

INTEGRASI KARAKTER VISUAL SEDERHANA DAN LED *FLEX* UNTUK PRAKTIKUM IPA DI SEKOLAH MENENGAH ATAS

Asrullah Ahmad¹, Endah Setyaningsih², Yohanes Calvinus³ & Amalia Setyowulan⁴

¹Jurusan Desain Komunikasi Visual, Universitas Multimedia Nusantara

Email: asrullahmanyala@gmail.com

²Fakultas Teknik Elektro, Universitas Tarumanagara

Email: endahs@ft.untar.ac.id

³Fakultas Teknik Elektro, Universitas Tarumanagara

Email: yohanesc@ft.untar.ac.id

⁴Fakultas Seni Rupa dan Desain, Universitas Tarumanagara

Email: amaliasetyowulan@gmail.com

ABSTRACT

Advances in educational technology demand learning media that are functional, communicative, and visually engaging. At the senior high school level, science practice often faces challenges in linking technical concepts with adequate visual representation. This community service program (PKM) developed a practical learning aid using LED Flex integrated with visual characters, applying a Visual Communication Design (VCD) approach and the Design Thinking method (Empathize, Define, Ideate, Prototype, Test). LED Flex, as a flexible and energy-efficient lighting technology, was used to interactively visualize simple electrical circuits. The visual characters were designed with simple shapes, harmonious colors, and high legibility to optimize the limited LED display space. The main issues addressed were: (1) alignment of the LED Flex-based visual character design with the Senior High School Basic Physics curriculum, and (2) students' understanding of both the concepts and the assembly process. Testing showed that the content aligned with curriculum outcomes, particularly in understanding and assembling simple circuits. The media increased students' interest in topics previously perceived as abstract. All 20 participating student groups successfully assembled and operated the LED Flex according to the designs. Participating science teachers also responded positively. This program proved effective in curriculum alignment, media functionality, and participant engagement. Future studies are recommended to further examine the role of character visual design and aesthetic aspects in enhancing students' interest and comprehension in science learning.

Keywords; LED Flex, Character Visual Design, Design Thinking, Learning Media, Flexible Lighting

ABSTRAK

Perkembangan teknologi pendidikan menuntut media pembelajaran yang fungsional, komunikatif, dan menarik secara visual. Di tingkat SMA, praktik IPA sering menghadapi kendala dalam menjembatani konsep teknis dengan visualisasi yang memadai. Kegiatan PKM ini merancang media bantu praktik berbasis LED Flex yang dipadukan dengan karakter visual menggunakan pendekatan Desain Komunikasi Visual (DKV) dan metode Design Thinking (Empathize, Define, Ideate, Prototype, Test). LED Flex, sebagai teknologi pencahayaan lentur dan hemat energi, digunakan untuk memvisualisasikan rangkaian listrik sederhana secara interaktif. Karakter visual dirancang dengan bentuk sederhana, warna harmonis, dan keterbacaan tinggi agar optimal pada ruang tampilan LED yang terbatas. Permasalahan utama meliputi: (1) kesesuaian media—yakni desain karakter berbasis LED Flex—dengan kurikulum Fisika Dasar SMA; dan (2) pemahaman siswa terhadap konsep serta praktik perakitan. Hasil uji menunjukkan materi sesuai capaian kurikulum, terutama kompetensi memahami dan merakit rangkaian listrik sederhana. Media ini terbukti meningkatkan minat belajar siswa IPA terhadap topik yang sebelumnya dianggap abstrak. Dari 20 kelompok peserta, seluruhnya berhasil merakit dan mengoperasikan LED Flex sesuai desain karakter. Guru IPA yang terlibat juga memberikan respons positif. Kegiatan ini dinyatakan berhasil dalam hal kesesuaian kurikulum, efektivitas media, dan partisipasi peserta. Disarankan kajian lanjutan untuk menilai kontribusi desain visual karakter dan aspek estetika terhadap peningkatan minat serta pemahaman siswa dalam pembelajaran sains.

Kata Kunci; LED Flex, Visual Design Karakter, Design Thinking, Media Pembelajaran, Pencahayaan lentur

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pendidikan menuntut media pembelajaran yang tidak hanya fungsional, tetapi juga komunikatif, menarik, dan mampu mendorong partisipasi aktif siswa. Kebutuhan ini semakin krusial di tingkat SMA, terutama dalam pembelajaran praktik yang



sering kekurangan media visual yang *engaging*. Integrasi antara Teknik Elektro dan Desain Komunikasi Visual (DKV) menjadi solusi efektif dengan menggabungkan aspek teknik, estetika, dan informasi. DKV memanfaatkan elemen grafis seperti bentuk, warna, dan tipografi untuk menyampaikan pesan secara efektif (Meggs & Purvis, 2016). Studi multimedia learning menunjukkan bahwa media visual interaktif mempercepat pemahaman dan meningkatkan retensi jangka panjang (Mayer, 2009). Selaras dengan itu, *character design* menjadi representasi simbolik yang membantu menyederhanakan materi teknis dan membangun koneksi emosional dengan siswa (Rafinita & Aditia, 2024).

Lampu LED *Flex* (*Flexible Light-Emitting Diode*) adalah jenis pencahayaan berbasis LED yang dirancang di atas substrat lentur seperti *polyimide* atau bahan polimer elastis lainnya, yang memungkinkan lampu untuk dibengkokkan, digulung, atau dibentuk sesuai kebutuhan. Teknologi ini umum digunakan dalam bidang arsitektur, produk *wearable*, desain interior, hingga edukasi interaktif karena fleksibilitas dan efisiensi energinya (Kwon et al., 2021). Dalam ruang lingkup pendidikan, LED *Flex* digunakan sebagai alat bantu visual interaktif, khususnya dalam menjelaskan konsep-konsep sains dasar seperti energi listrik, rangkaian listrik sederhana, serta hubungan antara *input* dan *output* energi pada sistem elektronik. Media ini memudahkan visualisasi alur listrik atau sebagai indikator berbasis cahaya pada model pembelajaran praktik. LED *Flex* memiliki sejumlah karakteristik yang membuatnya unggul sebagai media yang digunakan untuk mendukung pembelajaran praktik yaitu:

- 1) Fleksibel secara fisik: Dapat ditempelkan pada permukaan melengkung atau bahan tidak rata (Chen et al., 2020);
- 2) Hemat energi dan efisiensi tinggi: Menggunakan daya listrik rendah namun menghasilkan cahaya yang terang dan tahan lama (Park et al., 2022);
- 3) Ramah ruang: Bentuknya yang ramping memudahkan integrasi pada alat bantu edukatif tanpa memerlukan ruang besar (Lee et al., 2019); dan
- 4) Dukungan terhadap kontrol dinamis: Dapat diatur warnanya, intensitas cahaya, atau efek visual lainnya melalui sistem mikroprosesor sederhana seperti Arduino (Kim & Choi, 2021).

Teknologi LED *Flex* umumnya memanfaatkan substrat fleksibel berbasis *polymer* atau material biodegradable, chip micro-LED berukuran mikro, serta metode produksi *roll-to-roll printing* untuk efisiensi manufaktur. LED *Flex* sendiri banyak dijumpai di pasaran, perkembangan terkini juga mencakup LED fleksibel berbasis bahan kertas (*paper substrate*) untuk aplikasi edukatif yang lebih ramah lingkungan (Zhang et al., 2023). Selain itu, integrasi dengan Internet of Things (IoT) juga memungkinkan LED *Flex* diprogram untuk merespons data atau sensor lingkungan. Penggunaan LED *Flex* dalam pembelajaran IPA (Ilmu Pengetahuan Alam) sangat relevan, khususnya pada topik energi listrik dan konversinya, rangkaian listrik sederhana (seri dan paralel), prinsip konduktivitas dan hambatan Listrik.

Visualisasi menggunakan LED *Flex* memungkinkan siswa memahami aliran energi listrik dan pengaruh bentuk rangkaian terhadap hasil (Suryani, Hasanah, & Fitriani, 2021). Media berbasis cahaya yang responsif ini juga meningkatkan minat dan pemahaman siswa dalam eksperimen fisika dasar (Rahman & Ningsih, 2022). LED *Flex*, sebagai media interaktif, memiliki potensi besar dalam pembelajaran praktik karena mampu menampilkan karakter visual dinamis di ruang terbatas. Penelitian ini menunjukkan bahwa karakter digital efektif menyampaikan instruksi teknis dan meningkatkan efikasi diri siswa (Nurani, Widodo, & Anggraeni, 2023). Desain visual yang sederhana dan komunikatif penting dalam mendukung pemahaman, sesuai dengan prinsip *universal design* (Yuan, Zhang, & Li, 2024). Karakter dengan bentuk jelas, harmoni warna, dan daya baca emosional terbukti memperkuat memori visual dan mempermudah transfer konsep teknis (Alsubait, Alzahrani, & Qasem, 2020). Metode *Design*

Thinking menjadi pendekatan strategis karena berfokus pada pengguna dan bersifat iteratif (Nguyen, 2024; Putra et al., 2022). Prinsip seperti *shape language*, *visual simplicity*, dan *emotional design* diintegrasikan untuk menciptakan karakter yang adaptif terhadap media LED *Flex* (Buker et al., 2024). Gaya *monoline*, dengan garis berketebalan seragam, menjadi pilihan tepat karena menghadirkan visual artistik yang tetap sederhana (Laksono & Islam, 2020).

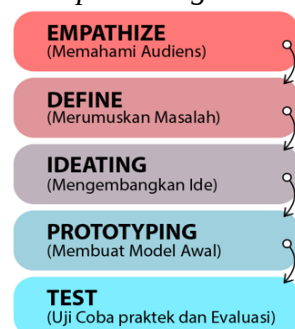
Implementasi karakter visual berbasis *Design Thinking* (*Empathize, Define, Ideate, Prototype, Test*) pada media LED *Flex* dengan menggunakan gaya *monoline* sangat relevan bagi SMA Negeri 10 Jakarta. Sesuai dengan pandangan Mawarni, Akbar, dan Muklis (2019) yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis kreativitas masih jarang menjadi bagian dari kurikulum sekolah dasar hingga menengah, padahal keterampilan ini sangat penting bagi remaja untuk membangun daya saing yang kuat. Salah satu cara memulainya adalah dengan menanamkan kemampuan berpikir kreatif melalui pendekatan *design thinking*. Media ini dirancang untuk menghadirkan alat bantu yang bersifat visual, dan diharapkan mudah dipahami, sehingga dapat menjelaskan fungsi atau instruksi teknis secara cepat. Prinsip desain yang minimalis dan sederhana memberikan solusi optimal untuk mengatasi tantangan ruang visual terbatas dan perubahan kondisi pencahayaan selama praktik (Lidwell, Holden, & Butler, 2010). Dengan fokus pada pendekatan DKV dan metode *Design Thinking* yang telah dilakukan oleh Laksono dan Islam (2020) dimaknai sebagai pola pikir yang berpusat pada kacamata desainer, yang dalam pemecahan masalahnya selalu menggunakan pendekatan yang berpusat pada manusia atau *human centered*. Kegiatan PKM ini bertujuan merancang karakter visual pada alat praktikum menggunakan LED *Flex*, guna mendukung pembelajaran praktik fisika dasar di SMA Negeri 10 Jakarta. Evaluasi dilakukan untuk melihat efektivitas dan kesesuaian media pada kurikulum Fisika Dasar yang diharapkan hasilnya bisa memberi kontribusi praktis terhadap inovasi media edukatif di pendidikan menengah, serta menjadi acuan dalam pengembangan karakter visual pada media teknologi edukatif yang lebih kompleks.

2. METODE PELAKSANAAN PKM

Pelaksanaan PKM ini dilakukan dengan metode kualitatif deskriptif dengan pendekatan desain karakter holistik, yang kemudian diperdalam dengan perancangan visual karakter menggunakan LED *Flex* dengan metode *Design Thinking*. Metode *Design Thinking* dipilih sebagai pendekatan utama karena mampu memberikan kerangka kerja kreatif dan sistematis dalam desain karakter. Empati, definisi, ideasi, *prototype*, dan pengujian adalah lima langkah dalam pendekatan ini. Pendekatan integratif dan kolaboratif yang ditawarkan oleh desain pikir memungkinkan desainer untuk terus mengubah dan meningkatkan desain mereka seiring dengan proses (Nabila & Pritama, 2023). Perancangan karakter terdiri dari lima tahapan: *empathize, define, ideate, prototype, dan test*.

Gambar 1

Tahapan *Design Thinking*



Sumber: Pribadi



Tahap ini bersifat iteratif, artinya jika ditemukan kendala, proses kembali ke tahap *define*. Dalam kegiatan PKM, tahap *testing* dilaksanakan secara terpadu melalui metode demonstrasi sebagai pendekatan utama penyampaian materi. Menurut Sanjaya (dalam Putri & Omar, 2017), demonstrasi adalah teknik pembelajaran dengan memperlihatkan secara langsung proses atau objek kepada peserta, baik nyata maupun tiruan, untuk meningkatkan pemahaman dan keterlibatan. Metode ini terdiri dari tiga tahap: (1) persiapan (penyusunan tujuan, materi, dan alat), (2) pelaksanaan (demonstrasi langsung), dan (3) penyelesaian (evaluasi, diskusi, dan klarifikasi), ketiga tahap ini yang menjadi acuan pelaksanaan PKM.

Gambar 2
Tahapan Demonstrasi



Sumber: Pribadi

Tahap evaluasi menutup penerapan *design thinking* dalam kegiatan PKM ini, dengan tujuan menilai efektivitas dan dampak kegiatan terhadap siswa SMA. Evaluasi difokuskan pada empat parameter utama:

- 1) **Keberhasilan perakitan LED Flex** oleh siswa sesuai desain visual, dinilai dari fungsionalitas rangkaian;
- 2) **Kesesuaian materi PKM** dengan kurikulum IPA Fisika Dasar, dikonfirmasi langsung oleh guru mata pelajaran;
- 3) **Minat siswa terhadap media LED Flex** sebagai alat pembelajaran visual; dan
- 4) **Tingkat kesulitan siswa** dalam menginterpretasikan desain menjadi rangkaian nyata.

Karena keterbatasan waktu dan benturan jadwal sekolah, hanya dua parameter pertama yang dievaluasi secara langsung. Dua parameter terakhir tidak sempat dilaksanakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses *empathize* (Memahami kebutuhan audiens)

Sebagai Langkah untuk memastikan kesesuaian antara materi pengabdian kepada masyarakat (PKM) dan kurikulum yang berlaku di sekolah, tim pelaksana PKM menyelenggarakan kegiatan *Forum Group Discussion* (FGD) bersama kelompok guru mata pelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) serta perwakilan siswa dari Sekolah Menengah Atas (SMA Negeri 10 Jakarta). Fokus utama diskusi adalah mengidentifikasi keterkaitan antara teknologi LED Flex yang digunakan dalam kegiatan PKM dengan materi pelajaran Fisika Dasar, serta menyesuaikan pendekatan desain dan metode praktik agar sesuai dengan kebutuhan pembelajaran.

Melalui FGD dengan guru dan siswa, ditemukan tiga poin utama: (1) *LED Flex* memiliki keterbatasan untuk membentuk karakter kompleks, sehingga disepakati penggunaan desain visual yang sederhana dan mudah dirakit; (2) gaya desain *monoline* dipilih karena sesuai dengan bentuk strip *LED Flex*, menjaga estetika tanpa menyulitkan teknis; dan (3) efisiensi waktu penting, sehingga desain harus berukuran kecil agar praktikum dapat diselesaikan dalam durasi terbatas. Temuan ini menjadi dasar perancangan visual, pemilihan gaya desain, serta pengelolaan teknis kegiatan. Pendekatan FGD terbukti efektif dalam menyelaraskan kebutuhan kurikulum, preferensi peserta, dan batasan media guna menghasilkan solusi yang relevan dan aplikatif.

Proses *define* (Merumuskan masalah)

Berdasarkan temuan yang diperoleh dari tahap *empathize* melalui kegiatan *Forum Group Discussion* (FGD) dengan kelompok guru dan perwakilan siswa, diperoleh berbagai masukan dan *insight* yang menjadi dasar dalam merumuskan kebutuhan serta permasalahan utama yang akan dijadikan acuan dalam perancangan solusi pada kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini. Proses identifikasi kebutuhan dan kendala yang dihadapi oleh pengguna akhir (dalam hal ini siswa dan guru) menjadi langkah penting untuk memastikan bahwa desain dan implementasi kegiatan bersifat relevan, kontekstual, dan aplikatif.

Gambar 3
Proses Define



Sumber: Pribadi

Informasi yang terhimpun selama tahap *empathize* mengarahkan tim pelaksana untuk mendefinisikan ulang fokus kegiatan, baik dari aspek materi, pendekatan visual, maupun teknis pelaksanaan. Tiga poin utama yang muncul dari hasil FGD, yaitu keterbatasan bentuk *LED Flex*, kecocokan dengan gaya desain *monoline*, serta pentingnya efisiensi waktu praktikum, menjadi landasan dalam menyusun pernyataan masalah dan merancang solusi yang tepat guna pada tahap *define*.

Ideate (Mengembangkan ide)

Pengumpulan referensi visual

Tahapan *ideate* merupakan lanjutan dari permasalahan yang telah berhasil dirumuskan pada tahap *define*. Pada tahap ini, kegiatan berfokus pada proses eksplorasi dan pengembangan ide-ide kreatif sebagai dasar untuk menghasilkan solusi visual yang sesuai dengan kebutuhan pengguna akhir. Dalam konteks kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini, tahap *ideate* diarahkan pada penciptaan konsep visual karakter yang akan digunakan sebagai panduan dalam praktik perakitan *LED Flex*. Proses *ideation* ini terdiri atas beberapa langkah sistematis. Pertama, dilakukan pengumpulan referensi visual yang relevan dan sesuai dengan kriteria yang

telah ditetapkan pada tahap *define*, yaitu desain yang bersifat **sederhana** dan menggunakan gaya **monoline**.

Gambar 4

Referensi visual

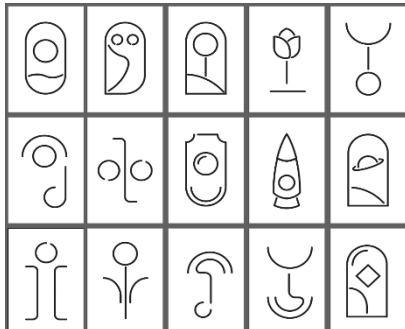


Sumber: Google

Referensi diperoleh dari berbagai sumber seperti ilustrasi digital, ikonografi garis tunggal, hingga bentuk karakter edukatif yang mengedepankan keterbukaan dan kesederhanaan bentuk.

Gambar 5

Sketsa awal



Sumber: Pribadi

Proses sketsa awal, di mana ide-ide yang telah dihimpun mulai dituangkan ke dalam bentuk visual secara manual maupun digital. Sketsa ini menjadi representasi awal dari karakter visual yang akan dikembangkan, dengan mempertimbangkan faktor kemudahan reproduksi menggunakan media LED *Flex*. Pada tahap ini tim PKM memberikan pertimbangan bahwa bentuk yang diambil harus memenuhi beberapa syarat dan yang utama adalah kemudahan dalam perangkaian, maka dari itu bentuk yang dirancang harus sederhana dan memungkinkan untuk dirangkai menggunakan LED *Flex*.

Gambar 6

Digitalisasi Desain



Sumber: Pribadi

Digitalisasi desain yaitu proses mengubah sketsa-sketsa awal ke dalam bentuk gambar digital menggunakan perangkat lunak desain grafis. Digitalisasi ini bertujuan untuk menghasilkan versi akhir dari karakter visual yang presisi, seragam, dan siap digunakan dalam proses demonstrasi dan praktik perakitan LED *xFlex* oleh siswa. Pada tahap ini juga dilakukan penyempurnaan elemen garis, proporsi bentuk, dan pengaturan komposisi agar desain akhir benar-benar sesuai dengan kebutuhan teknis maupun estetika yang telah ditetapkan sebelumnya. Secara keseluruhan, tahap *ideate* menjadi jembatan penting antara perumusan masalah dan implementasi solusi, dengan menghasilkan konsep visual yang konkret, aplikatif, dan dapat langsung diterapkan dalam tahap berikutnya, yaitu *prototype* dan *test*.

Prototyping (Membuat model awal)

Gambar 7

Prototyping



Sumber: Pribadi

Tahapan ini merupakan proses realisasi dari desain visual karakter ke dalam bentuk prototipe yang terintegrasi dengan rangkaian LED *Flex* berbasis sistem elektronik fungsional. Proses pembuatan prototipe dilakukan oleh tim PKM dengan memanfaatkan fasilitas Laboratorium Teknik Elektro Universitas Tarumanagara, yang dilengkapi dengan peralatan untuk fabrikasi, perakitan sirkuit, serta pengujian performa perangkat. Dalam tahap ini, tim melakukan integrasi antara aspek estetika dan teknis melalui penyusunan komponen elektronik seperti LED *strip*, *mikrokontroler*, serta sistem pemrograman dasar untuk memastikan sinkronisasi visual sesuai rancangan awal. Prototipe ini juga menjadi dasar untuk tahap evaluasi efektivitas dan kesiapan implementasi di lapangan sesuai dengan tujuan kegiatan PKM.

Test (Uji coba praktek)

Gambar 8

Proses Test



Sumber: Pribadi

Tahap ini dilaksanakan melalui metode demonstrasi kepada peserta PKM, yakni guru IPA dan siswa SMA Negeri 10 Jakarta, dengan tujuan mentransfer pengetahuan dan keterampilan dasar penggunaan teknologi LED *Flex* dalam pembelajaran interaktif. Demonstrasi dibagi dalam tiga



tahap: persiapan, pelaksanaan, dan penyelesaian. Pada tahap persiapan, tim PKM menyiapkan alat dan bahan seperti modul LED *Flex*, *mikrokontroler*, kabel jumper, serta materi pengantar dan tutorial teknis mengenai prinsip kerja, potensi edukatif, dan prosedur perakitan. Tahap pelaksanaan melibatkan peserta dalam kelompok kerja untuk merancang dan merakit LED *Flex* sesuai desain karakter visual, dengan pendampingan langsung dari tim PKM. Tahap penyelesaian berfokus pada pengujian fungsional rangkaian, mencakup konektivitas, respons sistem, dan kesesuaian tampilan visual. Hasil pengujian menjadi tolok ukur keberhasilan transfer teknologi dan kesiapan peserta untuk mengembangkan teknologi serupa di sekolah.

4. KESIMPULAN

Kegiatan ini bertujuan mengintegrasikan aspek visual dan teknologi melalui pemanfaatan LED *Flex* dengan pendekatan *design thinking*. Permasalahan utama meliputi: (1) kesesuaian media pembelajaran—yakni desain visual karakter berbasis LED *Flex*—dengan kurikulum Fisika Dasar SMA, khususnya materi rangkaian listrik sederhana; dan (2) pemahaman siswa terhadap konsep dan praktik perakitan LED *Flex*. Hasil uji menunjukkan bahwa materi telah sesuai dengan capaian kurikulum, terutama dalam kompetensi memahami dan merakit rangkaian listrik sederhana. Media visual interaktif ini juga terbukti meningkatkan minat belajar siswa IPA terhadap topik yang sebelumnya dianggap abstrak. Dari 20 kelompok siswa yang mengikuti, seluruhnya berhasil merakit dan mengoperasikan LED *Flex* sesuai desain karakter. Guru IPA yang turut serta juga menunjukkan hasil positif. Dengan demikian, kegiatan ini dinyatakan berhasil dalam hal kesesuaian kurikulum, efektivitas media, dan partisipasi peserta. Ke depan, disarankan dilakukan kajian lanjutan terkait kontribusi desain visual karakter dalam menarik minat dan meningkatkan pemahaman siswa, serta pengaruh aspek estetika terhadap keterlibatan mereka dalam pembelajaran sains

Ucapan Terima Kasih (*Acknowledgement*)

Terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Tarumanagara yang memberikan biaya untuk kegiatan ini. Terima kasih juga kepada mitra PKM yaitu SMA Negeri 10 Jakarta.

REFERENSI

- Alsubait, T., Alzahrani, A., & Qasem, M. (2020). Improving student engagement through visual and character-based learning. *Computers & Education*, 149, 103874. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103874>
- Buker, T., Kamin, S. T., van Remmen, J., Wartzack, S., & Miehling, J. (2024). Fostering self-efficacy through usability and emotional product design? An explorative study. *Research in Engineering Design*. Advance online publication.
- Chen, Y., Wang, Y., Liu, H., & Wu, J. (2020). Development of *Flexible* printed electronics for LED applications. *Journal of Flexible Electronics*, 27(4), 215–226. <https://doi.org/10.1016/j.jFlexe.2020.03.002>
- Kim, H., & Choi, J. (2021). IoT-based programmable LED for educational tools: Enhancing interactive learning. *International Journal of Interactive Technologies*, 12(1), 33–44. <https://doi.org/10.1016/j.ijinttech.2021.01.004>
- Kwon, S., Lee, D., & Park, H. (2021). *Flexible* light-emitting diodes: From fabrication to application. *Materials Today*, 49, 10–21. <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2021.03.007>
- Laksono, Y. T. A. & Islam, M.A. (2020). *Penerapan Design Thinking Dengan Menggunakan Gaya Desain Monoline Pada Perancangan Logo D'papo Surabaya*. *Jurnal Barik*, 1(2), 261–274. <https://doi.org/10.26740/jdkv.v1i2.36001>

- Lee, J., Kim, S., & Yang, M. (2019). Flexible substrates for low-power LED educational displays. *Journal of Educational Technology Research*, 18(3), 143–157. <https://doi.org/10.1016/j.jedtech.2019.07.002>
- Lidwell, W., Holden, K., & Butler, J. (2010). *Universal principles of design* (2nd ed.). Rockport Publishers.
- Mawarni, I. A.S.D., Akbar, R., & Mukhlis, A.M.N., (2019). *Design Thinking sebagai Metode Edukasi Kreatif Anak Usia Remaja*. *Prosiding PKM-CSR*, 2(2), 984–991. <https://doi.org/10.37695/pkmcsr.v2i0>
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). Cambridge University Press.
- Meggs, P. B., & Purvis, A. W. (2016). *Meggs' history of graphic design* (6th ed.). Wiley.
- Nabila, D. A. & Argiyan, D.P (2023). *Perancangan karakter "Violet" 2D menggunakan metode design thinking*. *Edu Komputika Journal*, 10(2), 121–130. <https://doi.org/10.15294/edukomputika.v10i2.78277>
- Nurani, E. D. C., Widodo, S., & Anggraeni, C. W. (2023). Pengaruh komik digital nilai karakter terhadap motivasi dan efikasi diri siswa SMP. *Jurnal Pendidikan dan Multimedia*, 8(1), 45–53.
- Nguyen-Thi, H. (2024). Fostering Design Thinking mindset for university students with NPCs in the metaverse. *Heliyon*, 10(15), e34964. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e34964>
- Putra, J. S., Irwandi, E., Kimberly, K., Samuella, A., & Anton, J. A. (2022). Perancangan media interaktif dengan pendekatan desain thinking untuk meningkatkan literasi lingkungan. *de-lite: Journal of Visual Communication Design Study & Practice*, 2(1), 1–14. <https://doi.org/10.37312/de-lite.v2i1.5772>
- Park, M., Shin, S., & Yoo, T. (2022). A review on energy-efficient lighting technology in education: Role of Flexible LEDs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112379. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112379>
- Putri, S. S. I. & Oemar, E. A. B. (2017). *Penerapan Metode Pembelajaran Demonstrasi Di Sanggar Lintang Art Kediri*. *Jurnal Pendidikan Seni Rupa*, 5(1), 110–118. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/va/article/view/18248>
- Rafinita, H., & Aditia, R. (2024). Desain karakter sebagai strategi visual dalam media edukasi interaktif. *Jurnal Desain Komunikasi Visual Nusantara*, 6(2), 120–135.
- Rahman, R., & Ningsih, S. (2022). Penggunaan media berbasis LED untuk meningkatkan pemahaman siswa dalam konsep listrik sederhana. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Sains*, 6(2), 75–82.
- Suryani, A., Hasanah, L., & Fitriani, R. (2021). Implementasi alat peraga interaktif berbasis LED pada pembelajaran IPA untuk meningkatkan literasi energi. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, 10(1), 41–50.
- Yuan, F., Zhang, H., & Li, M. (2024). Simplified character design and cognitive load in visual instructional media. *Educational Technology & Society*, 27(2), 112–123.
- Zhang, Y., Xu, K., & Han, J. (2023). Paper-based Flexible LED displays: A sustainable approach for educational tools. *Sustainable Materials and Technologies*, 35, e00541. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2023.e00541>