

# Pengembangan Alat Pengukuran Kelelahan Mental Berbasis Uji *Flicker*

Yassierli<sup>1\*</sup>, Atya Nur Aisha<sup>1</sup>, Azi Ginanjar Nugraha<sup>1</sup>

**Abstract:** Previous studies have been conducted to measure fatigue using flicker test. However, the validity of the device is still unknown empirically. This study proposed a modification of fatigue measuring apparatus based on flicker test. The modifications were developed from the framework of human factors product design, with the stages including analysis of the existing condition, operational concept, user requirements, performance criteria, system requirements, design prototyping, usability testing and final testing. The proposed apparatus consists of two main parts: a stimulus source and a control device as input. The stimulus is given by three lights with adjustable position and orientation angle. A LCD screen was provided to display status and result of the measurement. The control device consists of three buttons to respond the stimulus accordingly. Product testings were done through 1) a laboratory experiment with activities of critical reading and arithmetic complex and 2) a field study on a night bus driver. All the tasks selected represent works with a dominant mental workload. The laboratory experiments showed the range of Critical Flicker Fusion Frequency (CFFF) at work of 14-40 HZ, with the average decline of CFFF values of 5.3 Hz in arithmetic complex and 4.8 Hz in critical reading activities. The study on the night bus driver resulted in CFFF value range of 18-40 Hz with the average delta CFFF of 8.97 Hz. Both testings suggest that flicker test with CFFF indicators can be used to measure mental fatigue. In addition, the proposed framework used in this design development can be used as a reference in designing various products by taking human factor aspects as the focus such as user needs and user limitations.

**Keywords:** Fatigue; mental workload; product design; flicker test.

## Pendahuluan

Angka kecelakaan kerja di Indonesia masih tergolong tinggi. Pada akhir Triwulan IV tahun 2014, angka kecelakaan kerja nasional mencapai 14.519 kasus, dengan jumlah korban kecelakaan mencapai 14.257 orang. Sumber kecelakaan kerja didominasi oleh kecelakaan lalu lintas dalam hubungan kerja, alat kerja mesin serta perkakas kerja tangan (Pusdatinaker [1]). Caldwell, *et al.* [2] menyatakan bahwa faktor kelelahan berpengaruh terhadap terjadinya kecelakaan. Kelelahan diidentifikasi sebagai faktor yang berkontribusi terhadap kecelakaan, insiden dan kematian di berbagai kondisi karena adanya penurunan kewaspadaan dan kinerja (Williamson, *et al.* [3]). Oleh karena itu, perlu adanya suatu alat pengukuran dan monitoring kelelahan kerja, termasuk di dalamnya kelelahan mental.

Berbagai alat ukur untuk monitoring kelelahan telah diusulkan dalam literatur. Salah satunya adalah alat ukur berbasis uji *flicker* dengan menggunakan indikator *Critical Flicker Fusion Frequency* (CFFF).

Konsep dasar pengukuran *flicker* dengan menggunakan konsep lampu yang berkedip pada frekuensi tertentu, kemudian frekuensi dari lampu akan meningkat sampai frekuensi tertentu, sehingga kedipan lampu terlihat seperti lampu yang kontinu. Frekuensi dari kondisi tersebut dinamakan CFFF. Nilai CFFF mempunyai satuan Hertz (Hz), yang dapat digunakan untuk mengukur efisiensi fungsi sistem saraf pusat atau ketanggapan sistem saraf (*cortical arousal*) (Kroemer dan Grandjean [4]).

Tingkat kelelahan seseorang, khususnya kelelahan mental, dapat diukur dari waktu reaksi dan kondisi mata. Kemampuan mata dalam menerima stimulus dan memproses informasi diatur oleh sistem saraf pusat. Saat kemampuan mata mengalami penurunan dalam menangkap stimulus, yang ditandai dengan ketidakmampuan membedakan lampu berkedip serta waktu reaksi yang besar, mengindikasikan adanya penurunan kinerja sistem saraf pusat dan kelelahan (Saito, [5]). Individu yang mengalami kelelahan akan memiliki nilai CFFF lebih rendah dibandingkan individu normal (Kulinski, *et al.* [6]).

Menurut Kroemer dan Grandjean [4], adanya penurunan nilai CFFF sebesar 0,5–6,0 Hz mengindikasikan adanya kelelahan yang dialami selama beraktivitas. Penurunan nilai CFFF yang cukup besar dapat disebabkan oleh tingkat kelelahan (mental)

<sup>1</sup> Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10, Bandung 40132.  
Email: yassierli@mail.ti.itb.ac.id; atyanuraisha@gmail.com; azignugraha@gmail.com

\* Penulis korespondensi

yang dialami cukup tinggi. Selain itu, pekerjaan yang berulang dan kondisi yang monoton, juga dapat mempengaruhi penurunan nilai *flicker*. Sementara itu, tidak adanya penurunan nilai CFFF mengindikasikan bahwa aktivitas yang dilakukan hanya membutuhkan usaha mental tingkat rendah hingga sedang (Kroemer dan Grandjean [4]).

Alat uji *flicker* juga dikembangkan mulai dari yang hanya bisa digunakan pada laboratorium hingga alat yang portabel seperti diusulkan oleh Saito [5]. Namun, tidak diketahui validitas alat tersebut secara empiris, jika digunakan di lapangan industri. Selain itu, alat uji *flicker* yang dirancang oleh Saito [5], masih memiliki kekurangan yaitu pengkondisian jarak pengujian sulit distandarkan, serta tidak dapat mendeteksi titik kesalahan yang terjadi.

Uji *flicker* memanfaatkan konsep bahwa kelelahan dapat menimbulkan penurunan aktivitas kewaspadaan dan perhatian, karena adanya reaksi dari sistem penghambat yang menurunkan kondisi sistem penggerak di bagian *cerebral cortex*. Adanya impuls yang berasal dari kedipan lampu akan ditangkap oleh bagian sistem penggerak di *cerebral cortex*. Kemampuan menangkap impuls tersebut digunakan untuk mengukur aktivitas saraf pusat atau ketanggapan sistem saraf (*cortical arousal*) (Kroemer dan Grandjean [4]).

Dalam penelitian ini dilakukan pengembangan alat uji *flicker* untuk mengukur kelelahan mental dan hasil rancangan kemudian diujicoba dengan studi laboratorium dan studi lapangan untuk memperoleh validasi alat ukur secara empiris

## Metode Penelitian

### Pengembangan Alat Ukur

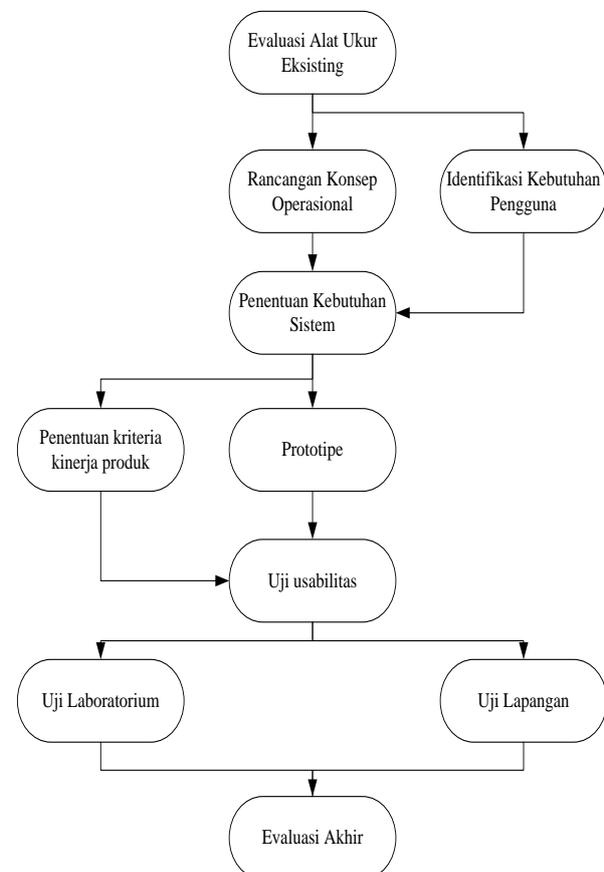
Dalam penelitian ini, kerangka pengembangan produk yang digunakan sebagai acuan adalah model *system life cycle* Chapanis [7] yang dilengkapi oleh model siklus pengembangan produk dari Ulrich dan Eppinger [8]. Pada kedua kerangka ini, metode pengembangan produk berpusat pada pemenuhan kebutuhan, fungsi, prosedur, fitur dan disain lainnya, karena adanya kelebihan, kekurangan, dan sifat-sifat khusus dari manusia sebagai pengguna.

Kerangka usulan dimulai dari evaluasi alat ukur eksisting, untuk merancang fungsi dasar produk yang akan dijabarkan dalam konsep operasional. Bersamaan dengan penjabaran kebutuhan konsep operasional dilakukan identifikasi kebutuhan produk dengan mempertimbangkan karakteristik pengguna.

Hasil kedua proses ini adalah spesifikasi kebutuhan sistem. Tahapan selanjutnya adalah penentuan kriteria performansi yang hendak dicapai yang digali dari *benchmark* sebagai dasar uji usabilitas dan penerjemahan konsep produk menjadi prototipe sederhana. Beberapa tahapan dapat dilakukan paralel karena tidak terkait. Kemudian dilakukan uji usabilitas untuk memastikan aspek usabilitas produk dan melihat kekurangan produk yang belum disadari pada proses pengembangan. Setelah lulus uji usabilitas, dilakukan pengujian performansi yang dilakukan pada eksperimen di laboratorium dan pengujian di lapangan. Hasil dari pengujian performansi diperoleh ketercapaian target pengembangan produk dan perbaikan konsep produk apabila diperlukan. Gambaran tahapan pengembangan alat ukur selengkapannya dapat dilihat pada Gambar 1.

### Evaluasi Alat Ukur Eksisting

Evaluasi dilakukan terhadap berbagai alat ukur yang ada saat ini. Dua alat uji *flicker* yang dievaluasi adalah produk buatan Yagami Scientific Instrument Mfg dan *portable fatigue meter* yang diusulkan Saito [5]. Hasil evaluasi alat ukur eksisting selengkapannya dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Kerangka tahapan pengembangan produk

**Tabel 1.** Hasil evaluasi alat ukur saat ini

No	Dimensi	Yagami Scientific Instrument Mfg 	Saito [5] 
1	Kinerja fungsional mekanisme <i>flicker</i>  Ketersediaan umpan balik hasil uji	Uji dengan frekuensi <i>flicker</i> naik dan turun. Kombinasi ini mampu meminimasi bias hasil pengukuran jika pengguna cenderung memberikan respons melewati batas <i>threshold</i>	Uji dengan frekuensi <i>flicker</i> naik Hasil pengukuran dapat bias jika pengguna cenderung memberikan respons melewati batas <i>threshold</i>
2	Kemudahan penggunaan Kemudahan dibawa	Tidak portabel dan memiliki dimensi besar apparatus berukuran 36 (panjang) X 26 (lebar) X 25 (tinggi) cm dengan berat 7 kg.	Portabel dan mudah dibawa. Apparatus berukuran 57(panjang) x 207(lebar) x 17(tinggi) mm.
3	Fitur tambahan		Dapat menyimpan data. Data yang dapat tersimpan adalah nilai CFFF hasil pengukuran dengan kapasitas lima data nilai CFFF terakhir (Murata [9])

### Rancangan Konsep Operasional

Konsep produk merupakan hasil penurunan ide produk yang dijabarkan menjadi fungsi dasar produk. Hal tersebut akan menjadi dasar dalam melakukan pengembangan produk (Chapanis [7]). Rancangan konsep operasional ini menjawab kekurangan yang ada dari produk buatan Yagami Scientific Instrument Mfg dan *portable fatigue meter* yang diusulkan Saito [5]. Kelemahan dari produk buatan Yagami Scientific Instrument Mfg adalah tidak *portable* dan tidak memiliki mekanisme umpan balik. Sementara kelemahan dari *portable fatigue meter* yang diusulkan oleh Saito [5] adalah tidak memiliki mekanisme umpan balik.

Fungsi dasar produk yang hendak dikembangkan adalah sebagai berikut: (a) Menghasilkan stimulus. (b) Memfasilitasi pengguna untuk merespon stimulus. (c) Validasi input pengguna (d) Memberikan penilaian kondisi kelelahan pengguna.

### Identifikasi Kebutuhan Pengguna

Bersamaan dengan tahapan pendefinisian konsep operasional dilakukan tahapan identifikasi spesifikasi kebutuhan. Targetnya adalah produk yang akan dibuat memiliki fungsi produk yang dapat memenuhi kebutuhan pengguna, pekerja industri dengan risiko kecelakaan kerja yang tinggi akibat kelelahan, misalnya pengemudi, pekerja konstruksi, pekerja tambang, dan lain-lain. Alat akan digunakan di lapangan industri. Untuk itu diperlukan identifikasi kebutuhan pengguna.

Hasil identifikasi kebutuhan pengguna perlu dipenuhi sebagai berikut: (a) Alat dapat digunakan dengan mudah. (b) Mampu dilihat dalam jarak pandang mata normal dan dapat dilihat oleh buta warna atau tidak. (c) Mampu digunakan secara objektif. (d) Memiliki stimuli suara, dapat digunakan di lingkungan yang bising. (e) Alat mampu membedakan apakah pengguna hanya menebak atau memang masih bisa merespon dengan benar. (f) Alat kendali untuk memberikan respon nyaman digunakan oleh tangan. (g) Pengasosiasian sumber stimulus dengan alat kendali untuk memberikan respon dapat digunakan dengan mudah dan benar. (h) Informasi dalam layar kendali mudah untuk dicerna dan dilihat. (i) Proses interpretasi dan penarikan kesimpulan terhadap hasil *assesmen* dengan mudah dilakukan.

### Penentuan Kebutuhan Sistem

Pendefinisian kebutuhan sistem dilakukan dengan memanfaatkan informasi hasil rancangan konsep operasional dan identifikasi kebutuhan pengguna. Pada tahapan ini, kebutuhan sistem ditentukan dengan digunakan pendekatan *three view of system*, yaitu terkait aspek fungsional (fungsi dasar produk), operasional (cara menjalankan fungsi produk), serta fisik (tampilan yang akan digunakan untuk menjalankan fungsi tersebut) (Chapanis [7]). Informasi kebutuhan pengguna akan menjadi masukan dalam merancang kebutuhan sistem, baik dari aspek operasional, fungsional maupun fisik. Hasil penentuan kebutuhan sistem selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2.** Penentuan kebutuhan sistem

Kebutuhan Pengguna	Operasional	Fungsional	Fisikal
Alat dapat digunakan dengan mudah	Alat dapat disiapkan dan digunakan dengan cepat  Cara penggunaan alat sejalan dengan intuisi pengguna	Jumlah instruksi dan operasi yang diperlukan untuk mempersiapkan dan menggunakan alat minimum	Mekanisme kendali alat minimum  Disain alat memungkinkan pengguna untuk menggunakan alat secara alamiah
Alat mampu membedakan apakah pengguna hanya menebak atau memang masih bisa merespon dengan benar  Mampu digunakan secara objektif	Pengguna hanya dapat merespons jika diperkirakan masih dapat membedakan stimuli	Terdapat mekanisme menilai bahwa respon pengguna salah	Menampilkan status jawaban pada LCD dan menghentikan alat jika <i>stopping rule</i> terpenuhi
Alat kendali untuk memberikan respon nyaman digunakan oleh tangan	Tidak ada perubahan efektivitas pemberian respon ketika digunakan oleh tangan kanan atau kiri		Rancangan alat kendali pemberian respon harus <i>ambidextrous</i>
Pengasosiasian sumber stimulus dengan alat kendali untuk memberikan respon dapat digunakan dengan mudah dan benar	Antar muka untuk memberikan respon dapat diaktifkan baik dengan dipencet maupun ditekan		Alat kendali dapat menahan tekanan dengan baik
Mampu dilihat dalam jarak pandang mata normal dan dapat dilihat oleh buta warna atau tidak	Posisi dan orientasi sudut sumber stimulus disesuaikan dengan posisi dan orientasi mata responden  Digunakan pada jarak pandang normal  <i>Assessor</i> dapat menyesuaikan tingkat pencahayaan agar sesuai dengan <i>pengguna</i>	Posisi dan orientasi sudut sumber stimulus dapat disesuaikan  Menyediakan mekanisme pengaturan tingkat pencahayaan sumber stimulus	Terdapat mekanisme pengaturan posisi dan orientasi sudut stimulus  Layar kendali terlihat dengan jelas pada jarak pandang normal  Menyediakan komponen pengendali tingkat pencahayaan dan kejelasan stimulus
Informasi dalam layar kendali mudah untuk dicerna dan dilihat		Menampilkan status dan keterangan untuk memudahkan penggunaan	Alat disertai petunjuk penggunaan dan instruksi yang telah direkam sebelumnya
Mampu dilihat dalam jarak pandang mata normal dan dapat dilihat oleh buta warna atau tidak  Memiliki stimuli suara, dapat digunakan di lingkungan yang bising	Dapat digunakan pada orang yang buta warna ataupun tidak		Informasi pada layar kendali dapat dicerna bahkan oleh orang yang buta warna
Proses interpretasi dan penarikan kesimpulan terhadap hasil assesmen dengan mudah dilakukan		Menghasilkan parameter kelelahan	Dilengkapi dengan skala/standar kelelahan
Alat dapat digunakan dengan mudah	Alat hanya membutuhkan perawatan minimum		Perawatan minimum yang diperlukan terbatas pada penggunaan sumber daya

**Tabel 3.** Daftar kriteria performansi hasil rancangan

Kebutuhan sistem	Kriteria
Jumlah instruksi dan operasi yang diperlukan untuk mempersiapkan dan menggunakan alat minimum	100% pengguna dapat menggunakan alat dengan benar setelah diberi instruksi dan latihan maksimal 2 kali
Alat disertai petunjuk penggunaan dan instruksi yang telah direkam sebelumnya	
Layar kendali terlihat dengan jelas pada jarak pandang normal	100% pengguna dapat melihat sinyal dalam jarak 30 cm
Posisi dan orientasi sudut sumber stimulus dapat disesuaikan	100% pengguna dapat menangkap stimulus
Menyediakan mekanisme pengaturan tingkat pencahayaan sumber stimulus	
Terdapat mekanisme menilai bahwa respon pengguna salah	Tingkat kesalahan jawab maksimal 10%
Memiliki stimuli suara	Dapat digunakan dengan baik pada kondisi kebisingan 20-80 dB Dilengkapi dengan <i>headset / earphone</i>
Jumlah instruksi dan operasi yang diperlukan untuk mempersiapkan dan menggunakan alat minimum	Waktu persiapan dan penggunaan kurang dari 3 menit
Pengguna hanya dapat merespons jika diperkirakan masih dapat membedakan stimuli	100% pengguna berhenti saat memang tidak mampu lagi menangkap stimulus
Menampilkan status jawaban pada LCD dan menghentikan alat jika <i>stopping rule</i> terpenuhi	
Tidak ada perubahan efektivitas pemberian respon ketika digunakan oleh tangan kanan atau kiri	90% pengguna merasa dapat menggunakan alat kendali dengan nyaman 100% pengguna dapat menggunakan alat pemberian respon sesuai dengan kehendak mereka
Antar muka untuk memberikan respon dapat diaktifkan baik dengan dipencet maupun ditekan	100% pengguna dapat mengasosiasikan dengan benar pada percobaan pertama
Terdapat mekanisme pengaturan posisi dan orientasi sudut stimulus	Posisi dan orientasi sudut sumber stimulus dapat disesuaikan 100% dengan responden
Menyediakan komponen pengendali tingkat pencahayaan dan kejelasan stimulus	Terdapat komponen pengendali tingkat pencahayaan dan kejelasan stimulus
Alat disertai petunjuk penggunaan dan instruksi yang telah direkam sebelumnya	90% <i>assessor</i> dapat menggunakan alat dengan baik setelah membaca petunjuk dan instruksi penggunaan 100% <i>assessor</i> dapat menggunakan alat dengan benar setelah diberi instruksi dan latihan maksimal 2 kali Terdapat rekaman petunjuk/instruksi penggunaan alat yang standar
Dilengkapi dengan skala/standar kelelahan	Terdapat skala/standar kelelahan
Perawatan minimum yang diperlukan terbatas pada penggunaan sumber daya	Maksimal perawatan rutin yang perlu dilakukan adalah penggantian sumber daya

### Penentuan Kriteria Performansi Produk

Pengembangan fungsi produk dilakukan dengan mempertimbangkan kelebihan dan kekurangan dari alat yang telah ada sebelumnya dan karakteristik calon pengguna alat. Informasi tersebut berpengaruh pada penentuan kriteria performansi yang hendak dicapai oleh produk yang dirancang. Kriteria performansi digunakan untuk mengukur ketercapaian dan melakukan evaluasi dari kriteria-kriteria yang telah ditetapkan. Penentuan target dilakukan dengan membandingkan dengan *benchmark* dan wawancara dengan ahli. Daftar kriteria performansi yang telah disusun dapat dilihat pada Tabel 3.

### Hasil dan Pembahasan

#### Pembuatan Prototipe

Prototipe dibuat dengan bahan *styrofoam*, kertas, dan beberapa komponen elektronik sederhana. Disain alat yang dirancang terdiri dari dua bagian utama yaitu sumber stimulus dan alat kendali sebagai input. Pada bagian sumber stimulus, terdapat tiga buah lampu dengan posisi dan orientasi sudut dapat disesuaikan, serta adanya layar LCD untuk menampilkan status pengukuran. Pada bagian alat kendali terdiri dari tiga tombol dengan orientasi posisi tombol disesuaikan dengan sumber stimulus. Hasil pembuatan prototipe dapat dilihat



Gambar 2. Rancangan alat *flicker* usulan

pada Gambar 2. Gambar teknik untuk prototipe yang dibuat dapat dilihat pada bagian Lampiran 1.

### Pengujian Usabilitas

Pengujian usabilitas dilakukan bertujuan untuk memastikan produk bersifat *user friendly* dan mengetahui apakah ada kekurangan produk yang belum disadari pada proses pengembangan. Uji usabilitas dilakukan di lingkungan laboratorium dengan responden berlatar belakang pekerja administrasi. Hal ini sesuai dengan karakteristik calon pengguna, dimana pekerjaan dari calon pengguna memiliki beban kerja fisik mental dan tekanan waktu. Uji usabilitas dilakukan dengan menjalankan beberapa skenario pengguna alat, dengan melibatkan dua peran utama yaitu *observer* dan responden. Pendataan respon dilakukan dari hasil wawancara dan pengamatan terhadap *critical incident* (temuan ketidaksesuaian rancangan) selama responden menggunakan alat berdasarkan skenario yang telah disusun. Hasil uji usabilitas mencatat beberapa *critical incident* berikut: (a) Responden tidak mengatur sudut LED saat melakukan pengujian. (b) Responden tidak mengetahui maksud display headset. (c) Responden merasa tombol kontrol yang berada di samping alat kurang pas. (d) Responden tidak langsung memahami tampilan informasi di LCD

Setelah mengetahui hasil uji usabilitas, selanjutnya dilakukan rancangan disain prototipe dengan mempertimbangkan hasil uji usabilitas. Beberapa poin perbaikan yang dilakukan pada perancangan produk jadi antara lain bagian LED dibuat lebih menonjol, LED dapat diatur sudut kemiringannya sesuai dengan yang mudah diterima oleh responden, tombol kontrol input dibuat terpisah seperti remote, serta tombol input diletakkan pada bagian pinggir untuk mempermudah proses penekanan pada saat alat digenggam, serta membuat LCD lebih miring, tidak lagi sejajar dengan lampu. Rancangan produk jadi yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar teknik untuk rancangan produk usulan

yang dibuat dapat dilihat pada bagian Lampiran 2 dan Lampiran 3.

### Pengujian Produk

Pengujian produk dilakukan melalui eksperimen di laboratorium dan pengujian di lapangan. Tujuan uji coba adalah untuk melakukan pengujian performansi ketercapaian target pengembangan produk dan perbaikan konsep produk apabila diperlukan. Pada eksperimen di laboratorium, dilakukan dua jenis aktivitas mental yaitu *critical reading* dan perhitungan aritmatika kompleks dengan melibatkan 16 orang partisipan. Partisipan melakukan aktivitas *critical reading* dan perhitungan aritmatika kompleks selama 100 menit.

Pengambilan data di lapangan dengan melibatkan objek pengemudi bis malam antar kota antar provinsi. Pemilihan objek ini dilandasi karena pekerjaan pengemudi bis memiliki komposisi beban kerja mental, fisik, serta tekanan waktu. Hasil pengujian performansi dari eksperimen di laboratorium dan studi di lapangan selengkapnya, dapat dilihat pada Tabel 4.

### Pembahasan

Seiring dengan adanya kebutuhan dari sektor industri dan transportasi untuk meminimasi tingkat kecelakaan kerja, maka muncul kebutuhan untuk mengembangkan alat pengukuran kelelahan yang praktis untuk digunakan dan memberikan hasil pengukuran yang mudah diinterpretasikan. Salah satu indikator yang dapat digunakan untuk pengukuran kelelahan adalah berbasis uji *flicker*. Pengukuran ini menggunakan konsep lampu yang berkedip pada frekuensi tertentu, kemudian frekuensi dari lampu akan meningkat sampai frekuensi tertentu, sehingga kedipan lampu terlihat seperti lampu yang kontinu. Frekuensi dari kondisi tersebut dinamakan *critical flicker fusion frequency* (CFFF). Nilai CFFF mempunyai satuan Hertz (Hz), yang dapat digunakan untuk mengukur efisiensi fungsi sistem saraf pusat atau ketanggapan sistem saraf (*cortical arousal*) (Kroemer dan Grandjean [4]).

Tingkat kelelahan seseorang, khususnya kelelahan mental, dapat diukur dari waktu reaksi dan kondisi mata. Kemampuan mata dalam menerima stimulus dan memproses informasi diatur oleh sistem saraf pusat. Saat kemampuan mata mengalami penurunan dalam menangkap stimulus, yang ditandai dengan ketidakmampuan membedakan lampu berkedip serta waktu reaksi yang besar, dapat mengindikasikan adanya penurunan kinerja sistem saraf pusat dan mengindikasikan adanya kelelahan (Saito [5]).

Pengukuran kelelahan menggunakan indikator CFFF merupakan metode dasar untuk mengukur kelelahan dan saat ini telah banyak diaplikasikan (Sang dan Li [10]). Penurunan nilai CFFF dibandingkan kondisi sebelum beraktivitas, mengindikasikan terjadinya kelelahan (Ikarashi [11]; Lafere, *et al.* [12]; Murata, *et al.* [9]; Suarez [12]). CFFF dapat digunakan sebagai indikator kelelahan, karena menunjukkan penurunan daya proses informasi setelah beraktivitas.

Pemilihan metode uji kelelahan berbasis uji *flicker* ini didasarkan atas keterbatasan metode pengukuran kelelahan berbasis indikator fisiologis, denyut jantung dan tekanan darah untuk digunakan di lapangan kerja terutama untuk kelelahan mental, dengan menggunakan uji *flicker*.

Kondisi kelelahan yang dialami oleh setiap pekerja dapat diketahui dari nilai CFFF. Apabila terjadi penurunan nilai CFFF yang signifikan dibandingkan dengan kondisi sebelum beraktivitas, maka sebaiknya pekerja tersebut melakukan istirahat. Hal ini karena penurunan nilai CFFF yang signifikan mengindikasikan terjadinya kelelahan dan penurunan kewaspadaan. Alat ukur ini diharapkan kedepannya dapat dimanfaatkan di industri untuk kegiatan pengukuran dan monitoring kelelahan secara kontinu sehingga kecelakaan kerja dapat dicegah sedini mungkin.

Saito [5] merancang alat pengukur kelelahan berbasis *critical flicker frequency* (CFF) dan *reaction time*, dikenal sebagai *Portable Fatigue Meter* (PFM). Namun, alat ini masih memiliki beberapa keterbatasan, yaitu tidak adanya umpan balik untuk memvalidasi frekuensi kerlipan, serta tidak dapat mendeteksi titik kesalahan yang terjadi. Alat *flicker test apparatus* yang dikembangkan oleh Yagami Manufacturing, hanya dapat mengukur frekuensi pada tingkat 0-50 Hz, dengan bentuk yang cukup besar sehingga sulit untuk dibawa dan tidak dapat digunakan untuk mengukur secara *real time* secara langsung. Selain itu, kedua alat ukur tersebut memiliki unsur subjektivitas yang tinggi, yang dapat mempengaruhi output nilai CFFF.

Oleh karena itu, alat yang dikembangkan bertujuan untuk mengakomodasi kebutuhan, kemampuan dan keterbatasan calon pengguna alat, serta mengisi gap yang tersedia dari alat ukur eksisting. Kriteria alat ukur rancangan yang hendak dipenuhi antara lain: (1) Memiliki disain umpan balik yang dapat menampilkan kondisi pengukuran secara *realtime* dalam bentuk digital. (2) Terdapat penanda untuk memberikan input di setiap perubahan frekuensi. (3) Dapat berdiri sendiri (*stand alone*), memiliki ukuran dimensi yang kecil dan ringan, sehingga mudah untuk dipindahkan dan digunakan dimanapun, (4) Memiliki *termination rule* yang otomatis,

seperti terjadi dua kesalahan beruntun. (5) Terdapat lebih dari satu lampu indikator yang digunakan untuk meminimasi aspek subjektivitas pengguna. (6) Posisi lampu indikator pada saat pengukuran yang relatif stabil.

Dalam penelitian ini, ujicoba alat dilakukan dengan menggunakan eksperimen di laboratorium dan studi di lapangan. Pengambilan data di laboratorium bertujuan untuk mengetahui signifikansi pengaruh aktivitas terhadap nilai CFFF, dengan aktivitas kelelahan yang hendak diukur adalah dominasi kelelahan mental, dengan kegiatan membaca dan berhitung. Pengambilan data di lapangan bertujuan untuk melihat pemanfaatan alat ukur di lapangan dan mengambil data kelelahan dalam kondisi yang lebih *real*. Kondisi natural responden pada saat bekerja dapat diperoleh, suatu hal yang tidak dapat diperoleh pada saat melakukan eksperimen di laboratorium.

Dari hasil pengukuran, diperoleh bahwa alat ukur kelelahan usulan sensitif untuk mengukur kelelahan, ditandai dengan melihat adanya penurunan nilai CFFF. Nilai delta CFFF diperoleh dengan cara menghitung selisih dari nilai CFFF partisipan sebelum beraktivitas dengan nilai CFFF responden setelah beraktivitas. Menurut Kroemer dan Grandjean [4], adanya penurunan nilai CFFF sebesar 0,5-6 Hz mengindikasikan adanya kelelahan yang dialami selama beraktivitas. Penurunan nilai CFFF yang cukup besar, dapat disebabkan oleh tingkat kelelahan (mental) yang dialami cukup tinggi. Selain itu, pekerjaan yang repetitif dan kondisi yang monoton, juga dapat mempengaruhi penurunan nilai flicker. Sementara, tidak adanya penurunan nilai CFFF mengindikasikan bahwa aktivitas yang dilakukan hanya membutuhkan usaha mental tingkat rendah hingga sedang (Kroemer dan Grandjean [4]).

Berdasarkan hasil pengujian, baik pengujian eksperimen laboratorium maupun pengujian di lapangan kepada pengemudi bis malam, diperoleh hasil nilai delta CFFF yang positif. Nilai delta CFFF positif pada eksperimen untuk aktivitas *critical reading* sebesar 4,8 Hz dan aktivitas aritmatika kompleks: 5,3 Hz. Penurunan nilai CFFF ini masih berada pada batas penurunan nilai CFFF menurut Kroemer dan Grandjean [4] sebesar 0,5-6 Hz. Hal ini mengindikasikan bahwa aktivitas yang dilakukan memberikan dampak kelelahan normal yang masih dapat ditoleransi selama beraktivitas. Sementara hasil pengujian di lapangan pada pekerjaan supir bis malam memiliki nilai rentang CFFF sebelum berangkat (sebagai *baseline*) adalah 18-42 Hz. Sementara nilai CFFF pada kondisi setelah beraktivitas berada pada rentang 10-35 Hz, dengan

nilai rata-rata delta CFFF yaitu sebesar 8,97 Hz, indikasi kelelahan yang tinggi. Hal-hal yang dapat menimbulkan kelelahan dalam aktivitas ini adalah kondisi kerja (seperti kursi pengemudi) yang masih kurang nyaman, kondisi jalan raya selama perjalanan, lama waktu mengemudi dan adanya keharusan untuk bekerja di malam hari yang dapat mempengaruhi *circadian rhythm*. Penelitian sebelumnya oleh Sang dan Li [10] juga menunjukkan adanya penurunan nilai *flicker frequency* yang signifikan pada supir bis, mendukung hasil penelitian yang disajikan pada paper ini.

Perlu dicatat bahwa paper ini juga merekomendasikan suatu kerangka tahapan-tahapan perancangan produk yang dikembangkan dari model *system life cycle* Chapanis [7] dan model siklus pengembangan produk dari Ulrich dan Eppinger [8]. Saat ini, tahapan metode perancangan produk terkesan kurang sistematis dan tidak dilandasi oleh referensi ilmiah yang memadai. Kelebihan kerangka yang diusulkan adalah berbasiskan karakteristik ergonomis pengguna (*human factors approach*), sehingga hasil rancangan dapat dipastikan lebih ergonomis dan memuaskan pengguna. Kerangka ini dapat digunakan untuk tahapan-tahapan perancangan produk yang lain.

### Simpulan

Penelitian ini telah menghasilkan suatu produk usulan untuk pengukuran alat ukur kelelahan berbasis uji *flicker*. Metode pengembangan alat ukur yang diusulkan berangkat dari kerangka usulan konsep perancangan berbasis *human faktor* dengan siklus meliputi evaluasi kondisi saat ini, rancangan konsep operasional, identifikasi kebutuhan pengguna, penentuan kriteria kinerja, penentuan kebutuhan sistem, perancangan prototipe, uji usability dan uji akhir produk.

Hasil pengukuran pada studi laboratorium menunjukkan rentang pengukuran *Critical Flicker Fusion Frequency* (CFFF) pada 14-40 HZ, dengan rata-rata penurunan 5,3 Hz untuk aktivitas aritmatika kompleks dan 4,8 Hz untuk aktivitas *critical reading*. Pengukuran pada pengemudi bis malam menunjukkan rentang nilai CFFF adalah 18-40 Hz dengan rata-rata delta CFFF sebesar 8,97 Hz. Hasil pengujian statistik mengungkapkan bahwa kondisi *baseline* (sebelum beraktivitas) dan kondisi setelah beraktivitas.

Hasil pengujian produk menunjukkan bahwa hasil produk rancangan sensitif terhadap kelelahan yang ditandai dengan perubahan nilai CFFF secara konsisten. Produk juga dianggap ergonomis, yang menjadi bukti bahwa tahapan perancangan produk

yang dilakukan sudah sistematis menjawab kebutuhan pengguna. Alat ukur kelelahan usulan ini diharapkan kedepannya dapat dimanfaatkan oleh industri untuk kegiatan pengukuran dan monitoring kelelahan secara kontinu, sehingga dapat mencegah terjadinya kecelakaan kerja sedini mungkin.

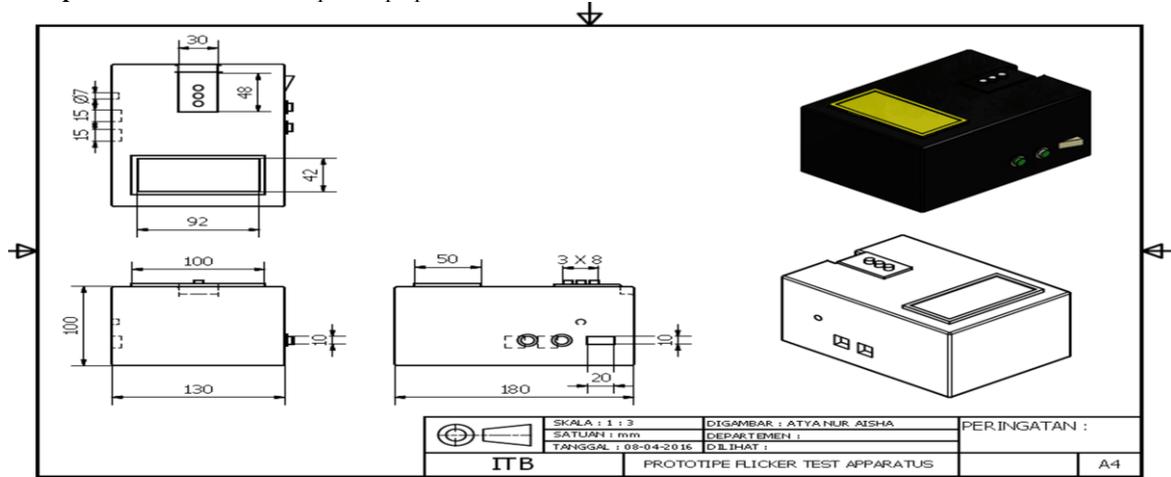
### Daftar Pustaka

1. Pusdatinaker, Pusat Data Informasi Ketenagakerjaan Badan Penelitian Pengembangan dan Informasi Kementerian Ketenagakerjaan Republik Indonesia (Pusdatinaker), *Data Tipe Kecelakaan Kerja di Indonesia Menurut Provinsi dan Sumber Kecelakaan Kerja*, 2015, retrieved from: <http://pusdatinaker.balitfo.depnertrans.go.id/viewpdf.php?id=391on> 24 Agustus 2015.
2. Caldwell, J. A., Caldwell, J. L., and Schmidt, R. M., Alertness Management Strategies for Operational Contexts, *Sleep Medicine Reviews*, 12(4), 2008, pp. 257-273.
3. Williamson, A., Lombardi, D. A., Folkard, S., Stutts, J., Courtney, T. K., and Connor, J. L., Link Between Fatigue and Safety, *Accident Analysis and Prevention* (43), 2011, pp. 498-515.
4. Kroemer, K. H. E., and Grandjean, E., *Fitting the Task to the Human: A Textbook of Occupational Ergonomics*, Taylor & Francis Ltd, London, 2000.
5. Saito, K., Measurement of Fatigue in Industries, *Industrial Health*, 37, 1999, pp. 134-142.
6. Kulinski, M., Koszela-Kulinska, J., and Jach, K., Worker Fatigue, An Overview of Subjective and Objective Methods of Measurement, *Advances in Human Factors and Sustainable Infrastructure*, 2014, pp. 51-56.
7. Chapanis, A., *Human Factors in Engineering Design*, John Wiley & Sons, Inc, New York, 1996.
8. Ulrich, K. T., and Eppinger, S. D., *Product Design and Development*. McGraw-Hill, New York, 2008.
9. Murata, K., Araki, S., Yokoyama, K., Yamashita, K., Okumatsu, T., and Sakou, S., Accumulation of VDT Work-Related Visual Fatigue Assessed by Visual Evoked Potential, Near Point Distance and Critical Flicker Fusion, *Industrial health*, 34(2), 1996, pp. 61-69.
10. Sang, Y., and Li, J., Research on Beijing Bus Driver Psychology Fatigue Evaluation, *Procedia Engineering*, 43, 2012, pp. 443-448.
11. Ikarashi, T., Measurement of Physic Fatigue by a Flicker in Our Employees Suffering in Mid Niigata Prefecture Earthquake in 2004, 2005, retrieved from: [www.janiigata.sakura.ne.jp/JMNK/14-1/7.pdf](http://www.janiigata.sakura.ne.jp/JMNK/14-1/7.pdf) 24 Agustus 2015.
12. Lafere, P., Balestra, C., Hemelryck, W., Donda, N., Sakr, A., Taher, A., Marroni, S., and Germonpre, P., Evaluation of Critical Flicker Fusion

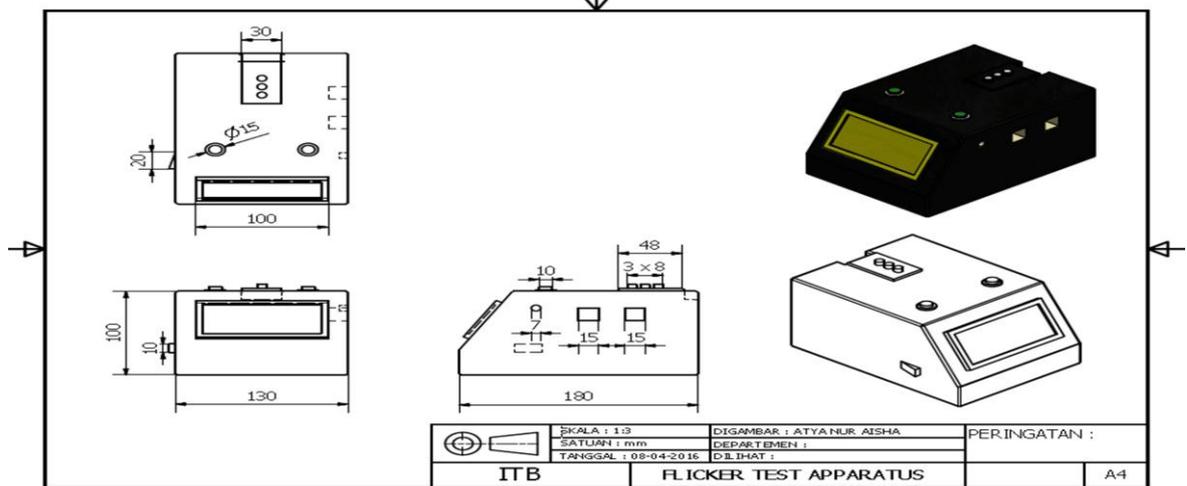
Frequency and Perceived Fatigue in Divers After Air and Enriched Air Nitrox Diving, *Diving and Hyperbaric Medicine*, 40(3), 2010.

13. Suarez, V. J. C., Fatigue of Nervous System Through Flicker Fusion Threshold After a Maximum Incremental Cycling Test, *Journal of Sport and Health Research*, 3(1), 2011, pp. 27-34.

Lampiran 1. Gambar teknik prototipe produk



Lampiran 2. Gambar teknik rancangan usulan produk



Lampiran 3. Gambar teknik remote input rancangan usulan produk

