

Pelatihan Pengembangan Visualisasi Materi Ajar Rangkaian Listrik berbasis PhET Interactive Simulations untuk Guru

Lydia Sari¹, Syah Alam², Indra Surjati³, Rahmi Maulidya⁴

^{1,2,3}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

⁴Program Studi Magister Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Trisakti

E-mail: ¹lydia_sari@trisakti.ac.id, ²syah.alam@trisakti.ac.id, ³indra@trisakti.ac.id,

⁴rahmimaulidya@trisakti.ac.id

Abstrak

Madrasah Tsanawiyah (MTs) Tarbiyatul Falah adalah sekolah menengah pertama yang terletak di Kecamatan Bantargebang, Bekasi, Jawa Barat. MTs Tarbiyatul Falah menggunakan kurikulum gabungan Kementerian Agama dan Kementerian Pendidikan, sehingga mata pelajaran Fisika merupakan salah satu mata pelajaran yang wajib ditempuh oleh siswa. Materi Rangkaian Listrik adalah bagian dari mata pelajaran Fisika, yang memerlukan pemahaman atas konsep-konsep yang abstrak. Pada umumnya untuk membantu siswa memahami konsep-konsep rangkaian listrik, diberikan sesi pembelajaran di laboratorium. Namun pembelajaran di laboratorium hanya dapat membantu siswa melihat hal-hal yang terjadi di level permukaan, dan tidak membantu pemahaman siswa atas proses-proses dan mekanisme yang tidak kasat mata, misalnya aliran arus. Program Pengabdian kepada Masyarakat ini bertujuan untuk memberi pelatihan guna membantu guru menyiapkan materi ajar yang menarik dan memudahkan siswa memahami konsep-konsep abstrak pada teori rangkaian listrik, berbasis simulator daring *Physics Education Technology* (PhET). Pelatihan meliputi presentasi materi untuk pembuatan rangkaian listrik arus searah dan analisisnya, demonstrasi peranti lunak dan praktek menggunakan PhET serta diskusi. Dari hasil *pre-test* dan *post-test* diketahui bahwa terdapat peningkatan nilai peserta sebanyak 69%, sehingga dapat disimpulkan bahwa pelatihan telah dapat meningkatkan pemahaman guru terkait pemanfaatan simulator PhET untuk penyusunan materi rangkaian listrik.

Kata kunci: Rangkaian listrik, simulasi, daring, pelatihan

Abstract

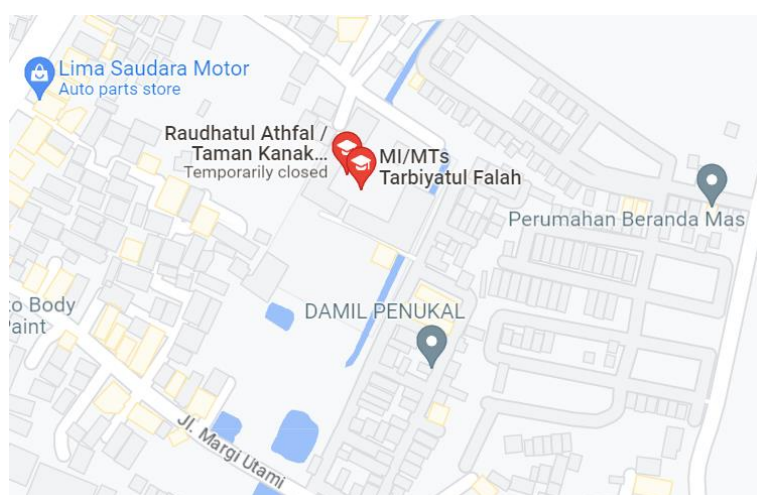
Madrasah Tsanawiyah (MTs) Tarbiyatul Falah is a junior high school located in the Bantargebang District, Bekasi, West Java. MTs Tarbiyatul Falah utilizes a combination curriculum from the Ministry of Religious Affairs and the Ministry of Education, therefore Physics is one of the compulsory subjects taken by students. The Electrical Circuit material is part of the Physics subject, which requires an understanding of abstract concepts. Learning in the laboratory can only help students see things that happen at the surface level and does not assist students' understanding of processes and mechanisms that are not visible, such as current flow. This Community Service Program aims to provide training to assist teachers in preparing interesting teaching materials and facilitating students' understanding of abstract concepts in electrical circuit theory, based on the online simulator Physics Education Technology (PhET). The training includes material presentations for the construction of direct current circuits and their analysis, demonstrations of software tools, and practice using PhET, as well as discussions. From the pre-test and post-test results, it is known that there was an increase in participants' scores by 69%, thus it can be concluded that the training has improved teachers' understanding regarding the utilization of PhET simulator for the preparation of electrical circuit materials.

Keywords: Electric circuit, simulation, online, training

1. PENDAHULUAN

Madrasah Tsanawiyah (MTs) Tarbiyatul Falah adalah salah satu sekolah menengah yang dikelola oleh Yayasan Tarbiyatul Falah. Sekolah ini terletak di Jl Raya Narogong KM 10 Gg. Melati RT 03/07 Bantargebang Kota Bekasi. Awal mula berdirinya MTs Tarbiyatul Falah yaitu tahun 1984, bersamaan dengan terbentuknya Yayasan Tarbiyatul Falah. Saat itu MTs Tarbiyatul Falah belum langsung memiliki gedung sendiri, melainkan menumpang antara lain di gedung milik Yayasan Al-Muhtadin dan Nurul Huda, yang merupakan Yayasan tertua di Bantargebang. Kemudian pada tahun 1992 Yayasan Tarbiyatul Falah mendirikan gedung sendiri dan disusul dengan berdirinya jenjang MTs.

Pada tahun 1984 – 1995 pendidikan di MTs Tarbiyatul Falah dilaksanakan tanpa adanya perpaduan kurikulum dari Kementerian Pendidikan Nasional dan Kementerian Agama. Namun pada saat ini, MTs Tarbiyatul Falah melaksanakan kurikulum gabungan dari Kemdikbudristek dan Kemenag Madrasah Tsanawiyah (MTs) Tarbiyatul Falah dan telah terakreditasi A di Kementerian Pendidikan, Riset dan Teknologi serta memiliki Surat Keputusan operasional dari Kementerian Agama bernomor 32-75/MTS/029/2010. Lokasi wilayah MTs Tarbiyatul Falah diberikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Lokasi MTs Tarbiyatul Falah

Mata pelajaran Fisika merupakan salah satu materi pada MTs Tarbiyatul Falah, dimana salah satu materi di dalamnya adalah Rangkaian Listrik. Untuk dapat memahami materi Rangkaian Listrik, siswa perlu memahami berbagai konsep yang abstrak. Pada umumnya, siswa telah memperoleh pemahaman konsep secara intuitif berdasarkan pengalaman sehari-hari, sebelum pembelajaran berlangsung. Walaupun pemahaman intuitif tersebut tidak selalu benar dan bahkan inkonsisten, pemahaman ini sulit diubah dan dapat mengganggu pemahaman siswa terhadap prinsip sains yang benar.

Pemahaman atas masalah sains yang kompleks seperti kelistrikan seringkali tidak hanya memerlukan perolehan pengetahuan baru, tetapi juga perubahan dari konsep intuitif yang dimiliki siswa. Perubahan konsep intuitif dapat dicapai dengan cara mengekspos siswa pada fenomena sains yang akan dipelajari, sehingga siswa mendapatkan pengalaman baru antara lain melalui inquiry learning. Pada umumnya *inquiry learning* dilakukan dalam lingkungan laboratorium dan kegiatan praktikum yang bersifat *hands-on*. Namun demikian, sejumlah penelitian menemukan bahwa kegiatan praktikum di laboratorium hanya dapat membantu siswa

melihat hal-hal yang terjadi di level permukaan, dan tidak membantu pemahaman siswa atas proses-proses dan mekanisme yang tidak kasat mata, misalnya aliran arus. Hal ini telah mendorong penggunaan simulator digital atau virtual untuk pembelajaran sains termasuk untuk materi rangkaian listrik.

Simulasi kelistrikan menggunakan program komputer memudahkan siswa untuk memodifikasi rangkaian, mengubah-ubah komponen rangkaian listrik dan mengamati dampak perubahan tersebut secara aman. Simulator juga dapat menunjukkan proses-proses abstrak yang tidak kasat mata pada perangkat keras, misalnya dengan memvisualisasikan aliran arus di dalam rangkaian listrik [1], [2], [3].

Pelatihan aplikasi simulasi rangkaian listrik untuk media pembelajaran Fisika telah dikemukakan pada [4]. Aplikasi yang digunakan adalah Livewire, yang merupakan perangkat simulasi khusus untuk rangkaian listrik atau elektronika. Berbeda dengan pelatihan terdahulu tersebut, pada kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) yang dilaksanakan di MTs Tarbiyatul Falah, digunakan simulator *Physics Education Technology* (PhET). Simulator PhET dapat digunakan untuk menyiapkan berbagai materi di bidang matematika dan sains, tidak terbatas pada rangkaian listrik dan elektronika. Pelatihan simulasi rangkaian listrik bagi siswa Sekolah Menengah Kejuruan menggunakan peranti lunak Proteus telah dibahas pada [5]. Peranti lunak Proteus pada umumnya digunakan untuk perancangan rangkaian elektronika, serta desain layout *Printed Circuit Board* (PCB). Peranti lunak ini tidak seluruhnya bersifat open access. Versi tidak berbayar dari Proteus, yaitu Proteus Lite, memiliki fungsi yang terbatas dibandingkan dengan versi penuhnya. Makalah [5] menyampaikan adanya kekurangpahaman siswa terhadap materi rangkaian listrik namun belum memaparkan dengan mendetail bagaimana dampak pelatihan dengan simulator untuk meningkatkan pemahaman siswa. Untuk mengukur dampak pelatihan terhadap peningkatan pemahaman peserta pelatihan, pada PkM dengan PhET di MTs Tarbiyatul Falah, tim PkM melaksanakan *pre-test* dan *post-test* bagi peserta.

Penggunaan aplikasi TinkerCAD Circuits sebagai opsi pembelajaran rangkaian listrik secara daring telah diuraikan pada [6]. Penggunaan aplikasi yang sama untuk penguatan materi rangkaian listrik juga telah dikemukakan pada [7]. Peranti lunak TinkerCAD Circuits memungkinkan perancangan dan simulasi rangkaian listrik maupun elektronika. Terdapat banyak komponen virtual yang dapat digunakan dalam simulator ini, seperti resistor, kapasitor, dioda, transistor dan berbagai komponen lainnya. Namun demikian, untuk dapat menguasai TinkerCAD Circuits, diperlukan proses belajar yang lebih lama dibandingkan dengan PhET. Untuk menggunakan TinkerCAD Circuits, pengguna harus memahami konsep-konsep elektronika dan rangkaian listrik terlebih dahulu. Pada PkM ini yang ditujukan agar siswa sekolah menengah dapat mempelajari konsep rangkaian listrik sambil belajar dengan simulasi, maka PhET menjadi sangat sesuai.

Pemanfaatan peranti lunak *Electronic Workbench* (EWB) untuk laboratorium Fisika virtual bagi siswa Sekolah Menengah Atas telah dipaparkan pada [8]. Kesimpulan kegiatan tersebut adalah terdapat kaitan yang bermakna antara pemanfaatan peranti lunak EWB terhadap peningkatan hasil belajar siswa. EWB memerlukan instalasi perangkat lunak di komputer, dan aplikasinya terbatas pada simulasi dan perancangan rangkaian listrik maupun elektronika. Pada kegiatan PkM yang dilaksanakan di MTs Tarbiyatul Falah, peranti lunak PhET dipilih karena dapat digunakan secara daring tanpa memerlukan instalasi di komputer.

Penelitian [9] menunjukkan bahwa siswa yang belajar menggunakan simulasi komputer dapat menjawab pertanyaan konseptual terkait rangkaian listrik sederhana dengan lebih baik dibanding siswa yang belajar dengan peralatan percobaan di laboratorium. Peralatan virtual memungkinkan siswa mengembangkan pemahaman rangkaian listrik, memodifikasi komponen rangkaian dan menjelaskan dampak dari perubahan komponen terhadap keluaran rangkaian [10]. Ditambah dengan ketersediaan simulator yang mudah diakses dan tidak berbayar, menjadikan simulator sebagai alternatif media pengajaran yang dapat dimanfaatkan oleh guru untuk membantu siswa memahami konsep-konsep dalam materi Rangkaian Listrik.

2. METODE

2.1 Pendekatan Pemecahan Masalah

Untuk membantu guru menyiapkan materi ajar rangkaian listrik yang mudah digunakan dan intuitif, pada pelatihan ini disampaikan cara penggunaan simulator dari *Physics Education Technology* (PhET). Simulator ini memiliki berbagai komponen rangkaian listrik yang dapat dirangkai dan dimodifikasi secara mudah, dan dampak perubahannya dapat diukur dan diamati menggunakan alat ukur voltmeter dan ammeter virtual yang menyerupai aslinya. Simulator ini dapat digunakan secara gratis dan sangat memadai untuk pembelajar di sekolah menengah. Menggunakan simulator PhET, guru dapat mendemonstrasikan bagaimana membentuk rangkaian listrik, pemberian beban, mengukur arus dan tegangan serta memodifikasi rangkaian.

2.2 Persiapan Kegiatan

Pelaksanaan PKM diawali dengan analisis kebutuhan melalui diskusi dengan masyarakat mitra yaitu perwakilan guru MTs Tarbiyatul Falah. Wawancara lebih difokuskan pada bagaimana metode yang digunakan untuk menyampaikan materi ajar khususnya materi Rangkaian Listrik, kendala yang dihadapi, dan bagaimana harapan dari guru untuk mengoptimalkan metode pembelajaran serta tingkat pemahaman siswa. Hasil wawancara dianalisis untuk memetakan permasalahan dan kebutuhan mitra, serta solusi yang dapat ditawarkan. Rekrutmen tim pelaksanaan PKM dilakukan setelah permasalahan dan kebutuhan mitra dapat dipetakan. Tim terdiri atas 4 orang dosen, 2 orang mahasiswa dan 1 orang tenaga kependidikan yang berperan dalam tim sebagai ketua dan anggota. Selanjutnya adalah tahap penyusunan materi, dimana tim pelaksana melakukan rapat koordinasi kembali untuk memastikan materi yang disiapkan dapat menjadi solusi yang tepat bagi permasalahan mitra, dan dapat disajikan secara efektif dalam waktu yang direncanakan.

2.3 Pelaksanaan Kegiatan

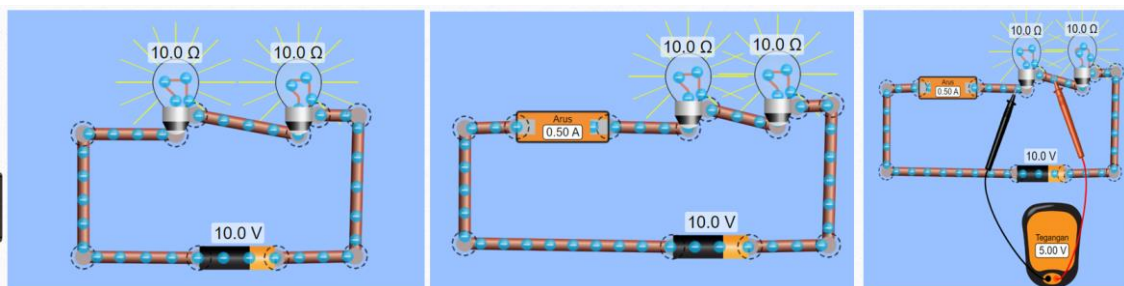
Kegiatan dilaksanakan pada hari Sabtu, 27 Januari 2024 secara luring di MTs. Tarbiyatul Falah. Pelaksanaan berupa penyampaian materi dalam bentuk presentasi yang dilanjutkan dengan sesi diskusi dan tanya jawab. Materi juga dicetak dan dibagikan kepada peserta agar presentasi dapat diikuti dengan lebih mudah. Diskusi yang mengemuka terutama terkait dengan metode pengajaran bidang IPA, kesiapan siswa mengikuti pembelajaran di laboratorium serta alat bantu yang dikembangkan guru untuk mendukung pembelajaran IPA. Sebelum dan setelah penyampaian materi, dilaksanakan *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur pemahaman peserta terkait materi penggunaan simulator PhET. Kegiatan diakhiri dengan pembagian kuesioner kepuasan mitra, untuk mengukur tingkat kepuasan peserta terkait materi maupun keseluruhan kegiatan yang telah dilaksanakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

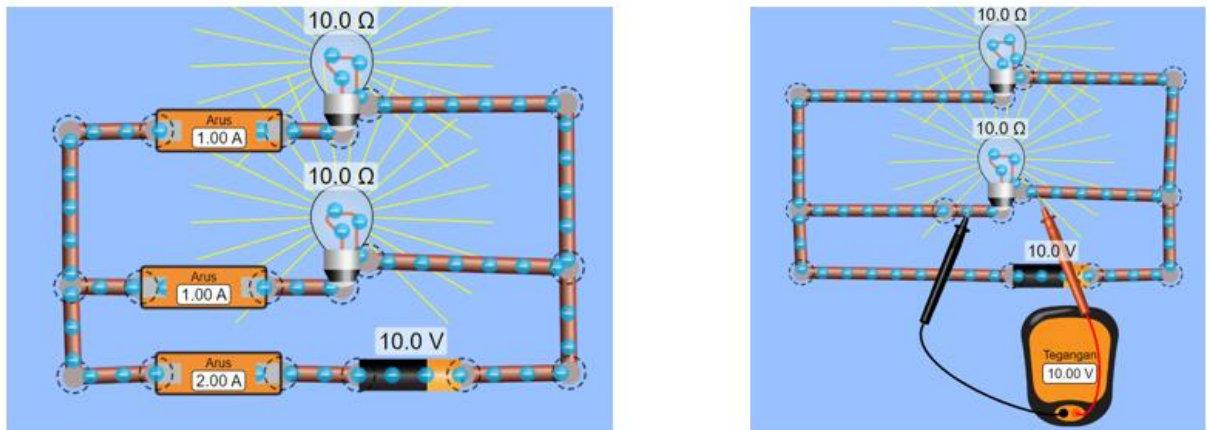
Pelatihan ini telah memberikan wawasan tambahan kepada para guru mengenai manfaat penggunaan simulasi untuk materi ajar. Dari diskusi yang mengemuka, para guru menyetujui bahwa materi yang memerlukan pemahaman atas konsep yang abstrak cukup sulit diterima oleh siswa, bila disajikan secara sarat teori dan rumus-rumus matematis. Para guru juga mengamati banyaknya kesalahpahaman siswa akan konsep abstrak rangkaian listrik, karena memahami fenomena kelistrikan secara intuitif tidak mudah. Pemahaman intuitif ini seringkali inkonsisten, sulit diubah, dan mempersulit guru untuk memberikan pemahaman terhadap prinsip sains yang benar. Selain itu, para guru juga setuju bahwa siswa sangat tertarik pada pemakaian komputer baik untuk belajar maupun hiburan, dan sangat fasih menggunakan komputer. Para guru sepakat bahwa ketertarikan siswa akan penggunaan komputer dapat menjadi pembuka jalan yang baik untuk menyampaikan materi rangkaian listrik melalui simulasi komputer. Namun demikian, sebelum pelaksanaan PkM, para guru belum pernah mengembangkan materi ajar berbasis simulasi komputer. Para guru juga belum mengetahui adanya materi ajar berbasis simulasi yang tersedia secara gratis di internet, dan dapat dimodifikasi dengan mudah agar sesuai dengan materi ajar.

Setelah pelatihan, para guru memahami bahwa simulasi kelistrikan menggunakan program komputer memudahkan siswa untuk memodifikasi rangkaian, mengubah-ubah komponen rangkaian listrik dan mengamati dampak perubahan tersebut secara aman. Simulator juga dapat menunjukkan proses-proses abstrak yang tidak kasat mata pada perangkat keras, misalnya dengan memvisualisasikan aliran arus di dalam rangkaian listrik [1], [2], [3]. Para guru mendapatkan wawasan tambahan terkait penelitian [9] yang menunjukkan bahwa siswa yang belajar menggunakan simulasi komputer dapat menjawab pertanyaan konseptual terkait rangkaian listrik sederhana dengan lebih baik dibanding siswa yang belajar dengan peralatan percobaan di laboratorium. Peralatan virtual memungkinkan siswa mengembangkan pemahaman rangkaian listrik, memodifikasi komponen rangkaian dan menjelaskan dampak dari perubahan komponen terhadap keluaran rangkaian [10]. Ditambah dengan ketersediaan simulator yang mudah diakses dan tidak berbayar, menjadikan simulator sebagai alternatif media pengajaran yang dapat dimanfaatkan oleh guru untuk membantu siswa memahami konsep-konsep dalam materi Rangkaian Listrik.

Contoh pembuatan materi dengan simulasi rangkaian listrik yang telah dibuat oleh para guru diberikan pada Gambar 2 dan 3.



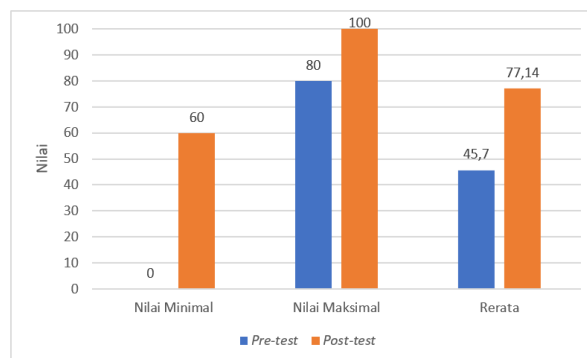
Gambar 1 Contoh Materi Rangkaian Seri



Gambar 2 Contoh Materi Rangkaian Paralel

Setelah pelaksanaan pelatihan, para guru telah dapat membuat sendiri materi ajar rangkaian listrik menggunakan simulator PhET dan membuat beberapa modifikasi untuk menyampaikan materi hukum Kirchoff dan hukum Ohm.

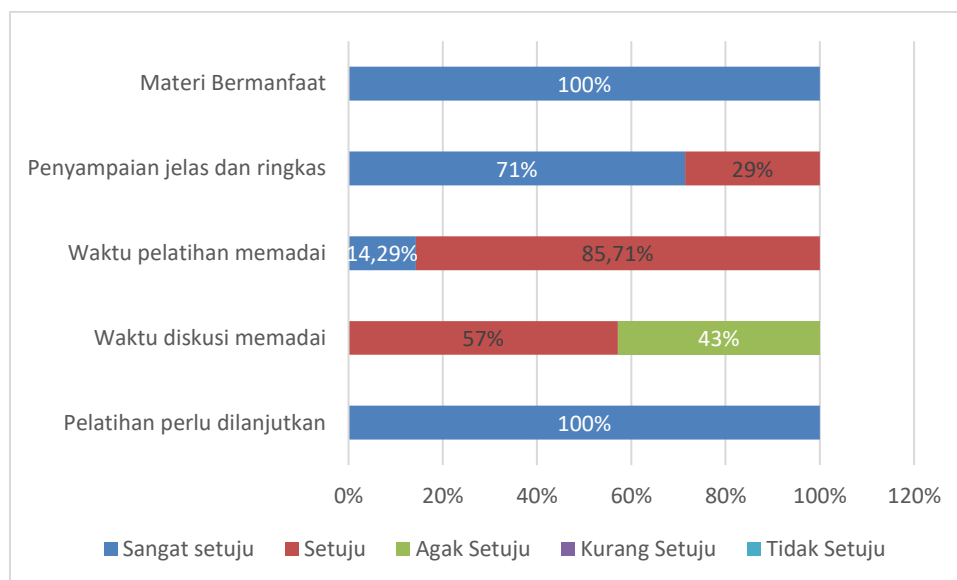
Tingkat pemahaman peserta tentang manfaat penyajian materi ajar menggunakan simulasi komputer, serta cara menggunakan simulator PhET disarikan pada Gambar 4.



Gambar 3 Hasil *Pre-test* dan *Post-test*

Nilai terendah saat *pre-test* adalah 0, dan nilai tertinggi saat *pre-test* adalah 60. Rerata nilai *pre-test* adalah 45,7. Sebanyak 42,85% peserta mendapatkan nilai di bawah 60 pada saat *pre-test*. Setelah diberikan materi pelatihan, terdapat peningkatan nilai peserta. Nilai terendah saat *post-test* adalah 80, dan nilai tertinggi adalah 100. Nilai rata-rata saat *post-test* meningkat menjadi 77,14.

Peserta juga memberikan umpan balik terhadap pelaksanaan kegiatan sebagaimana disarikan pada Gambar 5.



Gambar 4 Umpan balik terhadap Pelaksanaan Kegiatan

Berdasarkan hasil umpan balik, diketahui bahwa seluruh peserta berpendapat materi yang disampaikan bermanfaat dan perlu diadakan pelatihan lanjutan. Jumlah peserta yang menyatakan Sangat Setuju dan Setuju bahwa materi telah disampaikan secara jelas dan ringkas, berturut-turut sebanyak 71% dan 29%. Materi yang menurut peserta belum tereksplor secara mendalam adalah penggunaan beberapa komponen seperti kapasitor dan induktor yang tersedia di simulator.

Sebanyak 14,29% peserta menyatakan Sangat Setuju bahwa waktu pelatihan telah memadai, dan sebanyak 85,71% menyatakan Setuju. Waktu pelatihan yang cukup singkat tidak memungkinkan seluruh fitur simulator dapat dibahas. Mengenai waktu diskusi, sebanyak 57% peserta Sangat Setuju bahwa durasi yang disediakan untuk diskusi telah memadai, sedangkan 43% menyatakan Agak Setuju. Peserta memandang waktu diskusi terlalu singkat karena banyaknya modifikasi yang dapat dieksplor lebih lanjut pada simulator, dan tidak semuanya sempat dibahas. Oleh karena itu, dibutuhkan penyesuaian jadwal yang lebih efisien untuk penyajian materi dalam kegiatan PkM berikutnya. Beberapa bagian pendahuluan bisa disingkat agar waktu lebih banyak dapat dialokasikan untuk diskusi dan praktek simulator.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pelaksanaan PkM ini, dapat disimpulkan:

1. PkM telah terlaksana dengan baik dan memberikan manfaat berupa peningkatan wawasan para guru dalam menyiapkan materi ajar Rangkaian Listrik berbasis simulasi komputer.
2. Rerata nilai *pre-test* adalah 48,6 dan rerata nilai *post-test* adalah 77,14, atau terdapat peningkatan sebesar 69% setelah peserta mengikuti pelatihan.
3. Sebanyak 100% peserta menyatakan materi yang disampaikan bermanfaat, yang menunjukkan materi yang disampaikan telah tepat sasaran.

Saran :

1. Pembahasan lebih mendetil mengenai penggunaan simulator untuk menyajikan materi lanjutan, seperti rangkaian arus bolak-balik, dapat diberikan bagi guru yang khusus mengajar materi Fisika.
2. Untuk mempermudah peserta, simulator dapat diunduh terlebih dahulu dan pelatihan dilakukan menggunakan aplikasi pada *smart phone*, alih-alih menggunakan versi web.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim Pelaksana mengucapkan terima kasih kepada Kepala Sekolah dan para guru MTs Tarbiyatul Falah, Bekasi, atas kerjasama dan koordinasi kegiatan yang terlaksana dengan baik. Tim juga menyampaikan terima kasih kepada Fakultas Teknologi Industri Universitas Trisakti yang telah mendukung pelaksanaan kegiatan ini dengan Kontrak no. 0359/PR.05.00/FTI-DEK/XI/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Jaakkola and S. Nurmi, "Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities," *J Comput Assist Learn*, vol. 24, no. 4, pp. 271–283, Aug. 2008, doi: 10.1111/j.1365-2729.2007.00259.x, pp. 271-283.
- [2] T. Jaakkola and K. Veermans, "Learning electric circuit principles in a simulation environment with a single representation versus 'concreteness fading' through multiple representations," 2020, *Comput Educ*, vol. 148, doi: 10.1016/j.compedu.2020.103811, pp. 1-17.
- [3] T. Jaakkola, S. Nurmi, and K. Veermans, "A comparison of students' conceptual understanding of electric circuits in simulation only and simulation-laboratory contexts," 2011, *J Res Sci Teach*, vol. 48, no. 1, pp. 71–93, doi: 10.1002/tea.20386.
- [4] A. Silvia Handayani *et al.*, "Pemanfaatan Aplikasi Rangkaian Listrik Sebagai Media Pembelajaran Fisika," 2020, *Jurnal Aptekmas: Pengabdian kepada Masyarakat*, vol. 3, no. 2, doi: 10.36257/apts.vxix, hal. 55-59.
- [5] M. Apriyadi, H. Sirad, and R. Musra, "Pelatihan Simulasi Rangkaian Listrik Bagi Siswa SMK Negeri 2 Ternate Menggunakan Software Proteus," 2021, *Jurnal Patria Artha*, vol. 1, no. 1, hal. 1-4.
- [6] R. Ratnadewi *et al.*, "Pembelajaran Rangkaian Listrik dengan Aplikasi TinkerCAD Circuit pada Akademisi di Indonesia," 2023, *Jurnal ABDINUS : Jurnal Pengabdian Nusantara*, vol. 7, no. 3, pp. 819–829, doi: 10.29407/ja.v7i3.16831.
- [7] B. Sukrisna, I. Wayan Sudiarta, and I. Gusti Ngurah Yudi Handayana, "Penguatan Materi Rangkaian Listrik Menggunakan Tinkercad Untuk Siswa Ponpes Cendekia Darul Lutviah Murni NW Aikmel," 2021, *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian kepada Masyarakat Tahun 2021 LPPM Universitas Mataram*, hal. 66-73, Mataram, 17 November 2021.
- [8] S. Khaerani, "Pemanfaatan Laboratorium Virtual Berbasis Ewb (Electronics Workbench) Terhadap Peningkatan Hasil Belajar Fisika Siswa IPA Kelas XII IPA MA Nw Darussalimin Sengkol, Batukliang Lombok Tengah Tahun Pelajaran 2018/2019", 2018, *Jurnal ORBITA Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, vol. 4, no. 2, hal. 47-51.
- [9] N. D. Finkelstein *et al.*, "When Learning About The Real World Is Better Done Virtually: A Study Of Substituting Computer Simulations For Laboratory Equipment," 2005, *Physical Review Special Topics - Physics Education Research*, vol. 1, no. 1, doi: 10.1103/PhysRevSTPER.1.010103, pp. 010103-1 - 010103-8.
- [10] C. Blake and E. Scanlon, "Reconsidering simulations in science education at a distance: Features of effective use," 2007, *J Comput Assist Learn*, vol. 23, no. 6, pp. 491–502, doi: 10.1111/j.1365-2729.2007.00239.x., pp. 491-502