



NEUROSAINS KOGNITIF DALAM PEMBELAJARAN MATEMATIKA DI SEKOLAH DASAR (*COGNITIVE NEUROSCIENCE OF MATHEMATICS EDUCATION IN ELEMENTARY SCHOOL*)

Dessy Noor Ariani^{1*}, Asep Supena²

¹Pendidikan Guru Madrasah Ibtidaiyah, Fakultas Studi Islam, Universitas Islam Kalimantan MAB

²Pendidikan Dasar, Universitas Negeri Jakarta, Jl. Rawamangun Muka, Jakarta, Indonesia

*email: dessynoorarianii@gmail.com

ABSTRAK

Artikel ini bertujuan untuk mendeskripsikan tahapan perkembangan kognisi numeric pada manusia dari bayi hingga sekolah menengah; bagaimana peran otak dalam pembelajaran matematika; hubungan neurosains kognitif dengan pendidikan matematika; karakteristik kognitif dengan perkembangan dan kognisi atypical pada siswa; dan intervensi dalam peningkatan kognisi matematika pada siswa sekolah dasar. Adapun saran penulis untuk penelitian yang lebih lanjut adalah berupa kolaborasi antara ilmuwan dan pendidik profesional yang relevan dengan bidang pembelajaran matematika terutama pembelajaran matematika di sekolah dasar untuk menjanjikan kemajuan lebih lanjut dalam pemahaman tidak hanya kognisi matematika, tetapi juga peningkatan kognisi matematika pada siswa sekolah dasar, dengan implikasi jangka pendek dan jangka panjang yang bermanfaat untuk generasi masa depan.

Kata kunci: matematika, neurosains kognitif, sekolah dasar.

ABSTRACT

This article aims to describe the development of numerical cognitive development in humans from infants to secondary schools; what the role of the brain in mathematics learning is; the relationship of cognitive neuroscience with mathematics education; cognitive characteristics with atypical development and cognition in students; and intervention to improve mathematical cognition in elementary school students. Related to the author's suggestion for further research is collaboration between researchers and professional educators that relevant to the field of mathematics learning especially mathematics learning in elementary schools to encourage further progress in understanding not only mathematics, but also increasing knowledge about mathematics in elementary schools, and short- and long-term impact on the education of future generations

Keywords: cognitive neuroscience, elementary school, mathematics.

1. PENDAHULUAN

Terjadinya pertumbuhan yang luar biasa dalam studi ilmiah tentang otak manusia selama 15 tahun terakhir ini, dan bersamaan dari itu juga banyak tercipta temuan baru tentang cara kerja otak. Asal mula terciptanya bidang neurosains kognitif pada awal tahun 1990an dikarenakan ketersediaan alat-alat dan teknik non-invasif yang berkembang dan digunakan untuk mengukur fungsi otak selama tugas-tugas kognitif dan pengembangan berkelanjutan dari alat-alat tersebut sehingga mendukung pertumbuhan yang luar biasa.

Secara umum, tujuan Neuroscience Kognitif adalah untuk menjelaskan bagaimana otak memungkinkan pikiran (Gazzaniga, 2002). Dengan kata lain, tujuan Cognitive Neuroscience adalah untuk membatasi kognitif dan teori psikologis dengan data neuroscientific, sehingga membentuk teori-teori tersebut menjadi lebih masuk akal secara biologis. Sepanjang 'Decade of brain' pada 1990-an dan ke abad ke-21, penelitian neurosains kognitif telah dipopulerkan secara luas dengan gambar otak yang penuh warna mengisi bagian 'Sains dan Alam' dari surat kabar harian.

Dalam bidang neurosains kognitif dari pembelajaran matematika, istilah "matematika", "aritmatika" dan "berhitung" sering digunakan secara bergantian. Matematika penting tidak hanya untuk pencapaian akademis, tetapi juga memprediksi banyak aspek pencapaian kehidupan individu lainnya (Parsons dan Bynner, 2005). Pada tingkat masyarakat, standar numerasi sangat mempengaruhi kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, yang sangat penting untuk hasil ekonomi nasional (Gross, Hudson, dan Price, 2009).

Dari sudut pandang teoretis, terdapat hubungan antara neurosains kognitif dan pembelajaran matematika berkaitan dengan pandangan kognitif/rasionalis tentang pemikiran dan pembelajaran matematika (Greeno, Collins & Resnick, 1996). Pembelajaran matematika bukan hanya proses mental yang sangat individual dan murni dari pengetahuan dan keterampilan yang terjadi pada pembelajar individu, tetapi juga proses sosio budaya yang secara fundamental terkoordinasi bersama oleh unsur-unsur dalam lingkungan material dan sosial, seperti yang disoroti oleh pandangan situatif pada pemikiran dan pembelajaran matematika (Greeno et al., 1996).

Tetapi masih sedikit artikel yang membahas tentang neurosains kognitif dalam pembelajaran matematika di Sekolah Dasar. Oleh karena itu, penulis berusaha untuk mendeskripsikan dengan jelas tentang neurosains kognitif pada pembelajaran matematika di Sekolah Dasar.

2. METODE PENELITIAN

Artikel ini ditulis menggunakan pendekatan studi pustaka (library research). Studi pustaka bertujuan untuk mengumpulkan dan menganalisis data atau informasi ilmiah, seperti: jurnal, laporan hasil penelitian, majalah ilmiah, surat kabar, buku yang relevan, hasil-hasil seminar, artikel ilmiah yang belum di publikasikan, dan data ilmiah lain yang berkaitan dengan judul artikel ini (Sukardi, 2003).

Metode pengumpulan datanya dilakukan dengan metode eksploratif, yakni menganalisis perkembangan kognisi numeric, hubungan neurosains kognitif dengan pendidikan matematika, dan bagaimana intervensi dalam peningkatan kognisi matematika (Arikunto, 2006).

Adapun teknik analisis data yang diterapkan dalam artikel ini adalah analisis isi (content analysis), yaitu mengkaji secara mendalam suatu informasi tertulis untuk menemukan informasi yang lengkap. Tahapannya terdiri dari atas 6 tahapan, yaitu (1) merumuskan pertanyaan penelitian dan hipotesisnya, (2) melakukan sampling terhadap sumber-sumber data yang telah dipilih, (3) pembuatan kategori yang dipergunakan dalam analisis, (4) pendataan suatu sampel dokumen yang telah dipilih dan melakukan pengkodean, (5) pembuatan skala dan item berdasarkan kriteria tertentu untuk pengumpulan data, dan (6) interpretasi/ penafsiran data yang diperoleh (Bungin, 2003).

3. PEMBAHASAN

A. Perkembangan Kognisi Numerik pada Anak-anak Usia Sekolah

Pra Sekolah

Pada masa pra sekolah, anak telah memahami tentang hubungan kuantitas, seperti "lebih dari" dan "kurang dari", berkembang saat mereka dewasa, bersama dengan kemampuan mereka untuk menambah dan mengurangi. Starkey (1992) menunjukkan bahwa pemahaman bayi tentang penambahan dan pengurangan berkembang secara bertahap untuk memasukkan ukuran set hingga 4 item pada usia 4 tahun, dan set yang lebih besar sejak saat itu (Geary et al., 2000).

Kemudian, sistem bilangan preverbal menjadi terintegrasi dengan kemampuan bahasa anak yang muncul melalui penggunaan kata-kata bilangan (misalnya "satu," "dua," dll.) Dan penghitungan verbal untuk memecahkan masalah penambahan dan pengurangan dasar (misalnya untuk menyelesaikan $2 + 3$,

menghitung "satu, dua, tiga, empat, lima") meskipun sistem juga dapat beroperasi tanpa bahasa (Geary et al., 2000).

Pada akhir tahun-tahun pra-sekolah, sebagian besar anak-anak memiliki pemahaman yang baik tentang konsep penghitungan. Mereka dapat menggunakan keterampilan berhitung ini untuk menghitung set item yang relatif besar dan dapat melakukan penambahan dan pengurangan item dari set ini. Selain itu, mereka memiliki pemahaman dasar tentang ordinalitas (mis. $1 < 2 < 3 < 4$) dan kardinalitas (mis. Bahwa kata angka terakhir dalam urutan penghitungan menentukan jumlah item dalam satu set). Yang penting, mereka dapat menggunakan keterampilan ini dengan cara praktis, seperti untuk pengukuran (Geary, Frensch dan Wiley, 1994).

Sementara sebagian besar studi perkembangan angka telah berfokus pada keterampilan numerik dasar, beberapa telah menjelaskan perubahan perkembangan dalam penggunaan strategi aritmatika. Sebagai contoh, dibandingkan dengan anak-anak yang lebih muda yang cenderung mengandalkan prosedur langkah-demi-langkah yang menyita waktu (misalnya menghitung dari 1 untuk setiap jumlah), anak-anak yang menerima pendidikan formal menunjukkan peningkatan tingkat optimasi dalam strategi mereka, seperti penggunaan "Min strategy", yaitu menghitung dari penambahan yang lebih besar (Groen, 1977), "tie-strategy", misalnya $2 + 2$, $3 + 3$, $4 + 4$ (Barrouillet dan Fayol, 1998), dan akhirnya mengambil fakta aritmatika dari memori. Tidak mengherankan, anak-anak yang lebih tua juga lebih cepat dan lebih akurat daripada anak-anak yang lebih muda

ketika memecahkan masalah matematika (Imbo, 2007), dan menunjukkan penurunan efek ukuran masalah, pengamatan yang direplikasi dengan baik tentang peningkatan waktu reaksi dengan masalah yang melibatkan sejumlah besar (Roussel, Fayol dan Barrouillet, 2002).

Sekolah Dasar dan Sekolah Menengah

Pada tingkat ini, sebagian besar keterampilan kuantitatif yang diharapkan dipelajari anak-anak dan remaja ditentukan secara budaya, dan dapat diklasifikasikan sebagai kemampuan sekunder yang dibangun dari sistem primer yang lebih universal (Geary et al., 2000). Perbedaan antara kedua sistem ini penting karena lintasan perkembangan kemampuan sekunder dapat bervariasi antara generasi dan budaya, tergantung pada praktik pendidikan.

Pada usia antara enam hingga delapan tahun, representasi numerik tampaknya bergeser secara bertahap dari format logaritmik ke format linear, sehingga mencerminkan pemahaman numerik yang lebih tepat. Korelasi yang kuat telah ditemukan antara perbedaan individu dalam representasi numerik, seperti yang ditunjukkan oleh kinerja dalam tugas estimasi angka-line, dan skor tes prestasi matematika (Siegler dan Booth, 2004). Artinya, peningkatan kinerja matematika dikaitkan dengan peningkatan linearitas dalam estimasi.

B. Peran Otak dalam Proses Pembelajaran Matematika

1) Peran Korteks Prefrontal dalam Proses Pembelajaran Matematika

Korteks prefrontal sendiri terbagi menjadi dua bagian yaitu: Korteks prefrontal orbito-frontal dan korteks prefrontal dorso-lateral. Korteks

prefrontal orbito-frontal bertanggung jawab atas emosi dan kontrol lain di berbagai daerah otak. Korteks prefrontal orbito-frontal bekerja paling aktif terutama dalam menyeimbangkan proses pemahaman kognitif sederhana. Sedangkan korteks prefrontal dorso-lateral yang bertanggung jawab atas working memory dan manipulasi mental (Squire, 2008). Keterbatasan ini yang menyebabkan manusia tidak dapat memaksimalkan kerja otaknya; menyebabkan kemampuan luar biasa yang dimiliki manusia hanya dapat ditelusuri permukaannya.

Dapat disimpulkan bahwa menciptakan kecerdasan matematika bukan hanya sebatas menstimulasi kerja otak kanan dan otak kiri, namun juga mengurangi penggunaan proses pemahaman kognitif sederhana dan menciptakan trik khusus untuk mengaktivasi korteks prefrontal.

2) Peran Amygdala sehingga Menyebabkan Rasa Cemas, Tidak Suka, Takut, dan Cemas yang Dialami Siswa

Amygdala merupakan sekumpulan nukleus yang heterogen secara anatomi maupun fisiologinya. Amygdala mengatur ingatan yang bersifat emosi. Amygdala terbagi menjadi nukleus inti dan kompleks amygdala basolateral/BLA yang berfungsi sebagai pengenal rasa takut dan cemas, memicu reaksi hormon dan respon motor yang menyebabkan meningkatnya denyut jantung, tekanan darah, berkeringat, dan reaksi terkejut (Gale 2004). Amygdala juga berperan dalam konsolidasi ingatan, atensi, persepsi, dan reaksi yang berhubungan dengan emosi (Phelps, 2005 dalam Herma, 2017).

Selain itu, amygdala juga merupakan salah satu area yang membantu konsolidasi long term

memory, terutama jika ingatan tersebut melibatkan emosi. Studi memaparkan amygdala, terutama BLA, merupakan hasil evolusi yang memungkinkan manusia untuk beradaptasi dan menyimpan informasi lebih efisien (McGaugh, 2004). Suatu kejadian yang melibatkan emosi yang cukup kuat akan memicu sekresi epinefrin dan glukokortikoid oleh kelenjar adrenalin. Hormon-hormon tersebut kemudian memicu sekresi norepinefrin ke amygdala, menginduksi kerja amygdala mengonsolidasi ingatan terhadap kejadian tersebut.

Kecemasan yang dialami siswa ketika menghadapi soal - soal matematika dikarenakan adanya stimulasi terhadap amygdala yang memberi sinyal kepada keseluruhan tubuh bahwa pelajar sedang merasa takut. Hal ini mungkin saja terjadi ketika pelajar merasa tertekan atas materi yang diajarkan, guru yang tidak kompeten, suasana pembelajaran tidak mendukung, maupun alasan personal lainnya seperti kurang percaya diri, tidak teliti, dan malas (Herma, 2017).

C. Neurosains Kognitif pada Pembelajaran Matematika

Neurosains kognitif adalah studi ilmiah tentang substrat biologis yang mendasari kognisi, khususnya dasar saraf dari proses mental. Neurosains kognitif merupakan bidang interdisipliner yang melibatkan disiplin ilmu seperti ilmu saraf molekuler, psikologi kognitif dan eksperimental, fisiologi, ilmu komputer, dan psikiatri. Neurosains kognitif menggunakan berbagai metode dari tindakan neuropsikologis dasar, untuk psikofisika, neuroimaging, elektrofisiologi, dan baru-baru ini, genomik perilaku dan kognitif untuk mengeksplorasi hubungan antara proses saraf, kognisi dan perilaku

manusia. Sebagai bidang ilmu saraf kognitif yang berkembang pesat jelas tergambar bahwa pengetahuan tentang otak dan fungsinya dapat diterapkan untuk meningkatkan pembelajaran.

Salah satu cara untuk mengetahui neurosains kognitif dapat berkontribusi pada penelitian pendidikan matematika dilihat dari data aktivitas otak yang dapat menambah lebih rinci tentang diskripsi berbagai proses kognitif yang terjadi selama berpikir dan belajar matematika. Contoh dalam masalah ini adalah dilihat dari penelitian Menon (2002) yang menggambarkan bahwa berbagai proses kognitif terlibat dalam pengembangan aritmatika, seperti penggunaan strategi aritmatika, pengambilan fakta, memori yang bekerja, pengambilan keputusan, dan proses perhatian; dan Zago et al. (2010), juga menyoroti bahwa proses kognitif yang berbeda terjadi selama penghitungan angka kecil dan besar. Selain itu juga terdapat penelitian yang menyatakan bahwa terdapat perbedaan yang besar dalam bagian proses kognitif individu yang berhubungan dengan matematika (Dowker, 2005), dan neurosains kognitif dapat membantu kita untuk lebih memahami perbedaan setiap individu dalam kinerja matematika.

Selain itu hal yang paling menonjol dari penelitian neurosains kognitif adalah di bidang pengembangan atipikal, di mana penelitian neurosains kognitif pada dyscalculia (gangguan belajar spesifik dalam domain aritmatika dengan adanya fungsi kognitif normal). Penelitian ini menyoroti bahwa kesulitan pada aritmatika dasar yang dialami anak-anak dengan dyscalculia berasal dari perkembangan abnormal dari sirkuit otak yaitu intraparietal sulcus yang

mendukung pemrosesan besaran numeric (Butterworth dan Laurillard, 2010 dalam Menon, 2010).

Melihat sisi berlawanan dari spektrum perbedaan individu, para peneliti berusaha mengungkap faktor kognitif mana yang berkontribusi terhadap kemahiran dengan matematika, seperti yang dicontohkan dalam masalah ini oleh Bornemann et al. (2010) dan Preusse et al. (2010) dalam Menon (2010). Mereka berdua menyelidiki tentang penalaran geometris pada individu yang sangat cerdas dengan menggabungkan data perilaku dan tindakan neuroscientific, seperti pupil dilatation dan fMRI. Langkah-langkah terakhir memungkinkan registrasi alokasi sumber daya kognitif online dan berkelanjutan (mis., Penyimpanan informasi dan kemampuan pemrosesan) selama penyelesaian masalah, suatu proses yang sulit untuk dilakukan, ditangkap dengan akurasi dan data waktu reaksi. Dari hasil penelitian ini menunjukkan bahwa individu dengan kecerdasan tinggi memiliki lebih banyak sumber daya kognitif yang tersedia saat melakukan tugas geometris. Secara keseluruhan, ini menunjukkan bahwa neurosains kognitif dapat menambah pemahaman kita tentang spektrum penuh perbedaan individu dalam perkembangan matematika (dari yang lemah hingga yang mahir), menunjukkan potensi (neuro) factor kognitif yang terkait dengan perbedaan individu ini.

D. Karakteristik Kognitif dengan Perkembangan dan Kognisi Atypical Pada Siswa

Pada bagian ini, penulis akan menggambarkan karakteristik kognitif dari berbagai populasi dengan perkembangan dan kognisi atipikal

yang biasa ditemui pada siswa sekolah dasar yaitu sebagai berikut.

1) Aculculia

Aculculia adalah gangguan yang didapat dalam kemampuan untuk melakukan tugas matematika. *Aculculia* merupakan kelainan heterogen dan dapat bermanifestasi dalam bentuk yang berbeda, yaitu pasien mungkin menunjukkan gangguan dalam pemrosesan jumlah atau perhitungan atau keduanya. Ini berbeda dari *dyscalculia* (lihat bagian di karena *aculculia* biasanya diakibatkan dari kerusakan otak dari kondisi neurologis seperti stroke atau penyakit neurodegeneratif, sedangkan *dyscalculia* perkembangan adalah perkembangan spesifik (Looi, 2016).

2) Dsycalculia

Dsycalculia adalah kesulitan belajar atau gangguan perkembangan dalam memahami matematika (termasuk tentang simbol-simbol matematika). Individu dengan *Dsycalculia* biasanya berjuang untuk mensubstitusikan sejumlah kecil objek, menggunakan strategi yang tidak matang dalam memecahkan masalah aritmatika dan menunjukkan kesulitan dalam memahami aritmatika (Looi, 2016).

Namun, baru-baru ini studi pencitraan otak telah menunjukkan bahwa terdapat proyeksi serat yang kurang pada otak anak-anak dengan *dsycalculia*, dan ini termasuk konektivitas antara daerah parietal, temporal, dan frontal (K. Kucian et al., 2013). Mempertimbangkan fungsi daerah-daerah ini, temuan ini menyoroti pentingnya mempertimbangkan fungsi domain-umum, misalnya, fungsi eksekutif, control penghambatan, pengalihan perhatian, pembaruan, dan memori kerja.

3) Kecemasan Matematika

Kompetensi dalam matematika tidak hanya bergantung pada kemampuan kognitif, tetapi juga pada faktor-faktor emosional dan sikap (Dowker, Bennett dan Smith, 2012; Maloney dan Beilock, 2012). Studi telah menunjukkan bahwa faktor-faktor emosional sangat mempengaruhi kinerja matematika, dan mereka yang memiliki kecemasan matematika sangat terpengaruh (Baloglu, 2006; Miller, 2004).

Biasanya, individu dengan kecemasan matematika akan mengalami kecemasan ketika mereka dihadapkan dengan masalah yang melibatkan informasi numerik. Ini tidak terbatas pada pertanyaan dalam buku teks matematika, tetapi juga kegiatan sehari-hari seperti membayar tagihan atau menceritakan waktu. Oleh karena itu, tidak mengherankan bahwa mereka yang memiliki kecemasan matematika cenderung menghindari kegiatan yang berhubungan dengan matematika. Kurangnya kepercayaan diri dan kekhawatiran tentang kinerja dalam situasi yang berhubungan dengan matematika menimbulkan stres dan dengan demikian mengkompromikan sumber daya kognitif seperti memori kerja (Beilock, 2010). Dimungkinkan juga bahwa kecemasan matematika mungkin timbul dari kegagalan berulang seseorang dan kemampuan numerik dan spasial dasar yang buruk, yang merupakan kemampuan untuk mewakili dan alasan tentang jarak, bentuk, urutan, dan hubungan yang melibatkan ruang dua dan tiga dimensi, dan komunikasi informasi tersebut.

E. Intervensi dalam Peningkatan Kognitif

1) Intervensi dalam meningkatkan kemampuan akademik Matematika di Sekolah Dasar

Sejumlah program intervensi matematika telah dirancang untuk digunakan sebagai bahan pembelajaran matematika tambahan untuk anak-anak dalam kelompok kecil atau secara individu. Namun, sangat sedikit dari program-program ini yang telah divalidasi melalui penggunaan empiris, penelitian peer-review atau diinformasikan oleh penelitian neuroscience dalam perkembangannya. Lima program intervensi matematika yang telah menunjukkan dukungan dari penelitian empiris, peer-review menurut (Kroeger, 2012) adalah

- *Accelerated Math (AM)* :Alat penilaian dan pengajaran matematika terkomputerisasi untuk keperluan praktik pemantauan dan kemajuan bagi siswa di Kelas 1-2. Program ini tidak mengklaim bahwa itu dikembangkan berdasarkan literatur ilmu saraf, tetapi melibatkan unsur-unsur yang termasuk dalam Tripel-Code Model dari pemrosesan numerik. Misalnya, pelajaran mencakup tugas perbandingan dan estimasi, menggunakan sistem kuantitas, menghubungkan fakta-fakta matematika dengan jawaban yang benar, yang menggunakan sistem verbal, dan berlatih pada masalah komputasi multi-digit, yang membutuhkan sistem visual. AM juga menargetkan perubahan dalam memori deklaratif dan memori yang berfungsi. Sejumlah besar penelitian oleh badan penelitian independen dan penelitian internal oleh pengembang telah melaporkan

hasil yang signifikan secara statistik dari penggunaan program ini dalam berbagai populasi (Bolt, 2010). Dilaporkan dalam penelitian ini bahwa siswa yang telah mencapai peningkatan akademik yang signifikan umumnya adalah mereka yang guru kelasnya menggunakan AM secara konsisten.

- *Corrective Mathematics (CM)* : Program perbaikan untuk anak-anak dari Kelas 3-12 untuk digunakan dalam pengajaran kelompok kecil atau besar. Mirip dengan AM, ia juga memiliki tautan *Tripel-Code Model*, mis. pelajaran tentang nilai tempat (sistem kuantitas), penekanan pada pengambilan fakta (sistem verbal), dan pengajaran strategi untuk memecahkan masalah aritmatika multi-digit (sistem visual). CM menargetkan peningkatan memori kerja dan fungsi eksekutif. Sejauh ini, kemanjuran program ini telah didukung oleh hasil positif berdasarkan studi penelitian independen menggunakan CM dengan siswa yang menderita cedera otak (Glang, 1992), dengan siswa sekolah menengah yang berisiko (Sommers, 1991), dan sebagai bagian dari program peer-tutoring dengan siswa sekolah menengah (JL Parsons, Martella, Martella, dan Waldron-Soler, 2004). Singkatnya, penelitian ini telah mengeksplorasi efektivitas CM pada siswa dengan karakteristik yang berbeda di berbagai pengaturan dan sulit untuk membangun hubungan sebab akibat yang jelas antara program ini dan kinerja siswa.
- *Fluency and Automaticity through Systematic Teaching (FAST Math)*: Perangkat lunak terkomputerisasi untuk anak-anak di kelas 2 hingga 12 yang dirancang untuk memfasilitasi dan meningkatkan akses anak-anak ke kurikulum matematika melalui pelatihan tentang kelancaran fakta. Program berbasis penelitian ini berfokus pada beberapa aspek pembelajaran matematika: otomatisitas, hubungan antara simbol numerik dan representasi verbal yang terkait, yang konsisten dengan *triple-code-model*, representasi pengetahuan, dan memori kerja.
- *Number Worlds*: Program instruksional untuk PAUD hingga kelas enam untuk memperoleh pemahaman kognitif terpusat dari matematika melalui pelatihan keterampilan mulai dari pengertian jumlah hingga aljabar. Program interaktif ini mencakup penggunaan aktivitas yang terkomputerisasi, langsung dan di atas kertas dan pensil untuk mengajarkan konsep matematika. Ia mengklaim telah berkonsultasi literatur neuroscience dalam pengembangan program, meskipun penelitian spesifik tidak dijelaskan. Komponen program ini juga konsisten dengan *triple-code-model*; mereka termasuk memahami makna di balik kuantitas (sistem kuantitas) dan kemampuan komputasi dengan penekanan pada akurasi dan efisiensi (sistem verbal). Program ini juga mendukung perubahan dalam memori kerja dan fungsi eksekutif dengan menggunakan strategi pengajaran. Penelitian oleh pengembang menunjukkan bahwa NW berhasil meningkatkan pemahaman konseptual angka

pada anak-anak dengan kelemahan sosial ekonomi (Griffin, 2007).

- *The Number Race (NR)*: Sebuah perangkat lunak adaptif untuk mempromosikan pengertian jumlah di antara anak-anak PAUD yang sedang berkembang, dan untuk mencegah dan memulihkan dyscalculia pada anak-anak berusia antara 4-8 tahun (A. J. Wilson et al., 2006 dalam Looi, (2016)). Program ini dikembangkan oleh Wilson dan Dehaene, dan memasukkan unsur-unsur model kode-tiga: pengertian angka dan perbandingan angka (sistem kuantitas), menghitung angka (sistem verbal) dan membaca angka Arab (sistem visual). NR menargetkan peningkatan dalam memori kerja dengan mengadaptasi jendela respons dan kompleksitas opsi respons. Satu-satunya peningkatan nyata pada anak-anak prasekolah yang memainkan NR adalah dalam perbandingan jumlah (Kroeger, 2012) dan penelitian tentang efektivitasnya telah dilakukan oleh pengembang dan kolaborator mereka (Räsänen et al., 2009).

2) Peningkatan Kognitif

• Pelatihan Kognitif

Penelitian neuroimaging telah menunjukkan bahwa pengalaman dapat berkontribusi terhadap perubahan anatomis dan fungsional di otak manusia, bahkan selama masa dewasa (Zatorre et al., 2012). Namun, sebagian besar studi tentang plastisitas otak didasarkan pada penelitian sensorimotor. Penelitian tersebut menunjukkan perubahan dalam korelasi otak anak-anak dengan dyscalculia setelah pelatihan pada game matematika berbasis komputer yang diinspirasi oleh neuroscience (Kucian et al., 2011).

Perubahan aktivasi otak setelah pelatihan diidentifikasi oleh peneliti menunjukkan alasan matematika yang lebih otomatis, dan menemukan bahwa konsolidasi lebih lanjut dari pengetahuan yang diperoleh dari pelatihan membutuhkan waktu lebih lama untuk diekspresikan pada tingkat saraf pada anak-anak dsycalculia. Beberapa program pelatihan lain yang menargetkan matematika dan fungsi kognitif lainnya seperti memori kerja juga diklaim berkontribusi terhadap perbaikan perilaku, tetapi sangat sedikit yang didukung oleh temuan empiris.

Seperti yang disebutkan sebelumnya, ahli matematika yang telah menjalani pelatihan yang luas dan gigih dalam pemikiran matematika selama bertahun-tahun diketahui memiliki perbedaan yang signifikan dalam struktur anatomi otak mereka, yaitu mereka terbukti memiliki kepadatan materi abu-abu yang lebih tinggi daripada yang bukan ahli matematika di daerah yang mendukung pemrosesan numerik, perhitungan dan pemrosesan visuospatial (Aydin dkk., 2007). Hal ini menunjukkan bahwa praktik intensif jangka panjang dapat mengakibatkan perubahan anatomi. Namun, karena matematikawan dan non-matematikawan tidak dibandingkan dalam kemampuan kognitif lain seperti IQ dan memori kerja, hasil ini harus ditafsirkan dengan hati-hati.

Adapun di antara alat yang dapat digunakan untuk pelatihan kognitif adalah Transcranial Electrical Stimulation (tES) (Looi dkk., 2016). Metode tES melibatkan penerapan arus listrik yang lemah pada kulit kepala di atas daerah otak yang menarik, dan dianggap bekerja dengan memodulasi aktivitas listrik endogen dari rakitan

saraf di daerah yang ditargetkan (Looi dkk.,2016). Berbagai hasil penelitian telah menunjukkan bahwa transcranial direct current stimulation (tDCS) yang merupakan bagian dari tES dapat secara selektif meningkatkan fungsi otak, termasuk pemrosesan numerik (Cohen Kadosh dkk., 2010; Iuculano dan R. Cohen Kadosh, 2013; Snowball dkk. 2013 dalam Looi dkk (2016).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan di atas, penulis menarik beberapa kesimpulan berikut.

- 1) Hasil studi neurosains kognitif telah membuktikan bahwa struktur saraf mendasari proses kognitif yang begitu kompleks dan canggih, termasuk kognisi numerik.
- 2) Kognisi numerik manusia telah berkembang pesat sejak ia masih bayi hingga sekolah menengah
- 3) Otak berperan penting sebagai regulator dalam pembelajaran matematika
- 4) Neurosains kognitif telah memberikan kontribusi mengenai metode pembelajaran matematika yang sesuai dengan karakteristik kognitif anak dan dapat mengatasi kognisi atypical sehingga kognisi matematika siswa sekolah dasar dapat ditingkatkan melalui berbagai intervensi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ansari, D. & Coch, D. (2006) Bridges Over Troubled Waters: Education and cognitive neuroscience, *Trends in Cognitive Sciences*, 10:4, pp. 146-151.
- [2] Antell, S.E. and D.P. Keating (1983), "Perception of numerical invariance in neonates", *Child Development*, pp. 695-701.
- [3] Arikunto, S. (2006). *Prosedur Penelitian Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- [4] Baloglu, M. and R. Kocak (2006), "A multivariate investigation of the differences in mathematics anxiety", *Personality and Individual Differences*, Vol. 40/7, pp. 1325-1335.
- [5] Barrouillet, P. and R. Lépine (2005), "Working memory and children's use of retrieval to solve addition problems", *Journal of Experimental Child Psychology*, Vol. 91/3, pp. 183-204
- [6] Beilock, S.L. et al. (2010), "Female teachers' math anxiety affects girls' math achievement", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, Vol. 107/5, pp. 1860-1863.
- [7] Blakemore, S. J. & Frith, U. (2005) *The Learning Brain: Lessons for education* (Oxford, Blackwell).
- [8] Bolt, D.M., J. Ysseldyke and M.J. Patterson (2010), "Students, Teachers, and Schools as Sources of Variability, Integrity, and Sustainability in Implementing Progress Monitoring", *School Psychology Review*, Vol. 39/4, pp. 612-630.
- [9] Bungin, B. (2003). *Analisis Data Penelitian Kualitatif*. Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- [10] Cohen Kadosh, R. et al. (2010), "Double dissociation of format-dependent and number-specific neurons in human parietal cortex", *Cerebral Cortex*, Vol. 20/9, pp. 2166-2171.
- [11] Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P. & Cohen, L. (2003) Three Parietal Circuits for Number Processing,

- Cognitive Neuropsychology, 20:3-6, pp. 487-506.
- [12] Dehaene, S., Spelke, E., Pinel, P., Stanescu, R. & Tsivkin, S. (1999) Sources of Mathematical Thinking: Behavioral and brain-imaging evidence, *Science*, 284, pp. 970-974.
- [13] Dowker, A. (2005). Individual differences in arithmetic: Implications for psychology, neuroscience, and education. New York: Psychology Press.
- [14] Gale, G.D; Stephan, G.A; Bill P.G; Shawn. M; Takashi N; Jennifer R.S; Brian W; Michael SF. 2004. "Role of the Basolateral Amygdala in the Storage of Fear Memories across the Adult Lifetime of Rats". *The Journal of Neuroscience*.24(15):3810-3815
- [15] Gazzaniga, M. S. (2002) *Cognitive Neuroscience, 2nd edn.* (New York, W.W. Norton & Company).
- [16] Geary, D.C., Frensch, P.A., and Wiley, J.G. (2000), "From infancy to adulthood: The development of numerical abilities", *European child and adolescent psychiatry*, Vol. 9/2, S11-S16,
<https://web.missouri.edu/~gearyd/ECAPsychiatry.pdf>.
- [17] Goswami, U. (2004) Neuroscience and Education, *British Journal of Educational Psychology*, 74:Pt1, pp. 1-14.
- [18] Goswami, U. (2006) Neuroscience and Education: From research to practice? *Nature Reviews Neuroscience*, 7, pp. 406-413.
- [19] Groen, Guy and Lauren B. Resnick (1977), "Can preschool children invent addition algorithms?", *Journal of Educational Psychology*, Vol. 69/6, pp. 645-652.
- [20] Gross, J., C. Hudson and D. Price (2009), *The long term costs of numeracy difficulties* (2nd edition), Every Child a Chance Trust.
- [21] Herma, A. (2017). *Teaching Material Science, Technology, Engineering, and Mathematics (STEM)*.
- [22] Iuculano, Teresa Roi Cohen Kadosh (2013), "The mental cost of cognitive enhancement", *The Journal of Neuroscience*, Vol. 33/10, pp. 4482-4486.
- [23] Izard, V. et al. (2009), "Newborn infants perceive abstract numbers", *Proceeding of the National Academy of Science USA*, Vol. 106, pp. 10382-10385.
- [24] Kucian, K. et al. (2013), "Developmental dyscalculia: A dysconnection syndrome?", *Brain Structure and Function*.
- [25] Looi, C. et al. (2016), "The Neuroscience of Mathematical Cognition and Learning", OECD Education Working Papers, No. 136, OECD Publishing, Paris.
- [26] Maloney, E.A. and S.L. Beilock (2012), "Math anxiety: Who has it, why it develops, and how to guard against it", *Trends in cognitive sciences*, Vol. 16/8, pp. 404-406.
- [27] Menon, V. (2010). Developmental cognitive neuroscience of arithmetic: implications for learning and education. *Zdm*, 42(6), 515-525.
- [28] Miller, H. and J. Bichsel (2004), "Anxiety, working memory, gender, and math performance", *Personality and Individual Differences*, Vol. 37/3, pp. 591-606.
- [29] Parikh, S; Lydia, D; Sarita, P; Surabhi D. 2007. [Conference Paper] "Making Mathematics Fun". 37th Indian Social Science Congress. 27-31 December 2007. Mumbai India.
- [30] Parsons, S. and J. Bynner (2005), *Does numeracy matter more?*, NRDC, London.

- [31] Posner, M. I. & Rothbart, M. K. (2005) Influencing Brain Networks: Implications for education, *Trends in Cognitive Sciences*, 9:3, pp. 99-103.
- [32] Pugh, K. R., Shaywitz, B. A., Shaywitz, S. E., Constable, R. T., Skudlarski, P., Fulbright, R. K., et al. (1996) Cerebral Organization of Component Processes in Reading, *Brain*, 119, pp.1221-1238.
- [33] Roussel, J.L., M. Fayol and P. Barrouillet (2002), "Procedural vs. direct retrieval strategies in arithmetic: A comparison between additive and multiplicative problem solving", *European Journal of Cognitive Psychology*, Vol. 14/1, pp.61-104.
- [34] Rusconi, E. et al. (2010), "The enigma of Gerstmann's syndrome revisited: A telling tale of the vicissitudes of neuropsychology", *Brain*, Vol. 133, pp. 320-332.
- [35] Seron, X. (2012), "Can teachers count on mathematical neurosciences?", in S. Della Sala and M. Anderson, M. (eds.), *Neuroscience in Education: The good, the bad and the ugly*, Oxford University Press, Oxford, pp. 91-92.
- [36] Sharon, T. and K. Wynn (1998), "Individuation of actions from continuous motion", *Psychological Science*, Vol. 9/5, pp. 357-362.
- [37] Snowball, A. et al. (2013), "Long-Term Enhancement of Brain Function and Cognition Using Cognitive Training and Brain Stimulation", *Current Biology*, Vol. 23/11, pp. 987-992
- [38] Squire, L.R; Floyd, E.B; Nicholas, C.S; Sascha, D.L; Anirvan, G; Darwin, B. 2008. *Fundamental Neuroscience 3rd Edition*.Canada : Academia Press.
- [39] Starkey, P. (1992), "The early development of numerical reasoning", *Cognition*, Vol. 43/2, pp. 93-126.
- [40] Starkey, P. and R.G. Cooper (1980), "Perception of numbers by human infants", *Science*, Vol. 210/4473, pp. 1033-1035.
- [41] Stern, E. (2005) Pedagogy Meets Neuroscience, *Science*, 310, p. 745.
- [42] Sukardi. (2003). *Metodologi Penelitian Pendidikan: Kompetensi dan Praktiknya* Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- [43] Turkeltaub, P. E., Gareau, L., Flowers, D. L., Zeffiro, T. A. & Eden, G. F. (2003) Development of Neural Mechanisms for Reading, *Nature Neuroscience*, 6:7, pp. 67-73.
- [44] Wynn, K. (1996), "Infants' individuation and enumeration of actions", *Psychological Science*, Vol. 7/3, pp. 164-169.