikan terhadap perkembangan saraf janin (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025). Fondasi perkembangan ini sangat bergantung pada ketersediaan energi yang stabil, di mana glukosa bertindak sebagai sumber energi utama bagi metabolisme oksidatif neuronal dalam kondisi fisiologis normal (Daida et al., 2024). Oleh karena itu, mekanisme transportasi glukosa melintasi plasenta dan sawar darah otak menjadi proses biokimia yang paling krusial dalam fase ini.



Gambar 1. Mekanisme Transporter Glukosa dalam Perkembangan Saraf Janin
(Palmieri et al 2017; Granero dan Guillazo-Blanch, 2025; Daida et al. 2024; Koepsell 2020; Palmieri et al 2017)

Transporter glukosa (GLUT) dari keluarga gen SLC2 memainkan peran vital dalam memastikan suplai energi tersebut. Secara spesifik, isoform GLUT1 dan GLUT3 adalah dua pengangkut utama yang diekspresikan di otak dan plasenta (Daida et al., 2024). GLUT1 terutama diekspresikan pada sel endotel sawar darah otak dan sel glial, sementara GLUT3 terlokalisasi secara dominan pada dendrit dan akson neuronal untuk memenuhi kebutuhan energi tinggi dari neuron yang sedang berkembang (Daida et al., 2024). Keunggulan GLUT3 terletak pada afinitasnya yang sangat tinggi terhadap glukosa dibandingkan isoform lainnya, yang memungkinkannya tetap menyuplai energi bahkan dalam kondisi konsentrasi glukosa yang rendah (Daida et al., 2024).

Gangguan pada ekspresi transporter ini, yang dipicu oleh diet ibu yang tidak memadai atau restriksi energi maternal, dapat menyebabkan konsekuensi jangka panjang pada neurobehavioral anak. Malnutrisi maternal atau perturbasi energi selama kehamilan dapat mengubah pola ekspresi GLUT di plasenta dan otak janin, yang pada akhirnya memicu munculnya berbagai gangguan perkembangan saraf (Daida et al., 2024). Bukti ilmiah menunjukkan bahwa defisiensi transporter ini berkaitan erat dengan peningkatan risiko kondisi seperti Gangguan Spektrum Autisme (ASD), *Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder* (ADHD), epilepsi, dan disleksia (Daida et al., 2024).

Selain pemenuhan energi dasar, intervensi nutrisi spesifik mulai menunjukkan potensi dalam memitigasi gejala gangguan perkembangan saraf. Penelitian pada model hewan menunjukkan bahwa suplementasi oral L-karnosin—sebuah dipeptida yang terdiri dari beta-alanin dan L-histidin—dapat memberikan efek neuroprotektif yang signifikan (Tsuji et al., 2024). Pada mencit knockout CD157 (model untuk ASD), pemberian L-karnosin terbukti mampu menekan pelepasan kortikosteron yang dipicu oleh stres akut dan mengurangi perilaku mirip ansietas (Tsuji et al., 2024). Penemuan ini memberikan implikasi klinis penting bahwa intervensi neuronutrisi dapat membantu meringankan hiperresponsivitas stres pada individu dengan autisme (Tsuji et al., 2024). Selain intervensi peptida, regulasi fungsional sistem saraf pada model hewan juga dipengaruhi oleh interaksi hormonal yang kompleks; sebagai contoh, efek testosteron terhadap kadar oksitosin di hipotalamus dan serum terbukti sangat dimodulasi oleh lingkungan estrogenik (*estrogen milieu*) (Arata et al., 2024). Peran asam lemak n-3 (omega-3), khususnya docosahexaenoic acid (DHA), sangat krusial dalam mendukung integritas struktural dan fungsional otak (Finnegan et al., 2024). Konsumsi asam lemak omega-3 oleh ibu selama masa kehamilan telah terbukti secara konsisten memberikan efek positif pada performa tes kognitif anak saat mencapai usia 3 hingga 6 tahun (Daida et al., 2024). Integrasi antara kecukupan energi melalui regulasi transporter glukosa dan asupan lipid fungsional sejak masa fetal inilah yang menjadi prasyarat mutlak bagi perkembangan fungsi kognitif dan eksekutif yang optimal di masa depan.

Gambar 1 menjelaskan mekanisme transporter glukosa dalam perkembangan saraf janin diawali dari transfer glukosa maternal ke plasenta melalui GLUT1 pada sawar plasenta, lalu glukosa diteruskan ke otak janin melewati blood-brain barrier dengan kontribusi GLUT1 pada endotel kapiler, sebelum akhirnya diambil oleh neuron melalui GLUT3 yang berafinitas tinggi untuk memenuhi kebutuhan energi selama pertumbuhan, sinaptogenesis, dan maturasi saraf; karena itu, gangguan nutrisi atau restriksi energi pada ibu dapat memengaruhi ekspresi transporter ini dan dikaitkan dengan risiko gangguan neurodevelopmental seperti ASD, ADHD, dan disleksia (Daida et al., 2024; Sibiak et al., 2022; Koepsell, 2020; Carayannopoulos et al., 2014).

Masa Kanak-Kanak dan Remaja: Kognisi dan Gangguan Makan

Masa kanak-kanak dan remaja merupakan periode kritis di mana pola makan tidak hanya memengaruhi pertumbuhan fisik, tetapi juga secara mendalam membentuk morfologi otak dan performa kognitif. Penelitian etiologis menunjukkan bahwa pola makan pada masa kanak-kanak awal berhubungan langsung dengan perbedaan perkembangan saraf dan kemampuan kognitif di masa pra-remaja (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025). Diet Barat, yang kaya akan lemak jenuh dan gula rafinasi, telah dikaitkan dengan gangguan pada fungsi belajar dan memori (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025). Sebaliknya, nutrisi yang seimbang selama fase ini bertindak sebagai faktor pelindung kognitif yang memediasi plastisitas saraf dan kesehatan mental jangka panjang (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025).

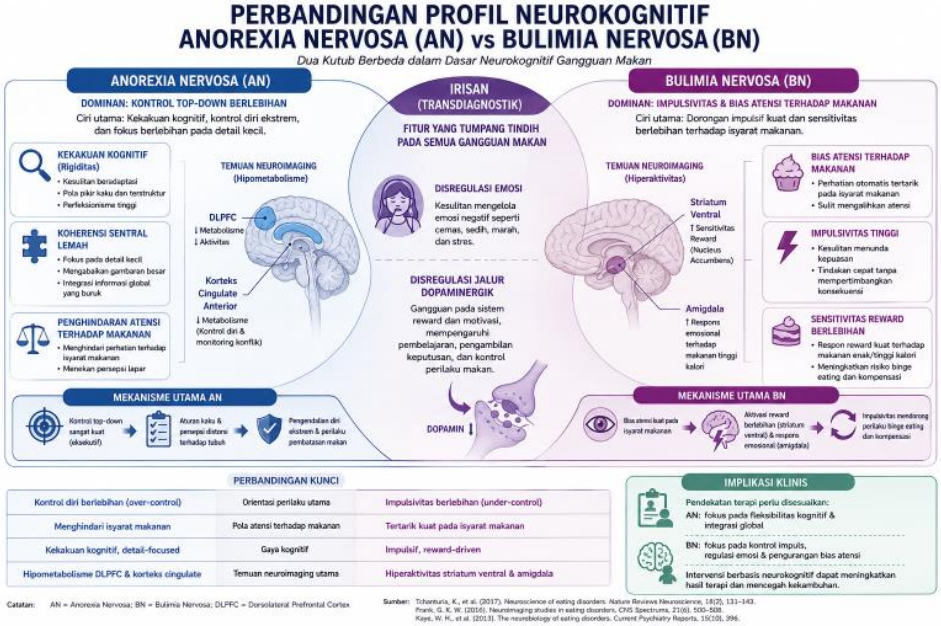
Memasuki masa remaja, interaksi antara nutrisi dan psikologi menjadi semakin kompleks dengan munculnya Gangguan Makan (ED), seperti Anoreksia Nervosa (AN) dan Bulimia Nervosa (BN). Kondisi ini sering kali disertai dengan defisit neurokognitif yang signifikan, termasuk kekakuan kognitif (rigiditas) dan bias perhatian terhadap stimulus terkait makanan (Krug et al., 2024). Individu dengan ED menunjukkan profil penanda otak yang spesifik, termasuk perubahan pada struktur otak dan konektivitas fungsional dibandingkan dengan kelompok sehat (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025). Sebagai contoh, pasien dengan AN-tipe restriktif sering kali menunjukkan kontrol kognitif yang ekstrem dan fokus berlebihan

pada detail (lemahnya koherensi sentral), yang dimediasi oleh disfungsi pada korteks prefrontal (Krug et al., 2024).

Secara neurobiologis, penderita AN menunjukkan pengurangan metabolisme glukosa dan aliran darah serebral regional pada area kunci seperti korteks cingulate dan korteks prefrontal dorsolateral (DLPFC) (Chmiel et al., 2023). Hal ini berkontribusi pada kegagalan dalam regulasi emosi dan fleksibilitas set-shifting, di mana individu kesulitan mengadaptasi perilaku mereka terhadap perubahan aturan atau lingkungan (Krug et al., 2024). Di sisi lain, BN dan Binge Eating Disorder (BED) lebih dikarakterisasi oleh impulsivitas tinggi dan bias perhatian yang tajam terhadap isyarat makanan berkalori tinggi (Krug et al., 2024). Masalah transdiagnostik seperti disregulasi emosi dan gangguan pemrosesan *reward* (imbalan) ditemukan di hampir semua subtipe gangguan makan, menunjukkan adanya mekanisme neurokognitif yang serupa meskipun manifestasi perilakunya berbeda (Krug et al., 2024). Pada koridor psikologi kognitif, strategi koping (*coping strategies*) dan regulasi emosi diidentifikasi sebagai mediator krusial yang menjembatani hubungan antara sifat impulsivitas, metakognisi, dan tingkat keparahan gangguan makan tersebut (Estévez et al., 2024).

Intervensi neuromodulasi non-invasif seperti Stimulasi Arus Searah Transkranial (tDCS) mulai dieksplorasi secara luas. Teknik ini menggunakan arus listrik intensitas rendah untuk memodulasi eksitabilitas kortikal, khususnya dengan target pada DLPFC kiri (Chmiel et al., 2023). Bukti awal menunjukkan bahwa tDCS memiliki potensi untuk memperbaiki perilaku makan, meningkatkan pemulihan berat badan pada pasien AN, serta secara signifikan mengurangi gejala depresi dan ansietas yang menyertai gangguan tersebut (Chmiel et al., 2023). Dengan meningkatkan aktivitas di area otak yang kurang aktif, tDCS membantu memulihkan keseimbangan interhemisferik dan mengurangi bias kognitif yang mempertahankan gangguan makan (Chmiel et al., 2023). Integrasi antara intervensi nutrisi, terapi kognitif, dan teknologi neuromodulasi diharapkan dapat memberikan pendekatan yang lebih personal dan efektif bagi populasi remaja yang rentan.

Gambar 2 menampilkan perbedaan profil neurokognitif anorexia nervosa (AN) dan bulimia nervosa (BN). AN didominasi kontrol top-down berlebihan, kekakuan kognitif, dan fokus detail yang membuat gambaran besar kurang terintegrasi. BN sebaliknya ditandai impulsivitas, bias atensi terhadap isyarat makanan, serta reaktivitas reward yang lebih tinggi. Keduanya tetap berbagi disregulasi emosi dan gangguan jalur dopaminergik yang memengaruhi motivasi, keputusan, dan pemrosesan imbalan. Secara klinis, perbedaan ini penting untuk merancang intervensi yang lebih tepat, karena terapi AN dan BN perlu disesuaikan dengan pola kontrol diri dan respons reward masing-masing secara spesifik (Krug et al., 2024; Frank et al., 2019).



Gambar 2. Perbedaan Profil Neurokognitif Anorexia Nervosa (AN) dan Bulimia Nervosa (BN)

(Frank et al. 2005; Kaye et al. 2013; Tchanturia et al. 2013)

Masa Dewasa: Neuronutrisi untuk Rehabilitasi dan Performa

Masa dewasa menandai fase di mana intervensi nutrisi bertransformasi dari sekadar pemenuhan energi basal menjadi strategi rehabilitasi aktif dan optimalisasi performa kognitif. Neuronutrisi kini diakui sebagai model pendekatan nutrisi terpersonalisasi yang memanfaatkan zat gizi dengan sifat antioksidan dan anti-inflamasi untuk memodulasi plastisitas saraf (Ciancarelli et al., 2024). Dalam konteks pasca-stroke iskemik, pemulihan fungsional sangat bergantung pada kemampuan otak untuk mengatur ulang sirkuit neuronal yang tidak rusak, di mana pola makan yang tepat dapat bertindak sebagai faktor pendukung krusial bagi fenomena neuroplastisitas ini (Ciancarelli et al., 2024).

Mekanisme utama neuronutrisi dalam neurorehabilitasi melibatkan mitigasi stres oksidatif/nitrosatif dan peradangan saraf yang sering menghambat efektivitas rehabilitasi fisik (Ciancarelli et al., 2024). Konsumsi nutrien spesifik seperti polifenol (dari sayuran dan teh), vitamin antioksidan (A, C, E), serta vitamin kelompok B berfungsi sebagai kofaktor enzim yang menetralkan radikal bebas dan mengurangi "badai sitokin" pro-inflamasi (Ciancarelli et al., 2024). Selain itu, mineral esensial seperti seng (Zn), magnesium (Mg), dan selenium (Se) memainkan peran vital dalam homeostasis metabolik dan perlindungan neuronal (Ciancarelli et al., 2024). Pola makan seperti Diet Mediterania dan Diet Ketogenik direkomendasikan karena kemampuannya memulihkan eubiosis sumbu usus-otak dan meningkatkan ekspresi brain-derived neurotrophic factor (BDNF) (Ciancarelli et al., 2024). Efek fungsional dari suplementasi polifenol ini juga terbukti secara spesifik mampu mempertahankan kadar BDNF, memodulasi sitokin inflamasi, serta memitigasi penurunan performa kognitif akibat stres oksidatif akut yang dipicu oleh paparan lingkungan ekstrem selama aktivitas fisik intensitas tinggi (Morton et al., 2024).

Bagi atlet profesional, manajemen nutrisi menjadi faktor determinan dalam pemulihan dari gegar otak (*concussion*) atau cedera otak traumatis ringan (mTBI) (Finnegan et al., 2024). Kondisi ini memicu "krisis energi" serebral, di mana terjadi ketidakseimbangan antara kebutuhan metabolisme yang tinggi untuk perbaikan jaringan dan penurunan aliran darah serebral (Finnegan et al., 2024). Untuk mengatasi defisit ini, protokol novel mencakup pemuatan karbohidrat intensif (400–500 g/hari) untuk mengembalikan ketersediaan glukosa otak (Finnegan et al., 2024). Suplementasi akut kreatin monohidrat (hingga 20 g/hari) digunakan untuk mempercepat pemulihan cadangan ATP, sementara asupan tinggi DHA (omega-3) mendukung integritas struktural membran saraf dan memberikan perlindungan terhadap dampak benturan berulang (Finnegan et al., 2024). Selain itu, untuk mendukung optimalisasi performa mental akut dan mengatasi kelelahan kognitif pada populasi aktif, asupan bahan psikostimulan alami seperti guarana (*Paullinia cupana*) menunjukkan efikasi yang signifikan dalam meningkatkan performa kognitif dan modulasi vagal jika dibandingkan dengan kafein dosis rendah (Talik et al., 2024).

Tabel 3. Strategi Neuronutrisi Utama pada Orang Dewasa

Kondisi Klinis	Target Mekanisme Utama	Intervensi gizi	Sumber
Pasca-Stroke	Neuroplastisitas dan Anti-inflamasi	Diet Mediterania, Vit A/C/E, Zn, Mg, Se	Ciancarelli et al., 2024
Gegar Otak (Atlet)	Krisis Energi dan Defisit ATP	Kreatin (20g/hr), Karbohidrat (500g/hr), DHA	Finnegan et al., 2024
Gulf War Illness	Eksitotoksisitas NMDA	Diet Rendah Glutamat, Suplementasi Mg dan Zn	Maury dan Holton, 2024

Neuronutrisi menunjukkan efektivitas pada populasi dengan kondisi neurologis kompleks seperti veteran dengan Gulf War Illness (GWI) (Maury dan Holton, 2024). Intervensi diet rendah glutamat terbukti secara signifikan dapat mengurangi gejala depresi melalui penurunan eksitotoksisitas pada reseptor NMDA (Maury dan Holton, 2024). Dengan membatasi eksitotoksin diet dan meningkatkan mikronutrien pelindung, terjadi penurunan kadar biomarker inflamasi dan homosistein serum yang berhubungan langsung dengan perbaikan

suasana hati dan fungsi kognitif (Maury dan Holton, 2024). Integrasi berbagai strategi nutrisi berbasis bukti ini menegaskan bahwa pola makan biochemical pada orang dewasa adalah instrumen vital dalam mempertahankan performa otak dan mempercepat pemulihan saraf (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025). Tabel 2 menunjukkan strategi neuronutrisi utama pada orang dewasa.

Masa Lansia: Mencegah Penurunan Kognitif dan Demensia

Memasuki fase lansia, status nutrisi individu menjadi faktor determinan yang memiliki pengaruh signifikan terhadap prognosis vital dan fungsional (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025). Penuaan merupakan faktor risiko utama bagi berbagai gangguan neurologis, termasuk stroke dan demensia, di mana kualitas hidup lansia sangat bergantung pada pemeliharaan fungsi kognitif (Seelarbokus et al., 2024). Penelitian pada populasi lansia, baik di tingkat komunitas maupun di unit perawatan jangka panjang, menunjukkan bahwa diet yang seimbang berkorelasi positif dengan performa yang lebih baik dalam berbagai tes neuropsikologis yang mengukur memori, perhatian, kemampuan penalaran, dan fungsi eksekutif lainnya (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025). Sebaliknya, malnutrisi atau ketidakseimbangan nutrisi sering kali mempercepat laju penurunan kognitif dan memperburuk kondisi komorbiditas yang ada (Ciancarelli et al., 2024).

Pola makan tertentu, khususnya Diet Mediterania yang kaya akan kacang-kacangan, buah-buahan, sayuran, dan ikan, telah terbukti secara konsisten bertindak sebagai faktor pelindung kognitif yang kuat (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025). Diet ini tidak hanya menurunkan risiko depresi di masa tua, tetapi juga terbukti memperlambat progresi demensia (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025). Mekanisme perlindungan ini diduga dimediasi oleh sifat anti-inflamasi, antioksidan, kemampuan menurunkan lipid, serta modulasi sumbu usus-otak yang melekat pada profil nutrisi tersebut (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025). Selain itu, Diet Nordic juga mulai diakui sebagai pola makan lain yang memberikan manfaat serupa dalam menjaga integritas saraf seiring bertambahnya usia (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025).

Tabel 4. Faktor gizi dan Biomarker pada Penurunan Kognitif Lansia

Pola Makan	Dampak pada Fungsi Otak Lansia	Mekanisme Biokimia Utama	Referensi
Diet Mediterania	↓ Risiko depresi, ↓ laju demensia, ↑ memori dan perhatian.	Anti-inflamasi, antioksidan, modulasi sumbu usus-otak.	Granero dan Guillazo-Blanch (2025)
Ekspresi GLUT1 dan GLUT3	Penurunan ekspresi berkorelasi dengan keparahan Alzheimer.	Kegagalan transportasi glukosa melintasi BBB dan ke neuron.	Daida et al. (2024)
Plak Amiloid	Akumulasi meningkat saat asupan energi neuron terganggu.	Disfungsi metabolisme oksidatif neuronal (glucopenia).	Daida et al. (2024)
Diet Seimbang (Umum)	↑ Performa penalaran dan fungsi eksekutif.	Peningkatan sensitivitas insulin otak dan ekspresi BDNF.	Granero dan Guillazo-Blanch (2025)
Benda Keton (Diet Ketogenik)	Sumber energi alternatif untuk neuron yang disfungsi.	Transportasi melalui MCT1/MCT2 saat glukosa rendah.	Daida et al. (2024)

Ditinjau dari perspektif biokimia molekuler, pemeliharaan homeostasis energi adalah kunci utama dalam mencegah neurodegenerasi. Glukosa merupakan sumber energi primer bagi metabolisme oksidatif neuronal, namun efisiensi pengambilannya sangat bergantung pada transporter glukosa (GLUT) (Daida et al., 2024). Penurunan ekspresi GLUT1 (pada sawar darah

otak) dan GLUT3 (pada neuron) di otak manusia telah dikaitkan erat dengan patofisiologi penyakit Alzheimer (AD) (Daida et al., 2024). Secara spesifik, rendahnya tingkat ekspresi GLUT3 berhubungan langsung dengan peningkatan keparahan plak amiloid dan kekusutan neurofibrilar, yang merupakan penanda patologis utama pada pasien Alzheimer (Daida et al., 2024). Kondisi "glucopenia" atau kekurangan glukosa intraseluler ini memaksa otak untuk mencari sumber energi alternatif, namun proses ini sering kali kurang efisien dalam memenuhi permintaan metabolik neuron yang tinggi (Daida et al., 2024).

Kaitan antara zat gizi di awal kehidupan dan risiko penyakit di masa tua juga semakin mengemuka. Model hewan menunjukkan bahwa pembatasan energi atau nutrisi tertentu selama masa perkembangan dapat memicu perubahan metabolik yang menetap, yang di masa lansia bermanifestasi sebagai peningkatan kadar protein amiloid-β42 dan astrositosis (penanda peradangan saraf), serupa dengan yang ditemukan pada kondisi AD (Daida et al., 2024). Hal ini menegaskan bahwa menjaga homeostasis energi melalui pola makan yang tepat sejak dini hingga masa lansia sangat penting untuk melindungi neuron dari degenerasi kronis (Daida et al., 2024).

Sebagai strategi intervensi, penggunaan bahan bakar alternatif seperti benda keton melalui Diet Ketogenik atau suplementasi spesifik seperti polifenol mulai dieksplorasi untuk mengompensasi disfungsi transporter glukosa pada lansia (Daida et al., 2024; Ciancarelli et al., 2024). Nutrisi yang tepat bertindak dengan meningkatkan sensitivitas insulin otak dan faktor neurotropik (BDNF) yang mendukung kelangsungan hidup neuron (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025). Integrasi neuronutrisi yang terpersonalisasi menjadi instrumen vital dalam upaya global untuk mengurangi beban disabilitas akibat penurunan kognitif terkait usia (Granero dan Guillazo-Blanch, 2025). tabel 3 di bawah ini menunjukkan beberapa faktor gizi dan biomarker yang digunakan untuk mengukur penurunan kognitif lansia.

KESIMPULAN

Kajian ini menegaskan bahwa neuronutrition merupakan pendekatan yang memiliki peran fundamental dalam memengaruhi fungsi neuropsikologis sepanjang siklus kehidupan manusia. Bukti yang dianalisis menunjukkan bahwa intervensi nutrisi tidak hanya berkontribusi pada perkembangan otak sejak fase prenatal, tetapi juga berperan penting dalam mempertahankan fungsi kognitif, regulasi emosi, serta mencegah penurunan neurologis pada usia lanjut. Pada fase awal kehidupan, kualitas nutrisi maternal terbukti menentukan perkembangan struktur dan fungsi otak melalui mekanisme biokimiawi, termasuk regulasi transport glukosa dan diferensiasi neuron. Memasuki usia dewasa, strategi neuronutrition seperti diet anti-inflamasi, suplementasi asam lemak omega-3, kreatin, serta senyawa bioaktif lainnya menunjukkan potensi signifikan dalam meningkatkan neuroplastisitas dan mendukung pemulihan kondisi neurologis. Sementara itu, pada populasi lansia, pola makan sehat seperti diet Mediterania berperan dalam menurunkan risiko penurunan kognitif dan penyakit neurodegeneratif.

Temuan ini mengindikasikan bahwa pendekatan nutrisi yang terarah dan berbasis tahap kehidupan dapat menjadi strategi preventif dan terapeutik yang efektif dalam menjaga kesehatan otak. Oleh karena itu, integrasi neuronutrition dalam kebijakan kesehatan dan praktik klinis perlu dipertimbangkan secara lebih luas, khususnya dalam pengembangan intervensi berbasis bukti untuk meningkatkan kualitas hidup individu di berbagai fase kehidupan. Keterbatasan studi ditemukan pada variasi desain studi dan heterogenitas populasi menunjukkan perlunya penelitian lanjutan dengan metodologi yang lebih terstandarisasi. Penelitian lanjutan diharapkan dapat mengembangkan pendekatan neuronutrition yang lebih personalisasi berbasis biomarker untuk meningkatkan efektivitas intervensi secara klinis.

PERNYATAAN PENULIS

Kontribusi dan tanggung jawab penulis

Kontribusi Penulis: **Anwar Lubis:** Penulisan - Draf Asli, Visualisasi, Konseptualisasi; **otentikasi** Pengawasan (lead), validasi (equal), visualisasi (equal), akuisisi pendanaan (equal), review dan editing.

Pernyataan konflik kepentingan

Penulis menyatakan tidak memiliki kepentingan yang bersaing.

REFERENSI

Arata, M., Tamura, K., Aoki, H., Noguchi, H., Takeda, A., Minato, S., Yamamoto, S., Kinouchi, R., Yoshida, K., Yamamoto, Y., Kaji, T., dan Iwasa, T. (2024). The effects of testosterone on hypothalamic and serum oxytocin levels are affected by the estrogen milieu in female rats. *Nutrients*, *16*(15), 2533. https://doi.org/10.3390/nu16152533

Chmiel, J., Gladka, A., dan Leszek, J. (2023). The effect of transcranial direct current stimulation (tDCS) on anorexia nervosa: A narrative review. *Nutrients*, *15*(20), 4455. https://doi.org/10.3390/nu15204455

Chmiel, J., Kurpas, D., Rybakowski, F., dan Leszek, J. (2024). The effectiveness of transcranial direct current stimulation (tDCS) in binge eating disorder (BED)—Review and insight into the mechanisms of action. *Nutrients*, *16*(10), 1521. https://doi.org/10.3390/nu16101521

Ciancarelli, I., Morone, G., Iosa, M., Cerasa, A., Calabrò, R. S., dan Tozzi Ciancarelli, M. G. (2024). Neuronutrition and its impact on post-stroke neurorehabilitation: Modulating plasticity through diet. *Nutrients*, *16*(21), 3705. https://doi.org/10.3390/nu16213705

Daida, T., Shin, B.-C., Cepeda, C., dan Devaskar, S. U. (2024). Neurodevelopment is dependent on maternal diet: Placenta and brain glucose transporters GLUT1 and GLUT3. *Nutrients*, *16*(14), 2363. https://doi.org/10.3390/nu16142363

Estévez, A., Momeñe, J., Macía, L., Iruarrizaga, I., Olave, L., dan Aonso-Diego, G. (2024). The mediating effect of coping strategies and emotion regulation in the relationship between impulsivity, metacognition, and eating disorders. *Nutrients*, *16*(12), 1884. https://doi.org/10.3390/nu16121884

Finnegan, E., Daly, E., dan Ryan, L. (2024). Nutritional considerations of Irish performance dietitians and nutritionists in concussion injury management. *Nutrients*, *16*(4), 497. https://doi.org/10.3390/nu16040497

Frank, G., Bailer, U. F., Henry, S., Drevets, W., Meltzer, C. C., Price, J. C., Mathis, C. A., Wagner, A., Hoge, J., Ziolko, S., dan et al. (2005). Increased dopamine D2/D3 receptor binding after recovery from anorexia nervosa measured by positron emission tomography and [^{11}C]raclopride. *Biological Psychiatry*, *58*(11), 908–912.

Granero, R., dan Guillazo-Blanch, G. (2025). Nutrition and dietary patterns: Effects on brain function. *Nutrients*, *17*(7), 1169. https://doi.org/10.3390/nu17071169

Kaye, W. H., Wierenga, C. E., Bailer, U. F., Simmons, A. N., Wagner, A., dan Bischoff-Grethe, A. (2013). Does a shared neurobiology for foods and drugs of abuse contribute to extremes of food ingestion in anorexia and bulimia nervosa? *Biological Psychiatry*, *73*(9), 836–842.

Koepsell, H. (2020). Glucose transporters in brain in health and disease. *Pflügers Archiv - European Journal of Physiology*, *472*, 1299–1343.

Krug, I., Dang, A. B., Lu, E., Ooi, W. L., Portingale, J., dan Miles, S. (2024). A narrative review on the neurocognitive profiles in eating disorders and higher weight individuals: Insights for targeted interventions. *Nutrients*, *16*(24), 4418. https://doi.org/10.3390/nu16244418

Maury, A. A., dan Holton, K. F. (2024). Biomarkers associated with depression improvement in veterans with Gulf War illness using the low-glutamate diet. *Nutrients*, *16*(14), 2255. https://doi.org/10.3390/nu16142255

Morton, L., Paton, C., dan Braakhuis, A. (2024). The effects of polyphenol supplementation on BDNF, cytokines and cognition in trained male cyclists following acute ozone exposure

during high-intensity cycling. *Nutrients*, *16*(2), 233. https://doi.org/10.3390/nu16020233

Palmieri, S., Mansueto, G., Ruggiero, G. M., Caselli, G., Sassaroli, S., dan Spada, M. M. (2021). Metacognitive beliefs across eating disorders and eating behaviours: A systematic review. *Clinical Psychology dan Psychotherapy*, *28*, 1254–1265.

Reivan Ortiz, G. G., Elizalde, B., Tapia, C., dan Granero, R. (2025). Psychoneurological links contributing to body mass index and eating disorder severity. *Nutrients*, *17*(2), 296. https://doi.org/10.3390/nu17020296

Seelarbokus, B. A., Rabat, Y., Lalanne, C., Sibon, I., dan Berthoz, S. (2024). Food addiction: Prevalence, severity, and impact on vascular stroke risk factors in a French hospital-based sample. *Nutrients*, *16*(24), 4327. https://doi.org/10.3390/nu16244327

Talik, T. N., Penna, E. M., Hack, B. P., Harp, A., dan Millard-Stafford, M. (2024). Effects of acute guarana (*Paullinia cupana*) ingestion on mental performance and vagal modulation compared to a low dose of caffeine. *Nutrients*, *16*(12), 1892. https://doi.org/10.3390/nu16121892

Tchanturia, K., Lloyd, S., dan Lang, K. (2013). Cognitive remediation therapy for anorexia nervosa: Current evidence and future research directions. *International Journal of Eating Disorders*, *46*, 492–495.

Tsuji, T., Furuhara, K., Guo, E., Wu, Y., Zhong, J., Higashida, H., Yamamoto, Y., dan Tsuji, C. (2024). Oral supplementation of L-carnosine attenuates acute-stress-induced corticosterone release and mitigates anxiety in CD157 knockout mice. *Nutrients*, *16*(17), 2821. https://doi.org/10.3390/nu16172821