

# ANALISIS INDIKATOR *EYE TRACKING* UNTUK MENDETEKSI KEWASPADAAN YANG DIPENGARUHI PEMBASTAN DURASI TIDUR DAN WAKTU PEMERIKSAAN

Thedy Yogasara\*, Rosi Filia Kristina Sidabutar, Daniel Siswanto, Yansen Theopilus

*Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Katolik Parahyangan,  
Jl. Ciumbuleuit 94, Bandung, Indonesia 40141*

*(Received: June 7, 2023/ Accepted: October 10, 2023)*

## Abstrak

*Eye tracking (ET) banyak digunakan untuk mendeteksi perubahan okular, namun belum banyak penelitian yang menganalisis kemampuan indikator ET dalam mendeteksi kewaspadaan. Padahal indikator okular banyak dikaitkan dengan kelelahan yang dapat menurunkan kewaspadaan. Penelitian ini bertujuan menentukan indikator ET yang dapat mendeteksi kewaspadaan pada pembatasan durasi tidur dan waktu pemeriksaan. Penelitian melibatkan 28 pria yang diminta melakukan inspeksi cacat (scratch, dirt, missing part, dan poor assembly) pada 50 senter sambil dilakukan pengukuran Psychomotor Vigilance Task (PVT) dan indikator ET. Durasi tidur dibatasi 4 dan 8 jam, serta waktu pemeriksaan terdiri dari waktu yang dibatasi dan tidak dibatasi. Variabel terikat adalah mean RT (reaction time), % minor lapses, dan mean 1/RT dari PVT. Dari ET diukur durasi fiksasi, diameter pupil, jumlah sakadik, dan kecepatan sakadik. Hasil eksperimen diolah dengan Two-way Repeated Measures ANOVA dan Pearson Correlation. Hasil ANOVA dengan signifikansi  $\alpha=0,05$  menunjukkan terdapat pengaruh durasi tidur terhadap mean RT, % minor lapses, dan mean 1/RT. Sedangkan waktu pemeriksaan berpengaruh terhadap durasi fiksasi dan jumlah sakadik. Berdasarkan uji Pearson Correlation, indikator ET dan PVT berkorelasi lemah atau sangat lemah. Hasil penelitian menunjukkan tidak terdapatnya indikator ET yang cukup baik untuk mendeteksi kewaspadaan pada pembatasan durasi tidur dan waktu pemeriksaan.*

**Kata kunci:** durasi tidur; eye tracking; kewaspadaan; waktu pemeriksaan

## Abstract

*[Analysis of Eye Tracking Indicators to Detect Vigilance Affected by Sleep Duration and Inspection Time Constraints] Eye tracking (ET) is widely used to detect ocular changes. However, few studies analyze the capability of ET indicators for detecting vigilance, albeit ocular indicators are often associated with fatigue which can reduce vigilance. This study aims to determine ET indicators that can detect vigilance on limited sleep and inspection duration. This study involved 28 men who were asked to perform inspection tasks for defects (scratch, dirt, missing parts, and poor assembly) on 50 flashlights while Psychomotor Vigilance Task (PVT) and ET indicators were measured. Sleep duration was limited to 4 and 8 hours, while inspection duration consisted of two levels, i.e. limited and not limited. Dependent variables were mean RT (reaction time), % minor lapses, and mean 1/RT of PVT. Furthermore, ET indicators included duration fixation, pupil diameter, number of saccades, and saccades velocity. The data were processed using Two-way Repeated Measures ANOVA and Pearson Correlation. ANOVA with significance of  $\alpha=0,05$  shows that there was an effect of sleep duration on mean RT, % minor lapses, and mean 1/RT. In addition, inspection duration had an effect on fixation duration and number of saccades. Based on Pearson Correlation test, all ET and PVT indicators had weak or very weak correlation. This research indicates that there is no ET indicator that is adequate to detect vigilance in limited sleep and inspection duration.*

**Keywords:** eye tracking; inspection duration; sleep duration; vigilance

---

\*Penulis Korespondensi.

E-mail: thedy@unpar.ac.id

## 1. Pendahuluan

Menurut Assauri (1998), pengendalian kualitas merupakan usaha untuk mempertahankan mutu atau kualitas barang yang dihasilkan agar sesuai dengan spesifikasi produk yang telah ditetapkan berdasarkan kebijakan perusahaan. Jika didapatkan terjadinya

penyimpangan dalam pemeriksaan kualitas suatu barang, maka penyimpangan tersebut dapat dikoreksi sehingga target yang diharapkan dapat tercapai (Assauri, 1998). Selain itu, menurut Ma dkk. (2017), pemantauan kesalahan (*error monitoring*) adalah fungsi utama dari kontrol kognitif dimana seseorang mampu untuk mendeteksi kesalahan (*error*) dan mengevaluasi kesalahan tersebut serta mengatur performansi setelah respon yang keliru. Terkait dengan kegiatan inspeksi mutu, studi dari Mackworth (1948) yang menggunakan eksperimen *prolonged visual search*, mendapatkan bahwa kemampuan partisipan menurun setelah 30 menit eksperimen dan terus menurun selama 2 jam eksperimen berlangsung. Penurunan performansi selama eksperimen ini disebut juga sebagai penurunan kewaspadaan (*vigilance decrement*) (Warm dkk., 2008). Maka dari itu, seorang pemeriksa kualitas membutuhkan perhatian berkelanjutan (*sustained attention*) agar dapat memantau kesalahan yang terjadi (*error monitoring*) (Ma dkk., 2017).

Perhatian berkelanjutan (*sustained attention*) atau kewaspadaan (*vigilance*) merupakan kemampuan seseorang untuk mempertahankan fokus perhatian dan tetap terjaga terhadap rangsangan (stimulus) selama periode waktu yang ditentukan (Warm, 1977). Menurut Al-Shargie dkk. (2019), kewaspadaan dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk mempertahankan perhatian dan tetap waspada terhadap hal rangsangan tertentu dalam jangka waktu yang lama. Penurunan kewaspadaan merupakan efek yang paling besar akibat kelelahan (*fatigue*) (Dinges, 1995).

Kelelahan adalah dorongan biologis seseorang untuk memulihkan kondisi tubuhnya (Williamson dkk., 2011). Selain itu, menurut Dawson dkk. (2014), kelelahan adalah rasa kantuk yang dihasilkan dari proses neurobiologis yang mengatur tidur dan irama sirkadian. Faktor penyebab kelelahan dapat terkait masalah tidur (*sleep-related*) dan karakteristik pekerjaan (*task-related*). Salah satu faktor yang mempengaruhi kelelahan yang terkait dengan tidur adalah kekurangan tidur (May & Baldwin, 2009). Sedangkan salah satu faktor yang mempengaruhi kelelahan yang terkait dengan pekerjaan adalah kondisi pekerjaan yang monoton. Efek dari kelelahan adalah dapat menurunnya kewaspadaan seseorang (Korber dkk., 2015) yang dipengaruhi oleh faktor-faktor tersebut seperti kekurangan tidur dan kondisi pekerjaan yang monoton (May & Baldwin, 2009).

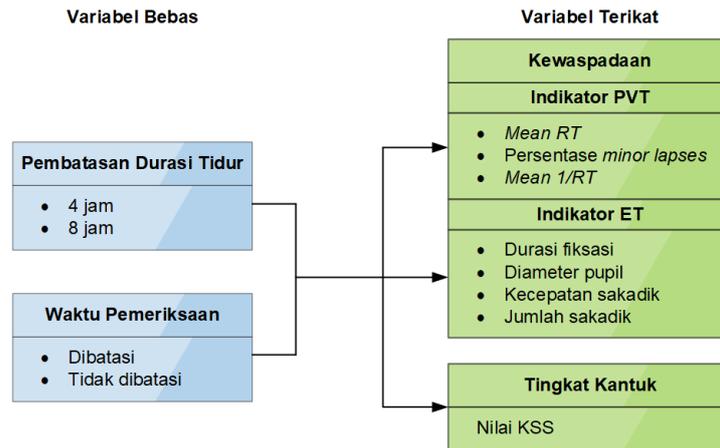
Lebih lanjut, tuntutan pekerjaan yang rendah (Dunn & Williamson, 2012) dan lingkungan pekerjaan yang monoton (berulang) (Pattyn dkk., 2008) dapat menyebabkan kebosanan (Sagberg, 1999). Kebosanan tersebut kemudian dapat menyebabkan penurunan kewaspadaan. Menurut Dunn & Williamson (2012), pekerjaan dengan tuntutan yang tinggi menghasilkan pekerjaan dengan kesalahan yang lebih sedikit dibandingkan pekerjaan dengan tuntutan yang rendah. Di samping itu, menurut penelitian Crescenzi dkk. (2016), seseorang yang mengerjakan tugas dengan terdapatnya pembatasan waktu (*time constraint*) mengalami *time pressure* lebih besar. Maka dari itu

adanya pembatasan waktu dapat menjaga kewaspadaan seseorang dalam mengerjakan sebuah tugas.

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur penurunan kewaspadaan seseorang selama mengerjakan tugas. Salah satunya adalah dari aspek fisiologis, yaitu menggunakan *eye tracking* (Berka dkk., 2007). *Eye tracking* (ET) merupakan metode pengukuran okular (pergerakan mata) berdasarkan lokasi, objek, dan durasi penglihatan dari subjek yang diukur (Baiaşu & Dumitrescu, 2021). Menurut Bodala dkk. (2017), terdapat hubungan antara perhatian berkelanjutan dengan pergerakan mata (*eye movements*). Pergerakan mata yang diukur berdasarkan indikator okular biasanya tidak berada di bawah kontrol sadar manusia, sehingga indikator okular bersifat objektif dan hasilnya tidak dapat dimanipulasi (Schleicher dkk., 2008; Abe dkk., 2011). Indikator okular dapat diukur berdasarkan kedipan (*blink*), gerakan cepat mata (*saccade*), dan perubahan pupil (Schleicher dkk., 2008; Abe dkk., 2011). Salah satu kelebihan ET adalah menghasilkan data yang objektif, dalam arti tidak didasarkan pada pendapat subjektif, persepsi, dan ingatan subjek yang rentan terhadap bias; melalui pergerakan mata untuk menilai perhatian, fokus, dan perilaku subjek (Tobii Pro, 2021).

Meskipun kewaspadaan telah banyak diteliti dalam hubungannya dengan kelelahan, kekurangan tidur, kondisi monoton, dan pekerjaan dengan beban kerja rendah, namun sejauh ini masih sangat terbatas penelitian yang mengukur kewaspadaan yang dipengaruhi oleh kondisi-kondisi tersebut menggunakan indikator *eye tracking* (ET). Padahal penggunaan indikator ET dalam mendeteksi perubahan tingkat kewaspadaan seseorang saat melakukan pekerjaan berpotensi menjadi metode yang tepat. Penggunaan indikator ET dalam mengukur perubahan kewaspadaan dapat memberikan gambaran mengenai kapan tepatnya seseorang mengalami perubahan kewaspadaan saat sedang mengerjakan tugas, sehingga dapat diambil tindakan antisipatif. Perubahan tersebut dapat dideteksi melalui perubahan indikator okular yang direkam dengan ET. Walau demikian, belum terdapat kajian yang menilai kinerja indikator ET dalam mengukur perubahan kewaspadaan dan indikator apa saja dari ET yang berpotensi digunakan dengan mempertimbangkan kondisi kekurangan tidur, pekerjaan monoton, dan pekerjaan dengan beban kerja rendah.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi indikator *eye tracking* (ET) yang dapat digunakan untuk mendeteksi penurunan kewaspadaan yang dipengaruhi oleh kondisi pembatasan durasi tidur dan pembatasan durasi pengerjaan tugas (inspeksi atau pemeriksaan). Karena itu, variabel bebas pada penelitian ini adalah pembatasan durasi tidur dan waktu pemeriksaan. Sedangkan variabel terikat pada penelitian ini adalah kewaspadaan yang direpresentasikan dengan indikator *Psychomotor Vigilance Task* (PVT) dan indikator *eye tracking* (ET), serta tingkat kantuk yang direpresentasikan oleh nilai *Karolinska Sleepiness Scale* (KSS). Pekerjaan yang dilibatkan adalah aktivitas pemeriksaan kualitas produk, karena membutuhkan kewaspadaan (perhatian



Gambar 1. Model Konseptual Penelitian

Tabel 1. Desain Eksperimen

Waktu Pemeriksaan	Tidak Dibatasi (IT0)	Time in Bed (TIB)	
		8 jam (TIB8)	4 jam (TIB4)
		P <sub>1</sub> .....P <sub>28</sub>	P <sub>1</sub> .....P <sub>28</sub>
	Dibatasi (IT1)	P <sub>1</sub> .....P <sub>28</sub>	P <sub>1</sub> .....P <sub>28</sub>

Tabel 2. Counterbalancing Urutan Perlakuan

Grup Partisipan	Urutan Perlakuan ke-			
	1	2	3	4
A	1	2	3	4
B	2	4	1	3
C	3	1	4	2
D	4	3	2	1

berkelanjutan) dalam pengerjaan tugasnya. Penurunan tingkat kewaspadaan pada seorang pemeriksa kualitas dapat menyebabkan konsekuensi yang serius, seperti gagalannya suatu sistem. Aktivitas pemeriksaan kualitas juga didominasi oleh pergerakan mata dalam memonitor dan memeriksa kesalahan sehingga terjadinya perubahan kewaspadaan berpotensi untuk dideteksi dengan menggunakan indikator ET. Maka dari itu perlu untuk mengidentifikasi indikator ET yang dapat menunjukkan perubahan kewaspadaan di bawah pengaruh pembatasan durasi tidur dan pembatasan waktu kerja pada pekerjaan pemeriksaan kualitas.

## 2. Metode Penelitian

Model konseptual penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian menggunakan 2 variabel bebas, yaitu pembatasan durasi tidur dan waktu pemeriksaan. Kedua variabel bebas memiliki 2 level yang akan dilihat pengaruhnya terhadap variabel terikat. Pada penelitian ini, variabel terikat adalah kewaspadaan yang diukur dengan indikator *eye tracking* (ET) (durasi fiksasi, diameter pupil, kecepatan sakadik, jumlah sakadik) dan indikator *Psychomotor Vigilance Task* (PVT) (*mean RT*, persentase *minor lapses*, *mean 1/RT*), serta tingkat kantuk yang merepresentasikan nilai *Karolinska Sleepiness Scale* (KSS). Tabel 1 menunjukkan desain eksperimen yang digunakan.

Jenis eksperimen yang digunakan pada penelitian ini adalah *repeated measures (within-*

*subject)*, dimana setiap partisipan akan mengalami perlakuan (*treatment*) yang sama. Maka partisipan akan mengalami 4 kombinasi *treatment*, yaitu 2 level durasi tidur (*time in bed - TIB*) (4 jam dan 8 jam), dan 2 level waktu pemeriksaan (*inspection time - IT*) (dibatasi dan tidak dibatasi). Karena terdapat 4 *treatment*, maka perlu dilakukan *counterbalancing* untuk menentukan urutan perlakuan pada partisipan, seperti dapat dilihat pada Tabel 2. Urutan perlakuan untuk masing-masing grup partisipan berbeda, sehingga akan meminimasi *sequencing effect* yang dapat terjadi pada eksperimen.

Penelitian menggunakan Tobii Pro Glasses 2 sebagai alat ukur pergerakan mata. Saat menggunakan Tobii Pro Glasses 2, partisipan diminta untuk melakukan kegiatan inspeksi terhadap 50 produk senter. Saat tidak dibatasi, durasi kegiatan inspeksi sesuai dengan kecepatan masing-masing partisipan. Namun pada perlakuan waktu pemeriksaan yang dibatasi, partisipan diminta melakukan kegiatan inspeksi dalam rentang 9 menit. Waktu 9 menit tersebut didapatkan berdasarkan simulasi pemeriksaan senter oleh 10 partisipan dan diambil waktu siklus selama kegiatan inspeksi tersebut. Selama melakukan kegiatan inspeksi, setiap 5 menit partisipan diminta menyebutkan kondisi kantuk yang dirasakan sesuai skala KSS. Proses inspeksi dilakukan dengan cara partisipan memeriksa senter satu per satu untuk mendeteksi adanya cacat. Ketika terdapat cacat pada senter, partisipan diminta untuk menunjuk cacat

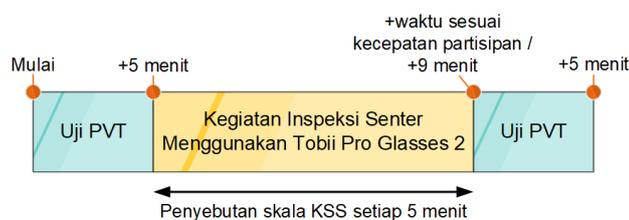
tersebut jika ditemukan. Terdapat 4 jenis cacat yang mungkin ada pada senter, yaitu *dirt*, *scratch*, *poor assembly*, dan *missing part*. Pada sebuah senter memungkinkan terdapat 1 atau lebih jenis cacat. Sebaliknya, terdapat juga senter yang tidak memiliki cacat sama sekali. Sebelum dan sesudah kegiatan inspeksi menggunakan *eye tracker*, dilakukan pengukuran kecepatan reaksi selama 5 menit terhadap partisipan menggunakan uji PVT dengan PC PVT 2.0. **Gambar 2** menunjukkan *timeline* penelitian.

Untuk pengendalian dan proses perekaman data *eye tracking* (ET), instrumen Tobii Pro Glasses 2 dilengkapi dengan *software* Tobii Pro Glasses Controller. Hasil perekaman selanjutnya di-*import* ke dalam *software* Tobii Pro Lab untuk diolah dan dianalisis. Area senter dan cacat produk dijadikan fokus melalui pembuatan *area of interest* (AOI) dalam Tobii Pro Lab. Terakhir, indikator ET yang dibutuhkan (durasi fiksasi, diameter pupil, kecepatan sakadik, dan jumlah sakadik) dapat di-*export* untuk diolah secara statistik.

Sebelum dilakukannya eksperimen, terlebih dahulu dilakukan *pilot study* untuk memastikan eksperimen dapat dijalankan sesuai rencana dan alat-

alat yang digunakan dalam penelitian dapat berfungsi dengan baik. Berdasarkan *pilot study*, juga didapatkan jumlah partisipan yang dihitung menggunakan metode *effect size d* berdasarkan *standardized difference between means* (Maxwell & Delaney, 2004). *Pilot study* dilakukan dengan melibatkan 2 orang partisipan yang mengalami semua perlakuan. Dengan menggunakan nilai *power of statistics* sebesar 0,80, didapatkan nilai *effect size d* adalah 0,8. Maka dari itu didapatkan ukuran sampel minimum adalah 27 yang dibulatkan menjadi 28 partisipan.

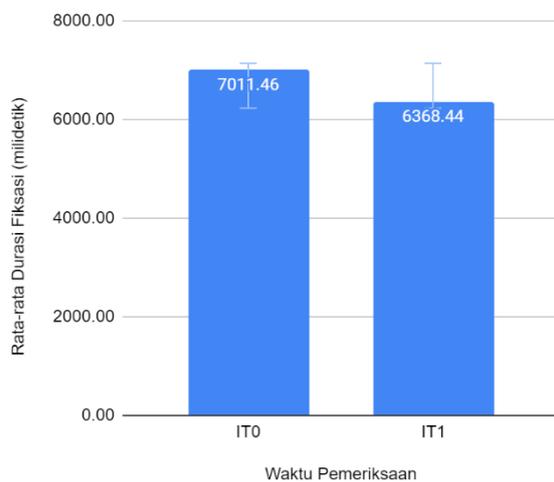
Partisipan yang dilibatkan pada penelitian ini adalah 28 pria ( $21,32 \pm 1,16$  tahun), berbadan sehat, tidak merokok, tidak berada di bawah pengaruh kafein, alkohol, dan obat-obatan. Partisipan memiliki penglihatan normal dan tidak menggunakan lensa kontak yang berwarna karena akan mengganggu tampilan pupil (Tobii Pro, 2020). Penelitian dilakukan pukul 08.00-12.00 untuk menghindari rasa kantuk yang meningkat setelah pukul 13.00 akibat ritme sirkadian. Untuk mengukur durasi tidur partisipan, digunakan Fitbit Charge 2. Durasi tidur yang digunakan adalah *time in bed* (TIB), yaitu waktu sejak partisipan mulai berusaha untuk tidur, tertidur, hingga bangun dari



**Gambar 2.** *Timeline* Penelitian

**Tabel 3.** Uji ANOVA Indikator ET

<b>Durasi Fiksasi</b>			
<i>Source</i>		<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Durasi Tidur	Greenhouse-Geisser	0,214	0,647
Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	9,868	<0,01**
Durasi Tidur*Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	1,894	0,180
<b>Diameter Pupil</b>			
<i>Source</i>		<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Durasi Tidur	Greenhouse-Geisser	1,285	0,267
Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	3,358	0,078
Durasi Tidur*Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	0,005	0,944
<b>Jumlah Sakadik</b>			
<i>Source</i>		<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Durasi Tidur	Greenhouse-Geisser	0,002	0,968
Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	6,300	0,018*
Durasi Tidur*Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	0,373	0,546
<b>Kecepatan Sakadik</b>			
<i>Source</i>		<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Durasi Tidur	Greenhouse-Geisser	2,013	0,167
Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	0,189	0,667
Durasi Tidur*Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	0,029	0,867



**Gambar 3.** Perbedaan Durasi Fiksasi Berdasarkan Waktu Pemeriksaan

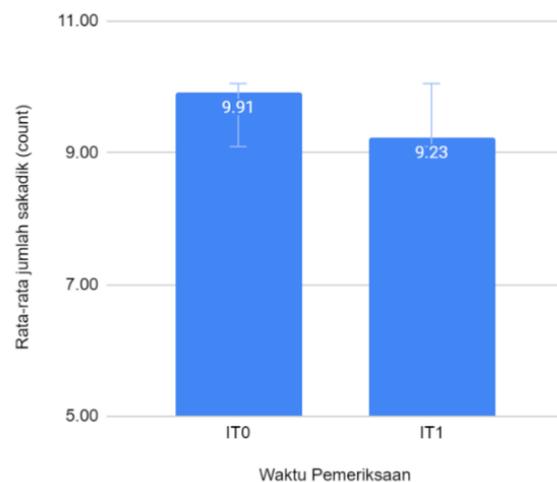
tempat tidur. Waktu spesifik untuk partisipan mulai mencoba tidur tidak ditentukan, karena masing-masing partisipan memiliki kebiasaan dan waktu tidur yang berbeda.

### 3. Hasil dan Pembahasan

Untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh pembatasan durasi tidur dan waktu pemeriksaan terhadap indikator *eye tracking* (ET) dan indikator *Psychomotor Vigilance Task* (PVT), maka dilakukan uji *Two-way Repeated Measures ANOVA*. **Tabel 3** menunjukkan hasil uji ANOVA terhadap indikator ET. Jika nilai Sig. < 0,05, maka dapat disimpulkan terdapat pengaruh variabel independen terhadap variabel dependen, yaitu indikator ET.

Berdasarkan **Tabel 3**, durasi tidur tidak memiliki pengaruh terhadap semua indikator ET yang digunakan pada penelitian ini, yaitu durasi fiksasi, diameter pupil, jumlah sakadik, dan kecepatan sakadik. Hal tersebut berbeda dengan penelitian Wijayanto dkk. (2018) yang mendapatkan hasil bahwa perhatian visual yang direpresentasikan oleh durasi fiksasi menurun saat berkendara pada kondisi kekurangan tidur. Terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan perbedaan hasil tersebut. Pada penelitian Wijayanto dkk. (2018), prosedur pengambilan data dilakukan dengan cara partisipan duduk dan melakukan simulasi berkendara selama beberapa waktu serta diminta untuk tidak menggerakkan kepala selama simulasi berlangsung untuk menghindari *error* pada estimasi *gaze*. Sedangkan pada penelitian ini partisipan diminta untuk berdiri sambil menginspeksi senter. Terdapat perbedaan dimana penelitian Wijayanto dkk. (2018) lebih meminimasi pergerakan partisipan dibandingkan dengan penelitian ini. Pergerakan partisipan yang semakin sedikit memungkinkan partisipan untuk merasakan kantuk lebih besar sehingga durasi fiksasi menjadi dipengaruhi oleh durasi tidur.

Selain itu, penelitian De Gennaro dkk. (2000) mendapatkan hasil kecepatan sakadik menurun secara signifikan selama hari setelah malam kekurangan tidur. Berbeda dengan penelitian ini, dimana faktor durasi tidur tidak berpengaruh terhadap kecepatan sakadik.

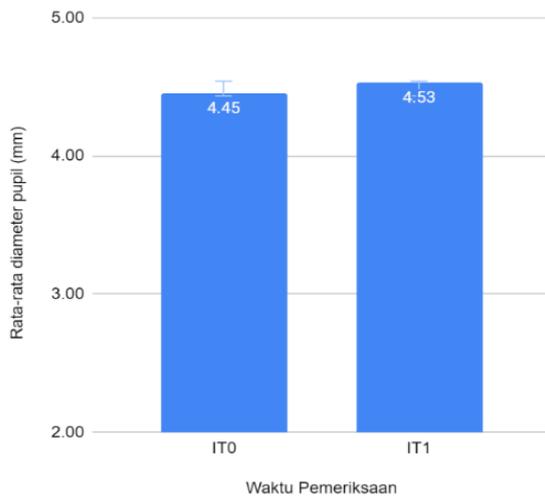


**Gambar 4.** Perbedaan Jumlah Sakadik Berdasarkan Waktu Pemeriksaan

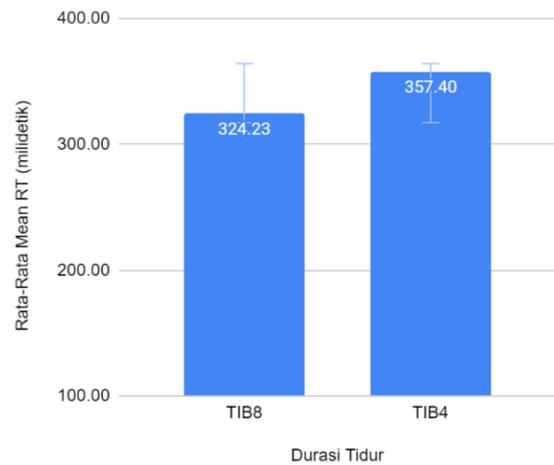
Pada penelitian De Gennaro dkk. (2000), partisipan mengalami kekurangan tidur selama 40 jam, sedangkan pada penelitian ini partisipan mengalami kekurangan tidur selama 4 jam. Terdapatnya perbedaan waktu kekurangan tidur (40 jam dan 4 jam) memungkinkan adanya perbedaan tingkat kantuk, dimana partisipan merasakan tingkat kantuk yang lebih besar jika waktu kekurangan tidur lebih lama dan mengakibatkan kecepatan sakadik menjadi dipengaruhi secara signifikan oleh durasi tidur. Terkait dengan diameter pupil, Franzen dkk. (2009) menemukan bahwa diameter pupil secara signifikan meningkat ketika partisipan melihat *negative pictures* dibandingkan *positive* atau *neutral pictures* dalam kondisi kekurangan tidur. Sebaliknya, penelitian ini tidak mendapatkan perbedaan diameter pupil yang dipengaruhi oleh faktor durasi tidur.

Walaupun tidak terdapat indikator ET pada penelitian ini yang dipengaruhi oleh durasi tidur, namun hasil uji ANOVA menunjukkan terdapatnya pengaruh faktor waktu pemeriksaan terhadap durasi fiksasi dan jumlah sakadik. **Gambar 3** menunjukkan perbedaan durasi fiksasi jika terdapat pembatasan waktu pemeriksaan. Durasi fiksasi merepresentasikan waktu yang dibutuhkan partisipan dalam melihat (menginspeksi) *area of interest* (AOI) yang berada pada senter. Pada Gambar 3 terlihat bahwa durasi fiksasi lebih lama saat waktu pemeriksaan tidak dibatasi. Hal tersebut dapat terjadi karena saat terdapat pembatasan waktu pemeriksaan, partisipan cenderung untuk menginspeksi senter lebih cepat agar dapat menyelesaikan kegiatan inspeksi dalam rentang waktu yang ditentukan, sehingga mengakibatkan durasi fiksasi pada AOI menjadi lebih singkat.

**Gambar 4** menunjukkan perbedaan jumlah sakadik berdasarkan waktu pemeriksaan. Jumlah sakadik adalah jumlah pergerakan mata (*gaze*) pada *area of interest* yang dituju. Gambar 4 memperlihatkan bahwa jumlah sakadik lebih tinggi saat waktu pemeriksaan tidak dibatasi, dibandingkan saat waktu pemeriksaan yang dibatasi. Hal tersebut dapat terjadi karena partisipan cenderung untuk melakukan kegiatan inspeksi lebih cepat ketika waktu pemeriksaan terbatas,



**Gambar 5.** Perbedaan Diameter Pupil Berdasarkan Waktu Pemeriksaan



**Gambar 6.** Perbedaan *Mean RT* Berdasarkan Pembatasan Durasi Tidur

**Tabel 4.** Uji ANOVA Indikator PVT

<i>Mean RT</i>			
<i>Source</i>		<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Durasi Tidur	Greenhouse-Geisser	13,631	<0,01**
Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	0,062	0,805
Durasi Tidur*Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	1,978	0,171
<i>Persentase Minor Lapses</i>			
<i>Source</i>		<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Durasi Tidur	Greenhouse-Geisser	7,747	0,01**
Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	1,851	0,185
Durasi Tidur*Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	1,437	0,241
<i>Mean 1/RT</i>			
<i>Source</i>		<b>F</b>	<b>Sig.</b>
Durasi Tidur	Greenhouse-Geisser	15,253	<0,01**
Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	0,134	0,717
Durasi Tidur*Waktu Pemeriksaan	Greenhouse-Geisser	0,001	0,978

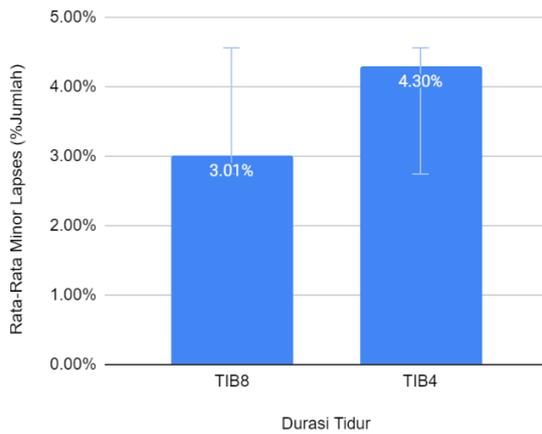
sehingga berdampak pada jumlah sakadik yang semakin sedikit pula.

Walaupun uji ANOVA menyimpulkan bahwa waktu pemeriksaan tidak mempengaruhi diameter pupil, namun terdapat sedikit perbedaan rata-rata diameter pupil saat waktu pemeriksaan dibatasi dan tidak dibatasi yang dapat dilihat pada **Gambar 5**. Jika terdapat pembatasan waktu pemeriksaan, maka ukuran diameter pupil cenderung akan meningkat. Pembatasan waktu pemeriksaan menggambarkan terdapatnya beban kerja (*time pressure*). Hal ini mengindikasikan bahwa terdapatnya beban kerja menyebabkan diameter pupil membesar. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Granholm dkk. (1996), dimana respon pupil meningkat seiring dengan meningkatnya beban selama bekerja.

Terkait indikator PVT, hasil uji ANOVA pada **Tabel 4** menunjukkan faktor durasi tidur memiliki pengaruh terhadap semua indikator PVT, yaitu *mean RT*, *% minor lapses*, dan *mean 1/RT* ( $\alpha = 0,05$ ). Namun faktor waktu pemeriksaan tidak berpengaruh terhadap indikator PVT yang digunakan pada penelitian ini.

Begitu pula interaksi variabel durasi tidur dan waktu pemeriksaan tidak memiliki pengaruh terhadap indikator PVT. Uji PVT digunakan karena indikator PVT merupakan *gold-standard* untuk menilai kewaspadaan yang dipengaruhi oleh kekurangan tidur (Basner dkk., 2011).

**Gambar 6** menunjukkan perbedaan *mean RT* untuk pembatasan durasi tidur 8 jam dan 4 jam. Menurut Lamond dkk. (2008), *reaction time* (RT) adalah waktu antara kemunculan stimulus dan respon saat menekan tombol. Dengan kata lain, *mean RT* menunjukkan rata-rata waktu (milidetik) dari partisipan untuk memberikan respon terhadap stimulus yang muncul pada layar. Berdasarkan **Gambar 6**, terlihat bahwa *mean RT* pada durasi tidur 8 jam memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan *mean RT* pada durasi tidur 4 jam. Terdapat peningkatan *mean RT* sebesar 10,23% ketika partisipan mengalami kekurangan tidur (pembatasan durasi tidur 4 jam). Hal tersebut mengindikasikan bahwa partisipan yang mengalami cukup tidur mampu memberikan respon yang lebih

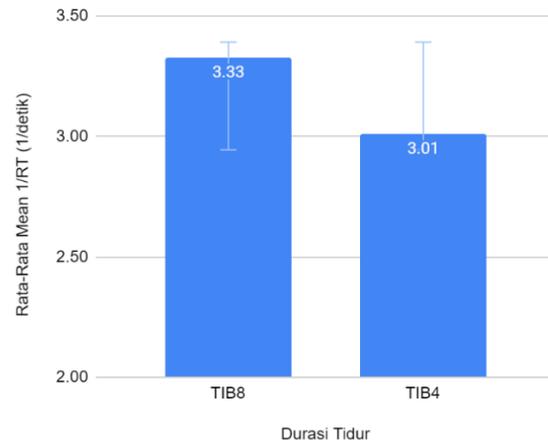


**Gambar 7.** Perbedaan Persentase *Minor Lapses* Berdasarkan Pembatasan Durasi Tidur

cepat jika dibandingkan dengan partisipan yang mengalami kurang tidur. Waktu reaksi yang lebih kecil menandakan tingkat kewaspadaan yang lebih baik karena partisipan mampu untuk mempertahankan fokus sehingga memberikan respon yang cepat terhadap stimulus yang diberikan. Hal tersebut didukung oleh Basner dan Dinges (2011), bahwa kekurangan tidur menginduksi perubahan dalam kinerja PVT yang menyebabkan perlambatan waktu respon secara keseluruhan.

Menurut Lamond dkk. (2008), *minor lapses* adalah respon dengan waktu reaksi yang melebihi 500 milidetik. Persentase dihitung dari jumlah *minor lapses* dibagi dengan jumlah stimulus (*total response*). Berdasarkan **Gambar 7**, persentase *minor lapses* pada pembatasan durasi tidur 8 jam memiliki rata-rata yang lebih kecil dibandingkan pada pembatasan durasi tidur 4 jam. Terdapat peningkatan persentase *minor lapses* sebesar 42,65% ketika partisipan mengalami kekurangan tidur (durasi tidur 4 jam). Persentase *minor lapses* yang lebih kecil menandakan bahwa partisipan mampu memberikan respon terhadap stimulus dengan waktu respon kurang dari 500 milidetik dengan frekuensi yang lebih banyak. Hal tersebut mengindikasikan bahwa partisipan yang mengalami cukup tidur mampu memberikan respon yang lebih baik. Persentase *minor lapses* yang lebih kecil merepresentasikan tingkat kewaspadaan yang lebih baik karena partisipan mampu untuk mempertahankan fokus perhatian dan tetap terjaga terhadap stimulus yang muncul, sehingga dapat memberikan waktu reaksi yang cepat. Hal tersebut sejalan dengan Basner dan Dinges (2011), dimana kekurangan tidur mengakibatkan perubahan pada performansi PVT, yang menyebabkan meningkatnya jumlah kesalahan kelalaian (*number of lapses*).

Menurut Budiono (2018), *mean 1/RT* adalah parameter yang dapat menunjukkan banyaknya jumlah reaksi yang dapat diberikan oleh seseorang dalam 1 detik. Semakin rendah nilai *mean 1/RT*, maka menurun pula kemampuan respon seseorang. Sebaliknya, kecepatan respon yang lebih tinggi, yang ditandai dengan *mean 1/RT* yang tinggi pula, mengindikasikan kewaspadaan yang lebih baik karena partisipan mampu



**Gambar 8.** Perbedaan *Mean 1/RT* Berdasarkan Pembatasan Durasi Tidur

untuk mempertahankan fokus dan tetap terjaga terhadap stimulus. Dapat dilihat pada **Gambar 8**, *mean 1/RT* pada pembatasan durasi tidur 8 jam lebih tinggi dibandingkan pada durasi tidur 4 jam. Terdapat penurunan *mean 1/RT* sebesar 9,52% ketika partisipan mengalami kekurangan tidur (durasi tidur 4 jam). Hal tersebut menandakan bahwa partisipan dengan durasi tidur cukup memiliki respon lebih cepat dibandingkan partisipan yang mengalami kurang tidur. Fenomena tersebut didukung oleh Basner dan Dinges (2011) yang menyimpulkan bahwa *mean 1/RT* merupakan salah satu hasil PVT yang sensitif terhadap kekurangan tidur total maupun parsial.

Dalam penelitian ini, durasi tidur yang digunakan dibatasi pada lingkup *time in bed* (TIB), yaitu rentang waktu dari partisipan mulai berusaha untuk tidur hingga bangun dari tempat tidur, dimana pada rentang waktu tersebut sebenarnya tidak seluruhnya merupakan kondisi partisipan tertidur lelap (*deep sleep*). Hal ini berkaitan dengan kualitas tidur berdasarkan indikator efisiensi tidur (*sleep efficiency*), *rapid eye movement* (REM), dan *non-rapid eye movement* (NREM) yang terdiri dari *light sleep* (LS) dan *deep sleep* (DS) (Ohayon dkk., 2017). Efisiensi tidur dihitung berdasarkan perbandingan total waktu tidur terhadap durasi episode tidur (TIB) (Reed & Sacco, 2016). Hasil penelitian dapat lebih akurat jika kualitas tidur dan efisiensi tidur dipertimbangkan, dimana durasi saat partisipan benar-benar tidur diketahui. Dalam penelitian ini hal tersebut belum dapat dilakukan karena adanya keterbatasan alat pengukuran dan keterbatasan kendali terhadap partisipan. Pengaruh kualitas dan efisiensi tidur dapat memberikan hasil yang berbeda pada penelitian ini, sehingga dapat diteliti lebih jauh pada penelitian serupa berikutnya.

Selanjutnya, uji korelasi dilakukan untuk mengidentifikasi hubungan antara indikator PVT dan indikator ET. Mengetahui hubungan antara variabel berguna karena dapat menggunakan nilai satu variabel untuk memprediksi nilai variabel lainnya. Indikator PVT merupakan *gold-standard* untuk menilai tingkat kewaspadaan. Maka dari itu, uji korelasi dilakukan

**Tabel 5.** Uji Korelasi Indikator ET dan PVT

Indikator PVT	Indikator ET	Sig.	Pearson Correlation	R Square (%)
<i>Mean RT</i>	Durasi Fiksasi	0,834	-0,020	0,04
	Diameter Pupil	0,004	0,270**	7,29
	Jumlah Sakadik	0,592	0,051	0,26
	Kecepatan Sakadik	0,594	-0,051	0,26
Persentase <i>Minor Lapses</i>	Durasi Fiksasi	0,884	0,014	0,02
	Diameter Pupil	0,097	0,158	2,50
	Jumlah Sakadik	0,919	0,01	0,01
	Kecepatan Sakadik	0,648	0,044	0,19
<i>Mean I/RT</i>	Durasi Fiksasi	0,392	-0,082	0,67
	Diameter Pupil	0,001	-0,311**	9,67
	Jumlah Sakadik	0,139	-0,141	1,99
	Kecepatan Sakadik	0,277	0,104	1,08

untuk melihat apakah indikator ET juga dapat merepresentasikan kewaspadaan seperti indikator PVT.

Hubungan antara dua variabel akan memiliki korelasi yang kuat jika nilai *Pearson Correlation* lebih besar dari 0,6. Pada **Tabel 5** terlihat bahwa antara indikator PVT dan indikator ET yang memiliki korelasi signifikan adalah *mean RT* dan diameter pupil serta *mean I/RT* dan diameter pupil. Namun nilai korelasi antara indikator-indikator tersebut lemah (0,270 dan -0,311). Karena hasil *Pearson Correlation* antara *mean I/RT* dan diameter pupil bernilai negatif, maka jika nilai *mean I/RT* meningkat, akan terdapat kecenderungan bahwa nilai diameter pupil menurun. Kemudian dapat dilihat juga nilai  $R^2$  untuk mengetahui seberapa besar persentase variansi dari satu variabel mampu dijelaskan oleh variabel lain (Frost, 2018).  $R^2$  antara *mean RT* dan diameter pupil adalah sebesar 7,29%, artinya 7,29% variansi dari *mean RT* bisa dijelaskan oleh diameter pupil. Sementara, 9,67% variansi dari *mean I/RT* bisa dijelaskan oleh diameter pupil. Menurut Chin (1998), nilai  $R^2$  dikatakan kuat jika lebih dari 0,67, moderat jika berada pada rentang 0,33-0,67, dan lemah jika berada pada rentang 0,19-0,33. Maka dari itu, nilai  $R^2$  untuk korelasi antara *mean RT* dan diameter pupil serta *mean I/RT* dan diameter pupil dikategorikan rendah. Dengan demikian, diameter pupil tidak cukup kuat untuk mampu menjelaskan variansi dari *mean RT* dan *mean I/RT*.

Seperti telah dijelaskan bahwa diameter pupil berkorelasi secara signifikan dengan *mean RT* dan *mean I/RT*, walaupun tidak terdapat korelasi yang kuat. Menurut Johansson dan Balkenius (2018), diameter pupil akan melebar sebagai respon terhadap rangsangan baru (*novel stimulus*). Karena uji PVT merupakan uji merespon terhadap stimulus yang muncul, dimana bagi beberapa partisipan mungkin merupakan hal yang baru, maka terdapat beberapa kesamaan antara uji PVT dengan rangsangan baru (*novel stimulus*) yang digunakan pada penelitian Johansson dan Balkenius (2018). Hal tersebut mungkin menjelaskan mengapa terdapat korelasi yang signifikan namun lemah antara diameter pupil dengan *mean RT* dan *mean I/RT*.

Tidak terdapatnya korelasi yang signifikan antara mayoritas indikator PVT dan ET yang

digunakan pada penelitian ini dapat disebabkan beberapa hal. Uji PVT merupakan prosedur dimana partisipan diminta untuk tetap fokus terhadap layar dan memberikan respon melalui *mouse* ketika stimulus muncul. Ketika partisipan fokus terhadap layar, partisipan hanya perlu memperhatikan satu titik dan tidak mengharuskan mereka untuk melakukan pergerakan mata. Berbeda dengan prosedur pada pengukuran ET, dimana partisipan diminta untuk menginspeksi senter dengan cara mencari cacat yang mungkin terdapat pada seluruh permukaan senter. Dengan demikian, terdapat pergerakan mata yang aktif dari partisipan pada saat pengukuran indikator ET. Tidak terdapatnya korelasi yang signifikan dapat diakibatkan oleh perbedaan kondisi mata tersebut, yaitu tetap fokus terhadap satu titik pada uji PVT dan terdapatnya pergerakan mata pada uji ET.

Hal ini juga didukung oleh Anderson dkk., (2010) yang meneliti kondisi mata saat terjadinya *lapses*, yaitu respon partisipan yang melebihi 500 milidetik ketika uji PVT. Pada saat terjadinya peningkatan *lapses* yang disebabkan oleh peningkatan rasa kantuk, mata partisipan didominasi oleh kondisi sedang terbuka (melihat) namun tidak melakukan fokus, dibandingkan dengan kondisi mata partisipan yang tertutup atau melakukan *gaze*. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa dalam kondisi kantuk yang meningkat hingga lalai dalam memberikan respon (gagal memberikan respon di bawah 500 milidetik), mata seseorang cenderung tidak bergerak (tidak melakukan *gaze*) atau bahkan tidak melakukan fokus. Mata yang tidak bergerak menandakan tidak terdapat sakadik, yaitu pergerakan dari satu titik fokus mata ke titik lainnya. Bahkan pada kondisi kantuk yang meningkat pada saat uji PVT, partisipan kurang melakukan fokus yang menandakan partisipan juga kurang melakukan fiksasi. Hal tersebut berbeda dengan kondisi pengukuran indikator ET pada saat kegiatan inspeksi senter, dimana partisipan mencari cacat pada senter yang menyebabkan mata partisipan melakukan fiksasi dan juga pergerakan mata (sakadik). Perbedaan ini dapat menyebabkan tidak berpengaruhnya pembatasan durasi tidur terhadap indikator *eye tracking* yang digunakan pada penelitian ini, yaitu durasi fiksasi

**Tabel 6.** Uji Korelasi Indikator ET dan KSS

Skala KSS	Indikator ET	Spearman's Rho	R square (%)	Klasifikasi Korelasi
KSS	Durasi Fiksasi	0,021	0,04	Ada korelasi positif dan hubungan sangat lemah
	Diameter Pupil	0,046	0,21	Ada korelasi positif dan hubungan sangat lemah
	Jumlah Sakadik	0,005	0,00	Ada korelasi positif dan hubungan sangat lemah
	Kecepatan Sakadik	0,088	0,77	Ada korelasi positif dan hubungan sangat lemah

yang menggambarkan fokus mata terhadap suatu titik serta jumlah sakadik dan kecepatan sakadik yang menggambarkan *gaze* atau pergerakan mata.

Berdasarkan analisis di atas, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat indikator *eye tracking* yang digunakan pada penelitian ini yang mampu untuk menggantikan indikator PVT dalam mengukur kewaspadaan yang dipengaruhi oleh pembatasan durasi tidur dan waktu pemeriksaan. Dalam hal ini, PVT tetap menjadi *gold-standard* dalam pengukuran perubahan tingkat kewaspadaan.

Selain melihat korelasi antara indikator ET dan PVT, juga akan dianalisis korelasi antara indikator ET dan skor KSS, yang berfungsi sebagai indikator tingkat kantuk atau kelelahan. Hasil uji korelasi antara indikator ET dan KSS dapat dilihat pada **Tabel 6**. Karena hasil Spearman's Rho antara indikator ET dan KSS bernilai positif, maka jika nilai KSS meningkat, maka terdapat kecenderungan bahwa indikator ET yang digunakan pada penelitian ini meningkat pula. Namun demikian, indikator ET dan skor KSS berkorelasi sangat lemah. Juga nilai  $R^2$  untuk korelasi antara skor KSS dan indikator ET dikategorikan sangat rendah, yang berarti indikator ET tidak cukup kuat untuk mampu menjelaskan variansi dari nilai KSS pada penelitian ini. Oleh karena itu, indikator ET tidak dapat digunakan untuk memprediksi tingkat kantuk yang direpresentasikan oleh nilai KSS. Hal ini didukung juga dengan hasil ANOVA pada Tabel 3 yang menunjukkan bahwa indikator *eye tracking* tidak dipengaruhi oleh pembatasan durasi tidur.

#### 4. Kesimpulan

Hasil penelitian ini membuktikan durasi tidur tidak mempengaruhi indikator *eye tracking* (ET) yang digunakan, yaitu durasi fiksasi, diameter pupil, jumlah sakadik, dan kecepatan sakadik. Namun terdapat pengaruh pembatasan waktu pemeriksaan terhadap durasi fiksasi dan jumlah sakadik. Maka dari itu, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat indikator ET yang digunakan pada penelitian ini yang sensitif terhadap pembatasan durasi tidur, namun jumlah sakadik dan durasi fiksasi sensitif terhadap pembatasan waktu pemeriksaan.

Selain itu, diperoleh bahwa secara umum tidak terdapat korelasi yang signifikan antara indikator ET dan indikator PVT (*Psychomotor Vigilance Task*), kecuali korelasi antara diameter pupil dengan *mean RT* dan *mean 1/RT*, yang mana korelasi itu pun berkategori

lemah. Analisis korelasi antara indikator ET dan skor KSS juga menunjukkan hubungan yang sangat lemah.

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat indikator *eye tracking* yang digunakan pada penelitian ini yang mampu untuk menggantikan indikator PVT dan skor KSS dalam mengukur kewaspadaan dan tingkat kantuk yang dipengaruhi oleh pembatasan durasi tidur dan waktu pemeriksaan.

#### Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Katolik Parahyangan yang telah memberikan dukungan pendanaan untuk penelitian ini.

#### 5. Daftar Pustaka

- Abe, T., Nonomura, T., Komada, Y. Asaoka, S., Sasai, T., Ueno, A., & Inoue, Y. (2011). Detecting deteriorated vigilance using percentage of eyelid closure time during behavioral maintenance of wakefulness tests. *International Journal of Psychophysiology*, 82(3), 269-274.
- Al-Shargie, F., Tariq, U., Mir, H., Alawar, H., Babiloni, F., & Al-Nashash. (2019). Vigilance decrement and enhancement techniques: A review. *Brain Sciences*, 9(8), 1-36.
- Anderson, C., Wales, A. W. J., & Horne, J. A. (2010). PVT lapses differ according to eyes open, closed, or looking away. *Sleep Research Society*, 33(2): 197-204.
- Assauri, S. (1998). *Manajemen Operasi dan Produksi*. Jakarta: LPFE UI.
- Baiasu, A. M., & Dumitrescu, C. (2021). Contributions to driver fatigue detection based on eye-tracking. *International Journal of Circuits, Systems, and Signal Processing*, 15, 1-7.
- Basner, M., & Dinges, D. F. (2011). Maximizing sensitivity of the Psychomotor Vigilance Test (PVT) to sleep loss. *Sleep*, 34(5), 581-591.
- Basner, M., Mollicone, D., & Dinges, D. F. (2011). Validity and sensitivity of a brief psychomotor vigilance test (PVT-B) to total and partial sleep deprivation. *Acta Astronaut*, 69(11-12), 949-959.
- Berka, C., Davis, G., Levendowski, D. J., & Zivkovic, T., (2007). EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 78(5), 231-244.

- Bodala, I. P., Abbasi, N. I., Sun, Y., Bezerianos, A., Al-Nashash, H., & Thakor, N. V. (2017). Measuring vigilance decrement using computer vision assisted eye tracking in dynamic naturalistic environments. In *Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 2017, 2478-2481.
- Budiono, C. K. (2018). Penentuan Jenis Aromaterapi bagi Pengemudi Kekurangan Tidur pada Kondisi Jalan Monoton. *Skripsi Program Studi Sarjana Teknik Industri*. Bandung: Universitas Katolik Parahyangan.
- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. *Modern Methods for Business Research*, 295-336.
- Crescenzi, A., Kelly, D., & Azzopardi, L. (2016). Impacts of time constraints and system delays on user experience. In *Conference on Human Information Interaction and Retrieval*, 2016, 141-150.
- Dawson, D., Searle, A. K., & Peterson, J. L. (2014). Look before you (s)leep: Evaluating the use of fatigue detection technologies within a fatigue risk management system for the road transport industry. *Sleep Medicine Reviews*, 18(2), 141-152.
- De Gennaro, L., Ferrara, M., Urbani, L., & Bertini, M. (2000). Oculomotor impairment after 1 night of total sleep deprivation: A dissociation between measures of speed and accuracy. *Clinical Neurophysiol*, 111(2000), 1771-1778.
- Dinges, D. F. (1995). An overview of sleepiness and accidents. *Journal of Sleep Research*, 4(S2), 4-14.
- Dunn, N., & Williamson, A. (2012). Driving monotonous routes in a train simulator: The effect of task demand on driving performance and subjective experience. *Ergonomics*, 55(9), 997-1008.
- Franzen, P. L., Buysse, D. J., Dahl, R. E., Thompson, W., & Siegle, G. J. (2009). Sleep deprivation alters pupillary reactivity to emotional stimulus in healthy young adults. *Biol Psychol*, 80(3): 300-305.
- Frost, J. (2018). *Interpreting Correlation Coefficients*, [Online], Retrieved from: <https://statisticsbyjim.com/basics/correlations/> [2022, 22 July].
- Granholm, E., Asarnow, R. F., Sarkin, A. J., & Dykes K. L. (1996). Pupillary responses index cognitive resource limitations. *Society for Psychophysiological Research*, 33(4), 457-461.
- Johansson, B., & Balkenius, C. (2018). A computational model of pupil dilation. *Connection Science*, 30(1), 1-15.
- Korber, M., Cingel, A., Zimmermann, M., & Bengler, K., (2015). Vigilance decrement and passive fatigue caused by monotony in automated driving. *Procedia Manufacturing*, 3(2015), 2403-2409.
- Lamond, N., Jay, S. M., Dorrian, J., Ferguson, S. A., Roach, G. D., & Dawson, D. (2008). The sensitivity of a palm-based psychomotor vigilance task to severe sleep loss. *Behavior Research Method*, 40(1), 347-352.
- Ma, F., Xiao, Y., Cai, G., Xu, F. G., & Chen, S. G. (2017). Effect of mental fatigue on error monitoring. *Advances in Biological Sciences Research (ABSR)*, 4, 276-284.
- Mackworth, N. H. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1(1), 6-21.
- Maxwell, S. E., & Delaney, H. D. (2004). *Designing Experiments and Analyzing Data: A Model Comparison Perspective, Second Edition*. London: Lawrence Erlbaum Associates.
- May, J. F., & Baldwin, C. L. (2009). Driver fatigue: The importance of identifying causal factors of fatigue when considering detection and countermeasure technologies. *Transportation Research Part F*, 12, 218-224.
- Ohayon, M., Wickwire, E. M., Hirshkowitz, M., Albert, S. M., Avidan, A., Daly, F. J., Dauvilliers, Y., Ferri, R., Fung, C., Gozal, D., Hazen, N., Krystal, A., Lichstein, K., Mallampalli, M., Plazzi, G., Rawding, R., Scheer, F. A., Somers, V., & Vitiello, M. V. (2017). National Sleep Foundation's sleep quality recommendations: First report. *Sleep Health-Journal of the National Sleep Foundation*, 3, 6-19.
- Pattyn, N., Neyt, X., Henderickx, D., & Soetens, E., (2008). Psychophysiological investigation of vigilance decrement: Boredom or cognitive fatigue?. *Physiology & Behavior*, 93(1-2), 369-378.
- Reed, D. L., & Sacco, W. P. (2016). Measuring sleep efficiency: What should the denominator be? *Journal of Clinical Sleep Medicine*, 12(2), 263-266.
- Sagberg, F. (1999). Road accidents caused by drivers falling asleep. *Accident Analysis and Prevention*, 31, 639-649.
- Schleicher, R., Galley, N., Briest, S., & Galley, L. (2008). Blinks and saccades as indicators of fatigue in sleepiness warnings: Looking tired?. *Ergonomics*, 51(7), 982-1010.
- Tobii Pro. (2020). *Tobii Pro Glasses 2 User's Manual, Version 1.1.3* (p. 6). Tobii AB.
- Tobii Pro. (2021). *What is Eye Tracking?* [Online]. Retrieved from: <https://tech.tobii.com/technology/what-is-eye-tracking/> [2022, 4 February].
- Warm, J. S. (1977). Psychological processes in sustained attention. In Mackie, R. R. (ed.), *Vigilance: Theory, Operational Performance and Physiological Correlates*. New York: Plenum Publishing.
- Warm, J. S., Matthews, G., & Finomore, V. (2008). Vigilance, workload, and stress. In Hancock, P. A. & Szalma J. L. (eds.), *Performance Under Stress*. Burlington: Ashgate Publishing Company.
- Wijayanto, T., Marcilia, S. R., & Lufityanto, G. (2018). Visual attention, driving behavior and driving performance among young drivers in sleep-

deprived condition. *KnE Life Sciences*, 4(5), 424-434.  
Williamson, A., Lombardi, D. A., Folkard, S., Stutts, J., Courtney, T. K., & Connor, J. L. (2011). The

link between fatigue and safety. *Accident Analysis and Prevention*, 43(2), 498-51.