

PENINGKATAN PRODUKTIVITAS PADA PROSES BELAJAR MENGAJAR DI RUANG KELAS DENGAN MENGGUNAKAN STIMULASI CAHAYA DAN SUARA UNTUK MENINGKATKAN FOKUS DAN KENYAMANAN PESERTA AJAR

Henry Candra¹, Endah Setyaningsih², Jeanny Pragantha³, Rifai Chai⁴

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti Jakarta
Jl. Kyai Tapa No. 1, Grogol, Jakarta Barat 11440 Telp 0215663232 EXT 8429

²Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Tarumanagara Jakarta
Jl. Letjen S. Parman No.1, Tomang, Grogol Petamburan, Jakarta Barat 11440

³Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Tarumanagara Jakarta
Jl. Letjen S. Parman No.1, Tomang, Grogol Petamburan, Jakarta Barat 11440

⁴ Department of Telecommunications, Electrical, Robotics and Biomedical Engineering
Swinburne University of Technology, Melbourne, Australia

John St, Hawthorn VIC 3122, Australia

Email: henrycandra@trisakti.ac.id

Abstrak

Produktivitas proses belajar mengajar di ruang kelas sangat dipengaruhi oleh tingkat fokus dan kenyamanan dari para peserta ajar. Dengan menggunakan stimulasi berupa cahaya dan suara level fokus dari para peserta di dalam ruang kelas dapat ditingkatkan. Stimulasi cahaya dilakukan dengan melakukan penyesuaian iluminasi pencahayaan yang sesuai standar dan pemilihan temperatur warna cahaya. Sedangkan stimulasi suara dilakukan dengan membangkitkan gelombang suara yang memiliki frekuensi yang beresonansi dengan frekuensi gelombang otak. Pada penelitian ini dilakukan investigasi untuk mengetahui pengaruh dari kombinasi stimulasi cahaya dan suara di ruang kelas pada peserta yang sedang mengikuti suatu pelajaran di kelas tersebut. Percobaan dilakukan dengan mempersiapkan suatu ruang kelas yang dilengkapi dengan penstimulasi cahaya dan suara. Pemantauan level fokus dan kenyamanan dari para peserta diukur dengan menggunakan kuesioner, di mana para peserta diminta untuk menilai tingkat kenyamanan dan fokus mereka dengan memilih temperatur warna cahaya yang paling sesuai untuk masing-masing peserta. Beberapa peserta juga direkam pola gelombang otaknya dengan menggunakan electroencephalography. Hasil analisis dari kuesioner dan pola gelombang otak menunjukkan bahwa pengaturan iluminasi dan pemilihan temperatur warna cahaya yang dikombinasikan dengan stimulasi suara dapat meningkatkan level fokus dan kenyamanan dari para peserta ajar.

Kata kunci: *produktivitas, proses belajar mengajar, stimulasi suara dan cahaya, fokus, kenyamanan, gelombang otak*

Pendahuluan

Elektroensefalografi (EEG) dapat digunakan untuk memantau pasien yang mengalami berbagai gangguan emosional seperti orang-orang dengan tingkat stres yang sangat tinggi, anak-anak dengan kesulitan berkonsentrasi, dan pasien dengan gangguan kesulitan untuk tidur (insomnia) (Moghimi et al., 2013). Proses pengukuran emosi dari orang-orang dengan berbagai gangguan di atas dapat dilakukan dengan memetakan keadaan emosional mereka pada suatu koordinat emosi 2 dimensi yang terdiri dari dimensi antusiasme (arousal) dan kenyamanan (valence). Koordinat tersebut adalah merupakan model emosi yang disebut Russel's Circumplex model (Posner et al., 2005).

Hasil pengukuran emosi juga dapat digunakan untuk mengukur tingkat fokus dan perhatian pada suatu aktivitas tertentu seperti mengikuti kegiatan belajar di kelas. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Corballis (Corballis, 2014) menekankan bahwa pendidikan formal dapat mengaktifkan belahan otak kiri (logika dan matematika), sedangkan pendidikan informal berupa keterampilan seperti bermain musik dan kegiatan seni lainnya dapat mengaktifkan belahan otak kanan (intuisi dan kreativitas).

Pola gelombang otak yang dimiliki oleh setiap orang adalah bersifat unik dan konsisten. Keunikan tersebut terbentuk dari hasil kombinasi lima jenis pola gelombang otak yaitu Delta, Theta, Alpha, Beta, dan Gamma yang

berlangsung pada setiap saat (Herrmann et al., 2016). Komposisi dari kelima gelombang otak tersebut juga menentukan tingkat kesadaran seseorang. Ini berarti bahwa gelombang otak selalu berubah dan memiliki pola yang berbeda untuk berbagai aktivitas sehari-hari yang berbeda seperti tidur, bangun, bekerja, dan istirahat.

Meskipun pola gelombang otak dari setiap orang adalah unik akan tetapi tidak berarti bahwa pola gelombang otak tersebut bersifat konstan selamanya. Dengan menggunakan teknik "aktivasi" atau "stimulasi" tertentu, komposisi dan kombinasi dari pola gelombang otak manusia dapat diubah atau dimanipulasi baik oleh dirinya sendiri maupun dengan bantuan orang lain. Dengan menggunakan stimulasi berupa perulangan kata, cahaya, atau suara, pola gelombang otak dapat diubah sehingga dapat meningkatkan level fokus dan konsentrasi pada kegiatan belajar, meningkatkan kualitas tidur, atau mencegah insomnia (Jahidin et al., 2014).

Hal penting lainnya yang mempunyai pengaruh terhadap perilaku dan aktivitas sehari-hari dari hewan dan manusia adalah cahaya. Cahaya dalam berbagai warna dapat menimbulkan perubahan fisiologi dari hewan dan manusia baik pada saat mereka bangun atau tidur. Fakta menunjukkan bahwa pencahayaan buatan dapat digunakan untuk mengubah perilaku hewan di dalam habitatnya dan perubahan pola aktivitas manusia di tempat kerjanya (Pilorz et al., 2016).

Faktor penting lain dari cahaya adalah tingkat iluminasinya. Standar iluminasi pada setiap ruang dalam suatu bangunan adalah berbeda-beda. Perbedaan ini ditentukan oleh fungsi dari masing-masing ruang dan jenis kegiatan yang dilakukan pada ruang tersebut. Menurut Illuminating Engineering Society (IES), standar iluminasi pada ruang kerja yang digunakan untuk kegiatan belajar adalah sebesar 300 Lux (The Lighting Handbook, 2011).

Selain itu, hasil penelitian yang dilakukan oleh Singh dan Arora (Singh dan Arora, 2014) mengungkapkan bahwa pencahayaan di dalam ruang kelas dapat mempengaruhi kinerja dan tingkat konsentrasi dari para siswa di kelas tersebut.

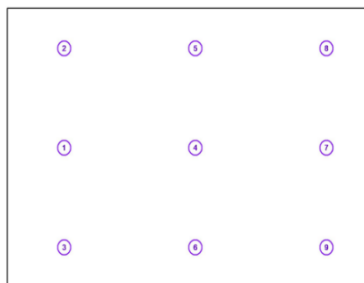
Hasil riset lainnya yang dilakukan oleh Metz et al. (Metz et al., 2013) menunjukkan bahwa warna cahaya yang berbeda dapat mengubah sinyal fisiologis manusia seperti detak jantung, *Galvanic Skin Response (GSR)*, termasuk pola frekuensi gelombang otak. Secara lebih spesifik, temperatur warna dan intensitas cahaya tertentu dapat mengubah pita gelombang Alpha dari seseorang yang memberikan perasaan yang menyenangkan atau santai (Park et al., 2013). Dalam laporan lain diinformasikan bahwa cahaya siang hari juga dapat meningkatkan pita gelombang Beta dari orang-orang yang sedang melakukan aktivitas di dalam gedung (Mangkuto et al., 2009).

Pada makalah ini dipaparkan metode untuk meningkatkan produktivitas dari peserta didik yang sedang mengikuti kegiatan belajar di ruang kelas dengan memberikan stimulasi cahaya dan suara yaitu dengan melakukan penyesuaian terhadap iluminasi dan pemilihan temperatur warna cahaya yang digabung dengan stimulasi suara. Penggabungan stimulasi cahaya dan stimulasi suara yang diterapkan pada suatu ruang kelas ini menjadi keterbaruan yang diangkat oleh makalah ini. Hasil percobaan menunjukkan bahwa penggabungan stimulasi cahaya dan suara dapat meningkatkan level fokus dan kenyamanan seseorang pada saat sedang mengikuti kegiatan belajar di ruang kelas.

Bahan dan Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan terlebih dahulu menyiapkan suatu ruang kelas yang memiliki kapasitas untuk 6 orang siswa. Kelas tersebut harus memenuhi pencahayaan standar sesuai dengan IES yaitu sebesar 300 Lux dan juga dilengkapi dengan berbagai temperatur warna cahaya.

Untuk menyiapkan iluminasi dari ruang kelas agar dapat memenuhi standar, terlebih dahulu dilakukan pengukuran iluminasi dari ruang kelas menggunakan Lux meter. Pengukuran dilakukan pada 9 titik yang tersebar dalam matriks 3×3 yang mencakup seluruh bagian dari ruang kelas seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Hasil pengukuran iluminasi pada 9 titik tersebut kemudian dirata-rata untuk mendapatkan iluminasi rata-rata dari ruang kelas.



Gambar 1. Pengukuran iluminasi pada 9 titik di dalam ruang kelas

Berdasarkan hasil pengukuran iluminasi dari ruang kelas kemudian dibuat simulasi menggunakan aplikasi Dialux untuk mendesain ulang tata cahaya di dalam ruang kelas tersebut agar dapat memenuhi standar iluminasi dan sekaligus menyiapkan tata cahaya baru yang memiliki sistem pemilihan temperatur warna cahaya. Dari hasil simulasi

yang diperoleh, tata cahaya di ruang kelas kemudian diperbaiki dan disusun ulang. Setelah itu sistem stimulasi suara juga dipasang pada ruang kelas. Selain itu, pada ruang kelas juga dipasang peralatan audio video untuk presentasi.

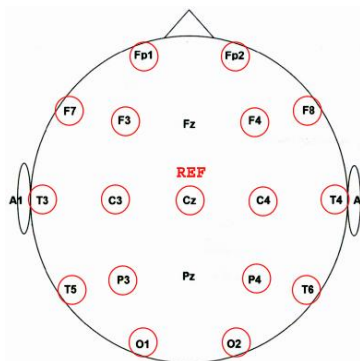
Ruang kelas yang sudah direnovasi memiliki tata cahaya yang menggunakan 3 jenis lampu dengan temperatur warna yang berbeda-beda. Dalam penelitian ini digunakan 3 jenis temperatur warna cahaya yang ditunjukkan pada Tabel 1. Spesifikasi temperatur warna cahaya dan jenis lampu adalah berdasarkan pada spesifikasi dari masing-masing lampu sesuai dengan data dari produsen lampu tersebut.

Tabel 1. Jenis lampu dan temperatur warnanya

	Temperatur Warna		
	3000 K	4000 K	6500 K
Jenis Lampu	Warm white	Cool white	Cool daylight

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan melibatkan 36 orang siswa yang dibagi menjadi 6 kelompok dengan jumlah 6 orang siswa pada setiap kelompok. Masing-masing kelompok diminta untuk menyaksikan presentasi video dengan subjek matematika dalam 3 sesi berturut-turut. Pada akhir setiap sesi, para peserta diminta untuk memecahkan beberapa soal matematika yang berkaitan dengan presentasi kemudian mereka diminta untuk mengisi kuesioner yang berisi beberapa pertanyaan. Ketiga sesi tersebut adalah sebagai berikut: sesi pertama peserta diminta untuk memilih 1 dari 3 temperatur warna cahaya yang paling nyaman bagi mereka dengan memberikan skor 1 untuk paling nyaman dan 3 untuk paling tidak nyaman. Pada sesi kedua peserta diminta untuk menyaksikan video presentasi kedua dengan menggunakan temperatur warna yang dipilih tanpa menggunakan stimulasi suara. Pada sesi terakhir stimulasi suara ditambahkan ke dalam ruang kelas pada saat para peserta menyaksikan video presentasi berikutnya. Pada masing-masing sesi peserta diminta untuk menilai tingkat kenyamanan, fokus, dan perhatian mereka dengan skor 5 untuk yang tertinggi hingga skor 1 untuk yang terendah.

Selama sesi presentasi, EEG dari salah satu siswa pada tiap kelompok direkam dengan menggunakan 16 kanal EEG dengan frekuensi sampling 256 sampel/detik sehingga diperoleh 6 rekaman EEG. Perekaman EEG dilakukan dengan menggunakan konfigurasi "10/20 international system" (Homan, 1988). Pilihan saluran adalah sebagai berikut: FP1, FP2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, T3, T4, T5, T6, P3, P4, O1, O2 dan menggunakan titik referensi Cz. Konfigurasi tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi EEG 16 kanal berdasarkan 10/20 International System

Hasil rekaman harus melalui proses pembersihan awal untuk menghilangkan artefak dengan menggunakan notch filter 50 Hz dan band pass filter 5-45 Hz, kemudian dirata-rata terhadap referensi yang sama. Setelah itu diterapkan Discrete Wavelet Transform (DWT) pada data EEG yang sudah dibersihkan untuk mendapatkan distribusi pita frekuensinya. DWT dapat dihitung dengan langkah-langkah berikut (Candra et al., 2017). Pertama, dihitung koefisien DWT berdasarkan skala dua langkah dengan persamaan berikut:

$$DWT(j, k) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \frac{1}{\sqrt{2^j}} \psi \left(\frac{t - 2^j k}{2^j} \right) dt \tag{1}$$

di mana $\psi(t)$ menunjukkan fungsi Mother wavelet dan 2^j dan $2^j k$ masing-masing adalah merupakan skala dan lokalisasi waktu. Selanjutnya, dihitung koefisien dekomposisi wavelet untuk sinyal EEG yang diberikan dalam saluran $y(t)$ dengan persamaan berikut:

$$y(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A(k)\psi_k(t) + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} D(j,k)\psi_{j,k}(t) \quad (2)$$

Dalam percobaan ini digunakan wavelet Daubechies (db5) sebagai fungsi wavelet untuk membagi dekomposisi sinyal EEG dengan frekuensi sampling 256 sampel/detik dan memberikan hasilnya menjadi 5 band: Delta; Theta; Alpha; Beta; dan Gamma sehingga dapat diperoleh energi dari masing-masing pita frekuensi. Dalam percobaan ini hanya 3 dari 5 pita frekuensi yang digunakan, yaitu: Theta, Alpha dan Beta. Energi koefisien dari wavelet untuk detail dan aproksimasinya kemudian dinyatakan sebagai:

$$E_k = \sum_{k=1}^N |C_{j,k}|^2, j = 1, \dots, l \quad (3)$$

di mana N adalah jumlah koefisien wavelet pada setiap tingkat dekomposisi dan $C_{j,k}$ adalah aproksikasi atau detail. Energi paket wavelet kemudian dinormalisasi dengan membandingkan energi detail atau aproksikasi dengan total energi sinyal dengan persamaan berikut:

$$|E_k| = \frac{E_k}{E_t} \quad (4)$$

di mana E_t adalah energi total sinyal seperti pada:

$$E_t = \sum_k E_k \quad (5)$$

Energi relatif pita frekuensi Theta, Alpha dan Beta untuk setiap kanal EEG kemudian dipetakan dalam tampilan bagian atas kepala untuk menggambarkan distribusi masing-masing pita frekuensi pada permukaan kepala untuk berbagai jenis pemilihan temperatur warna cahaya.

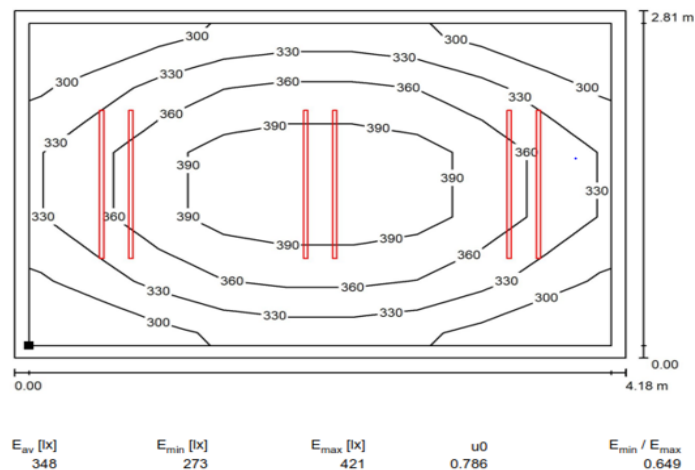
Hasil dan Pembahasan

Pertama dibahas tentang hasil pengukuran iluminasi dari ruang kelas sebelum dan sesudah renovasi. Hasil pengukuran iluminasi dari ruang kelas sebelum renovasi ditunjukkan pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Hasil pengukuran iluminasi ruang kelas sebelum renovasi

Iluminasi (Lux)		
203,7	221,3	240,1
178,4	195,6	211,8
225,1	232,2	238,5
Minimum = 178,4		
Maksimum = 240,1		
Rata-rata = 216,3		

Tabel 2 menunjukkan bahwa iluminasi minimum dari ruang kelas adalah 178,4 Lux, iluminasi maksimum adalah 240,1 Lux, dan rata-ratanya adalah 216,3 Lux. Ini berarti bahwa ruang kelas memiliki iluminasi yang kurang dari standar yang direkomendasikan oleh IES. Oleh karena itu, penataan ulang diperlukan untuk meningkatkan iluminasi. Hasil simulasi menggunakan Dialux untuk mendesain ulang iluminasi ruang kelas ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil simulasi perbaikan iluminasi ruang kelas dengan Dialux

Gambar 3 menunjukkan bahwa ruangan perlu dilengkapi dengan 3 buah lampu TL yang dipasang paralel untuk mendapatkan iluminasi standar. Dengan mengikuti rekomendasi dari simulasi, rata-rata iluminasi di atas 300 Lux akan dapat tercapai. Berdasarkan hasil simulasi, dilakukan renovasi terhadap ruang kelas dan dilengkapi dengan 3 jenis temperatur warna cahaya seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 4.



Gambar 4. Tata cahaya dengan menggunakan 3 jenis temperatur warna cahaya

Gambar 4 menunjukkan pemasangan tata cahaya dengan 3 jenis temperatur warna cahaya yang direalisasikan menggunakan 3 x 3 lampu TL paralel. Tata cahaya yang baru tersebut kemudian diukur ulang dengan menggunakan Lux meter untuk masing-masing temperatur warna untuk memverifikasi bahwa instalasi baru telah memenuhi iluminasi standar yang direkomendasikan. Hasil pengukuran iluminasi untuk setiap temperatur warna cahaya menggunakan 9 titik pengukuran dalam bentuk matriks 3 x 3 disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran iluminasi untuk ketiga jenis temperatur warna cahaya

Warm white			Cool White			Cool daylight		
257,6	362,2	320,7	247,1	372,1	339,7	267,7	398,2	350,2
359,1	446,6	384,7	344,6	437,7	372,8	344,2	421,1	358,1
277,6	392,6	333,7	263,2	357,3	300,2	252,4	310,6	271,7
Minimum = 257,6			Minimum = 247,1			Minimum = 252,4		
Maksimum = 446,6			Maksimum = 437,7			Maksimum = 421,1		
Rata-rata = 348,3			Rata-rata = 337,2			Rata-rata = 330,5		

Tabel 3 menunjukkan bahwa instalasi untuk setiap temperatur warna cahaya telah memenuhi standar iluminasi rata-rata, dengan hasil rata-rata 348,3 Lux untuk warm white, 337,2 Lux untuk cool white, dan 330,5 Lux untuk cool daylight.

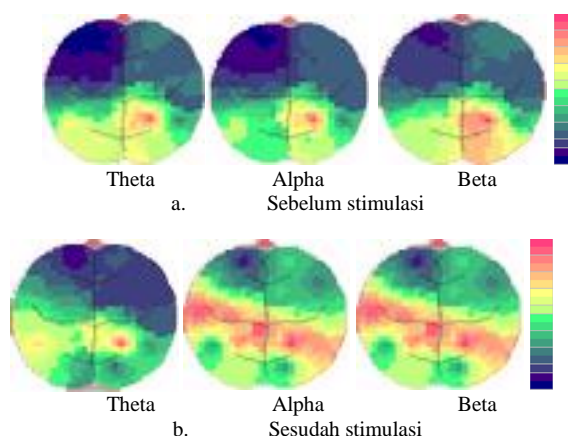
Selanjutnya dibahas hasil analisis terhadap kuesioner yang telah diisi oleh seluruh peserta. Hasil rangkuman untuk setiap pertanyaan dari kuesioner ditampilkan pada Tabel 4 di bawah ini.

Tabel 4. Rangkuman hasil pengisian kuesioner oleh seluruh peserta

Komponen kuesioner	Warna temperatur yang dipilih		
	Warm White	Cool White	Cool Daylight
% jumlah siswa yang memilih warna temperatur	22.2%	36.1%	41.7%
Skor total kenyamanan untuk warna temperatur yang dipilih	29	51	62
Rata-rata skor kenyamanan untuk warna temperatur yang dipilih	3.6	3.9	4.1
Skor total level fokus untuk warna temperatur yang dipilih	31	47	62
Rata-rata skor level fokus untuk warna temperatur yang dipilih	3.9	3.6	4.1

Tabel 4 menunjukkan bahwa temperatur warna yang paling dipilih adalah cool daylight dengan 41,7% pemilih, diikuti oleh cool white dengan 36,1% pemilih, dan warm white dengan hanya 22,2% pemilih. Selanjutnya, Tabel 4 juga menunjukkan bahwa skor tingkat kenyamanan dan fokus yang diberikan oleh siswa untuk temperatur warna yang dipilih juga konsisten untuk masing-masing temperatur warna. Dapat dilihat bahwa tingkat skor rata-rata dari komponen kenyamanan dan fokus untuk masing-masing temperatur warna memiliki tren yang sama. Level tertinggi untuk komponen kenyamanan dan fokus didominasi oleh temperatur warna cool daylight, diikuti oleh cool white di tempat kedua, dan warm white di bagian terendah. Ini berarti bahwa hasil kuesioner memiliki tingkat kepercayaan yang sangat tinggi. Hasil ini juga menginformasikan bahwa temperatur warna cool daylight memberikan dampak signifikan bagi sebagian besar peserta. Hasil ini didukung oleh analisis pola gelombang otak untuk setiap temperatur warna yang dibahas berikut ini.

Untuk menganalisis pengaruh kombinasi stimulasi cahaya dan suara dilakukan dengan memetakan distribusi energi pita frekuensi dari masing-masing 16 kanal EEG dalam bentuk tampilan bagian atas kepala untuk menggambarkan distribusi setiap pita frekuensi pada bagian atas kepala sebelum dan sesudah stimulasi. Ilustrasi ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Distribusi energi dari pita frekuensi Theta, Alpha, dan Beta sebelum dan sesudah stimulasi

Gambar 5 menunjukkan bahwa distribusi pita frekuensi Theta sebelum stimulasi adalah sedang kemudian menurun setelah stimulasi, yang ditunjukkan oleh perubahan warna cerah menjadi lebih gelap. Sebaliknya, distribusi pita Alpha adalah kurang sebelum stimulasi, kemudian meningkat setelah stimulasi, yang ditunjukkan oleh perubahan warna agak gelap menjadi dominan terang. Keadaan serupa terjadi pada pita frekuensi Beta yang juga meningkat setelah stimulasi.

Analisis lebih lanjut dari pemetaan menunjukkan bahwa distribusi energi dari pita frekuensi sebelum stimulasi hanya terjadi di sisi belakang kepala (ditunjukkan warna cerah yang hanya terdapat pada bagian belakang kepala), kemudian berubah setelah adanya efek dari stimulasi di mana distribusi energi pita frekuensi meluas ke hampir seluruh area kepala (ditunjukkan dengan meluasnya warna cerah pada hampir seluruh bagian kepala). Ini berarti bahwa stimulasi juga mengaktifkan seluruh bagian dari otak.

Kesimpulan

Penelitian terhadap pengaruh stimulasi cahaya dengan penyesuaian iluminasi dan seleksi terhadap temperatur warna di ruang kelas telah dilakukan dan memberikan hasil positif. Hasil dari kuesioner menunjukkan bahwa temperatur warna yang lebih tinggi (cool daylight) dapat meningkatkan fokus dan kenyamanan dari para siswa.

Dari hasil penelitian juga diperoleh bahwa kombinasi stimulasi cahaya dan stimulasi suara dapat meningkatkan fokus dan kenyamanan seseorang. Peningkatan tersebut terkait peningkatan energi dari pita frekuensi Alpha dan Beta dan penurunan energi dari pita frekuensi Theta. Efek dari kombinasi stimulasi juga mengaktifkan keseluruhan bagian dari otak.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Universitas Trisakti dan DRPM, Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia, yang telah membiayai penelitian ini dengan Nomor Kontrak 11/KM/BAP/I/PNT/2018 dan Nomor Kontrak 9/AKM/MONOPNT/2019.

Daftar Pustaka

- Candra, H., Yuwono, M., Chai, R., Nguyen, H. T., & Su, S. (2017). EEG emotion recognition using reduced channel wavelet entropy and average wavelet coefficient features with normal Mutual Information method. *2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, 463–466. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2017.8036862>
- Corballis, M. C. (2014). Left Brain, Right Brain: Facts and Fantasies. *PLOS Biology*, 12(1), e1001767. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001767>
- Herrmann, C. S., Strüber, D., Helfrich, R. F., & Engel, A. K. (2016). EEG oscillations: From correlation to causality. *Research on Brain Oscillations and Connectivity in A New Take-Off State*, 103, 12–21. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2015.02.003>
- Homan, R. W. (1988). The 10-20 Electrode System and Cerebral Location. *American Journal of EEG Technology*, 28(4), 269–279. <https://doi.org/10.1080/00029238.1988.11080272>
- Jahidin, A. H., Ali, M. S. A. M., Taib, M. N., Tahir, N. M., Yassin, I. M., & Lias, S. (2014). Classification of intelligence quotient via brainwave sub-band power ratio features and artificial neural network. *Comput. Methods Prog. Biomed.*, 114(1), 50–59.
- Mangkuto, R. A., Soelami, F. X. N., & Suprijanto, S. (2009). Study of effect of daylight on Building User's Performance Based on Electroencephalograph Signal. *Proceeding of 10th SENVAR / 1st CONVEESH, Manado, Indonesia, October 2009*, 1–7.
- Metz, A. J., Klein, S. D., Scholkmann, F., & Wolf, U. (2017). Continuous coloured light altered human brain haemodynamics and oxygenation assessed by systemic physiology augmented functional near-infrared spectroscopy. *Scientific Reports*, 7(1), 10027. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09970-z>
- Moghimi, S., Kushki, A., Guerguerian, A.-M., & Chau, T. (2013). A Review of EEG-Based Brain-Computer Interfaces as Access Pathways for Individuals with Severe Disabilities. *Assistive Technology: The Official Journal of RESNA*, 25, 99–110. <https://doi.org/10.1080/10400435.2012.723298>
- Park, J. Y., Ha, R.-Y., Ryu, V., Kim, E., & Jung, Y.-C. (2013). Effects of Color Temperature and Brightness on Electroencephalogram Alpha Activity in a Polychromatic Light-emitting Diode. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience: The Official Scientific Journal of the Korean College of Neuropsychopharmacology*, 11(3), 126–131. <https://doi.org/10.9758/cpn.2013.11.3.126>
- Pilorz, V., Tam, S. K. E., Hughes, S., Potheary, C. A., Jagannath, A., Hankins, M. W., Peirson, S. N. (2016). Melanopsin Regulates Both Sleep-Promoting and Arousal-Promoting Responses to Light. *PLOS Biology*, 14(6), e1002482. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002482>
- Posner, J., Russell, J. A., & Peterson, B. S. (2005). The circumplex model of affect: An integrative approach to affective neuroscience, cognitive development, and psychopathology. *Development and Psychopathology*, 17(3), 715–734. <https://doi.org/10.1017/S0954579405050340>
- Singh, P., & Arora, R. (2014). *Classroom Illuminance: Its impact on Students' Health Exposure & Concentration Performance*. *The Lighting Handbook* (10th ed.). (2011). IES.