

**FREKUENSI LATIHAN FISIK, DURASI TIDUR, DAN PERFORMA
NEUROKOGNITIF: ANALISIS CROSS-SECTIONAL TERHADAP
INHIBISI KOGNITIF DAN KECEPATAN PEMROSESAN PADA
MAHASISWA ILMU KEOLAHRAGAAN**

**Septian Williyanto¹, Herman Subarjah², Surdiniaty Ugelta³, Sri Nurlatipah⁴,
Danang Isworo Wijayanto⁵**

Universitas Pendidikan Indonesia^{1,2,3}, Sekolah Tinggi Ilmu Farmasi Indonesia⁴,
Universitas Sains Al Quran⁵
septianwilliyanto@upi.edu¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji hubungan antara frekuensi latihan fisik dan durasi tidur dengan inhibisi kognitif dan kecepatan pemrosesan informasi pada mahasiswa ilmu keolahragaan. Penelitian menggunakan desain *cross-sectional* dengan melibatkan 45 mahasiswa ilmu keolahragaan (28 laki-laki, 17 perempuan; rata-rata usia $19,62 \pm 0,72$ tahun; rata-rata IMT $21,79 \pm 2,49$ kg/m²). Frekuensi latihan fisik (sesi/minggu) dan durasi tidur (jam/malam) dilaporkan secara mandiri oleh responden. Fungsi neurokognitif diukur menggunakan *Stroop Color-Word Test* (kontrol inhibisi) dan *Trail Making Test* (kecepatan pemrosesan). Analisis korelasi Pearson dan regresi linear berganda digunakan untuk menentukan hubungan antarvariabel. Hasil penelitian menunjukkan bahwa: (1) frekuensi latihan fisik memiliki korelasi positif yang signifikan dengan skor *Stroop* ($r = 0,545$, $p < 0,001$); (2) durasi tidur berkorelasi signifikan dengan skor *Stroop* ($r = 0,479$, $p = 0,001$) maupun skor TMT ($r = -0,356$, $p = 0,016$); (3) frekuensi latihan fisik dan durasi tidur secara bersama-sama menjelaskan 29,3% varians kontrol inhibisi ($R^2 = 0,325$, $R^2_{adj} = 0,293$); dan (4) kedua variabel tersebut menjelaskan 9,0% varians kecepatan pemrosesan ($R^2 = 0,132$, $R^2_{adj} = 0,090$). Dapat disimpulkan bahwa frekuensi latihan fisik dan durasi tidur berhubungan positif dengan inhibisi kognitif pada mahasiswa ilmu keolahragaan, sementara durasi tidur secara mandiri memprediksi kecepatan pemrosesan. Temuan ini mendukung pentingnya integrasi edukasi higiene tidur dan program latihan fisik terstruktur dalam kurikulum ilmu keolahragaan guna mengoptimalkan performa neurokognitif mahasiswa.

Kata Kunci: Durasi Tidur, Frekuensi Latihan, Fungsi Neurokognitif, Ilmu Keolahragaan, Inhibisi Kognitif, Kecepatan Pemrosesan, Tes *Stroop*, *Trail Making Test*

ABSTRACT

This study aimed to examine the relationships between exercise frequency and sleep duration with cognitive inhibition and information processing speed among sport science undergraduates. A cross-sectional design was employed involving 45 sport science undergraduates (28 males, 17 females; mean age 19.62 ± 0.72 years; mean BMI 21.79 ± 2.49 kg/m²). Exercise frequency (sessions/week) and sleep duration (hours/night) were self-reported. Neurocognitive function was

assessed using the Stroop Color-Word Test (inhibitory control) and the Trail Making Test (processing speed). Pearson correlation and multiple linear regression analyses were used to determine the associations. The results showed that: (1) exercise frequency had a significant positive correlation with Stroop scores ($r = 0.545$, $p < 0.001$); (2) sleep duration was significantly correlated with both Stroop scores ($r = 0.479$, $p = 0.001$) and TMT performance ($r = -0.356$, $p = 0.016$); (3) exercise frequency and sleep duration jointly explained 29.3% of the variance in inhibitory control ($R^2 = 0.325$, $R^2_{adj} = 0.293$); and (4) both variables explained 9.0% of the variance in processing speed ($R^2 = 0.132$, $R^2_{adj} = 0.090$). It can be concluded that exercise frequency and sleep duration are positively associated with cognitive inhibition among sport science undergraduates, while sleep duration alone predicts processing speed. These findings support the integration of sleep hygiene education and structured exercise programs into sport science curricula to optimize students' neurocognitive performance.

Keywords: Sleep Duration, Exercise Frequency, Neurocognitive Function, Sport Science, Cognitive Inhibition, Processing Speed, Stroop Test, Trail Making Test

PENDAHULUAN

Fungsi neurokognitif merupakan komponen fundamental dalam performa atletik maupun pencapaian akademik, khususnya bagi mahasiswa ilmu keolahragaan yang harus menjalani latihan fisik intensif sekaligus tugas-tugas intelektual yang menuntut (Chaddock et al., 2010; Hillman et al., 2008). Di antara berbagai domain neurokognitif, inhibisi kognitif—kemampuan untuk menekan stimulus yang tidak relevan dan menahan respons yang dominan—serta kecepatan pemrosesan—efisiensi otak dalam mengkodekan dan mengolah informasi—dipandang sebagai fungsi eksekutif penting yang mendasari pengambilan keputusan, waktu reaksi, dan kemampuan belajar (Diamond, 2013; Tomporowski et al., 2015).

Latihan fisik telah lama dianggap sebagai modulator penting bagi struktur dan fungsi otak, terutama melalui mekanisme neuroplastisitas, perfusi serebrovaskular, dan regulasi neuroendokrin (Erickson et al., 2011; Voss et al., 2013). Berbagai penelitian *cross-sectional* maupun longitudinal secara konsisten menunjukkan bahwa tingkat aktivitas fisik yang lebih tinggi berhubungan dengan performa yang lebih baik pada tugas-tugas yang mengukur kontrol inhibisi dan fleksibilitas kognitif (Chang et al., 2012; Guiney & Machado, 2013; Verburgh et al., 2014). Peningkatan fungsi korteks prefrontal akibat latihan fisik diduga mendasari peningkatan tersebut, khususnya melalui jalur sinyal dopaminergik dan noradrenergik (Hötting & Röder, 2013).

Selain itu, tidur muncul sebagai determinan penting lainnya bagi kesehatan kognitif. Deprivasi tidur dan kualitas tidur yang buruk telah dikaitkan dengan defisit pada berbagai domain kognitif, termasuk perhatian berkelanjutan, memori kerja, dan fungsi eksekutif (Killgore, 2010; Lo et al., 2016). Fungsi restoratif tidur—termasuk homeostasis sinaptik, pembersihan *glymphatic*, dan konsolidasi memori—menjadikan tidur yang cukup sebagai prasyarat mutlak untuk performa kognitif yang optimal (Tononi & Cirelli, 2014; Walker, 2017). Pada populasi usia kuliah, kurang tidur secara kronis lazim terjadi dan dikaitkan dengan gangguan performa akademik dan atletik (Mah et al., 2011; Charest & Grandner, 2020).

Meskipun bukti yang mendukung peran independen latihan fisik dan tidur terhadap fungsi kognitif terus bertambah, penelitian yang mengkaji kedua faktor tersebut secara bersamaan pada populasi mahasiswa ilmu keolahragaan masih jarang dilakukan. Mahasiswa ilmu keolahragaan merupakan kelompok unik yang dicirikan oleh latihan fisik rutin, pola tidur yang bervariasi, serta tuntutan neurokognitif yang spesifik, sehingga menjadikan mereka populasi yang ideal untuk mengkaji hubungan tersebut (Pontifex et al., 2015). Pemahaman mengenai kontribusi relatif frekuensi latihan fisik dan durasi tidur terhadap kontrol inhibisi dan kecepatan pemrosesan pada populasi ini dapat menjadi dasar rekomendasi berbasis bukti untuk mengoptimalkan kesiapan kognitif mahasiswa-atlet.

Lebih lanjut, sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada latihan aerobik pada populasi umum, dengan perhatian yang masih terbatas pada domain spesifik inhibisi kognitif yang diukur menggunakan *Stroop Color-Word Test* serta kecepatan pemrosesan yang diukur menggunakan *Trail Making Test* (TMT) pada mahasiswa ilmu keolahragaan. Kedua instrumen neuropsikologis terstandarisasi ini menawarkan pengukuran yang sensitif dan tervalidasi terhadap integritas jaringan prefrontal dan frontal-parietal (Strauss et al., 2006; Tombaugh, 2004).

Dengan demikian, kebaruan penelitian ini terletak pada pengkajian simultan terhadap frekuensi latihan fisik dan durasi tidur sebagai prediktor dua domain neurokognitif yang berbeda, yaitu inhibisi kognitif dan kecepatan pemrosesan, secara khusus pada populasi mahasiswa ilmu keolahragaan yang belum banyak disasar oleh penelitian sebelumnya, sekaligus menggunakan kombinasi *Stroop Color-Word Test* dan *Trail Making Test* yang jarang diterapkan bersama-sama pada populasi ini.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengkaji hubungan antara frekuensi latihan fisik dan durasi tidur dengan inhibisi kognitif (*Stroop*) dan kecepatan pemrosesan (TMT) pada mahasiswa ilmu keolahragaan; (2) menentukan apakah frekuensi latihan fisik dan durasi tidur secara independen maupun bersama-sama memprediksi performa pada kedua ukuran neurokognitif tersebut; dan (3) memberikan rekomendasi berbasis bukti untuk optimalisasi gaya hidup pada populasi ini.

KAJIAN TEORI

Fungsi Neurokognitif: Inhibisi Kognitif dan Kecepatan Pemrosesan

Fungsi eksekutif merupakan sekumpulan proses kognitif tingkat tinggi yang memungkinkan individu mengatur pikiran dan perilaku secara terarah pada tujuan, dengan inhibisi kognitif dan kecepatan pemrosesan sebagai dua komponen inti di dalamnya (Diamond, 2013). Inhibisi kognitif berperan dalam menekan respons otomatis yang tidak relevan agar perilaku yang lebih adaptif dapat dimunculkan, sedangkan kecepatan pemrosesan mencerminkan efisiensi sistem saraf pusat dalam menerima, mengkodekan, dan mengolah informasi sebelum menghasilkan respons. Kedua komponen ini bekerja secara saling melengkapi dan menjadi prasyarat bagi domain fungsi eksekutif lain seperti memori kerja dan fleksibilitas kognitif (Tomprowski et al., 2015).

Latihan Fisik dan Fungsi Otak

Secara teoretis, latihan fisik memengaruhi fungsi otak melalui beberapa jalur biologis yang saling berkaitan, antara lain peningkatan perfusi serebrovaskular, stimulasi neurogenesis, serta peningkatan sekresi faktor

neurotrofik yang mendukung plastisitas sinaptik pada area prefrontal dan hipokampus (Erickson et al., 2011). Model hipofrontalitas sementara juga menjelaskan bagaimana aktivasi fisiologis akibat latihan dapat meningkatkan efisiensi kerja korteks prefrontal dalam jangka pendek maupun jangka panjang, sehingga latihan fisik yang dilakukan secara rutin diharapkan memberikan manfaat kumulatif terhadap kapasitas kontrol inhibisi.

Tidur dan Performa Kognitif

Tidur memiliki fungsi restoratif yang esensial bagi kerja otak, meliputi konsolidasi memori, pemulihan homeostasis sinaptik, serta pembersihan produk metabolik saraf yang menumpuk selama periode terjaga (Walker, 2017). Ketika durasi maupun kualitas tidur tidak memadai, proses-proses restoratif tersebut terganggu sehingga berdampak pada penurunan efisiensi jaringan neural yang mendasari kontrol inhibisi dan kecepatan pemrosesan informasi. Kerangka teoretis ini mendasari asumsi bahwa durasi tidur yang cukup merupakan prasyarat biologis bagi performa neurokognitif yang optimal, sebagaimana yang diuji dalam penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain observasional *cross-sectional* yang melibatkan 45 mahasiswa (28 laki-laki, 17 perempuan) yang terdaftar pada Program Studi Ilmu Keolahragaan di sebuah universitas negeri di Bandung, Indonesia. Rata-rata usia responden adalah $19,62 \pm 0,72$ tahun (rentang: 19–22 tahun), dengan rata-rata Indeks Massa Tubuh (IMT) sebesar $21,79 \pm 2,49$ kg/m². Kriteria inklusi pada penelitian ini meliputi: (a) terdaftar aktif pada program studi ilmu keolahragaan; (b) tidak memiliki riwayat gangguan neurologis yang dilaporkan secara mandiri; (c) tidak mengonsumsi kafein dalam 12 jam sebelum pengambilan data; (d) memiliki penglihatan warna normal (dikonfirmasi melalui skrining). Penelitian dilaksanakan sesuai dengan Deklarasi Helsinki, dan seluruh responden memberikan persetujuan tertulis (*informed consent*).

Frekuensi latihan fisik diukur berdasarkan jumlah sesi latihan fisik terstruktur yang dilakukan responden per minggu selama empat minggu terakhir (rata-rata: $3,53 \pm 1,73$ sesi/minggu, rentang: 2–7 sesi/minggu). Durasi tidur diukur berdasarkan rata-rata durasi tidur malam yang dilaporkan secara mandiri (rata-rata: $6,11 \pm 1,32$ jam, rentang: 4–9 jam), dengan responden diminta melaporkan kebiasaan tidur selama dua minggu terakhir. Kontrol inhibisi diukur menggunakan *Stroop Color-Word Test*, yaitu responden diminta menyebutkan warna tinta dari kata-kata yang tidak kongruen dengan warnanya; skor yang lebih tinggi menunjukkan kontrol inhibisi dan kecepatan penamaan warna yang lebih baik (rata-rata: $54,67 \pm 16,78$; rentang: 20–101). Kecepatan pemrosesan diukur menggunakan *Trail Making Test* (TMT), yaitu waktu penyelesaian (dalam detik) dicatat, dengan skor yang lebih rendah menunjukkan pemrosesan yang lebih cepat (rata-rata: $86,58 \pm 21,93$ detik; rentang: 54–143 detik).

Statistik deskriptif (rata-rata $\pm$ SD) dihitung untuk seluruh variabel. Koefisien korelasi *product-moment* Pearson digunakan untuk menilai hubungan bivariat antara frekuensi latihan fisik, durasi tidur, dan hasil neurokognitif. Model regresi linear berganda disusun dengan frekuensi latihan fisik dan durasi tidur sebagai variabel independen, serta skor *Stroop* atau waktu penyelesaian TMT

sebagai variabel dependen. Ambang signifikansi ditetapkan pada $p < 0,05$ (dua arah). Seluruh analisis dilakukan menggunakan Python (SciPy 1.11).

HASIL PENELITIAN

Statistik Deskriptif

Tabel 1 menyajikan statistik deskriptif untuk sampel penelitian. Sampel didominasi oleh responden berusia muda (19–22 tahun), dengan rata-rata IMT yang berada pada kategori sehat. Frekuensi latihan fisik berkisar antara 2 hingga 7 sesi per minggu, mencerminkan rentang dari mahasiswa yang minim aktivitas hingga sangat aktif. Durasi tidur berkisar antara 4 hingga 9 jam per malam. Skor *Stroop* bervariasi cukup luas (20–101), menunjukkan adanya variasi individu yang substansial dalam kapasitas kontrol inhibisi.

Tabel 1. Statistik Deskriptif Variabel Penelitian (N = 45)

Variabel	Rata-rata	SD	Min	Maks
Usia (tahun)	19,62	0,72	19	22
IMT (kg/m ²)	21,79	2,49	16,36	27,69
Durasi Tidur (jam/malam)	6,11	1,32	4	9
Frekuensi Latihan (sesi/minggu)	3,53	1,73	2	7
Skor <i>Stroop</i> (lebih tinggi = lebih baik)	54,67	16,78	20	101
<i>Trail Making Test</i> (detik; lebih rendah = lebih baik)	86,58	21,93	54	143

Analisis Korelasi

Tabel 2 menyajikan koefisien korelasi Pearson antara variabel prediktor dan hasil neurokognitif. Frekuensi latihan fisik menunjukkan korelasi positif yang signifikan dengan tingkat sedang hingga kuat terhadap skor *Stroop* ($r = 0,545$, $p < 0,001$), yang mengindikasikan bahwa mahasiswa dengan frekuensi latihan fisik lebih tinggi menunjukkan kontrol inhibisi yang lebih baik. Durasi tidur juga berkorelasi signifikan dengan skor *Stroop* ($r = 0,479$, $p = 0,001$). Untuk TMT, durasi tidur menunjukkan korelasi negatif yang signifikan ($r = -0,356$, $p = 0,016$), yang berarti durasi tidur yang lebih panjang berhubungan dengan kecepatan pemrosesan yang lebih cepat. Frekuensi latihan fisik tidak menunjukkan hubungan yang signifikan dengan TMT ($r = -0,175$, $p = 0,251$).

Tabel 2. Korelasi Pearson antara Variabel Prediktor dan Hasil Neurokognitif

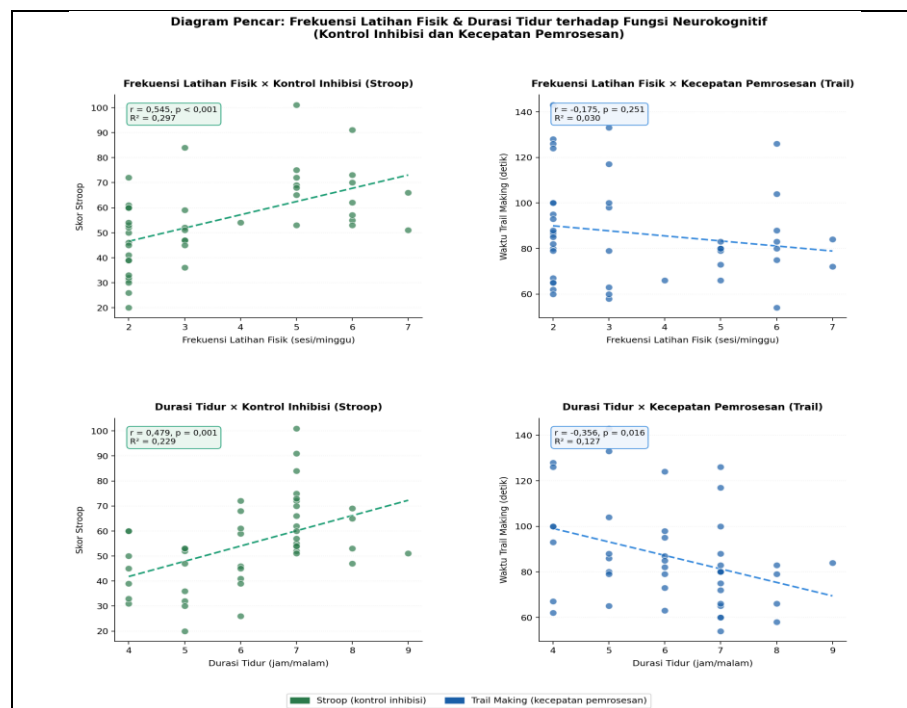
Variabel	r <i>Stroop</i>	p <i>Stroop</i>	r TMT	p TMT
Frekuensi Latihan Fisik	0,545***	< 0,001	-0,175	0,251
Durasi Tidur	0,479**	0,001	-0,356*	0,016

Catatan. * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$. TMT = *Trail Making Test* (skor lebih rendah = lebih cepat/lebih baik).

Diagram Pencar dan Interpretasi Visual

Gambar 1 menampilkan diagram pencar yang mengilustrasikan hubungan antara frekuensi latihan fisik dan durasi tidur dengan skor *Stroop* (inhibisi kognitif) dan waktu penyelesaian TMT (kecepatan pemrosesan), dilengkapi dengan garis regresi. Inspeksi visual mengonfirmasi adanya tren linear positif antara frekuensi latihan fisik dengan skor *Stroop* (Panel A), serta antara durasi tidur dengan skor *Stroop* (Panel C). Panel D menunjukkan tren negatif antara durasi tidur dengan waktu TMT, yang konsisten dengan korelasi signifikan yang

ditemukan. Panel B (frekuensi latihan $\times$ TMT) menunjukkan garis regresi yang relatif datar, konsisten dengan korelasi yang tidak signifikan.



Gambar 1. Diagram pencar frekuensi latihan fisik dan durasi tidur terhadap kontrol inhibisi (*Stroop*) dan kecepatan pemrosesan (*Trail Making Test*). Garis putus-putus menunjukkan tren regresi linear; r = koefisien korelasi Pearson; R^2 = koefisien determinasi. Skor TMT yang lebih rendah menunjukkan pemrosesan yang lebih cepat.

Analisis Regresi Berganda

Analisis regresi berganda menunjukkan bahwa frekuensi latihan fisik dan durasi tidur secara bersama-sama memprediksi skor *Stroop* secara signifikan ($F(2,42) = \text{signifikan}$; $R^2 = 0,325$, $R^2_{\text{adj}} = 0,293$), yang menjelaskan sekitar 29,3% varians kontrol inhibisi. Frekuensi latihan fisik muncul sebagai prediktor yang lebih kuat ($\beta = 3,933$) dibandingkan durasi tidur ($\beta = 2,781$), meskipun keduanya berkontribusi secara independen. Untuk waktu penyelesaian TMT, model gabungan menjelaskan 9,0% varians teradjust ($R^2 = 0,132$, $R^2_{\text{adj}} = 0,090$), dengan durasi tidur sebagai prediktor utama ($\beta = -6,910$) dan frekuensi latihan fisik menunjukkan kontribusi yang dapat diabaikan ($\beta = 1,171$). Tabel 3 menyajikan koefisien regresi tersebut.

Tabel 3. Koefisien Regresi Berganda untuk Skor *Stroop* dan *Trail Making Test*

Prediktor	B (<i>Stroop</i>)	B (TMT)	R^2 (<i>Stroop</i>)	R^2 (TMT)
Frekuensi Latihan Fisik	3,933	1,171	0,325	0,132
Durasi Tidur	2,781	-6,910	—	—
R^2 Terkoreksi			0,293	0,090

PEMBAHASAN

Penelitian ini memberikan bukti *cross-sectional* bahwa frekuensi latihan fisik dan durasi tidur memiliki hubungan yang signifikan dengan fungsi neurokognitif pada mahasiswa ilmu keolahragaan, dengan kekhasan tertentu pada

masing-masing domain. Frekuensi latihan fisik merupakan prediktor terkuat bagi inhibisi kognitif, sementara durasi tidur memberikan pengaruh yang lebih luas, mencakup baik kontrol inhibisi maupun kecepatan pemrosesan.

Frekuensi Latihan Fisik dan Inhibisi Kognitif

Hubungan signifikan antara frekuensi latihan fisik dengan performa *Stroop* ($r = 0,545$, $p < 0,001$) sejalan dengan banyak literatur yang menunjukkan bahwa aktivitas fisik habitual yang lebih tinggi berhubungan dengan fungsi eksekutif yang lebih baik pada dewasa muda (Hillman et al., 2008; Chang et al., 2012; Verburch et al., 2014). *Stroop* Color-Word Test merupakan salah satu ukuran kontrol inhibisi yang paling sensitif terhadap fungsi korteks prefrontal (Persson et al., 2007), dan temuan bahwa sekitar 29,7% varians skor *Stroop* dapat dijelaskan oleh frekuensi latihan fisik saja konsisten dengan estimasi meta-analisis mengenai ukuran efek sedang hingga besar dari latihan fisik terhadap kontrol inhibisi (Etnier et al., 2014).

Secara neurobiologis, latihan fisik secara rutin diyakini meningkatkan kontrol inhibisi melalui modulasi katekolaminergik pada korteks prefrontal (PFC), peningkatan ekspresi *brain-derived neurotrophic factor* (BDNF), serta peningkatan perfusi serebrovaskular (Erickson et al., 2011; Hötting & Röder, 2013; Szabo et al., 2001). Penelitian menggunakan pencitraan otak menunjukkan bahwa individu yang aktif secara fisik memiliki aktivasi korteks prefrontal dan korteks singulata anterior yang lebih tinggi selama tugas kognitif yang memerlukan kontrol inhibisi (Chaddock-Heyman et al., 2013; Voss et al., 2013). Populasi pada penelitian ini, yaitu mahasiswa ilmu keolahragaan dengan latihan fisik terstruktur secara rutin, kemungkinan memperoleh manfaat dari adaptasi neural kronis akibat latihan yang mendukung efisiensi PFC.

Sebaliknya, frekuensi latihan fisik tidak berhubungan secara signifikan dengan performa TMT ($r = -0,175$, $p = 0,251$). Disosiasi ini cukup menarik dan dapat mencerminkan determinan kecepatan pemrosesan yang bersifat multifaktorial, yang tidak hanya melibatkan jaringan prefrontal tetapi juga jaringan pemrosesan parietal dan subkortikal (Penke et al., 2010). Ada kemungkinan bahwa intensitas dan jenis latihan—bukan frekuensi semata—merupakan determinan yang lebih relevan bagi kecepatan pemrosesan, mengingat modalitas latihan aerobik dengan tuntutan kardiovaskular yang lebih tinggi secara spesifik telah dikaitkan dengan integritas materi putih dan kecepatan konduksi saraf (Oberlin et al., 2016; Voss et al., 2016).

Durasi Tidur dan Performa Neurokognitif

Durasi tidur berhubungan secara signifikan dengan skor *Stroop* ($r = 0,479$, $p = 0,001$) maupun performa TMT ($r = -0,356$, $p = 0,016$), yang mengindikasikan pengaruh kecukupan tidur yang lebih luas terhadap fungsi neurokognitif dibandingkan frekuensi latihan fisik semata. Temuan ini konsisten dengan penelitian yang menunjukkan bahwa restriksi tidur akut maupun kekurangan tidur kronis menurunkan fungsi eksekutif, termasuk inhibisi respons dan efisiensi pemrosesan (Killgore, 2010; Lo et al., 2016; Lim & Dinges, 2010).

Hubungan negatif antara durasi tidur dengan waktu TMT—di mana durasi tidur yang lebih panjang memprediksi waktu penyelesaian yang lebih cepat—mendukung hipotesis bahwa tidur memfasilitasi mielinisasi akson, konsolidasi sinaptik, dan pembersihan *glymphatic*, yang semuanya mendukung efisiensi transmisi neural (Tononi & Cirelli, 2014; Ju et al., 2017). Pada mahasiswa ilmu

keolahragaan yang sering menghadapi tuntutan ganda berupa latihan fisik dan tugas akademik, durasi tidur yang kurang optimal (rata-rata: 6,11 jam, di bawah rekomendasi 7–9 jam untuk kelompok usia ini) kemungkinan berkontribusi terhadap kecepatan pemrosesan yang terganggu (Watson et al., 2015; Charest & Grandner, 2020).

Koefisien regresi durasi tidur pada model TMT ($\beta = -6,910$) mengindikasikan bahwa setiap penambahan satu jam tidur berhubungan dengan pengurangan waktu penyelesaian TMT sekitar 6,9 detik, suatu ukuran efek yang secara klinis bermakna. Temuan ini sejalan dengan Mah et al., (2011), yang menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada waktu reaksi dan kecepatan pemrosesan pada atlet mahasiswa setelah perpanjangan durasi tidur. Pada model *Stroop*, durasi tidur berkontribusi secara independen bersama frekuensi latihan fisik, yang mengindikasikan adanya efek aditif terhadap kontrol inhibisi (Alhola & Polo-Kantola, 2007; Harrison & Horne, 2000).

Efek Gabungan dan Implikasi Praktis

Model gabungan frekuensi latihan fisik dan durasi tidur menjelaskan 29,3% varians teradjust pada inhibisi kognitif, yang mengindikasikan bahwa meskipun kedua faktor tersebut penting, sebagian besar variasi individu pada performa *Stroop* tetap dapat dikaitkan dengan faktor genetik, motivasi, atau faktor gaya hidup lain yang tidak dikaji dalam penelitian ini. Untuk kecepatan pemrosesan, varians yang dapat dijelaskan lebih kecil (9,0% teradjust), yang dapat mencerminkan kompleksitas jaringan neural yang lebih besar yang mendasari pemrosesan informasi secara cepat (Penke et al., 2010; Szabo et al., 2001).

Dari sudut pandang praktis, temuan ini menggarisbawahi pentingnya pendekatan terintegrasi terhadap kesehatan neurokognitif dalam pendidikan ilmu keolahragaan. Mengingat rata-rata durasi tidur pada sampel ini (6,11 jam) berada di bawah tingkat yang direkomendasikan, intervensi higiene tidur yang terarah dapat memberikan manfaat yang berarti baik pada kontrol inhibisi maupun kecepatan pemrosesan. Demikian pula, menjaga frekuensi latihan fisik di atas ambang 4–5 sesi per minggu tampak berhubungan dengan skor *Stroop* yang lebih tinggi secara bermakna, yang mengindikasikan adanya hubungan dosis-respons yang konsisten dengan literatur sebelumnya (Guiney & Machado, 2013; Hillman et al., 2008).

Temuan ini juga memiliki implikasi bagi pelatihan olahraga dan pembinaan atlet. Mahasiswa pada program ilmu keolahragaan yang memprioritaskan tidur dan latihan fisik secara rutin dapat menunjukkan kapasitas fungsi eksekutif yang lebih baik—khususnya kontrol inhibisi—yang relevan secara langsung dengan performa pada lingkungan olahraga kompleks yang membutuhkan penekanan keputusan secara cepat dan pengalihan perhatian (Vestberg et al., 2012; Pontifex et al., 2015).

Keterbatasan dan Arah Penelitian Selanjutnya

Beberapa keterbatasan perlu dipertimbangkan. Pertama, desain *cross-sectional* tidak memungkinkan penarikan kesimpulan kausal; desain eksperimental atau longitudinal diperlukan untuk menetapkan arah hubungan. Kedua, frekuensi latihan fisik diukur melalui *self-report* yang rentan terhadap bias daya ingat; penggunaan akselerometri objektif dapat memperkuat validitas. Ketiga, durasi tidur juga dilaporkan secara mandiri, tanpa verifikasi

polisomnografi terhadap kualitas atau arsitektur tidur. Keempat, sampel diambil dari satu institusi sehingga belum tentu dapat merepresentasikan mahasiswa ilmu keolahragaan secara nasional maupun internasional. Kelima, potensi faktor perancu seperti status gizi, tingkat stres, dan cabang olahraga spesifik belum dikontrol secara sistematis.

Penelitian selanjutnya sebaiknya menggunakan desain longitudinal dengan ukuran objektif terhadap latihan fisik dan tidur, melakukan analisis berdasarkan jenis dan intensitas olahraga, serta mencakup domain kognitif tambahan seperti memori kerja dan fleksibilitas kognitif untuk memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai fungsi neurokognitif pada populasi ilmu keolahragaan.

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa frekuensi latihan fisik dan durasi tidur merupakan prediktor signifikan bagi fungsi neurokognitif pada mahasiswa ilmu keolahragaan, dengan efek yang spesifik pada masing-masing domain. Frekuensi latihan fisik merupakan prediktor utama bagi inhibisi kognitif (*Stroop*), sedangkan durasi tidur secara independen memprediksi baik kontrol inhibisi maupun kecepatan pemrosesan (*Trail Making Test*). Temuan ini menjadi dasar bagi rekomendasi berbasis bukti yang mengintegrasikan higiene tidur dan latihan fisik terstruktur ke dalam kurikulum ilmu keolahragaan guna mengoptimalkan kesiapan neurokognitif mahasiswa-atlet. Penelitian prospektif di masa depan yang menggunakan ukuran objektif dan desain eksperimental diperlukan untuk mengonfirmasi jalur kausal yang mendasari temuan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhola, P., & Polo-Kantola, P. (2007). Sleep deprivation: Impact on cognitive performance. *Neuropsychiatric Disease and Treatment*, 3(5), 553–567. <https://doi.org/10.2147/ndt.s7.553>
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Kim, J. S., Voss, M. W., VanPatter, M., ... & Kramer, A. F. (2010). A neuroimaging investigation of the association between aerobic fitness, hippocampal volume, and memory performance in preadolescent children. *Brain Research*, 1358, 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2010.08.049>
- Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Voss, M. W., Powers, J. P., Knecht, A. M., Pontifex, M. B., ... & Kramer, A. F. (2013). White matter microstructure is associated with cognitive control in children. *Biological Psychology*, 94(1), 109–115. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.05.008>
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87–101. <https://doi.org/10.1016/j.brainres.2012.02.068>
- Charest, J., & Grandner, M. A. (2020). Sleep and athletic performance: Impacts on physical performance, mental performance, injury risk and recovery, and mental health. *Sleep Medicine Clinics*, 15(1), 41–57. <https://doi.org/10.1016/j.jsmc.2019.11.005>
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
- Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., ... & Kramer, A. F. (2011). Exercise training increases size of hippocampus

- and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 3017–3022. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015950108>
- Etnier, J. L., Labban, J. D., Piepmeier, A. T., Davis, M. E., & Henning, D. A. (2014). Effects of an acute bout of exercise on memory in 6th grade children. *Pediatric Exercise Science*, 26(3), 250–258. <https://doi.org/10.1123/pes.2013-0141>
- Guiney, H., & Machado, L. (2013). Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(1), 73–86. <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0345-4>
- Harrison, Y., & Horne, J. A. (2000). The impact of sleep deprivation on decision making: A review. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 6(3), 236–249. <https://doi.org/10.1037/1076-898X.6.3.236>
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(1), 58–65. <https://doi.org/10.1038/nrn2298>
- Hötting, K., & Röder, B. (2013). Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(9), 2243–2257. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.04.005>
- Ju, Y. E., Ooms, S. J., Sutphen, C., Macauley, S. L., Zangrilli, M. A., Jerome, G., ... & Holtzman, D. M. (2017). Slow wave sleep disruption increases cerebrospinal fluid amyloid- β levels. *Brain*, 140(8), 2104–2111. <https://doi.org/10.1093/brain/awx148>
- Killgore, W. D. S. (2010). Effects of sleep deprivation on cognition. *Progress in Brain Research*, 185, 105–129. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53702-7.00007-5>
- Lim, J., & Dinges, D. F. (2010). A meta-analysis of the impact of short-term sleep deprivation on cognitive variables. *Psychological Bulletin*, 136(3), 375–389. <https://doi.org/10.1037/a0018883>
- Lo, J. C., Ong, J. L., Leong, R. L., Gooley, J. J., & Chee, M. W. (2016). Cognitive performance, sleepiness, and mood in partially sleep deprived adolescents: The need for sleep study. *Sleep*, 39(3), 687–698. <https://doi.org/10.5665/sleep.5552>
- Mah, C. D., Mah, K. E., Kezirian, E. J., & Dement, W. C. (2011). The effects of sleep extension on the athletic performance of collegiate basketball players. *Sleep*, 34(7), 943–950. <https://doi.org/10.5665/SLEEP.1132>
- Oberlin, L. E., Verstynen, T. D., Burzynska, A. Z., Voss, M. W., Prakash, R. S., Chaddock-Heyman, L., ... & Erickson, K. I. (2016). White matter microstructure mediates the relationship between cardiorespiratory fitness and spatial working memory in older adults. *NeuroImage*, 131, 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.09.053>
- Penke, L., Munoz Maniega, S., Murray, C., Gow, A. J., Hernandez, M. C. V., Clayden, J. D., ... & Deary, I. J. (2010). A general factor of brain white matter integrity predicts information processing speed in healthy older people. *Journal of Neuroscience*, 30(22), 7569–7574. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1553-10.2010>
- Persson, J., Lustig, C., Nelson, J. K., & Reuter-Lorenz, P. A. (2007). Age differences in deactivation: A link to cognitive control. *Journal of Cognitive*

- Neuroscience*, 19(6), 1021–1032.
<https://doi.org/10.1162/jocn.2007.19.6.1021>
- Pontifex, M. B., Parks, A. C., Henning, D. A., & Kamijo, K. (2015). Single bouts of exercise selectively sustain attentional processes. *Psychophysiology*, 52(5), 618–625. <https://doi.org/10.1111/psyp.12395>
- Strauss, E., Sherman, E. M. S., & Spreen, O. (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary* (3rd ed.). Oxford University Press.
- Szabo, A., Billett, E., & Turner, J. (2001). Phenylethylamine, a possible link to the antidepressant effects of exercise? *British Journal of Sports Medicine*, 35(5), 342–343. <https://doi.org/10.1136/bjsm.35.5.342>
- Tombaugh, T. N. (2004). *Trail Making Test A and B: Normative data stratified by age and education*. *Archives of Clinical Neuropsychology*, 19(2), 203–214. [https://doi.org/10.1016/S0887-6177\(03\)00039-8](https://doi.org/10.1016/S0887-6177(03)00039-8)
- Tomporowski, P. D., McCullick, B., Pendleton, D. M., & Pesce, C. (2015). Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition. *Journal of Sport and Health Science*, 4(1), 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.09.003>
- Tononi, G., & Cirelli, C. (2014). Sleep and the price of plasticity: From synaptic and cellular homeostasis to memory consolidation and integration. *Neuron*, 81(1), 12–34. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.12.025>
- Verburgh, L., Konigs, M., Scherder, E. J., & Oosterlaan, J. (2014). Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(12), 973–979. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091441>
- Vestberg, T., Gustafson, R., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2012). Executive functions predict the success of top-soccer players. *PLOS ONE*, 7(4), e34731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034731>
- Voss, M. W., Heo, S., Prakash, R. S., Erickson, K. I., Alves, H., Chaddock, L., ... & Kramer, A. F. (2013). The influence of aerobic fitness on cerebral white matter integrity and cognitive function in older adults: Results of a one-year exercise intervention. *Human Brain Mapping*, 34(11), 2972–2985. <https://doi.org/10.1002/hbm.22119>
- Voss, M. W., Weng, T. B., Burzynska, A. Z., Wong, C. N., Cooke, G. E., Clark, R., ... & Kramer, A. F. (2016). Fitness, but not physical activity, is related to functional integrity of brain networks associated with aging. *NeuroImage*, 131, 113–125. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2015.10.044>
- Walker, M. P. (2017). *Why we sleep: Unlocking the power of sleep and dreams*. Scribner.
- Watson, N. F., Badr, M. S., Belenky, G., Bliwise, D. L., Buxton, O. M., Buysse, D., ... & Tasali, E. (2015). Recommended amount of sleep for a healthy adult: A joint consensus statement of the American Academy of Sleep Medicine and Sleep Research Society. *Sleep*, 38(6), 843–844. <https://doi.org/10.5665/sleep.4716>