

**LEMBAR CEKLIST VALIDASI
INSTRUMEN PRE-TEST DAN POST-TEST**

Judul Penelitian: PBL dan Discovery Learning Berbantuan Virtual Laboratorium terhadap Keterampilan Pemecahan Masalah dan Efikasi Diri Siswa di SMA Negeri 2 Medan Deli

Nama Validator : **Dr. Apriana Fitriani, M.Pd.**
 NIP/NIDN : 02300449101
 Instansi : Universitas Muhammadiyah Bengkulu
 Tanggal : 30 Januari 2020

A. Tujuan Validasi

Lembar ini digunakan untuk menilai kelayakan instrumen tes keterampilan pemecahan masalah siswa berdasarkan aspek isi, konstruk, dan bahasa.

B. Validator diminta memberikan penilaian terhadap setiap aspek dengan memberi angka pada kolom yang sesuai dan memberikan komentar/saran pada kolom terakhir:

C. Petunjuk

Bapak/Ibu diminta memberikan penilaian dengan memberikan tanda checklis (✓) pada kolom skor yang tersedia. Adapun deskripsi skala penilaian adalah sebagai berikut:

- 1 = Tidak Layak
- 2 = Kurang Layak
- 3 = Layak dengan Revisi Kecil
- 4 = Sangat Layak/Tidak Perlu Revisi

No	Aspek yang Ditelaah	Skala			
		1	2	3	4
A. Materi atau Isi					
1	Sesuai sesuai kompetensi dasar yang dicapai				✓
2	Sesuai sesuai dengan indikator kemampuan berpikir tingkat tinggi yang diajarkan				✓
3	Sesuai sesuai dengan kemampuan berpikir tingkat tinggi yang diajarkan				✓
B. Konstruksi					
4	Adanya petunjuk yang jelas tentang cara pengerjaan soal			✓	
5	Soal tidak membuat peserta didik bingung dalam memahami soal				✓
6	Gambar yang digunakan dalam soal disajikan dengan jelas				✓
7	Soal tidak diulang-ulang				✓
C. Bahasa					
8	Menggunakan bahasa yang sesuai dengan kaidah Bahasa Indonesia				✓
9	Menggunakan bahasa yang komunikatif				✓
10	Menggunakan kalimat yang jelas dan mudah dimengerti				✓

D. Komentar dan Saran Validator

E. Kesimpulan Validasi

Instrumen penelitian ini dinyatakan *) :

- Layak digunakan tanpa revisi
 Layak digunakan dengan revisi sesuai saran
 Tidak layak digunakan
*) pilih salah satu

Bogor, Januari 2025

Validator



Dr. Apriani Fitriani, M.Pd.
NIDN. 02300449101

**LEMBAR CEKLIST VALIDASI
INSTRUMEN SKALA EFIKASI DIRI SISWA**

Judul Penelitian: PBL dan Discovery Learning Berbantuan Virtual Laboratorium terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah dan Efikasi Diri Siswa di SMA Negeri 2 Muara Buloh

Nama Validator : **Dr. Aprilia Fitriani, M.Pd.**
 NIP/MIDN : 02306449101
 Instansi : Universitas Muhammadiyah Bengkulu
 Tanggal : 30 Januari 2026

A. Tujuan Validasi

Lembar ini digunakan untuk menilai kelayakan instrumen skala Efikasi Diri siswa berdasarkan aspek isi, konstruktual, dan bahasa.

B. Validator diminta memberikan penilaian terhadap setiap aspek dengan memberi angka pada kolom yang sesuai dan memberikan komentar/saran pada kolom terakhir

C. Petunjuk

Bapak/Ibu dimohon memberikan penilaian dengan memberikan tanda checklis (✓) pada kolom skor yang tersedia. Adapun deskripsi skala penilaian adalah sebagai berikut:

- 1 = Tidak Layak
- 2 = Kurang Layak
- 3 = Layak dengan Revisi Kecil
- 4 = Sangat Layak/Tidak Perlu Revisi

No	Aspek yang Ditelaah	Skala			
		1	2	3	4
A. Aspek Materi					
1	Buat pernyataan sesuai dengan indikator minat belajar				✓
2	isi pernyataan sesuai dengan tujuan pengukuran				✓
B. Aspek Konstruktual					
3	Buat pernyataan dirumuskan secara jelas				✓
4	Ada petunjuk yang jelas cara menjawab angket				✓
C. Aspek Bahasa					
5	Kalimat bahasa pernyataan jelas			✓	
6	Kalimat menggunakan bahasa yang baik dan benar				✓
7	Rumusan kalimat tidak menimbulkan penafsiran ganda			✓	
8	Rumusan pernyataan tidak mengandung kata-kata yang dapat membingungkan siswa				✓

D. Komentar dan Saran Validator :

.....
.....
.....
.....

E. Kemampuan Validasi

Instrumen pengujian ini dinyatakan *):

- Layak digunakan tanpa revisi
 - Layak digunakan dengan revisi sesuai saran
 - Tidak layak digunakan
- *pilih salah satu

Dreghada, Januari 2016

Validator,

Dr. Agnes Fitriani, M.Pd.
NIDN. 02300449101

DAFTAR PUSTAKA

- Afri, E., Ali, F., Elsaid, A., Sya, M., & Alwan, S. A. (2023). Computer self-efficacy and ICT integration in education: Structural relationship and mediating effects. *Education and Informative Technologies*, 0122436789. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11679-8>
- Allan, D. E., Duch, B. J., & Groh, S. E. (1996). The power of problem-based learning in teaching introductory science courses. *New Directions for Teaching and Learning*, 179(68), 43-52. <https://doi.org/10.1002/d.17219966806>
- Almika, F. (2021). Hubungan efikasi diri dan kemampuan pemecahan masalah pada pasangan jarak jauh di masa pandemi Covid-19. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 3(2), 3185-3190.
- Amalisholeha, N., Setrio, Kokhzar, J., & Gusada, I. W. (2023). Analisis Kesulitan Belajar Peserta Didik pada Pembelajaran Fisika di SMAN 1 Kediri *Analysis of Students' Learning Difficulties in Learning Physics at SMAN 1 Kediri*, 4(2), 356-364.
- Aprilianti, I. P., Harjono, A., Putu Varnasti, N. N. S., & Ardiana, J. (2024). Efektivitas Perangkat Pembelajaran Berbasis Masalah Berbasis Laboratorium Virtual Untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah Peserta Didik. *Kappa Journal*, 4(1), 6-11. <https://doi.org/10.29408/kj.v4i1.24269>
- Arndt, R. I. (2012). *Learning to Teach* (9th ed.). McGraw-Hill.
- Argas, A. S., Malla, B. B., Aylaw, B. T., & Kuzza, S. G. (2023). The Effect of Problem-Based Learning on Students' Self-Efficacy and Critical Thinking Skills (Atas variasi judul yang fokus pada Physics Science Education). *Journal of Education and Learning (EduLearn) Asia International Journal of Instruction*, 17(1).
- Azirani, A., Anwar, A., Annada, A., & Feryani, R. (2021). Efektif pembelajaran sains berbasis masalah terintegrasi literasi lingkungan terhadap hasil belajar siswa. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika*, 9(1), 42-54. <https://doi.org/10.24114/jingf.v9i1.25125>
- Aulia, S., Sandiary, & Habbiba, Z. R. (2015). Active Learning with Problem-Based Learning for Problem-Solving Skills in Social and Natural Sciences. *Academia Open*, 10. <https://doi.org/10.21070/acopen.10.2025.12192>
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W. H. Freeman and Company. <https://doi.org/10.1891/0839-8541.13.2.158>
- Chang, C.-Y. (2010). Does problem solving = prior knowledge + reasoning skills in earth science? An exploratory study. *Research in Science Education*, 40(2), 103-116. <https://doi.org/10.1007/s11165-008-9102-0>

- Chan, M., Man, J., & Wright, D. (2020). An investigation of lecturers' teaching through english medium of instruction-a case of higher education in China. *Sustainability (Switzerland)*, 12, 4046. <https://doi.org/10.3390/SU12104046>
- Creswell, J. W. (2013). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed method (Fourth)*. Sage Publications Inc.
- Dahong, R., Kafika, M. B. U., & Rahmawati, A. S. (2020). Analisis Langkah-Langkah Penerimaan Model Discovery Learning Dalam Pembelajaran Fisika. *EduFisika*, 3(02), 131-138. <https://doi.org/10.22437/edufisika.v3i02.10353>
- Dewaningtuh, E. (2024). Pengaruh Model Problem Based Learning terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah Siswa pada Pembelajaran Fisika Kelas XI di SMA Negeri 1 Tanjung Lubuk. *Jurnal Inovasi Dan Pembelajaran Fisika*, 3(1), 1-6. <https://doi.org/10.29333/ji.2020.1328a>
- Eriza, L., Zayyadi, M., & Tahiryanto, C. P. (2023). Analisis Kemampuan Pemecahan Masalah Matematika Ditinjau dari Self-Efficacy Siswa. 4(3), 184-192.
- Fernandisyah, F., Sukarno, S., Kafira, N., & Al Farisi, S. (2022). Pengaruh Model Problem Based Learning (PBL) terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah Fisika Siswa SMA. *Physics and Science Education Journal (PSEJ)*, 3(2), 75-82. https://doi.org/10.1007/978-3-030-34614-0_1
- Farisi, A., Zubaidah, S., Susilo, H., & Mahdhar, M. H. I. (2020). The Effects of Integrated Problem-Based Learning, Predict, Observe, Explain on Problem-Solving Skills and Self-Efficacy. *European Journal of Educational Research*, 23, 45-64. <https://doi.org/10.14689/ejer.2020.85.3>
- Foster, T. M., Hall, S. D., & Miller, K. K. (2023). Sources of self-efficacy in physics problem solving: The dominant role of mastery experience. *Journal of Science Education and Technology*, 32(4), 512-527. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10043-w>
- Gallagher, S. A., & Savage, J. S. (2023). Problem-Based Learning. In J. A. Plucker & C. M. Callahan (Eds.), *Critical Issues and Practices in Gifted Education: What the Research Says (2nd ed., pp. 363-378)*. Routledge.
- Ganawan, Harjono, A., Sabidin, H., & Harayanti, L. (2020). Virtual Laboratory To Improve STUDENTS' Problem-Solving Skills On Electricity Concept. 6(2), 237-264. <https://doi.org/10.13194/jpi.v6i1.8759>
- Hartini, S., Mubah, Halda, & Dewantara, D. (2017). The effectiveness of physics learning material based on South Kalimantan local wisdom. In S. S., K. C., W. I., & A. A. M. (Eds.), *4th International Conference on Research, Implementation, and Education of Mathematics and Sciences: Research and Education for Developing Scientific Attitude in Sciences and Mathematics, ICRiems 2017 (Vol. 1868)*. American Institute of Physics Inc.

<https://doi.org/10.1065/1.4995182>

- Hana, Q. A.-A., Handayani, A. D., & Hana, L. R. (2022). Analisis Kemampuan Pemecahan Masalah Polya pada Materi Transformasi Geometri. *Prosiding (SEMDEKJAR)*.
<https://proceeding.unpkadiri.ac.id/index.php/semdeklar/article/view/1957>
- Hana, M., & Kuswanto, H. (2018). Development of physics mobile learning based on local wisdom to improve vector and diagram representation abilities. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 12(5), 85-100. <https://doi.org/10.3991/ijim.v12i5.3746>
- Irfani, V. A., Siregar, E., & Simanjuntak, M. P. (2023). Analisis Penerapan Model Pembelajaran Problem Based Learning (PBL) Dalam Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis Siswa dan Kemampuan Pemecahan Masalah pada Pelajaran Fisika. *Jurnal Al-ikhtisari: Ilmiah Dan Edukasi*, 2(1), 73-81. <https://doi.org/10.37233/jaha.v2i1.3778>
- Jana, P., & Fahmawati, A. A. N. (2020). Model Discovery Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah. *AKSOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 2(1), 213-220.
- Jasontkova, S., Pyskarska-Kathoucka, L., Zak, V., & Urvilkova, E. S. (2023). The scientific thinking and reasoning framework and its applicability to manufacturing and services firms in natural sciences. *Research in Science and Technological Education*, 41(2), 633-674. <https://doi.org/10.1080/02637143.2021.1928948>
- Jusari, N. L. W., Badia, I., & Arwana, P. (2022). Penerapan Model Pembelajaran Problem Based Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah Fisika Siswa SMA. *Jurnal Pendidikan Fisika Unidaha*, 2(1), 1-10.
- Kaharuddin, Ali, M. S., & Anyad, M. (2020). Pengaruh Efikasi Diri dan Perhatian Orang Tua Terhadap Hasil Belajar Fisika Pada Peserta Didik SMA Negeri 3 Pajaj. Universitas Negeri Makassar.
- Kazimoglu, C. (2010). Enhancing confidence in using computational thinking skills via playing a serious game: A case study to increase motivation in learning computer programming. *IEEE Access*, 8, 221831-221851. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3043278>
- Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan T. R. I. (2022). *Capaian pembelajaran mata pelajaran fisika SMA/MA/Program Fisika C*. https://kurikulum.kemdikbud.go.id/file/cp/dokumen/13_CP_Fisika.pdf
- Kids, B. for. (2022). *Framework for 21st Century Learning Definitions*. <https://www.beta4edofkids.org/networks/p21>
- Lianto, Y., Sihotang, T., & Kuswanto, H. (2025). *Efektifitas Praktek Solving Skills*

- Lutfianingrum, S. A., & Zakrawati, R. (2022). *Physics Student Misconception: Relative Velocity, Time Dilation, and Length Contraction*.
- Livroni, M. C., Kalogirou, E., Rivian, C., & Gestan, E. (2023). Effects of two types of numerical problems on the emotions experienced in adults and in 9-year-old children. *PLoS ONE*, 18(11), 1-14. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289027>
- Lutfiah, E., Arora, F. B., Arwinda, F., & Sayuta, R. A. (2023). *Problem Based Learning: Meningkatkan Keterampilan Kolaborasi dan Komunikasi Siswa*. 2(4), 1112-1118.
- Lutfianingrum, N. (2024). *Pengaruh Model Pembelajaran PBL Berbantuan Virtual Lab Terhadap Motivasi Belajar dan Pemahaman Konsep*. 11, 1-10.
- Mariyaa, A., & Sukma, E. (2020). Konsep Model Discovery Learning pada Pembelajaran Tematik Terpadu di Sekolah Dasar Menuntut Pandangan Para Ahli. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 4(3), 2191.
- Muslimin, R. R., Usman, S., & Raza, B. (2024). *Strategi Pembelajaran Langsung (Konvensional)*. 2(3), 465-474.
- Nafiah, Y. N., & Prasetya, W. N. (2020). Penerapan model problem based learning untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan hasil belajar siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Teknologi*, 6(1), 116-122. <https://doi.org/10.29503/jpft.v6i1.1714>
- Niraha, J., & Murtasari, D. M. (2024). *Laboratorium Virtual Simulasi PAET Terintegrasi Model Pembelajaran Discovery Learning Meningkatkan Hasil Belajar Kognitif Materi Gerak Parabola*. 3(1), 1-9. <https://doi.org/10.30598/physikos.3.1.13216>
- Nurhasanah, N., Sutris, S., Makhlas, M., & Susilawati, S. (2023). Pengaruh Penggunaan Laboratorium Virtual Berbasis Web Terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah Fisika Peserta Didik Pada Materi Gelombang Bunyi. *Karya Journal*, 7(3), 421-427. <https://doi.org/10.29408/kj.v7i3.23086>
- Nurjannah, E., Ayub, S., Doyan, A., & Sahida, H. (2021). *Pengembangan Perangkat Pembelajaran Model Inkuiri Terbimbing Berbantu Media PAET untuk Meningkatkan Kemampuan Pemecahan Masalah dan Keterampilan Generik Sains Fisika Peserta Didik*. 2(1).
- Pan, X. (2020). Technology Acceptance, Technological Self-Efficacy, and Attitude Toward Technology-Based Self-Directed Learning: Learning Motivation as a Mediator. *Front Psychol.*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.564294>
- Pemaza Sari, F., Nikmah, S., Kuswanto, H., & Wardani, R. (2020). Development

of physics comic based on local wisdom: Mopscotch (angkak) game android-assisted to improve mathematical representation ability and creative thinking of high school students. *Revista Mexicana de Física E*, 17(2), 255-262. <https://doi.org/10.31349/REVME/FPSE.17.255>

- Polya, G. (1973). *How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method*. Princeton University Press.
- Purwaningsih, E., Sari, A. M., Yulisti, L., Masjkur, K., Kurniaswan, S. R., & Zakri, M. A. (2020). Improving the problem-solving skills through the development of teaching materials with STEM-PJEL (science, technology, engineering, and mathematics-project based learning) model integrated with TPACK (technological pedagogical content knowledge). *Journal of Physics: Conference Series*, 1482(1), 1-8. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1481/1/012133>
- Putri, M., Prayogi, S., Gunasah, S., & Anni, S. (2022). Pengaruh Model Problem-Based Learning (PBL) terhadap Kemampuan Pemecahan Masalah Fisika Siswa. *Lotus: Jurnal Kependidikan Fisika*, 10(1), 11-22. <https://doi.org/10.18823/otated.2018.15.3.21.816>
- Qomariyah, L., Alfarisi, A. H., Kurniaswan, I., & Sumo, M. (2024). *Jepitulasi Prinsip-Prinsip Perkembangan Peserta Didik dalam Pembelajaran Fisika*. 6(5), 5508-5518.
- Qudusuddini, H., Fasaiah, A., Agung, A., & Yanti, M. (2025). "Sains Quo" : Strategi dalam Penguasaan dan Pembelajaran Fisika : Systematic Literature Review. 7(2). <https://doi.org/10.31603/pby.v7i1.4645>
- Rahmawati, S., & Nopriana, T. (2024). *Self-Efficacy Siswa : 7 Indikator Kejelian Diri dan Tantangan dalam Pembelajaran Matematika SMP*. 10(2), 101-108.
- Rahmawati, Y., Fitriyana, M. M., Bhalqi, Y. B., Astuti, I. A. D., & Susandari, M. (2022). Pengembangan Media Pembelajaran Fisika Berbasis Game Edukasi: Analisis Bibliometrik Menggunakan Software VOSViewer (2017-2022). *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 13(2), 257-266. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v13i2.13170>
- Ramadhan, E. M., N. (2020). Penerapan Problem Based Learning Berbantuan Virtual Lab Phet Pada Pembelajaran Fisika Untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Siswa. *Pendidikan Fisika Tadulisan Online (OPT)*, 1(1), 4-6.
- Ramadhana, R. A., & Amin, A. (2024). Analisis Keterampilan Berpikir pada Pembelajaran IPA Siswa Kelas VIII SMP N Jember Haris. 07(01), 8242-8547.
- Ramadhani, I., & Laili, N. (2025). *Self-Efficacy and Independent Learning in Students : Learning Motivation : Efikasi Diri dan Pembelajaran Mandiri*

di *Jurnal Motivasi Belajar Siswa*. 2019, 1-11.
<https://doi.org/10.11070/jpsd.v1i04.931>

- Radhana, I. W. (2021). Mengembangkan Keterampilan Abad Ke-21 dalam Pendidikan Kimia (atau sesuaikan dengan judul spesifik: Digital Literacy and 21st Century Skills): *Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia*, 15(1), 2712-2722. <https://doi.org/10.15294/jipk.v15i1.24983>
- Kusqi, M., Yuliansari, D., & Nurjati. (2020). Efektivitas Model Pembelajaran Problem Based Learning Terhadap Kemampuan Pemahaman Konsep Fisika Siswa. *Jurnal Pendidikan Fisika Dan Sains (JPFS)*, 3(2), 43-47. <https://doi.org/10.32188/jpf.v1i2.80>
- Rosita Situmorang, Ady Feasty Sianinggalang, F. E. S. (2023). Pengaruh Model Pembelajaran Discovery Learning terhadap Pemahaman Konsep Fisika Siswa SMA Yayasan Perguruan Keluarga T.A 2022/2023. 4, 2143-2151.
- Saiya, N. (2024). Analisis Kualitas Penalaran Dilihat Dalam Memecahkan Masalah Fisika Pada Siswa Kelas XI SMA Negeri 2 Makassar. 3, 303-312. <https://doi.org/10.32593/jppf.v1i03.3305>
- Santoso, B., Putri, D. H., & Madriati, R. (2020). Upaya meningkatkan motivasi belajar dan kemampuan pemecahan masalah siswa melalui model problem based learning berbantu alat peraga konsep gerak lurus. *Jurnal Rumpun Fisika*, 3(1), 11-15.
- Sari, I. P., Nanto, D., & Putri, A. A. (2022). Pengaruh Hasil Belajar Pendidikan Fisika Siswa menggunakan Teknik Meta-analisis dengan Model PBL (Problem Based Learning). *Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan Dan Teknologi Informatika*, 1(1), 20-28. <https://doi.org/10.34306/mentari.v1i1.124>
- Sari, T., Sukarno, S., & Irawan, T. (2022). Pengaruh Model Pembelajaran Problem Based Learning terhadap Keterampilan Berpikir Kritis dan Kemampuan Pemecahan Masalah Kelas X di SMA Negeri 36 Masi Banyuwangi. *Physics and Science Education Journal (PSELJ)*, 2(3), 45-52. <https://doi.org/10.13189/psje.2019.071133>
- Schrick, D. H., & Dibenedetto, M. K. (2011). Chapter Four - Self-efficacy and Intrinsic motivation. *Advances in Motivation Science*, 3, 153-179.
- Sivagar, I. H., Sartika, & Nandita, E. S. (2024). Hubungan Efikasi Diri Terhadap Motivasi Belajar Fisika Siswa. 3(1), 1-11.
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sugiyono. (2021). *Metode penelitian pendidikan: Pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Alfabeta.
- Sunilalia, I. W. (2023). Pengaruh Penerimaan Model Pembelajaran Problem Based Learning (Pbl) Terhadap Hasil Belajar Fisika. *TEACHING : Jurnal Inovasi*

- Suparman, & Juandi, D. (2022a). Upgrading mathematical problem-solving abilities through problem-based learning : A meta-analysis study in some countries. *AIP Conference Proceedings*, 000017(December), 1-8.
- Suparman, Juandi, D., & Tamsir, M. (2021). Review of problem-based learning trends in 2010-2020 : A meta-analysis study of the affect of problem-based learning in enhancing mathematical problem-solving skills of Indonesian students. *Journal of Physics: Conference Series*, 1723(1), 012103.
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1722/1/012103>
- Suparman, S., & Juandi, D. (2022b). Self-efficacy and mathematical ability : A meta-analysis of studies conducted in Indonesia. *Pedagogika*, 147(3), 26-37.
<https://doi.org/https://doi.org/10.13823/p.2022.147.2>
- Suwati, E., & Makiyah, Y. (2023). Analisis Keterampilan Pemecahan Masalah pada Pembelajaran Blended Problem Based Learning (B-PBL). *Jurnal Inovasi Dan Pembelajaran Fisika*, 10(1), 12-20.
<https://doi.org/10.47668/adnasintak.v10i3.397>
- Sawler, J. (2021). The Role of Evolutionary Psychology in Our Understanding of Human Cognition: Consequences for Cognitive Load Theory and Instructional Procedures. *Educational Psychology Review*, 34.
- Tebachnick, B. G., & Fidell, L. S. (2019). *Using Multivariate Statistics* (7th ed.). Pearson.
- Wardani, Y. R., & Mudiarto. (2021). Development of Android-based physics e-book to local Wisdom of traditional games Negeren. In S. H., H. H., & R. D. (Eds.), *4th International Conference on Mathematics and Science Education: Innovative Research in Science and Mathematics Education in the Disruptive Era. ICMSSE 2020* (Vol. 2350). American Institute of Physics Inc.
<https://doi.org/10.1063/5.0043767>
- Wiyono, K., Ismet, I., & Saperani, B. (2020). Development of interactive multimedia for learning physics based on traditional games. *2019 National Conference on Mathematics Education, NoCoME 2019*, 1480(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1480/1/012074>
- Walanda, T. D., Widayatsnaka, A., & Pambolan, S. D. (2022). Keefektifan Pembelajaran Ipa Berbasis Virtual Reality Untuk Meningkatkan Kemampuan Kognitif Siswa Smp Di Abad 21: Review *Proceeding Seminar Nasional IPA XII*, 106-113.
- Yahya, F., Nurulain, M., & Masito, S. (2023). Model Problem Based Learning Berbasis Laboratorium Virtual dalam Pembelajaran Fisika: Kajian Literatur. *Jurnal Kependidikan Media*, 12(3), 172-178.

<https://doi.org/10.26618/jam.v12i3.13437>

- Zhang, Y., Hassan, Z. Bin, & Yan, J. (2021). *Moderating role of Self-Efficacy in building Professional Identity of Chinese L2 Teachers*. 28, 66-81.
<https://doi.org/10.14689/ajar.2021.96.5>
- Zhang, L., Shagat, K. K., & Cheng, S. C. (2024). *The Impact of Virtual Laboratories on Students' Metacognitive Awareness and Self-Efficacy in Discovery Learning Settings*. *Interactive Learning Environments*, 32.
- Zhang, L., Dong, X., Huang, Y., & Yang, J. (2022). *The effects of a virtual reality-based metacognitive scaffolding approach on students' learning performance, metacognitive awareness, and cognitive load*. *British Journal of Educational Technology*, 53(3), 526-544.
<https://doi.org/10.1111/bjet.13181>

MODUL AJAR EFEK FOTOLISTRIK
Model Pembelajaran: *Problem Based Learning (PBL)*
Kurikulum Merdeka - Mata Pelajaran Fisika

A. INFORMASI UMUM MODUL

1. Identitas Modul

Sarana Pendidikan	: SMA Negeri 2 Murni Beliti
Nama Modul	: Efek Fotolistrik (Photoelectric Effect)
Mata Pelajaran	: Fisika
Kelas/Fase	: XII (Fase F) - Genap
Alokasi Waktu	: 4 - 45 menit (2 pertemuan)
Jumlah Peserta Didik	: 25-35 siswa (klasikal)
Model Pembelajaran	: <i>Problem Based Learning (PBL)</i>
Teknik Fenomena Kuantum	: Sifat Partikel Cahaya dan Interaksi Foton-Elektron

2. Capaian pembelajaran(Kurikulum Merdeka)

Capaian Pembelajaran (Fase F): peserta didik mampu menganalisis keterkaitan besaran fisika pada gejala kuantum dan menunjukkan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari teknologi.

3. Alokasi Waktu Pembelajaran (ATP)

Peserta didik mampu:

- 1) Menjelaskan konsep efek fotolistrik dan sifat kuantum cahaya
- 2) Menjelaskan hubungan antara frekuensi cahaya, energi foton, dan energi kinetik elektron
- 3) Menganalisis data eksperimen untuk membuktikan hipotesis teori kuantum
- 4) Menerapkan persamaan Einstein efek fotolistrik dalam pemecahan masalah
- 5) Membedakan pengaruh frekuensi dan intensitas cahaya pada pelepasan elektron

4. TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah mengikuti pembelajaran dengan model *Discovery Learning* ini, peserta didik diharapkan dapat:

1. Pengetahuan:

- a. Menjelaskan pengertian efek fotolistrik dan fenomena kuantum
- b. Menyebutkan syarat-syarat terjadinya efek fotolistrik
- c. Mengidentifikasi variabel-variabel dalam persamaan Einstein: $E_k = hf - W$
- d. Menjelaskan konsep frekuensi ambang dan fungsi kerja

2. Keterampilan:

- a. Melakukan pengamatan sistematis melalui simulasi atau video percobaan

TAHAP 1: ORIENTASI PESERTA DIDIK PADA MASALAH

Waktu: 15 menit

Pertemuan: 1

Tujuan Takap: Menghadapkan peserta didik pada masalah teknik yang memotivasi penyelesaian ilmiah.

Deskripsi:

Guru menyajikan *driving problem* yang menarik dan relevan dengan kehidupan peserta didik, kemudian memfasilitasi diskusi awal untuk mengaktifkan pengetahuan prior dan memicu rasa ingin tahu.

Kegiatan Pembelajaran:**Aktivitas 1.1: Apersepsi Kontektual (5 menit)**

- 1. Tayangkan Visual:** Guru menampilkan:
 - a. Gambar panel Surya di atap rumah
 - b. Foto sensor cahaya di smartphone
 - c. Video singkat tentang teknologi "smart door" yang terbuka otomatis
- 2. Pertanyaan Pembuka:**
 - a. "Pernahkah kalian melihat pintu yang terbuka sendiri ketika ada gerakan?"
 - b. "Bagaimana teknologi ini bisa tahu bahwa ada orang?"
 - c. "Apa hubungannya dengan cahaya?"
- 3. Brainstorming Awal (3 menit):**
 - a. Peserta didik memaliskan ide awal tentang: "Apa yang kalian tahu tentang bagaimana cahaya berinteraksi dengan logam?"
 - b. Kumpulkan ide dan tulis di papan (tanpa evaluasi dulu)

Aktivitas 1.2: Presentasi Driving Problem (10 menit)**Kerangka Masalah Nyata:**

KASUS: Perusahaan Tech XYZ sedang mengembangkan sensor cahaya generasi baru untuk panel surya.

Merakit menghadapi masalah yang aneh:

Eksperimen mereka menunjukkan:

Pertanyaan Kritis:**Prosesnya Masalah:**

- a. Guru membacakan kasus dengan intonasi menarik
- b. Tunjukkan video demonstrasi dari YouTube (<https://youtu.be/pu88MjKv0w0>) yang menunjukkan fenomena efek fotolistrik

- c. Anda gunakan simulasi PhET (<https://phet.colorado.edu/en/simulations/photoelectric>) untuk memprediksi perilaku anak ini secara langsung (1-2 menit demo)

Pertanyaan Pemantik Lanjutan:

- "Tika Anda adalah karyawan di perusahaan ini, bagaimana cara kalian memecahkan masalah ini?"
- "Apa yang perlu kalian selidiki?"
- "Dari sumber mana kalian bisa mendapatkan informasi?"

Hasil yang Diharapkan:

- Peserta didik tertarik dan memiliki rasa ingin tahu tinggi
- Peserta didik memahami bahwa masalah ini "nyata" dan penting untuk teknologi
- Peserta didik siap untuk tahap selanjutnya

TAHAP 1: MENGORGANISASI PESERTA DIDIK UNTUK BELAJAR

Waktu: 15 menit

Pertemuan: 1

Tujuan Tahap: Memfasilitasi peserta didik merumuskan masalah penelitian dan merencanakan strategi penyelidikan.

Deskripsi:

Peserta didik belajar dalam kelompok untuk mengidentifikasi apa yang mereka tahu, apa yang perlu mereka ketahui, dan bagaimana mereka akan mencari informasi tersebut.

Kegiatan Pembelajaran:

Aktivitas 1.1: Pembentukan Kelompok & Penetapan Peran (5 menit)

1. Pembentukan Kelompok:

- Bagi peserta didik menjadi 6-7 kelompok (4-5 orang per kelompok)
- Gunakan metode heterogenik: campur peserta didik berdasarkan tinggi, sedang, dan rendah
- Strategi nomor urut ganjil-gesap atau menggunakan kartu warna

2. Penetapan Peran Kelompok:

Setiap anggota memiliki peran khusus:

- Koordinator:** Memimpin diskusi kelompok, mengalokasikan waktu
- Pengendali Simulasi:** Mengoperasikan simulasi PhET dan mencatat parameter
- Pencatat Data:** Mencatat semua hasil pengamatan dalam tabel
- Analisis Grafik:** Membuat tabel dan grafik dari data

- a. Penyiaji: Siap untuk presentasi hasil (untuk kelompok kecil, role bisa digabung)

Aktivitas 2.2: Perencanaan Masalah (5 menit)

Lembar Kerja: "Apa yang Kita Tahu dan Yang Perlu Kita Ketahui"

Setiap kelompok mengisi:

Kolom	Jawab
Apa yang kita sudah tahu dari kasus masalah?	<ul style="list-style-type: none"> - Ada efek fotolistrik - Cahaya merah intensitas tinggi = bekerja - Cahaya biru intensitas rendah = bekerja - Ini terkait dengan sensor cahaya
Apa yang perlu kita ketahui untuk memecahkan masalah?	<ul style="list-style-type: none"> - Bagaimana cara mengukur/mengamati efek fotolistrik? - Apa itu frekuensi ambang? - Apakah intensitas mempengaruhi? - Apa hubungannya dengan teori kuantum?
Di mana kita cari informasi?	<ul style="list-style-type: none"> - Simulasi PhET - Video pembelajaran - Teks materi - Diskusi dengan guru
Rumusan Masalah Penelitian Kasri:	"Apakah intensitas atau frekuensi cahaya yang menentukan pelepasan elektron dari logam? Bagaimana hubungan keduanya dengan energi kinetik elektron?"

Aktivitas 2.3: Perencanaan Penyelidikan (5 menit)

Kelompok membuat Rencana Aksi Penyelidikan:

Tahap	Aktivitas	Waktu	Tanggung Jawab
1. Studi Literatur	Membaca materi tentang teori kuantum Planck & Einstein	20 menit	Semua anggota
2. Simulasi - Frekuensi	Variasikan frekuensi, catat E_k dan ada-tidaknya elektron	15 menit	Pengendali + Pencatat
3. Simulasi - Intensitas	Variasikan intensitas, catat E_k dan arus	15 menit	Pengendali + Pencatat
4. Analisis Data	Buat tabel dan grafik	10 menit	Analisis Grafik
5. Verifikasi Teori	Bandingkan dengan teori Einstein	5 menit	Koordinator + semua

Hasil yang Dihasilkan:

- Setiap kelompok memiliki rumusan masalah yang jelas dan terukur
- Kelompok memahami strategi penyelidikan mereka
- Peserta didik tahu siapa melakukan apa dan kapan

TAHAP 3: MEMBIMBING PENYELIDIKAN INDIVIDU/KELOMPOK

Waktu: 50 menit

Pertemuan: 1

Tujuan Tahap: Membimbing peserta didik dalam mengumpulkan dan mengolah data melalui simulasi dan studi literatur.

Deskripsi:

Peserta didik melakukan penyelidikan sifit menggunakan simulasi interaktif PhET dan sumber bacaan untuk mengumpulkan data yang relevan dengan rumusan masalah.

Kegiatan Pembelajaran:

Aktivitas 3.1: Studi Literatur Teori Kuantum (20 menit)

Bahan Bacaan yang Disediakan:

1. Teks 1: Sejarah dan Konsep Dasar
 - a. Definisi efek fotolistrik
 - b. Sejarah penemuan oleh Hertz (1887)
 - c. Mengapa teori gelombang klasik gagal
2. Teks 2: Teori Planck dan Konsep Foton
 - a. Max Planck (1900): Energi cahaya dalam paket diskrit
 - b. Persamaan: $E = hf$ ($h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)
 - c. Konsep kuantum dan foton
3. Teks 3: Teori Einstein dan Persamaan Efek Fotolistrik
 - a. Albert Einstein (1905): Penjelasan menggunakan foton
 - b. Persamaan: $E_e = hf - W$
 - c. Konsep fungsi kerja (W) dan frekuensi ambang (f_0)
4. Teks 4: Percobaan Millikan dan Verifikasi
 - a. Robert Millikan (1916): Pembuktian teori Einstein
 - b. Hubungan linear antara f dan E_k
 - c. Konstanta Planck dari data eksperimen

Pertanyaan Pemahaman Membaca:

- a. Tunjuk beberapa pertanyaan di awal bacaan untuk membimbing pemahaman
- b. Peserta didik menandai hal-hal penting dengan highlighter
- c. Diskusi singkat (5 menit) untuk mengklarifikasi konsep kunci

Aktivitas 3.2: Simulasi PhET Penyelidikan Frekuensi (15 menit)

Link Simulasi: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/photoelectric>

Penyelidikan A: Pengaruh Frekuensi terhadap Energi Kinetik

Protokol Simulasi:

1. Buka simulasi PhET Photoelectric Effect
2. Pilih logam: Sesium (Na) [Catatan: fungsi kerja $W = 2.36 \text{ eV}$]
3. Atur frekuensi cahaya secara bertahap dan catat pengamatan

Tabel Pengamatan A.1: Pengaruh Frekuensi pada Efek Fotolistrik

No	Frekuensi ($\times 10^{14} \text{ Hz}$)	Energi Foton hf (eV)	Elektron Keluar? (Ya/Tidak)	Energi Kinetik Max (eV)	Catatan
1	3.5				
2	4.0				
3	4.5				Frekuensi ambang?
4	5.0				
5	5.5				
6	6.0				

Pertanyaan Analisis (dijelaskan di kelas):

1. Pada frekuensi berapa elektron pertama kali keluar? (Ini adalah f_0)
2. Apakah ada hubungan antara peningkatan frekuensi dan peningkatan energi kinetik?
3. Jika frekuensi naik $1 \times 10^{14} \text{ Hz}$, berapa peningkatan energi kinetiknya?

Aktivitas 3.3: Simulasi PhET Penyelidikan Intensitas (15 menit)**Penyelidikan B: Pengaruh Intensitas terhadap Energi Kinetik dan Arus****Panduan Simulasi:**

1. Gunakan logam yang sama: Sesium (Na)
2. Atur frekuensi TETAP pada nilai di atas frekuensi ambang (misal $f = 5.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$)
3. Variesikan intensitas cahaya dari rendah ke tinggi
4. Catat perubahan energi kinetik dan arus fotolistrik

Tabel Pengamatan B.1: Pengaruh Intensitas pada Energi Kinetik Elektron

No	Intensitas (%)	Energi Kinetik Max (eV)	Perubahan Ek	Catatan
1	10		-	
2	25			
3	50			
4	75			
5	100			Maksimal

Tabel Pengamatan B.2: Pengaruh Intensitas pada Arus Fotolistrik

No	Intensitas (%)	Arus Fotolistrik (arbitrary unit)	Perubahan Arus	Catatan
1	10		-	
2	25			
3	50			
4	75			
5	100			Maksimal

Pertanyaan Analisis:

1. Apakah energi kinetik elektron berubah ketika intensitas diubah?
2. Apakah arus fotolistrik berubah ketika intensitas diubah?
3. Apa kesimpulanmu tentang peran intensitas?

Aktivitas 3.4: Simulasi Variasi Material (10 menit - opsional/pengayaan)**Penyelidikan C: Frekuensi Ambang untuk Berbagai Logam****Protokol:**

1. Ulangi pengamatan A.1 dengan material berbeda (Calcium, Zinc, Aluminium)
2. Catat frekuensi ambang untuk setiap material
3. Bandingkan fungsi kerja masing-masing

Tabel Pengamatan C.1: Frekuensi Ambang untuk Berbagai Logam

Logam	Fungsi Kerja W (eV)	Frekuensi Ambang f_0 ($\times 10^{14}$ Hz)	Logam Manakah yang Paling Sensitif?
Sodium (Na)	2.34		
Calcium (Ca)			
Zinc (Zn)	3.63		
Aluminium (Al)			

Hasil yang Diharapkan pada Tahap 3:

- a. Peserta didik memiliki data lengkap dalam tabel yang terstruktur
- b. Peserta didik memahami konsep-konsep kunci dari teori kuantitas
- c. Data menunjukkan pola yang jelas tentang hubungan frekuensi-energi kinetik dan pengaruh intensitas
- d. Peserta didik siap untuk analisis dan verifikasi

TAHAP 4: MENGEMBANGKAN DAN MENYAJIKAN HASIL KARYA

Waktu: 45 menit

Pertemuan: 2

Tujuan Tahap: Peserta didik mengolah data mentah menjadi informasi bermakna dan menyajikan hasil secara terstruktur.

Deskripsi:

Peserta didik membuat grafik, analisis matematis, dan laporan tertulis berdasarkan data yang telah dikumpulkan.

Kegiatan Pembelajaran:**Aktivitas 4.1: Pembuatan Grafik (20 menit)**

Grafik 1: Hubungan Frekuensi dan Energi Kinetik

Pertunjuk Pembuatan Grafik:

Sumbu X: Frekuensi Cahaya ($\sim 10^{14}$ Hz)

Sumbu Y: Energi Kinetik Maksimum (eV)

Tipe Grafik: Garis (line graph) atau scatter plot

Judul: "Hubungan antara Frekuensi Cahaya dan Energi Kinetik Elektron dalam Efek Fotolistrik"

Label: Setiap sumbu harus memiliki label yang jelas dengan satuan

Skala: Pilih skala yang memudahkan pembacaan

Interpretasi Grafik 1:

- Amati bentuk grafik: apakah linear atau tidak linear?
- Hitung gradien (slope) = $\Delta E_k / \Delta f$
- Gradien ini harus mendekati nilai h (konstanta Planck) dalam eV s
- Tentukan perpotongan sumbu vertikal (y-intercept) \rightarrow ini terkait dengan $-W$

Grafik 2: Pengaruh Intensitas pada Energi Kinetik

Pertunjuk:

Sumbu X: Intensitas Cahaya (%)

Sumbu Y: Energi Kinetik Maksimum (eV)

Tipe Grafik: Scatter plot atau garis horizontal

Interpretasi: Sekiranya data menunjukkan TIDAK ada hubungan (garis horizontal atau data tersebar acak) \rightarrow membuktikan intensitas tidak mempengaruhi E_k

Grafik 3: Pengaruh Intensitas pada Arus Fotolistrik

Pertunjuk:

Sumbu X: Intensitas Cahaya (%)

Sumbu Y: Arus Fotolistrik (arbitrary unit)

Tipe Grafik: Garis (line graph)

Interpretasi: Sekiranya menunjukkan hubungan LINEAR POSITIF \rightarrow membuktikan intensitas mempengaruhi jumlah elektron

Aktivitas 4.2: Analisis Matematis (15 menit)

Perhitungan 1: Konstanta Planck dari Gradien Grafik

Dari Grafik 1 (Frekuensi vs Energi Kinetik):

$$\text{Gradien} = \frac{\Delta E_k}{\Delta f} = \frac{E_{k2} - E_{k1}}{f_2 - f_1}$$

Becara teoritis, gradien ini sama dengan h (konstanta Planck).

Contoh Perhitungan:

Dari data pada $f = 4.5 \times 10^{14}$ Hz, $E_k = 0$ eV (frekuensi ambang)

Pada $f = 6.0 \times 10^{14}$ Hz, $E_k = 2.0$ eV

$$\begin{aligned} \text{Gradien} &= \frac{2.0 - 0}{6.0 - 4.5} \times 10^{14} = \frac{2.0}{1.5} \text{ eV per } (10^{14} \text{ Hz}) \\ &= 1.33 \text{ eV} / (10^{14} \text{ Hz}) = 1.33 \times 10^{-14} \text{ eV} \cdot \text{s} \end{aligned}$$

Konversi ke Joule:

$$h = 1.33 \times 10^{-14} \text{ eV} \cdot \text{s} \times 1.6 \times 10^{-19} \text{ J/eV} = 2.13 \times 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Nilai Teoritis: $h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$

(Catatan: Ada perbedaan karena keterbatasan presisi simulasi)

Perhitungan 2: Fungsi Kerja dari Frekuensi Ambang

Pada frekuensi ambang (f_0), energi kinetik = 0:

$$hf_0 = W$$

$$W = hf_0$$

Contoh:

Dari simulasi: $f_0 = 4.5 \times 10^{14}$ Hz (untuk Sesium)

$$\begin{aligned} W &= (6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}) \times (4.5 \times 10^{14} \text{ Hz}) \\ W &= 2.98 \times 10^{-19} \text{ J} \end{aligned}$$

Konversi ke eV:

$$W = \frac{2.98 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 1.86 \text{ eV}$$

Nilai Teoritis untuk Sesium: $W = 2.36$ eV

(Perbedaan mungkin karena keterbatasan simulasi)

Perhitungan 3: Verifikasi Persamaan Einstein

Pilih 2-3 pasangan data (f , E_k) dan verifikasi dengan persamaan:

$$E_k = hf - W$$

Contoh Verifikasi:

Data: $f = 5.0 \times 10^{14}$ Hz, $E_k = 0.5$ eV (dari simulasi)

Teoritis: $E_k = (6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}) \times (5.0 \times 10^{14} \text{ Hz}) - 2.36 \text{ eV}$

Mitung dan bandingkan dengan data

Aktivitas 4.3: Penyusunan Laporan Ilmiah (10 menit - penyelesaian di luar kelas)

Format Laporan Kelompok:

Bagian Laporan	Isi	Keterangan
Judul	"Investigasi Efek Fotolistrik: Pengaruh Frekuensi dan Intensitas Cahaya terhadap Pelepasan Elektron"	
Latar Belakang	- Konteks masalah dari kasus sensor cahaya - Tujuan penelitian - Rumusan masalah	
Tinjauan Teori	- Definisi efek fotolistrik - Teori Planck: $E = hf$ - Teori Einstein: $E_k = hf - W$ - Konsep frekuensiambang	
Metode	- Alat Sumber: Simulasi PhET - Variabel penelitian (independen, dependen, kontrol) - Prosedur pengumpulan data	
Hasil	- Tabel data lengkap (Pengamatan A.1, B.1, B.2) - Grafik dengan interpretasi - Hasil perhitungan (a, W, verifikasi)	
Analisis	Pembahasan	- Pola data yang ditemukan - Penjelasan hasil menggunakan teori - Perbandingan dengan nilai teoritis - Diskusi tentang sumber kesalahan (jika ada)
Kesimpulan	- Jelaskan apa: rumusan masalah - Param frekuensi vs intensitas - Verifikasi teori Einstein	
Referensi	- Simulasi PhET - Buku/materi pembelajaran - Video pembelajaran	

Aktivitas 4.4: Presentasi Hasil (15 menit - pertemuan 2)

Format Presentasi:

- Durasi: 4-5 menit per kelompok
- Media: Slide PowerPoint dengan grafik dan hasil utama
- Struktur: Judul → Rumusan Masalah → Tujuan Utama → Grafik → Kesimpulan

Kriteria Presentasi:

- Kejelasan penyampaian (50%)
- Visualisasi data (50%)

- Jawaban atas rumusan masalah (40%)

Hasil yang Diharapkan pada Tahap 4:

- Peserta didik memiliki laporan ilmiah yang terstruktur
- Grafik yang jelas dan informatif menunjukkan trenan utama
- Presentasi yang menarik dan komunikatif
- Data teruji dalam bentuk yang memudahkan interpretasi

TAHAP 5: MENGANALISIS DAN MENGEVALUASI PROSES PEMECAHAN MASALAH

Waktu: 20 menit

Pertemuan: 2

Tujuan Tahap: Memverifikasi kesimpulan dengan teori yang ada dan melakukan refleksi pembelajaran.

Deskripsi:

Peserta didik membandingkan trenan mereka dengan teori Einstein-Planck, mengidentifikasi bukti untuk sifat partikel cahaya, dan merefleksikan proses pembelajaran mereka.

Kegiatan Pembelajaran:

Aktivitas 5.1: Verifikasi dengan Teori (10 menit)

Checklist Verifikasi: Apakah Hasil Kami Menubuhkan Teori Einstein?

No	Prediksi Teori Einstein	Hasil Pengamatan Kami	Tertubi?
1	Ada frekuensi ambang (f_0) di bawah mana tidak ada elektron	Kami menemukan $f_0 = \dots$ Hz	✓ / ✗
2	Hubungan E_k vs f adalah LINEAR.	Grafik kami menunjukkan garis lurus	✓ / ✗
3	Gradien grafik η h (konstanta Planck)	Gradien kami = \dots J/s (teoritis $6.626 \cdot 10^{-34}$)	✓ / ✗
4	Intensitas TIDAK mempengaruhi E_k	E_k tetap saat intensitas berubah	✓ / ✗
5	Intensitas mempengaruhi arus fotolistrik	Arus meningkat saat intensitas naik	✓ / ✗
6	Persamaan $E_k = hf - W$ berlaku	Kami verifikasi dengan 2-3 data point	✓ / ✗

Ditaksi Verifikasi (5 menit):

- a. Guru dan peserta didik mendiskusikan setiap verifikasi

b. Jika ada item yang tidak terbukti, identifikasi penyebabnya (limitasi simulasi, kesalahan penulisan data, dll)

c. Tekankan bahwa bahkan dengan perbedaan kecil, ternyata membingungkan teori Einstein

Aktivitas 5.2: Pembinaan Kesimpulan Komprehensif (5 menit)

Lembar Kesimpulan Kelompok:

Setiap kelompok menulis (format: 1 halaman, tulisan tangan atau ketik):

Bagian A: Jawaban Rumusan Masalah

Masalah kami adalah:

Jawaban kami:

Bukti yang mendukung jawaban:

Bagian B: Penjelasan Mekanisme Efek Fotolistrik

Berdasarkan investigasi kami, kami sekarang memahami bahwa:

Bagian C: Implikasi Praktis

Temuan ini penting untuk:

Bagian D: Refleksi Proses

Dalam investigasi ini, kami belajar bahwa:

Aktivitas 5.3: Refleksi Pembelajaran dan Exit Ticket (5 menit)

Individual Exit Ticket (setiap peserta didik mengisi):

Format: Jawaban singkat (2-5 kalimat)

1. Temuan paling mengajutkan aku dalam investigasi ini adalah:
2. Hal yang masih kurang paham adalah:
3. Nilai atau sikap yang aku kembangkan dalam pembelajaran ini:
4. Bagaimana aku bisa menerapkan pengetahuan ini di kehidupan nyata:

Diskusikan Kelas (5 menit terakhir):

- a. Guru mengumpulkan beberapa exit ticket dan diskusikan bersama
- b. Tekankan tentang dualisme gelombang-partikel cahaya
- c. Koneksi dengan teknologi masa depan dan aplikasi praktis
- d. Apresiasi terhadap kontribusi setiap anggota kelompok

Hasil yang Diharapkan pada Tahap 5:

1. Peserta didik memahami bahwa ternyata mereka konsisten dengan teori Einstein
2. Peserta didik dapat mengkomunikasikan kesimpulan dengan jelas
3. Peserta didik menyadari pentingnya bukti empiris dalam sains
4. Peserta didik merasa bangga dengan proses pembelajaran mereka

D. MATERI PEMBELAJARAN KONTEN (HANDOUT UNTUK PESERTA DIDIK)

1. DEFINISI DAN SEJARAH EFEK FOTOELEKTRIK

Efek Fotoelektrik adalah peristiwa terlepasnya elektron dari permukaan logam ketika cahaya mengenai permukaan tersebut.

Karakteristik Efek Fotoelektrik:

1. Hanya terjadi pada logam tertentu (terutama logam alkali seperti Na, K, Cs)
2. Memerlukan cahaya dengan frekuensi tertentu (di atas frekuensi ambang threshold frequency)
3. Elektron yang keluar disebut fotoelektron
4. Arus listrik yang terbentuk disebut arus fotoelektrik
5. Tidak ada waktu tunda (lag time) antara penyinaran dan keluarnya elektron

Sejarah Penemuan:

Tahun	Ilmuwan	Penemuan
1887	Heinrich Hertz (Jerman)	Menemukan efek fotoelektrik saat bereksperimen dengan tabung vakum. Cahaya UV meningkatkan jarak percikan antara dua plat logam.
1900	Max Planck (Jerman)	Mengembangkan teori kuantum energi cahaya dengan dalam paket-paket diskrit ($E = hf$).
1905	Albert Einstein (Jerman/Swiss)	Mengelaskan efek fotoelektrik menggunakan konsep foton. Menangkan Hadiah Nobel Fisika 1921.
1916	Robert Millikan (Amerika)	Membuktikan teori Einstein dengan percobaan presisi tinggi. Menemukan konstanta Planck dengan akurasi tinggi.

2. KONSEP FOTON DAN ENERGI CAHAYA

Foton adalah partikel cahaya (kuantum cahaya) yang membawa energi.

Energi Foton:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Dimana:

h = Konstanta Planck = 6.626×10^{-34} J s (atau 4.136×10^{-15} eV s)

f = Frekuensi cahaya (Hz)

c = Kecepatan cahaya = 3×10^8 m/s

λ = Panjang gelombang cahaya (m)

Perbandingan Energi Foton Berbagai Warna:

Warna	Panjang Gelombang (nm)	Frekuensi ($\times 10^{14}$ Hz)	Energi Foton (eV)
Merah	700	4,3	1,77
Kuning	580	5,2	2,14
Hijau	550	5,5	2,26
Biru	450	6,7	2,72
Ungu	400	7,5	3,10
UV	200	15,0	6,20

Kesimpulan: Cahaya dengan frekuensi tinggi (warna biru/ungu/UV) memiliki energi lebih besar per foton.

3. PERSAMAAN EINSTEIN EFEK FOTOLISTRIK

Albert Einstein menjelaskan efek fotolistrik menggunakan konsep foton Planck.

Perisamaan Energi:

$$E_{\text{foton}} = W + E_k$$

atau

$$hf = W + E_k$$

Dihelakan untuk energi kinetik maksimum:

$$E_k = hf - W$$

Penjelasan Fisik:

Energi foton (hf) digunakan untuk dua tujuan:

- Melewatkan fungsi kerja (W) untuk melepaskan elektron
- Sisanya menjadi energi kinetik elektron (E_k) saat terlepas

Energi Kinetik Maksimum dalam Bentuk Kecepatan:

$$\frac{1}{2} m_e v_{\text{max}}^2 = hf - W$$

$$v_{\text{max}} = \sqrt{\frac{2(hf - W)}{m_e}}$$

Di mana:

m_e = Massa elektron = $9,109 \times 10^{-31}$ kg

v = Kecepatan elektron yang terlepas

4. FREKUENSI AMBANG (THRESHOLD FREQUENCY)

Frekuensi Ambang (f_0) adalah frekuensi minimum cahaya yang dapat menyebabkan terlepasnya elektron dari permukaan logam.

Pada Frekuensi Ambang:

Energi kinetik elektron = 0

Semua energi foton digunakan untuk melawan fungsi kerja

$$hf_0 = W$$

$$f_0 = \frac{W}{h}$$

Karakteristik Frekuensi Ambang:

- Jika $f < f_0$: Tidak ada elektron yang keluar, tidak peduli seberapa tinggi intensitas cahaya
- Jika $f \geq f_0$: Elektron mulai keluar
- Nilai f_0 berbeda untuk setiap jenis logam
- Logam dengan W lebih kecil memiliki f_0 lebih kecil (lebih sensitif terhadap cahaya)

Fungsi Kerja dan Frekuensi Ambang Beberapa Logam:

Logam	Fungsi Kerja W (eV)	Frekuensi Ambang f_0 ($\times 10^{14}$ Hz)	Warna Cahaya Minimum
Cesium (Cs)	2.1	5.1	Kuning
Sodium (Na)	2.36	5.7	Hijau
Potassium (K)	2.3	5.6	Hijau
Lithium (Li)	2.49	6.0	Hijau Biru
Zink (Zn)	3.63	8.8	UV
Copper (Cu)	4.47	1.1×10^{14}	UV
Iron (Fe)	4.50	1.1×10^{14}	UV
Platinum (Pt)	5.63	1.4×10^{14}	UV

5. PENGARUH FREKUENSI DAN INTENSITAS CAHAYA**A. PENGARUH FREKUENSI CAHAYA:**

Aspek	Penjelasan
Apakah elektron keluar?	Ditentukan HANYA oleh frekuensi. Jika $hf \geq W$, maka elektron keluar
Energi kinetik elektron	Meningkat LINEAR dengan peningkatan frekuensi: $E_k = hf - W$
Bentuk hubungan	Hubungan linear positif. Grafik E_k vs f adalah garis lurus dengan slope = h
Dari data eksperimental	Pengukuran slope grafik dapat digunakan untuk menentukan nilai h (konstanta Planck)

Analogi Sederhana:

Frekuensi adalah kekuatan peluru. Peluru (foton) yang kuat (frekuensi tinggi) dapat menembus dinding (fungsi kerja) dan menghasilkan ledakan (energi kinetik) besar. Peluru yang lemah (frekuensi rendah) tidak bisa menembus dinding apapun.

B. PENGARUH INTENSITAS CAHAYA:

Aspek	Penjelasan
Apakah elektron keluar?	TIDAK dipengaruhi. Hanya frekuensi yang menentukan
Energi kinetik elektron	TIDAK BERUBAH meskipun intensitas berubah
Jumlah elektron yang keluar	Meningkat SEBANDING dengan intensitas
Arus fotolistrik	Meningkat LINEAR dengan intensitas
Hubungan matematis	I (arus) \propto intensitas cahaya

Analogi Sederhana:

Intensitas adalah jumlah peluru yang ditembakkan. Lebih banyak peluru (intensitas tinggi) berarti lebih banyak dinding (elektron) yang rusak, tetapi kekuatan setiap peluru (energi per foton) tetap sama.

Perbedaan Kritis: Frekuensi vs Intensitas

FREKUENSI CAHAYA INTENSITAS CAHAYA

(Warna Energi Per Foton) (Jumlah Foton Per Satuan Luas-Waktu)

Misalkan:

Apakah elektron - Berapa banyak keluar (Ya Tidak) elektron keluar

Energi kinetik - Besarnya arus maksimum elektron fotolistrik

Contoh: Contoh:

Cahaya biru RENDAH \rightarrow Cahaya merah TINGGI melepaskan elektron Tidak melepas apapun dari Zn

6. DUALISME GELOMBANG-PARTIKEL CAHAYA

Efek fotolistrik adalah bukti penting bahwa cahaya memiliki sifat dualisme

Sifat	Bukti Eksperimental	Penjelasan
GELOMBANG	Interferensi cahaya (Young's double slit), difraksi cahaya, polarisasi	Cahaya dapat berperilaku seperti gelombang dengan panjang gelombang λ dan frekuensi f
PARTIKEL (FOTON)	Efek fotolistrik, efek Compton	Cahaya terdiri dari partikel energi diskrit (foton) dengan energi $E = hf$

Kesimpulan Planck-Einstein:

Cahaya BUKAN MANYA gelombang ATAU hanya partikel, melainkan KEDUANYA sekaligus tergantung konteks pengamatan. Cahaya adalah sistem kuantum yang menunjukkan sifat

gelombang dan partikel pada situasi berbeda. Energi cahaya datang dalam paket-paket listrik (kuanta foto) dengan energi $E = hf$

Pernyataan Einstein (1905):

Cahaya terdiri dari corpuscles (partikel) energi, dan setiap corpuscle membawa energi yang sebanding dengan frekuensi radian.

7. APLIKASI PRAKTIS EFEK FOTOLISTRIK

A. Panel Surya (Sel Fotovoltaik)

- Prinsip:** Material semikonduktor (silikon) menggunakan efek fotolistrik untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi listrik
- Keuntungan:** Energi terbarukan, ramah lingkungan, biaya operasi rendah
- Aplikasi:** Pembangkit listrik skala besar, solar panel rumah, pengisi daya portabel

B. Sensor Cahaya (Photodiode)

- Prinsip:** Logam sensitif terhadap cahaya menghasilkan arus proporsional dengan intensitas
- Keuntungan:** Respons cepat, akurat, efisien
- Aplikasi:** Kamera digital, fotometer, sensor cahaya otomatis, sistem keamanan

C. Tabung Fotomultiplier

- Prinsip:** Foton melepaskan elektron awal, yang kemudian diamplifikasi melalui beberapa tahap
- Keuntungan:** Dapat mendeteksi cahaya sangat lemah (single photon)
- Aplikasi:** Spektrofotometer, peralatan diagnostik medis, detektor radiasi nuklir

D. CCD/CMOS Sensor

- Prinsip:** Array kecil dari fotodiode yang bekerja berdasarkan efek fotolistrik
- Keuntungan:** Kualitas tinggi, miniatur, integrasi tinggi
- Aplikasi:** Kamera digital smartphone, CCTV, teleskop digital

E. Teknologi Medis

- Terapi Fotodinamik (PDT):** Menggunakan foton energi tinggi untuk memusnahkan sel kanker
- Laser Bedah:** Cahaya dengan energi tinggi untuk presisi tinggi dalam operasi

E. RUBRIK PENILAIAN PBL EFEK FOTOLISTRIK

Rubrik Penilaian Pengetahuan (Tes Tertulis)

Tipe Soal: Pilihan Ganda (3 soal = 20 poin = 100 poin)

Contoh Soal:

- Pada efek fotolistrik, cahaya merah dengan intensitas tinggi tidak dapat melepaskan elektron dari logam tertentu. Mengapa?

 - Cahaya merah memiliki energi foton terlalu rendah (frekuensi rendah)
 - Intensitas cahaya tidak cukup tinggi
 - Logam tidak berespon dengan cahaya merah
 - Cahaya merah menyebabkan hambatan di permukaan logam

Jawaban: A (Bobot: Pengetahuan konsep frekuensi vs intensitas)
- Berdasarkan persamaan Einstein $E_k = hf - W$, jika frekuensi cahaya meningkat, maka...

 - Energi kinetik elektron akan berkurang
 - Energi kinetik elektron akan meningkat
 - Energi kinetik elektron tidak berubah
 - Tidak dapat ditentukan tanpa mengetahui nilai W
 - Dapat ditentukan tanpa mengetahui nilai W

Jawaban: B (Bobot: Aplikasi persamaan)
- Kontribusi apa yang diberikan oleh Robert Millikan pada teori efek fotolistrik?

 - Menemukan efek fotolistrik pertama kali
 - Mengembangkan teori kuantum
 - Memuktikan teori Einstein dengan percobaan presisi tinggi
 - Mengembangkan panel surya
 - Mengembangkan panel otomotif

Jawaban: C (Bobot: Pengetahuan sejarah sains)

Kategori Penilaian Keterampilan (Proses & Produk)

Kategori Penilaian Keterampilan PBL - Efek Fasilitrik

No	Aspek Penilaian	Skor 4 (Sangat Baik)	Skor 3 (Baik)	Skor 2 (Cukup)	Skor 1 (Kurang)	Bobot
1	Perumusan Masalah	Rumusan masalah sangat jelas, spesifik, dapat diuji secara ilmiah, dan relevan dengan fenomena.	Rumusan masalah jelas dan dapat diuji, tetapi kurang spesifik.	Rumusan masalah kurang jelas atau kurang dapat diuji.	Tidak ada atau tidak sesuai dengan pembelajaran.	15%
2	Pengumpulan Data	Data lengkap, akurat, sistematis, rapi. Semua variabel tercatat dengan detail.	Data cukup lengkap dan akurat, tetapi sedikit kurang rapi atau ada variabel yang terlambat.	Data kurang lengkap, ada kesalahan pencatatan, atau kurang sistematis.	Data banyak yang hilang, tidak terstruktur, atau penuh kesalahan.	15%
3	Analisis Data	Analisis mendalam dan insightful. Data dihubungkan dengan teori dengan tepat. Pola dan tren diidentifikasi dengan jelas.	Analisis sesuai dan benar, tetapi kurang mendalam. Kaitan dengan teori ada tetapi kurang detail.	Analisis kurang tepat atau terlalu sederhana. Koneksi dengan teori lemah.	Tidak melakukan analisis atau analisis seperluasnya salah.	25%
4	Penyajian Grafik/Tabel	Grafik/tabel sangat rapi, lengkap dengan judul, label sumbu dengan satuan, skala tepat, tren/line jelas.	Grafik/tabel ada dan cukup rapi, tetapi ada beberapa label atau informasi yang kurang lengkap.	Grafik/tabel kurang rapi, beberapa informasi penting tidak ada (judul, label, satuan).	Grafik/tabel tidak dibuat atau salah seperluasnya.	20%
5	Verifikasi & Kesimpulan	Kesimpulan sangat sesuai dengan data dan teori. Menjawab rumusan masalah dengan sempurna. Menunjukkan pemahaman mendalam tentang fenomena geombang-partikel.	Kesimpulan sesuai dengan data dan menjawab rumusan masalah, tetapi kurang menyeluruh atau kurang mengaitkan dengan teori.	Kesimpulan kurang logis atau tidak seperluasnya menjawab rumusan masalah.	Tidak ada kesimpulan atau bertentangan dengan data.	25%

Cara Perhitungan Nilai:

$$\text{Nilai Akhir} = (J1 \times 0.15) + (J2 \times 0.15) + (J3 \times 0.25) + (J4 \times 0.20) + (J5 \times 0.25)$$

Konversi Nilai:

4.0 = 85-100 (A) = Sangat Baik

3.0 = 70-84 (B) = Baik

2.0 = 60-69 (C) = Cukup

1.0 = <60 (D) = Kurang

Rubrik Penilaian Sikap (Observasi)

Penilaian Sikap selama Proses Pembelajaran PBL:

No	Indikator Sikap	Selalu (4)	Sering (3)	Kadang-kadang (2)	Tidak Pernah (1)
1	Nais ingin tahu tinggi	Peserta didik aktif mengajukan pertanyaan, ingin tahu lebih dalam, dan mengeksplorasi dengan inisiatif sendiri.	Peserta didik mengajukan beberapa pertanyaan dan menunjukkan minat.	Peserta didik menunjukkan rasa ingin tahu namun pasif menunggu bimbingan.	Peserta didik tidak menunjukkan rasa ingin tahu.
2	Kerja sama tim	Peserta didik saling membantu, berbagi tugas, dan mendengarkan pendapat teman dengan penuh respect.	Peserta didik cukup kooperatif dan berkontribusi aktif dalam kelompok.	Peserta didik bergabung dalam kelompok namun kontribusi minimal.	Peserta didik tidak bekerja sama atau mengganggu kerja kelompok.
3	Kejujuran ilmiah	Peserta didik mencatat data apa adanya, tidak memanipulasi, jujur dalam pelaporan hasil.	Peserta didik umumnya jujur dalam pencatatan dan pelaporan data.	Peserta didik kadang-kadang menagukan dalam kejujuran data.	Peserta didik memanipulasi data atau tidak jujur dalam pelaporan.
4	Keterlibatan & fokus	Peserta didik fokus penuh, engaged di waktu tepat, tidak main-main.	Peserta didik umumnya fokus dan engaged dalam pembelajaran.	Peserta didik terkadang tidak fokus atau kurang engaged.	Peserta didik tidak engaged atau mengganggu pembelajaran.
5	Menghargai kontribusi	Peserta didik menginformasi teman dan pendapat teman, terbuka terhadap kritik konstruktif.	Peserta didik menunjukkan penghargaan terhadap kontribusi teman.	Peserta didik kadang-kadang menghargai kontribusi teman.	Peserta didik tidak menghargai atau merendahkan kontribusi teman.

Nilai Sikap: Rata-rata dari 5 indikator

Nilai A (85-100): Selalu menunjukkan perilaku baik

Nilai B (70-84): Sering menunjukkan perilaku baik

Nilai C (60-69): Kadang-kadang menunjukkan perilaku baik

Nilai D (<60): Jarang menunjukkan perilaku baik

F. RENCANA PEMBELAJARAN DETAIL 2 PERTEMUAN

PERTEMUAN 1: Orientasi - Penyelidikan Data (2 × 45 = 90 menit)

Waktu	Kegiatan	Deskripsi	Media
10 menit	Apersepsi & Orientasi Masalah	Guru menampilkan gambar panel surya, sensor jarak otomatis. Presentasi kasus masalah tachycardia.	Video, Proyektor
5 menit	Pembentukan Kelompok & Penetapan Peran	Siswa dibagi ke 6-7 kelompok. Setiap anggota mendapat peran (Koordinator, Pengemudi Simulasi, Pencatat, Analis, Penyaji).	Kartu peran, Papan tulis
15 menit	Perencanaan Penyelidikan	Kelompok mengisi lembar "Apa yang Kita Takut" dan merumuskan masalah bersama guru.	LKPD Bagian B
10 menit	Studi Literatur	Peserta didik membaca teks tentang teori Planck, Einstein, dan konsep foton. Guru membimbing diskusi kunci.	Teks materi (sander)
50 menit	Simulasi PAET - Pengaruh Frekuensi	Setiap kelompok menggunakan simulasi untuk variasi frekuensi. Pengemudi simulasi + Pencatat data mengisi Tabel Pengamatan 1.	Laptop HP, Simulasi PAET
	Simulasi PAET - Pengaruh Intensitas	Kelompok melanjutkan dengan variasi intensitas. Isi Tabel Pengamatan 2A & 2B.	Laptop HP, Simulasi PAET
	Tanya Jawab & Klarifikasi	Guru membimbing dengan pertanyaan: "Apa hubungan yang kalian lihat antara frekuensi dan energi kinetik?" "Apakah intensitas mempengaruhi energi kinetik?"	Papan tulis
	Penyelesaian Data & Pengumpulan	Kelompok memastikan semua data tercatat dengan lengkap. Guru mengumpulkan LKPD Bagian C (pengamatan).	LKPD, Folder pengumpulan

PERTEMUAN 2: Analisis - Verifikasi - Presentasi (2 × 45 = 90 menit)

Waktu	Kegiatan	Deskripsi	Media
5 menit	Review Pertemuan 1	Guru mereview data yang dikumpulkan. Peserta didik recall rumusan masalah mereka.	Papan tulis

40 menit	Pembuatan Grafik	Setiap kelompok membuat 3 grafik (Grafik 1, 2, 3 dari LKPD Bagian D). Gunakan kertas grafik atau Excel. Analis Grafik menyertai dengan bentuk anggota lain.	Kertas grafik, Laptop (Excel Sheets), Penggaris
	Perhitungan Matematis	Kelompok melakukan perhitungan (Balokasi tabung, konstanta Planck, verifikasi) di LKPD Bagian E. Guru membimbing perhitungan kalkulator.	Kalkulator, LKPD Bagian E
45 menit	Presentasi Hasil (3 Kelompok)	Setiap kelompok presentasi 4-5 menit. Urutan: Kelompok 1, 2, 3 (dan ini) Kelompok 4, 5, 6 (jika ada waktu atau extended). Penyaji mempresentasikan rumusan masalah, grafik, tensor stress, kesimpulan.	Proyektor, Slide PP
	Verifikasi Kolektif & Diskusi Kelas	Guru dan peserta didik (pendengar) bertanya tentang tensor kelompok penyaji. Diskusi tentang kecocokan dengan teori Einstein.	Papan tulis, Anotasi
	Penulisan Kesimpulan & Exit Ticket	Setiap peserta didik menulis kesimpulan pribadi (LKPD Bagian G - Refleksi). Isi "Temuan paling mengejutkan," "Hal yang kurang paham," dll.	LKPD Bagian G
	Penutup & Penugasan	Guru mengadakan pembelajaran, menekankan dua tema gelombang-partikel. Menyampaikan penugasan: Laporan kelompok lengkap dikumpulkan esok hari. Penugasan individual: Analisis kasus baru tentang aplikasi efek fotolistrik.	Papan tulis

G. PERTANYAAN PEMANTIK DIFERENSIASI

Untuk Peserta Didik Berkemampuan Rendah:

Pertanyaan (Bertahap):

1. Recall: "Apa yang terjadi ketika cahaya biru menyinari logam Zinc?"
2. Understand: "Mengapa hasil berbeda dengan cahaya merah?"
3. Apply: "Jika ada cahaya ungu (frekuensi lebih tinggi dari biru), apa yang akan terjadi?"
4. Analyze: "Bandingkan data balokasi biru dan merah, apa pola yang kalian lihat?"

Dukungannya Tambahan:

1. Sediakan template tabel yang sudah jadi
2. Berikan contoh cara mengisi grafik (1 grafik contoh lengkap)
3. Perangikan dengan peer tutor

Untuk Peserta Didik Berkemampuan Sedang:**Pertanyaan Standard PBL:**

1. "Rasakan masalah penelitian kalian sendiri?"
2. "Bagaimana hubungan frekuensi dan energi kinetik?"
3. "Apakah data kalian cocok dengan teori Einstein?"
4. "Apa saran kalian untuk perubahan tech tentang desain sensor?"

Untuk Peserta Didik Berkemampuan Tinggi:**Pertanyaan Challenge (Higher Order Thinking):**

1. Analisis: "Mengapa Einstein memilih model foton, bukan gelombang klasik, untuk menjelaskan efek fotolistrik?"
2. Evaluasi: "Apakah ada kelemahan dalam percobaan simulasi PhET? Bagaimana percobaan fisik bisa lebih akurat?"
3. Kreasi: "Desain percobaan tambahan untuk menyelidiki [topik lanjutan]. Apa hipotesis kalian?"
4. Koneksi Konsep: "Bagaimana dualisme gelombang-partikel cahaya terkait dengan dualisme gelombang-partikel elektron (de Broglie)?"
5. Aplikasi Inovatif: "Bagaimana efek fotolistrik bisa digunakan untuk aplikasi yang belum ada sekarang?"

H. DIPERENSIASI PEMBELAJARAN LENGKAP**1. Diferensiasi Konten****Untuk Peserta Didik Berkemampuan Rendah:**

- a. Konten disederhanakan: fokus pada konsep utama (frekuensi vs intensitas)
- b. Hindari perhitungan kompleks: hanya frekuensi ambang
- c. Grafik sederhana: 1-2 grafik saja (bukan 3)
- d. Teori perantara Einstein saja (tidak perlu Planck detail)

Untuk Peserta Didik Berkemampuan Sedang:

Konten standar: semua materi sesuai rencana

Untuk Peserta Didik Berkemampuan Tinggi:

Konten diperluas: dualisme gelombang-partikel mendalam

Perhitungan: konstanta Planck, efek Compton (pengayaan)

Grafik lanjutan: analisis regresi linear, korelasi

Teori: kaitkan dengan mekanika kuantum, prinsip ketidakpastian

2. Diferensiasi Proses

Untuk Peserta Didik Berkemampuan Rendah:

- Proses guided: guru memberikan checklist setiap langkah
- Kelompok support: tutor sebaya (peer tutor)
- Waktu tambahan: jika perlu, ekstensi untuk simulasi
- Demonstrasi: guru melakukan demo simulasi terlebih dahulu

Untuk Peserta Didik Berkemampuan Sedang:

Proses sesuai rencana dengan bimbingan guru

Untuk Peserta Didik Berkemampuan Tinggi:

- Proses mandiri: minimal bimbingan, lebih banyak eksplorasi
- Challenge project: merancang eksperimen sendiri
- Mentoring: menjadi tutor untuk teman sebaya

3. Diferensiasi Produk (Output)

Untuk Peserta Didik Berkemampuan Rendah:

- Laporan singkat (3-4 halaman): latar, data, kesimpulan
- Grafik: 1-2 grafik saja
- Presentasi: partner dengan peserta didik lain, peran terbatas

Untuk Peserta Didik Berkemampuan Sedang:

- Laporan lengkap (5-6 halaman): standard
- Grafik: 3 grafik dengan analisis
- Presentasi: 4-5 menit, mandiri

Untuk Peserta Didik Berkemampuan Tinggi:

- Laporan komprehensif (7+ halaman): dengan referensi jurnal
- Grafik: 4+ grafik, analisis regresi
- Presentasi: 6-7 menit, dengan diskusi lisan
- Produk tambahan: proposal penelitian lanjutan

4. Diferensiasi Sumber Belajar

Semua Peserta Didik:

- Simulasi PhET (situs universal)
- Video (<https://youtu.be/yu8EEMy6V-wo>)
- LKPD standard

Peserta Didik Berkemampuan Tinggi (Tambahkan):

- Jurnal: "Millikan's Oil Drop Experiment" (situs digital)
- Video lanjutan: "Quantum Mechanics Fundamentals"

- c. Link penelitian: [arXiv.org](https://arxiv.org) (penelitian terbaru)
- d. Software: Desmos untuk analisis grafik lanjutan

I. PENUGASAN DAN TINDAK LANJUT

Penugasan Selama Pembelajaran:

Hari 1 (Pertemuan 1):

1. ✓ LKPD (Orientasi, Perencanaan, Pengumpulan Data)
2. ✓ Tabel Pengamatan 1, 2A, 2B lengkap

Hari 2 (Pertemuan 2):

1. ✓ LKPD (Grafik, Analisis, Kesimpulan, Refleksi)
2. ✓ Presentasi hasil
3. ✓ Esai Tolak

Penugasan Rumah:

Untuk Semua Peserta Didik:

1. Laporan Kelompok Lengkap (dikumpulkan 1 hari setelah pertemuan 2)
 - a. Format: A4, spasi 1.5, font 12pt, 6-8 halaman
 - b. Komponen: Judul, Latar Belakang, Teori, Metode, Hasil, Analisis, Kesimpulan, Referensi
 - c. Lampiran: Tabel data, grafik, perhitungan
2. Soal Latihan Mandiri (5 soal pengetahuan tentang efek fotolistrik)
 - a. Jenis: Pilihan ganda (3) + Esai singkat (2)
 - b. Sumber: Dari buku paket atau soal yang disediakan guru

Untuk Peserta Didik Berkemampuan Tinggi (Challenge):

3. Analisis Kasus Baru (sisi 2-3 halaman)

Topik: "Bagaimana efek fotolistrik digunakan dalam teknologi sensor detektor partikel di *Large Hadron Collider (LHC)*?"

Tujuan: mengkonstruksi konsep dengan aplikasi canggih
4. Desain Eksperimen Lanjutan

Proposal singkat: "Bagaimana Anda merancang percobaan untuk mengukur energi kinetik elektron dengan presisi tinggi, seperti yang dilakukan Millikan?"

Termasuk: hipotesis, prosedur, prediksi hasil

Tindak Lanjut Pembelajaran:

Pertemuan 3 (Optional - jika ada waktu):

- a. Presentasi kelompok 4, 5, 6 (jika bahan sempat)
- b. Diskusi jawaban soal latihan
- c. Klasifikasi konsep yang masih kurang dipahami
- d. Mini-assessment (jenis 10 soal)

Koneksi dengan Materi Berikutnya:

- a. Radiasi benda hitam (blackbody radiation) → fenomena kuantum lainnya
- b. Efek Compton → sifat partikel cahaya lebih lanjut
- c. Spektrum atom → model Bohr dan mekanika kuantum
- d. Dualisme de Broglie → gelombang-partikel elektron

J. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Model ajar ini telah dirancang dengan komprehensif untuk pembelajaran efek fotolistrik dengan model Problem Based Learning yang selaras dengan:

- 1. Kurikulum Merdeka
- 2. Lulusan 5 dimensi Profil Lulusan
- 3. Sikap PBL 5 Tahap (orientasi - organisasi - penyelidikan - pengembangan - analisis)
- 4. Diferensiasi pembelajaran (3 tingkat kemampuan)
- 5. Penilaian komprehensif (pengetahuan, keterampilan, sikap)
- 6. KPD versi PBL yang terstruktur dan interaktif

LEMBAR KERJA PESERTA DIDIK (LKPD) EFEK FOTOLISTRIK

Problem Based Learning Berbantuan Virtual Laboratorium

Mata Pelajaran	: Fisika
Kelas/Fase	: XII / F
Semester	: Genap
Materi Pokok	: Efek Fotolistrik
Model Pembelajaran	: Problem Based Learning (PBL)
Alokasi Waktu	: 4 × 45 Menit (180 menit)

Penyusun: SUWARNO

**PROVINSI SUMATERA SELATAN
DINAS PENDIDIKAN
SMA NEGERI 2 MUARA BELITI
Tahun Pelajaran 2025/2026**

Kurikulum Merdeka

EMBAR KERJA PESERTA DIDIK (LKPD) – PBL
Berbantuan Virtual Laboratorium

A. IDENTITAS PESERTA DIDIK

Keterangan	Jenis
Nama Kelompok	_____
Anggota Kelompok (1):	_____
Anggota Kelompok (2):	_____
Anggota Kelompok (3):	_____
Anggota Kelompok (4):	_____
Anggota Kelompok (5):	_____
Anggota Kelompok (6):	_____
Kelas	_____
Tanggal Pelaksanaan	_____

B. CAPAIAN PEMBELAJARAN (CP)

Mampu menganalisis keterkaitan antara berbagai besaran fisika pada teori relativitas khusus, gejala kuantum dan menunjukkan penerapan konsep fisika ini dan radioaktivitas dalam kehidupan sehari-hari dan teknologi.

C. ALUR TUJUAN PEMBELAJARAN (ATP)

TP 2.1 Radiasi benda hitam & kuantisasi energi (3-4 JP)

Peserta didik menjelaskan radiasi benda hitam secara kualitatif dan mengaitkan ide kuantisasi energi Planck $E = hf$ dengan perubahan spektrum radiasi (konsep suhu-puncak spektrum).

TP 2.2 Efek fotolistrik (4-6 JP)

Peserta didik mengidentifikasi faktor yang memengaruhi efek fotolistrik (frekuensi/warna, intensitas, fungsi kerja logam, potensial henti) melalui penyelidikan (praktikum virtual) dan menyimpulkan perbedaan peran intensitas vs frekuensi berdasarkan data.

TP 2.3 Peramaan Einstein & penentuan fungsi kerja (3-4 JP)

Peserta didik menggunakan data (mis. f dan v_0) untuk memverifikasi bentuk hubungan $hf = \phi + eV_0$ serta menentukan ϕ dari data percobaan, lalu menyajikan hasilnya dalam tabel grafik dan argumen berbasis bukti.

TP 2.4 Fenomena kuantum lain & aplikasi teknologi (2 JP)

Pewarta didik menjelaskan contoh gejala kuantum lain yang relevan untuk SMA (mis. sinar-X Compton secara konseptual) serta mengaitkannya dengan teknologi (pencitraan, sensor, material) melalui studi kasus singkat.

D. TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah melalui kegiatan pembelajaran berbasis masalah, pewarta didik diharapkan mampu:

1. Menjelaskan konsep dasar fenomena kuantum, seperti efek fotolistrik dan radiasi benda hitam.
2. Menemukan hubungan antara energi kuantum dan frekuensi cahaya melalui pengamatan data eksperimen sederhana.
3. Menganalisis fenomena kuantum berdasarkan hasil pemecahan mandiri.
4. Menerapkan melalui percobaan bahwa cahaya bersifat partikel berdasarkan fenomena kuantum.

E. PETUNJUK BELAJAR

1. Baca dengan teliti skenario masalah yang disajikan
2. Diskusikan bersama kelompok untuk merumuskan masalah dan hipotesis
3. Lakukan penyelidikan menggunakan simulasi virtual laboratorium efek fotolistrik
4. Catat data dengan rapi pada tabel yang telah disediakan
5. Analisis data sesuai panduan pertanyaan panduan
6. Buatlah presentasi poster untuk menyampaikan temuan kepada kelas
7. Refleksi pembelajaran untuk meningkatkan pemahaman Anda

F. Sumber Pembelajaran:

1. Simulasi PhET Interactive Simulations - "Photoelectric Effect" (<https://phet.colorado.edu>)
2. Virtual Lab: Kandilobed Simulation Platform (<https://lab-maya.kandilobed.go.id/>)
3. Buku Teks: Fisika SMA Kelas XII (Kurikulum Merdeka K13)
4. Perangkat Laptop/PC dengan koneksi internet, atau smartphone

G. INFORMASI PENDUKUNG

1. Konsep Prasyarat

Efek Fotolistrik adalah fenomena terlepasnya elektron dari permukaan logam ketika cahaya mengenainya. Cahaya memiliki sifat partikel yang disebut foton, dengan energi yang sebanding dengan frekuensinya.

Energi Foton:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Persamaan Einstein untuk Efek Fotolistrik:

$$hf = \phi + eV_s$$

Di mana:

- h = konstanta Planck = $6,63 \times 10^{-34}$ J s (atau $4,14 \times 10^{-15}$ eV s)
- f = frekuensi cahaya (Hz)
- c = kecepatan cahaya = 3×10^8 m/s
- λ = panjang gelombang (m)
- ϕ = fungsi kerja logam (eV)
- e = muatan elektron = $1,6 \times 10^{-19}$ C
- V_s = potensial henti (V)

Frekuensi Ambang (f_0) = frekuensi cahaya minimum untuk melepaskan elektron

Panjang Gelombang Ambang (λ_0) = hc/ϕ

2. Glosarium

Terminologi	Definisi Singkat
Foton	Partikel cahaya dengan energi $E = hf$
Frekuensi Ambang	Frekuensi minimum cahaya untuk melepas elektron
Fungsi Kerja	Energi minimum untuk melepas elektron dari logam
Potensial Henti	Tegangan yang membuat arus fotolistrik menjadi nol
Energi Kinetik Maksimum	Energi gerak maksimum elektron yang lepas
Arus Fotolistrik	Arus listrik yang dihasilkan oleh emisi elektron

H. Langkah-Langkah Pembelajaran

TAHAP 1 – Orientasi Pada Masalah

Pada panel pintu otomatis dan sensor cahaya, intensitas lampu kadang ditambah tetapi alat tidak selalu merespons lebih cepat. Mengapa pada beberapa kondisi elektron tidak keluar dari logam meskipun cahaya dibuat lebih terang? Setelah selesai, kalian akan diminta menyampaikan temuan awal berdasarkan catatan masing-masing. Silahkan simak video berikut



<https://youtu.be/ju5SNy4V-ww>

Tugas siswa:

- Tuliskan minimal 2 pertanyaan masalah yang ingin kalian jawab dari skenario tersebut.
- Tuliskan dugaan awal hipotesis singkat tentang faktor yang paling memengaruhi elektron dapat terlepas (mis. frekuensi teras, intensitas, jenis logam).

TAHAP 2 – Mengorganisasi peserta didik untuk belajar

Lakukan diskusi beresama anggota kelompok dengan merumuskan pertanyaan yang sesuai tujuan pembelajaran. Buat rencana penyelidikan dengan beberapa variabel yang diubah (frekuensi/panjang gelombang, intensitas, tegangan/potensial henti, jenis logam) dan data apa yang dikumpulkan (arus foto, energi/kecepatan elektron, potensial henti)

TAHAP 3 – Membimbing penyelidikan (pengumpulan data)

Lakukan penyelidikan untuk mengumpulkan data yang diperlukan guna membuktikan faktor-faktor yang memengaruhi terjadinya efek fotolistrik (intensitas, frekuensi/panjang gelombang, jenis logam, dan potensial henti). Lakukan langkah-langkah berikut secara teliti, catat semua hasil pengamatan pada tabel data, dan pastikan setiap perubahan variabel dilakukan satu per satu agar data valid.

1. Lakukan penyelidikan menggunakan simulasi alat yang tersedia sesuai rencana kelompok untuk mengumpulkan data efek fotolistrik.
2. Atur variabel secara bergantian dan terkontrol: (a) intensitas cahaya pada panjang gelombang tetap, (b) panjang gelombang/frekuensi pada intensitas tetap, serta (c) potensial henti untuk beberapa nilai frekuensi.
3. Asasi keluarannya elektron arus fotolistrik dan catat semua hasil pengukuran secara teliti pada tabel data (arus foto, ada/tidak emisi, panjang gelombang, frekuensi, dan ϕ).

4. Pastikan setiap percobaan diulang minimal 2 kali untuk meningkatkan ketelitian, lalu ambil nilai yang paling konsisten.
5. Diskusikan dalam kelompok, tentukan bukti data yang menunjukkan perbedaan peran intensitas (mempengaruhi besar arus/jumlah elektron) dan frekuensi (menentukan ada tidaknya emisi serta energi elektron).
6. Siapkan data yang diperlukan untuk analisis persamaan Einstein $h\nu = \phi + eV_s$ pada tabel berikutnya.
7. **Penyelidikan Virtual Lab – Simulasi PhET**

Buka simulasi:

<https://phet.colorado.edu/en/simulations/photoelectric>

Penyelidikan 1: Pengaruh frekuensi terhadap emisi & energi elektron

Variabel:

1. Beban: frekuensi cahaya
2. Terikat: elektron kaluar tidak, energi kinetik maksimum (atas indikator energi) pada simulasi)
3. Kontrol: jenis logam dan intensitas dibuat tetap

Tabel 1. Data frekuensi

No.	Frekuensi ($\times 10^{14}$ Hz)	Elektron kaluar? (Ya/Tidak)	Energi kinetik maks indikator energi	Catatan
1	3.5			
2	4.0			
3	4.5			
4	5.0			
5	5.5			
6	6.0			

Penyelidikan 2: Pengaruh intensitas terhadap energi & jumlah elektron

Variabel:

1. Beban: intensitas cahaya
2. Terikat: jumlah elektron arus fotolistrik, energi kinetik maksimum
3. Kontrol: frekuensi dibuat tetap di atas ambang dan jenis logam tetap

Tabel 2A. Intensitas vs energi

No.	Intensitas (%)	Energi kinetik maks indikator energi	Tetap/berubah?
1	10		
2	25		
3	50		

4	75		
5	100		

Tabel 2B. Intensitas vs arus/jumlah elektron

No.	Intensitas (%)	Arus (jumlah elektron)	Nada teras?
1	10		
2	25		
3	50		
4	75		
5	100		

TAHAP 4 – Mengembangkan dan menyajikan hasil karya

1. Sajikan minimal satu bukti visual (tabel/grafik/diagram) untuk mendukung argumen, serta jelaskan keterkaitannya dengan persamaan Einstein $h\nu = \phi + KE_{\text{maks}}$ atau $h\nu = \phi + eV_p$.
2. Presentasikan hasil karya secara lisan (3-5 menit) dengan pembagian peran, lalu tanggapi pertanyaan/masukan dari kelompok lain secara lisan dan sopan.

TAHAP 5 – Analitis dan evaluasi

Buatlah kesimpulan dari kegiatan yang telah saudara lakukan.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Refleksi individu (2-3 kalimat)

1. Hal paling penting yang saya pelajari:

.....

.....

.....

2. Hal yang masih membingungkan:

.....

DAFTAR PUSTAKA

- Al Maq, F., Suparwoko, & Wahyuninguh, E. (2023). Pengembangan media pembelajaran efek fotolistrik berbasis virtual reality. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(2), 234-243.
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York: Longman.
- Arvink, R. I. (2012). *Learning to teach* (9th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Giancoli, D. C. (2000). *Physics: Principles with applications* (9th ed.). Boston: Pearson Education.
- Hinsel-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235-266.
- Ibrahim, M., & Nur, M. (2022). *Pembelajaran berdasarkan masalah*. Surabaya: Umas University Press.
- Kanginan, M. (2021). *Sejarah peta fisika: Cetak SMA/MA kelas XII Kurikulum Merdeka*. Jakarta: Erlangga.
- Kemdikbud. (2023). *Platform simulasi laboratorium virtual*. Jakarta: Kemdikbud. <https://lab-mca.kemdikbud.go.id>
- Kemdikbud. (2021). *Kurikulum untuk pemelihan pembelajaran mata pelajaran Fisika Fase F (kelas XI-XII)*. Jakarta: Direktorat Pembelajaran, Kemendikbud.
- Kemdikbud. (2021). *Panduan pembelajaran dan asesmen Fisika SMA*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Atas.
- Kemdikbud. (2022). *Kerangka kerja Kurikulum Merdeka*. Jakarta: Kemendikbud. <https://kurikulum.kemdikbud.go.id>
- Kimidar. (2021). *Penelitian asesmi: Suatu pendekatan praktis*. Jakarta: Rajawali Press.
- Mulyana, E. (2021). *Praktik penelitian tindakan kelas*. Bandung: PT Remaja Rosdakarya.
- Nuryanti, I., & Sajadi, I. (2021). Efektivitas problem based learning dalam pembelajaran fisika kuantum. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 17(1), 43-56.
- PhET Interactive Simulations. (2023). *Photoelectric effect simulation*. University of Colorado Boulder. <https://phet.colorado.edu/en/simulations/photoelectric>
- Prastowo, A. (2015). *Panduan kreatif membuat bahan ajar inovatif*. Yogyakarta: Dita Press.
- Purwanto, A., Nurkha, D., & Badargo, F. (2021). *Fisika untuk SMA/MA kelas XII*. Jakarta: Erlangga.
- Samsiah, S., Haryono, & Wahyuninguh, S. (2021). Pengembangan LKPD berbasis inquiry terbimbing pada materi cahaya dan optik. *Jurnal Pendidikan Ilmu Indonesia*, 10(2), 89-102.

- Searr, F. W., Zemansky, M. W., & Young, H. D. (2010). *University physics* (15th ed.). Boston: Pearson.
- Setyawan, A., Suparwoko, & Sugiyanto. (2022). Analisis miskonsepsi siswa pada materi efek fotolistrik menggunakan CRI (certainty of response index). *Jurnal Edukasi Pendidikan*, 6(1), 78-89.
- Supripta, T., Priambodo, H., & Nurjani, C. (2022). *Fisika untuk sekolah menengah atas kelas XII*. Jakarta: Balai Pustaka.
- Sudiarta, I. G. P., & Sumarsi, W. (2010). Pengembangan LKPD berbasis STEM untuk meningkatkan literasi sains dan kewarganegaraan abad 21. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 6(1), 123-155.
- Sulias, S., Saharyanto, & Kusniadi, K. (2021). Keefektifan LKPD fisika berbasis problem-based learning untuk kelas XI SMA. *Educational Journal: Theory and Practice*, 5(2), 112-129.
- Sulistyo, B., Purwanto, & Jemallo, B. (2021). Efektivitas laboratorium virtual untuk pembelajaran konsep efek fotolistrik dan radiasi benda hitam. *Jurnal Pendidikan Jatis*, 9(3), 134-170.
- Supardi. (2022). *Penelitian pembelajaran fisika di era industri 4.0*. Jakarta: Erlangga.

RUBRIK PENILAIAN LKPD

A. Rubrik Penilaian Kognitif (Pengerahaan)

No.	Aspek Penilaian	Skor 4 (Sangat Baik)	Skor 3 (Baik)	Skor 2 (Cukup)	Skor 1 (Kurang)	Skor
1	Rumusan Masalah	Jelas, spesifik, mendalam	Jelas dan relevan	Kurang spesifik	Tidak jelas	
2	Hipotesis	Masuk akal, dapat diuji	Dapat diuji	Masuk akal tapi kabur	Tidak masuk akal	
3	Pengumpulan Data	Lengkap, akurat, terukur	Lengkap dan terukur	Kurang lengkap	Tidak terukur	
4	Analisis Data	Mendalam, logis, berorientasi	Logis dan berorientasi	Sederhana	Tidak logis	
5	Kesimpulan	Terukur, didukung data	Didukung data	Sebagian menjawab	Tidak sesuai	
6	Penyimpulan Rumus	Rumus tepat, akurat, unit	Benar	Ada kesalahan minor	Ada kesalahan mayor	

$$\text{Skor Kognitif} = (\text{Total Skor} / 24) \times 100 = \dots\dots\dots / 100$$

B. Rubrik Penilaian Proses (Keterampilan Sains)

No.	Keterampilan Sains	Skor 4	Skor 3	Skor 2	Skor 1	Skor
1	Observasi	Teliti, lengkap, akurat	Teliti, lengkap	Cukup teliti	Kurang teliti	
2	Identifikasi Variabel	Tepat semua	Tepat sebagian besar	Sebagiah tepat	Banyak salah	
3	Penerapan Eksperimen	Logis, terukur, sistematis	Logis, terukur	Cukup terukur	Tidak terukur	
4	Penggunaan Alat Sains	Benar, lancar, hati-hati	Benar dan lancar	Cukup benar	Banyak kesalahan	
5	Interpretasi Data	Grafis, tabel, kesimpulan	Grafis dan tabel baik	Grafis sederhana	Tidak ada	
6	Komunikasi Ilmiah	Bahasa ilmiah jelas	Cukup jelas	Kurang jelas	Tidak jelas	

$$\text{Skor Proses} = (\text{Total Skor} / 24) \times 100 = \dots\dots\dots / 100$$

C. Rubrik Penilaian Afektif (Sikap Perilaku)

No.	Indikator Sikap	Deskriptor	Skor
1	Tanggung Jawab	<input type="checkbox"/> Menyelesaikan tugas tepat waktu <input type="checkbox"/> Menyelesaikan sesuai peran	
2	Kepatuhan	<input type="checkbox"/> Menyetujui data asli (tidak dimanipulasi) <input type="checkbox"/> Menyatakan kesalahan ketidaberman	
3	Kerjasama	<input type="checkbox"/> Partisipasi aktif dalam diskusi	

		<input type="checkbox"/> Menghargai pendapat anggota lain	
4	Inisiatif	<input type="checkbox"/> Mengajukan pertanyaan ide sendiri	
		<input type="checkbox"/> Mencari alternatif solusi	

$$\text{Skor Afektif} = (\text{Jumlah } \square / 5) \times 100 = \underline{\quad} / 100$$

D. Rubrik Penilaian Presentasi (Komunikasi)

No.	Aspek	Skor 4 (SB)	Skor 3 (B)	Skor 2 (C)	Skor 1 (K)	Skor
1	Konten Isi	Lengkap, akurat, terstruktur	Lengkap, terstruktur	Kurang lengkap	Tidak terstruktur	
2	Visual	Menarik, informatif, jelas	Cukup menarik, jelas	Kurang menarik	Tidak rapi	
3	Pengungkapan	Lancar, percaya diri, tanya jawab	Lancar, tanya jawab	Kurang lancar	Takut-takut	
4	Manajemen Waktu	Seesai (3-5 menit)	Kurang 1 menit	1-2 menit lebih	Jauh melebihi	

$$\text{Skor Presentasi} = (\text{Total Skor} / 16) \times 100 = \underline{\quad} / 100$$

E. Perhitungan Nilai Akhir LKPD

Komponen	Skor	Bobot	Kontribusi
Kognitif	<u> </u> / 100	40%	<u> </u>
Proses	<u> </u> / 100	30%	<u> </u>
Afektif	<u> </u> / 100	15%	<u> </u>
Presentasi	<u> </u> / 100	15%	<u> </u>
NILAI AKHIR LKPD			<u> </u> / 100

Konversi Nilai:

- 86-100 = A (Sangat Baik)
- 71-85 = B (Baik)
- 56-70 = C (Cukup)
- 41-55 = D (Kurang)
- < 40 = E (Sangat Kurang)

Nilai Akhir Huruf: (A/B/C/D/E)

Lembar Pengamatan Aktivitas Guru dan Siswa
Model PBL Berbasan Virtual Laboratorium
Materi: Efek Fotolistrik (Fisika Kelas XII - Kurikulum Merdeka)

IDENTITAS OBSERVASI

Komponen	Isian
Nama Guru	
Mata Pelajaran	Fisika
Kelas/Semester	XII / Genap
Topik	Efek Fotolistrik (Photoelectric Effect)
Model Pembelajaran	<i>Problem Based Learning (PBL)</i> Berbasan Virtual Lab
Tanggal	
Waktu	
Observer	
Jumlah Siswa	

PETUNJUK PENGISIAN

- Berikan tanda \checkmark jika indikator terlaksana atau skor 1-4 sesuai kategori
- Skala Penilaian:
 - o 4 (SB) = Sangat Baik (100% siswa ideal)
 - o 3 (B) = Baik (75-99% siswa/baik)
 - o 2 (C) = Cukup (50-74% siswa/cukup)
 - o 1 (K) = Kurang (<50% siswa/kurang)
- Tulis catatan untuk bukti observasi konkrit
- Virtual Lab yang digunakan: PhET Photoelectric Effect

A. AKTIVITAS GURU (Sintak: PBL Arrend: 5 Fase)

Fase PBL	Indikator Aktivitas Guru	Skor (1-4)	Catatan Bukti
Fase 1: Orientasi Masalah (10-15 menit)			
1a	Menyajikan skenario autentik (sensor photo resistor)		
1b	Memancing 2 pertanyaan masalah per siswa		
1c	Memfasilitasi hipotesis awal (frekuensi vs intensitas)		
Fase 2: Organisasi Belajar (5-10 menit)			
2a	Membagi kelompok (4-6 siswa) & tugas peran		
2b	Menetapkan rencana investigasi variabel (f, intensitas, logam)		
Fase 3: Penvalidasi Mandiri (30-40 menit)			
3a	Mengarahkan siswa Virtual Lab (PhET Lab-Maya)		
3b	Membimbing penyusunan data (Tabel 1-1 LKPD)		
3c	Mengalirangi kelompok, bertanya pemanda		

C. PENGGUNAAN VIRTUAL LABORATORIUM

Indikator	Skor (1-4)	Catatan
Akses platform lancar (PaET Lab-Maya)		
Mengalami variabel benar (5, intensitas tetap)		
Pencatatan data akurat dari simulasi		
Interpretasi grafik PaET (KE max vs t)		
Total Virtual Lab	—/16	

D. INTERAKSI GURU-SISWA & SIKAP

Aspek	% Siswa Aktif	Skor (1-4)	Catatan
Partisipasi diskusi kelompok	%		
Kolaborasi antar anggota	%		
Inisiatif bertanya pada guru	%		
Disiplin waktu antar fase	%		
Total Interaksi		16	

REKAPITULASI SKOR OBSERVASI

Komponen	Skor Maks	Skor Tercapai	Persentase
A. Aktifitas Guru	44		%
B. Aktifitas Siswa (Rata-rata)	34		%
C. Virtual Lab	16		%
D. Interaksi & Sikap	16		%
TOTAL	110		%

Predikat Keterlaksanaan:

- 90-100% = Sangat Baik (PBL+Virtual Lab optimal)
- 75-89% = Baik (revisi minor)
- 60-74% = Cukup (perlu perbaikan)
- <60% = Kurang (perbaikan diperlukan)

E. CATATAN KUALITATIF & REKOMENDASI

Temuan Positif	Perbaikan	Rekomendasi

Buku Keters: Virtual Lab:

- Platform yang digunakan:
- Koneksi teknis:
- Siswa paling aktif:

F. IDENTITAS OBSERVER

Komponen	Isian
Nama Lengkap	
NIP/Jabatan	_____
Institusi	
Tanda Tangan	
Hari / Tanggal	_____

MODUL AJAR EFEK FOTOLISTRIK
Model Pembelajaran: *Discovery Learning*
Kurikulum Merdeka

A. INFORMASI UMUM

1. Identitas Modul

Nama Modul	: Efek Fotolistrik (<i>Photoelectric Effect</i>)
Mata Pelajaran	: Fisika
Kelas/Fase	: XII (Fase F)
Alokasi Waktu	: 4 x 45 menit (2 pertemuan)
Jumlah Peserta Didik	: 22-30 siswa (dapat disesuaikan)
Model Pembelajaran	: <i>Discovery Learning</i>
Fokus Fenomena Kuantum	: Sifat Partikel Cahaya dan Interaksi Foton-Elektron

2. Capaian pembelajaran (Kurikulum Merdeka)

Capaian Pembelajaran (Fase F) : peserta didik mampu menganalisis ketepatan besaran fisis pada gejala kuantum dan menunjukkan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari/teknologi.

3. Alur Tujuan Pembelajaran (ATP)

Peserta didik mampu:

- 1) Menjelaskan konsep efek fotolistrik dan sifat kuantum cahaya
- 2) Memahami hubungan antara frekuensi cahaya, energi foton, dan energi kinetik elektron
- 3) Menganalisis data eksperimen untuk membuktikan hipotesis teori kuantum
- 4) Menerapkan persamaan Einstein efek fotolistrik dalam pemecahan masalah
- 5) Membedakan pengaruh frekuensi dan intensitas cahaya pada pelepasan elektron

4. TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah mengikuti pembelajaran dengan model *Discovery Learning* ini, peserta didik diharapkan dapat:

a. Pengetahuan:

- 1) Menjelaskan pengertian efek fotolistrik dan fenomena kuantum
- 2) Menyebutkan syarat-syarat terjadinya efek fotolistrik

- 3) Mengidentifikasi variabel-variabel dalam persamaan Einstein: $E_a = hf - W$
- 4) Menjelaskan konsep frekuensi ambang dan fungsi kerja

b. Keterampilan:

1. Melakukan pengamatan sistematis melalui simulasi atau video percobaan
2. Mengorganisasikan dan memaparkan data dengan carat dan terstruktur
3. Mengolah data dalam bentuk tabel, grafik, atau serasi analitis
4. Membuat kesimpulan berdasarkan data yang diperoleh
5. Mengkomunikasikan hasil pemrosesan secara lisan dan tertulis

c. Sikap:

1. Menyatakan rasa ingin tahu yang tinggi
2. Belajar cara dalam kelompok dengan etika ilmiah
3. Menghargai tamam ilmuwan sebelumnya (Planck, Einstein, Millikan)
4. Berikap kritis dan terbuka terhadap bukti empiris

B. PETA KONSEP MATERI



C. SINTAK MODEL PEMBELAJARAN DISCOVERY LEARNING

Pendahuluan Sintak Discovery Learning

Model pembelajaran Discovery Learning adalah pendekatan pembelajaran yang melibatkan siswa secara aktif dalam menemukan konsep, prinsip, dan prosedur melalui pengalaman langsung. Menurut Bruner, Discovery Learning memiliki 6 tahap utama yang akan kami terapkan pada materi Efek Fotolistrik.

Tahap-Tahap Pembelajaran Discovery Learning

TAHAP 1: STIMULATION (STIMULASI) - 10 menit

Tujuan: Menggagah rasa ingin tahu dan motivasi peserta didik terhadap fenomena efek fotolistrik.

Deskripsi:

Guru menyajikan situasi yang menarik dan problematik yang membuat peserta didik merasa penasaran.

Kegiatan Pembelajaran:

a. Apersepsi (5 menit)

1. Guru menampilkan gambar/video pemanfaatan efek fotolistrik dalam kehidupan sehari-hari:
 - Panel surya (sel fotovoltaik)
 - Sensor cahaya pada kamera digital
 - Tabung pengganda cahaya di laboratorium
 - Teknologi fotomultiplier
2. Tanyakan: "Bagaimana cahaya dapat membuat elektron keluar dari logam? Mengapa ini mungkin terjadi?"

b. Tayangan Video (5 menit)

1. Putar video animasi efek fotolistrik (situs: <https://youtu.be/poB5MjKVV-ww>)
2. Atrs akses simulasi interaktif: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/photoselectric>

c. Pertanyaan Pemacu Rasa Ingin Tahu:

1. "Mengapa cahaya biru dapat melepaskan elektron, tetapi cahaya merah tidak?"

2. "Bagaimana mungkin cahaya merah dengan intensitas tinggi tidak dapat melepaskan elektron, padahal cahaya biru dengan intensitas rendah bisa?"
3. "Apakah yang menentukan: frekuensi atau intensitas cahaya?"

Harus Diharapkan: Peserta didik mengajukan rasa ingin tahu dan siap untuk investigasi lebih lanjut.

TAHAP 2: PROBLEM STATEMENT (IDENTIFIKASI MASALAH) - 10 menit

Tujuan: Merumuskan pertanyaan penelitian yang akan dijawab melalui penyelidikan.

Deskripsi:

Peserta didik dimotivasi untuk merumuskan masalah dalam bentuk pertanyaan yang dapat diuji.

Kegiatan Pembelajaran:

- a. Brainstorming (5 menit)
 1. Bagi peserta didik ke dalam kelompok kecil (4-5 orang)
 2. Minta setiap kelompok mendiskusikan dan merumuskan pertanyaan penelitian mereka sendiri
 3. Tuliskan semua pertanyaan di papan tulis
- b. Pemilihan Rumusan Masalah (5 menit)
 1. Guru dan peserta didik memilih rumusan masalah utama untuk diteliti bersama-sama
- c. Rumusan Masalah yang Ditanyakan:
 1. "Bagaimana hubungan antara frekuensi cahaya dan energi kinetik elektron yang terlepas?"
 2. "Bagaimana pengaruh frekuensi dan intensitas cahaya terhadap pelepasan elektron?"
 3. "Apakah ada frekuensi ambang untuk terjadinya efek fotolistrik?"
- d. Hipotesis Awal (opsional)
 1. Peserta didik menuliskan hipotesis awal mereka
 2. Contoh: "Saya menduga bahwa cahaya dengan frekuensi lebih tinggi akan menghasilkan energi kinetik elektron yang lebih besar."

Hasil Diharapkan: Setiap kelompok memiliki rumusan masalah yang jelas dan dapat diuji secara ilmiah.

TAHAP 3: DATA COLLECTION (PENGUMPULAN DATA) - 45 menit

Tujuan: Mengumpulkan informasi dan data yang diperlukan untuk menjawab rumusan masalah.

Deskripsi:

Peserta didik mencari dan mengumpulkan data melalui berbagai sumber: membaca teks, mengamati video, simulasi, atau praktikum.

Kegiatan Pembelajaran:

Aktivitas 1A: Studi Literatur (20 menit)

a. Membaca Teks Materi:

1. Bagikan lembar bacaan tentang:
 - Sejarah penemuan efek fotolistrik oleh Hertz (1887)
 - Pengalasan Einstein menggunakan teori kuantum Planck
 - Percobaan Millikan yang membuktikan teori Einstein

b. Poin-Poin Penting yang Harus Dicatat:

1. Definisi efek fotolistrik
2. Syarat terjadinya efek fotolistrik
3. Konstanta Planck ($h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)
4. Konsep foton dan energi foton ($E = hf$)
5. -Fungsi kerja dan frekuensi ambang
6. Persamaan Einstein: $E_k = hf - W$

c. Pertanyaan Pemandu Membaca:

1. Siapa yang pertama kali menemukannya efek fotolistrik?
2. Mengapa teori gelombang klasik tidak dapat menjelaskan efek fotolistrik?
3. Bagaimana Einstein menjelaskan efek fotolistrik?
4. Apa perbedaan antara foton merah dan foton biru?

Aktivitas 1B: Simulasi Interaktif (25 menit)

a. Mengakses Simulasi PhET:

1. Buka link: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/photoelectric>

2. Arah gunakan standar sejenis lainnya

b. Penajuk Penggunaan Simulasi:

Pengamatan 1: Pengaruh Frekuensi

1. Gunakan logam Natrium (Na)
2. Atur frekuensi cahaya pada tingkat rendah (misal 4×10^{14} Hz)
3. Catat: Apakah elektron keluar? Jika ya, berapa energi kinetik maksimumnya?
4. Naikkan frekuensi secara bertahap (5×10^{14} Hz, 6×10^{14} Hz, dst.)
5. Catat perubahan energi kinetik maksimum elektron
6. Tabel Pengamatan 1:

Frekuensi Cahaya ($\times 10^{14}$ Hz)	Elektron Keluar?	Energi Kinetik Maksimum (eV)
3.5		
4.0		
4.5		
5.0		
5.5		
6.0		

c. Pengamatan 2: Pengaruh Intensitas

1. Gunakan logam Natrium dengan frekuensi tetap (misal 5×10^{14} Hz)
2. Ubah intensitas dari rendah ke tinggi
3. Catat: Apakah energi kinetik maksimum berubah?
4. Catat: Apakah jumlah elektron yang keluar berubah?
5. Tabel Pengamatan 2:

Intensitas Cahaya	Energi Kinetik Maks (eV)	Jumlah Elektron
10%		
25%		
50%		
75%		
100%		

d. Pengamatan 3: Frekuensi Ambang (f_0)

1. Tetapkan jenis logam (misal Natrium)
2. Turunkan frekuensi cahaya perlahan-lahan
3. Catat pada frekuensi berapa elektron pertama kali berhenti keluar
4. Ini adalah frekuensi ambang untuk logam tersebut

a. Variasi Logam:

1. Ulangi percobaan dengan logam lain (Calcium, Zinc, Aluminium)
2. Bandingkan frekuensi anahang masing-masing logam
3. Catat fungsi kerja (W) untuk setiap logam

Hasil Diharapkan:

- Peserta didik memiliki data lengkap dalam bentuk tabel
- Data menunjukkan hubungan antara variabel yang diteliti
- Peserta didik siap untuk mengolah dan menganalisis data

TAHAP 4: DATA PROCESSING (PENGOLAHAN DATA) - 40 menit

Tujuan: Mengorganisir dan menganalisis data untuk menemukan pola dan hubungan.

Deskripsi:

Peserta didik mengolah data mentah menjadi informasi yang bermakna melalui tabel, grafik, atau perhitungan.

Kegiatan Pembelajaran:

Aktivitas 4A: Pembuatan Grafik (20 menit)

a. Grafik Hubungan Frekuensi dan Energi Kinetik:

1. Gunakan data dari Tabel Pengamatan 1
2. Buat grafik dengan:
 - Sumbu X: Frekuensi Cahaya (f_{ca})
 - Sumbu Y: Energi Kinetik Maksimum (eV)
3. Jenis grafik: Garis (line graph)

b. Interpretasi Grafik:

1. Amati bentuk grafik: linear atau tidak?
2. Hitung gradien garis (slope) = $\Delta E_k / \Delta f$
3. Tentukan perpotongan sumbu Y (γ -intercept)
4. Bandingkan gradien dengan konstanta Planck (h)

c. Grafik Pengaruh Intensitas:

1. Buat grafik dengan:
 - Sumbu X: Intensitas Cahaya (%)
 - Sumbu Y: Energi Kinetik Maksimum (eV)

- Interpretasi: Apakah ada hubungan? (seharusnya horizontal/tidak ada hubungan)
- Buat grafik sebanding:
 - Sumbu X: Intensitas Cahaya (%)
 - Sumbu Y: Arus Fotolistrik (jumlah elektron)
- Interpretasi: Bagaimana hubungannya?

d. Grafik Frekuensi Ambang:

- Buat grafik yang menunjukkan hubungan antara jenis logam dan frekuensi ambangnya
- Interpretasi: Logam mana yang paling mudah melepaskan elektron?

Aktivitas 4B: Analisis Matematis (20 menit)

a. Perhitungan Konstanta Planck:

- Dari data grafik (Frekuensi vs Energi Kinetik), hitung gradien garis
- Bandingkan nilai gradien dengan nilai h yang diketahui ($6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)
- Hitung persentase kesalahan (jika ada)

b. Perhitungan Fungsi Kerja:

- Gunakan persamaan: $W = hf_0$ atau $W = hf - E_k$ (sant $E_k = 0$)
- Hitung fungsi kerja untuk setiap logam
- Bandingkan dengan nilai teoritis

c. Verifikasi Persamaan Einstein:

- Pilih 3 pasang data (f , E_k) dari simulasi
- Masukkan ke persamaan: $E_k = hf - W$
- Periksa apakah persamaan terbukti benar

Contoh Perhitungan:

Dik: untuk logam Sodium:

- Frekuensi ambang: $f_0 = 4.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$
- Pada frekuensi: $f = 6.0 \times 10^{14} \text{ Hz}$, Energi kinetik: $E_k = 2.0 \text{ eV}$

Maka:

$$W = hf_0 = (6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}) \times (4.0 \times 10^{14} \text{ Hz})$$

$$W = 2.65 \times 10^{-19} \text{ J} = 1.66 \text{ eV}$$

Verifikasi:

$$E_k = hf - W$$

$$2.0 = hf - 1.66$$

$$hf = 3.66 \text{ eV}$$

Hasil Diperoleh:

- Peserta didik memiliki grafik yang jelas dan terinterpretasi
- Data teranalisis dengan perhitungan matematis yang akurat
- Hubungan antara variabel teridentifikasi

TAHAP 5: VERIFICATION (PEMBUKTIAN) - 25 menit

Tujuan: Memverifikasi kesimpulan berdasarkan data dan teori yang ada.

Deskripsi:

Peserta didik membandingkan hasil penemuan mereka dengan teori yang telah diajarkan secara ilmiah.

Kegiatan Pembelajaran:

a. Presentasi Hasil Pengolahan Data (10 menit)

1. Setiap kelompok mempresentasikan grafik dan analisis mereka
2. Kelompok lain memberikan pertanyaan atau masukan

b. Perbandingan dengan Teori Einstein (10 menit)

Pembuktian 1: Adanya Frekuensi Ambang

1. Hasil pengamatan: Elektron hanya keluar jika frekuensi cahaya $> f_0$
2. Teori Einstein memprediksi hal yang sama
3. ✓ TERBUKTI

c. Pembuktian 2: Hubungan Linear Frekuensi-Energi Kinetik

1. Hasil pengamatan: Grafik menunjukkan hubungan linear positif
2. Teori Einstein: $E_k = hf - W$ adalah persamaan linear
3. ✓ TERBUKTI

d. Pembuktian 3: Intensitas Tidak Mempengaruhi Energi Kinetik

1. Hasil pengamatan: Energi kinetik tetap meskipun intensitas berubah
2. Teori Einstein: Energi kinetik hanya bergantung pada f dan W , bukan intensitas

3. ✓ TERBUKTI

e. Pembuktian 4: Intensitas Mempengaruhi Arus Fotolistrik

1. Hasil pengamatan: Arus fotolistrik meningkat dengan intensitas
2. Teori Einstein: Intensitas memengaruhi jumlah foton, jadi jumlah elektron
3. ✓ TERBUKTI

f. Pembuktian 5: Konstanta Planck

1. Hasil perhitungan: Gradien grafik $\approx 6.6 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
2. Nilai teoritis: $h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$
3. ✓ TERBUKTI (dengan kesalahan $\approx 1\%$)

g. Dukasi Kebermaknaan Penemuan (5 menit)

1. Teman mereka membuktikan sifat partikel cahaya (foton)
2. Cahaya tidak hanya gelombang, tetapi juga partikel
3. Ini mendukung teori dualisme gelombang-partikel

Hasil Diperoleh:

- Peserta didik menyadari bahwa data mereka konsisten dengan teori Einstein
- Peserta didik percaya diri dengan penemuan mereka

TAHAP 6. GENERALIZATION (PENARIKAN KESIMPULAN) - 15 menit

Tujuan: Merumuskan prinsip umum yang berlaku berdasarkan penemuan khusus.

Deskripsi:

Peserta didik menyintesis semua temuan untuk membuat pernyataan umum tentang efek fotolistrik dan sifat kuantum cahaya

Kegiatan Pembelajaran:

a. Pembinaan Kesimpulan Kelompok (5 menit)

Setiap kelompok membuat kesimpulan yang mencakup:

Bagian A: Jawaban terhadap Rumusan Masalah

1. "Hubungan antara frekuensi cahaya dan energi kinetik elektron adalah hubungan linear positif, sesuai dengan persamaan $E_k = hf - W$."

b. Bagian B: Penjelasan Frekuensi Ambang

1. "Frekuensi ambang adalah frekuensi cahaya minimum yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari permukaan logam. Di bawah frekuensi ini, tidak ada elektron yang keluar, terlepas dari intensitas cahaya yang tinggi."

c. Bagian C: Persa Intensitas dan Frekuensi

1. "Frekuensi cahaya menentukan APAKAH elektron akan keluar dan BERAPA energi kinetik maksimumnya."
2. "Intensitas cahaya menentukan BERAPA BANYAK elektron yang keluar (banyaknya arus fotolistrik)."

d. Bagian D: Makna Fisika

1. "Efek fotolistrik membuktikan bahwa cahaya bersifat partikel (foton), bukan hanya gelombang."
2. "Energi cahaya datang dalam paket-paket diskrit (kuanta) sesuai dengan teori Planck dan Einstein."
3. "Dualisme gelombang-partikel cahaya adalah konsep fundamental dalam fisika kuantum."

e. Generalisasi Persamaan Einstein (5 menit)

$$E_k = hf - W$$

Di mana:

1. E_k = Energi kinetik maksimum elektron yang keluar (J atau eV)
2. h = Konstanta Planck = 6.626×10^{-34} J s
3. f = Frekuensi cahaya yang mengenai permukaan (Hz)
4. W = Fungsi kerja logam = energi minimum untuk melepaskan elektron (J atau eV)

f. Persamaan Alternatif:

$$hf = W + E_k$$

Urut Frekuensi Ambang:

$$f_0 = \frac{W}{h}$$

g. Diskusi Plenaria Kelas (2 menit)

1. Moderator mengajukan pertanyaan pengujian untuk reflection:
 - "Mengapa penemuan tentang efek fotolistrik penting?"
 - "Apa saja aplikasi praktis dari efek fotolistrik?"

- "Bagaimana teras ini mengubah persamaan kita tentang cahaya?"

Harus Dihasilkan:

- Setiap peserta didik dapat memvisualisasikan kesimpulan dengan jelas
- Peserta didik memahami prinsip umum yang berlaku
- Peserta didik dapat menerapkan pengetahuan pada situasi baru

D. MATERI PEMBELAJARAN (KONTEN KOGNITIF)

1. Pengertian Efek Fotolistrik

Efek Fotolistrik adalah peristiwa terlepasnya elektron dari permukaan logam ketika cahaya (khususnya cahaya dengan frekuensi tinggi) mengenai permukaan tersebut.

Karakteristik:

- Terdapat arus pada logam tertentu
- Meneruskan cahaya dengan frekuensi tertentu (di atas frekuensiambang)
- Elektron yang keluar disebut fotoelektron
- Arus yang terbentuk disebut arus fotolistrik

2. Sejarah Penemuan Efek Fotolistrik

Tahun	Ilmuwan	Penemuan
1887	Heinrich Hertz	Memastikan efek fotolistrik secara kebetulan saat bereksperimen dengan tabung vakum.
1900	Max Planck	Mengembangkan teori kuantum, energi radiasi datang dalam paket-paket diskrit
1905	Albert Einstein	Menjelaskan efek fotolistrik menggunakan konsep foton Planck, memenangkan Hadiah Nobel
1916	Robert Millikan	Membuktikan teori Einstein dengan percobaan presisi tinggi

3. Konsep Foton dan Energi Cahaya

Foton adalah partikel cahaya (kuantum cahaya) yang membawa energi.

Energi Foton:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda}$$

Di mana:

$$h = \text{Konstanta Planck} = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J s}$$

f = Frekuensi cahaya (Hz)

c = Kecepatan cahaya = 3×10^8 m/s

λ = Panjang gelombang cahaya (m)

Contoh:

Foton cahaya merah ($\lambda = 700$ nm): $E = 1.77$ eV

Foton cahaya biru ($\lambda = 400$ nm): $E = 3.10$ eV

Foton UV ($\lambda = 200$ nm): $E = 6.20$ eV

Cahaya dengan frekuensi tinggi membawa energi lebih besar per foton.

4. Syarat Terjadinya Efek Fotolistrik

Efek fotolistrik terjadi jika dipenuhi syarat:

$$hf > W$$

atau

$$f_{\text{min}} > \text{Fungsi Kerja}$$

Di mana:

Fungsi kerja (W) adalah energi minimum untuk melepaskan elektron dari permukaan logam dan Nilai W berbeda untuk setiap jenis logam.

Tabel Fungsi Kerja Beberapa Logam:

Logam	Fungsi Kerja (eV)	Frekuensi Ambang (Hz)
Cesium (Cs)	2.1	5.1×10^{14}
Sodium (Na)	2.36	5.7×10^{14}
Potassium (K)	2.3	5.6×10^{14}
Zink (Zn)	3.63	8.8×10^{14}
Copper (Cu)	4.47	1.1×10^{15}
Iron (Fe)	4.50	1.1×10^{15}
Platinum (Pt)	5.65	1.4×10^{15}

5. Frekuensi Ambang (Threshold Frequency)

Frekuensi ambang (f_0) adalah frekuensi minimum cahaya yang dapat menyebabkan terlepasnya elektron dari permukaan logam.

$$f_0 = \frac{W}{h}$$

Karakteristik:

- Jika $f < f_0$: Tidak ada elektron yang keluar, tidak peduli seberapa tinggi intensitas cahayanya
- Jika $f \geq f_0$: Elektron mulai keluar
- Nilai f_0 berbeda untuk setiap jenis logam
- Logam dengan W lebih kecil memiliki f_0 lebih kecil (lebih sensitif terhadap cahayanya)

6. Persamaan Einstein Efek Fotolistrik

Albert Einstein menjelaskan efek fotolistrik menggunakan konsep foton Planck:

$$E_{\text{max}} = W + E_k$$

atau

$$hf = W + E_k$$

Jika disubstitusikan untuk energi kinetik:

$$E_k = hf - W$$

Penjelasan:

- Energi foton (hf) digunakan untuk dua tujuan:
 - a. Untuk melawan fungsi kerja (W) dan melepaskan elektron
 - b. Sisanya menjadi energi kinetik elektron (E_k)

Energi Kinetik Maksimum:

$$E_k^{\text{max}} = \frac{1}{2} m_e v^2 = hf - W$$

Di mana

m_e = Massa elektron = $9.109 \cdot 10^{-31}$ kg

v = Kecepatan elektron yang keluar

7. Pengaruh Frekuensi dan Intensitas Cahaya

a. Pengaruh Frekuensi

Apakah elektron keluar?	Pengaruh
Apakah elektron keluar?	Ditentukan MANYA oleh frekuensi
Energi kinetik elektron	Meningkat LINEAR dengan peningkatan frekuensi
Persamaan	$E_k = hf - W$
Grafik	Garis lurus dengan slope = h

Penjelasan Fisis:

- Cahaya dengan frekuensi lebih tinggi berarti foton membawa energi lebih besar
- Foton merah memiliki energi rendah: sulit melepaskan elektron
- Foton biru memiliki energi lebih tinggi: lebih mudah melepaskan elektron
- Foton UV memiliki energi paling tinggi: elektron yang keluar memiliki energi kinetik sangat besar

b. Pengaruh Intensitas:

Aspek	Pengaruh
Apakah elektron keluar?	Tidak dipengaruhi
Energi kinetik elektron	TIDAK BERUBAH
Jumlah elektron yang keluar	Meningkat sebanding dengan intensitas
Arus fotoelektrik	Meningkat LINEAR dengan intensitas
Pertahanan	$I = nqv$ (arus = $n \times$ muatan \times drift velocity)

Penjelasan Fisis:

- Intensitas menunjukkan banyaknya foton per satuan luas per satuan waktu
- Lebih banyak foton = lebih banyak kesempatan foton memukul elektron
- Tetapi energi per foton TIDAK berubah
- Jadi energi kinetik setiap elektron tetap sama
- Yang berubah adalah jumlah elektron yang keluar per detik

Analogi:

Bayangkan panah melepaskan panah ke target:

- Frekuensi = Keat panah: memastikan APAKAH panah tembus target
- Intensitas = Jumlah panah per detik: memastikan BERAPA BANYAK panah yang tembus

8. Dualisme Gelombang-Partikel Cahaya

Efek fotolistrik adalah bukti penting bahwa cahaya memiliki sifat ganda:

Sifat	Deskripsi	Bukti
Gelombang	Cahaya dapat mengalami interferensi, difraksi, polarisasi	Percobaan Young, difraksi cahaya
Partikel (Foton)	Cahaya terdiri dari partikel energi diskrit yang disebut foton	Efek fotolistrik, efek Compton

Percobaan Planck-Einstein:

"Cahaya tidak hanya bersifat gelombang, tetapi juga partikel. Energi cahaya datang dalam paket-paket diskrit (kuanta foton) dengan energi $E = hf$."

9. Penerapan Efek Fotolistrik dalam Kehidupan

a. Panel Surya (Solar Cell):

1. Mengubah energi cahaya menjadi energi listrik
2. Menggunakan material semikonduktor seperti silikon
3. Aplikasi: Pembangkit listrik, pengisi daya ponsel, satelit

b. Sensor Cahaya (Photodiode):

1. Mendeteksi kehadiran dan intensitas cahaya
2. Aplikasi: Kamera digital, sensor otomatis, sistem keamanan

c. Tabung Fotomultiplier:

1. Mendeteksi cahaya sangat lemah
2. Mengamplifikasi sinyal cahaya
3. Aplikasi: Spektrofotometer, peralatan medis diagnostik

d. Teknologi Imaging:

1. CCD (Charge-Coupled Device) di kamera digital
2. CMOS sensor di ponsel
3. Meningkatkan fotografi digital modern

e. Terapi Fotodinamik:

1. Menggunakan foton untuk menghancurkan sel kanker
2. Penelitian berkembang di bidang medis

E. MEDIA DAN ALAT PEMBELAJARAN

Media Pembelajaran:

1. Video Tutorial: <https://youtu.be/pu88MykV-mw>
2. Simulasi Interaktif: PaET Simulations - Photoelectric Effect (<http://phet.colorado.edu/en/simulations/photoelectric>)
3. Presentasi PowerPoint: Slides dengan visualisasi efek fotoelektrik
4. Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD): Worksheet dengan pertanyaan dan aktivitas
5. Teks Materi: Handout cetak tentang teori Einstein dan konstanta Planck

Alat Pembelajaran:

1. Komputer/Laptop: Untuk mengakses simulasi interaktif
2. Proyektor dan Layar: Untuk menampilkan video dan presentasi
3. Papan Tulis/Flipchart: Untuk menuliskan rumusan masalah dan kesimpulan
4. Kalkulator Scientific: Untuk perhitungan numerik
5. Kertas Grafik atau Software: Untuk membuat grafik

F. PENILAIAN PEMBELAJARAN

1. Penilaian Pengetahuan (Knowledge Assessment)

Tipe: Tertulis - Pilihan Ganda dan Esai Singkat

Contoh Soal:

a. Pilihan Ganda:

Cahaya dengan panjang gelombang 400 nm dengan intensitas tinggi jatuh di atas logam yang memiliki fungsi kerja 2,5 eV. Apa yang akan terjadi?

- A) Tidak ada elektron yang keluar
- B) Elektron keluar dengan energi kinetik tinggi
- C) Elektron keluar dengan energi kinetik rendah
- D) Hanya elektron dengan energi kinetik yang keluar
- E) Elektron akan tetap diam di dalam logam

Jawaban: B (karena $hf > W$)

b. Esai Singkat:

Jeleskan mengapa cahaya merah dengan intensitas sangat tinggi tidak dapat melepaskan elektron dari permukaan logam Zink ($W = 3.65 \text{ eV}$), padahal cahaya biru dengan intensitas rendah dapat melepaskan elektron!

Jawaban yang Diharapkan:

- Cahaya merah memiliki frekuensi rendah ($f \approx 4,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$)
- Energi foton merah $E = hf \approx 1,8 \text{ eV}$
- Energi ini kurang dari fungsi kerja ($1,8 \text{ eV} < 3,65 \text{ eV}$)
- Jadi elektron tidak keluar, tidak peduli intensitas
- Cahaya biru memiliki frekuensi tinggi ($f \approx 7,3 \cdot 10^{14} \text{ Hz}$)
- Energi foton biru $E = hf \approx 3,1 \text{ eV}$
- Energi ini cukup untuk melepaskan elektron ($3,1 \text{ eV} < 3,65 \text{ eV}$) [diperbaiki: $3,1 \text{ eV} > 3,65$].
- Jadi elektron keluar

2. Penilaian Keterampilan (Skill Assessment)

Menggunakan rubrik penilaian untuk menilai keterampilan ilmiah peserta didik:

Rubrik Penilaian Keterampilan Discovery Learning - Efek Fotolistrik

No	Aspek Penilaian	Skor 4 (Sangat Baik)	Skor 3 (Baik)	Skor 2 (Cukup)	Skor 1 (Kurang)	Bobot
1	Pengamatan dan Pencatatan Data	Data lengkap, akurat, sistematis, dan rapi. Semua variabel terukur.	Data cukup lengkap dan akurat, tetapi sedikit kurang rapi atau ada variabel yang terlewat.	Data kurang lengkap, ada beberapa kesalahan pencatatan, atau kurang sistematis.	Data banyak yang hilang, tidak terstruktur, atau penuh kesalahan.	20%
2	Analisis Data dan Interpretasi	Analisis mendalam, menggunakan data dengan teori dengan sangat tepat. Kesimpulan didukung bukti kuat.	Analisis benar dan benar, tetapi kurang mendalam atau kurang detail dalam menggunakan dengan teori.	Analisis kurang tepat atau terlalu sederhana. Koneksi dengan teori lemah.	Tidak melakukan analisis atau analisis sepenuhnya salah.	25%
3	Penyajian Grafik dan Tabel	Grafik/tabel sangat rapi, lengkap dengan judul.	Grafik/tabel ada dan cukup rapi, tetapi ada beberapa label.	Grafik/tabel kurang rapi, beberapa informasi.	Grafik/tabel tidak dibuat atau salah sepenuhnya.	20%

		label, waktu, dan skala yang tepat.	atau informasi yang kurang lengkap.	pering tidak ada (judul, label, satuan).		
4	Perumusan Rumusan Masalah	Rumusan masalah sangat jelas, dapat diuji, dan relevan dengan fenomena yang diamati.	Rumusan masalah jelas dan dapat diuji, tetapi kurang spesifik atau relevansi sedikit kurang.	Rumusan masalah kurang jelas atau sulit diuji secara ilmiah.	Tidak ada rumusan masalah atau tidak sesuai dengan pembelajaran.	15%
5	Kesimpulan Kesimpulan	Kesimpulan sangat sesuai dengan data dan teori. Menjabarkan rumusan masalah dengan sempurna dan menjabarkan permasalahan mendalam.	Kesimpulan sesuai dengan data dan menjabarkan rumusan masalah, tetapi kurang menjabarkan atau kurang menghubungkan dengan teori.	Kesimpulan kurang logis atau tidak sepenuhnya menjabarkan rumusan masalah.	Tidak ada kesimpulan atau bertentangan dengan data.	20%

Cara Penilaian:

- Nilai Akhir = (Skor 1 - 30% + Skor 2 - 25% + Skor 3 - 20% + Skor 4 - 15% + Skor 5 - 20%) / 4
- Konversi: Skor 4 = 85-100, Skor 3 = 70-84, Skor 2 = 60-69, Skor 1 = <60

3. Penilaian Sikap (Attitude Assessment)

Observasi sikap peserta didik selama proses pembelajaran:

No.	Indikator Sikap	Kriteria Penilaian
1.	Rasa ingin tahu	Peserta didik aktif mengajukan pertanyaan, ingin tahu lebih dalam, eksperimen dengan inisiatif sendiri.
2.	Kerja sama	Peserta didik saling membantu dalam kelompok, mendengarkan pendapat teman, berkontribusi aktif.
3.	Kejujuran ilmiah	Peserta didik mencatat data apa adanya, tidak memanipulasi data, jujur dalam pelaporan hasil.
4.	Keterlibatan	Peserta didik fokus dan engaged dalam semua tahap pembelajaran, tidak main-main.

3	Menghargai pendapat	Peserta didik menghormati teman dan pendapat teman, terbuka terhadap kritik konstruktif
---	---------------------	---

Skala: Selalu (4), Sering (3), Kadang-kadang (2), Tidak pernah (1)

G. BAHAN BACAAN PESERTA DIDIK

Bacaan 1: Sejarah dan Penemuan Efek Fotolistrik

Pada tahun 1887, fisikawan Jerman Heinrich Hertz melakukan percobaan dengan tabung vakum yang berisi dua plat logam. Ketika dia menyinari plat logam dengan cahaya ultraviolet, dia menemukan bahwa arus listrik mengalir antara dua plat. Penemuan ini disebut efek fotolistrik.

Pada waktu itu, cahaya dipahami sebagai gelombang elektromagnetik berdasarkan teori Maxwell. Menurut teori gelombang klasik, energi cahaya harus sebanding dengan intensitasnya. Oleh karena itu, para fisikawan menduga bahwa cahaya merah dengan intensitas tinggi seharusnya dapat melepaskan elektron dari logam karena memiliki energi besar. Namun, Hertz menemukan hal yang mengejutkan: cahaya merah dengan intensitas apapun tidak dapat melepaskan elektron, tetapi cahaya ungu dengan intensitas rendah dapat melepaskan elektron.

Penemuan ini tidak dapat dijelaskan oleh teori gelombang klasik dan disebut sebagai paradoks efek fotolistrik.

Bacaan 2: Teori Kuantum Planck (1900)

Pada tahun 1900, fisikawan Max Planck mengajukan ide revolusioner bahwa energi cahaya tidak dipancarkan atau diserap secara kontinu, melainkan dalam paket-paket diskrit yang disebut kuantum. Energi setiap kuantum berbanding lurus dengan frekuensi cahaya:

$$E = hf$$

Di mana h adalah konstanta Planck = 6.626×10^{-34} J·s.

Ide ini sangat radikal karena bertentangan dengan pemahaman gelombang klasik. Namun, Planck menggunakan konsep ini untuk menjelaskan radiasi benda hitam dan ternyata sangat berhasil.

Bacaan 3: Penjelasan Einstein tentang Efek Fotolistrik (1905)

Albert Einstein menggaribid ide Planck tentang kuantisasi dan menerapkannya untuk menjelaskan efek fotolistrik. Pada tahun 1905, Einstein menggunakan bahwa cahaya terdiri dari partikel-partikel energi yang disebut foton. Setiap foton memiliki energi $E = hf$. Ketika foton menumbuk elektron di permukaan logam, seluruh energi foton ditransfer ke satu elektron dalam interaksi satu-satu. Tidak ada "alokasian" energi dari multiple foton.

Jika energi foton (hf) lebih besar dari fungsi kerja (W), maka kelebihan energi menjadi energi kinetik elektron:

$$E_k = hf - W$$

Penjelasan Einstein ini berhasil menyelesaikan paradoks efek fotolistrik:

1. **Frekuensi rendah:** Meskipun intensitas tinggi (banyak foton), setiap foton membawa energi rendah ($E = hf$ rendah). Jika $E < W$, maka tidak ada elektron yang keluar.
2. **Frekuensi tinggi:** Setiap foton membawa energi tinggi ($E = hf$ tinggi). Jika $E > W$, maka elektron keluar meskipun intensitasnya rendah.
3. **Intensitas tinggi:** Lebih banyak foton berarti lebih banyak elektron yang keluar, tetapi energi kinetik setiap elektron tetap sama.

Penjelasan Einstein ini terbukti sangat berhasil dan membuat Einstein memenangkan Hadiah Nobel Fisika 1921.

Bacaan 4: Percobaan Millikan (1916)

Robert Millikan melakukan percobaan presisi tinggi untuk menguji teori Einstein. Dia menggunakan berbagai jenis logam dan cahaya dengan frekuensi yang berbeda. Hasilnya:

1. Energi kinetik maksimum elektron berbanding LINEAR dengan frekuensi cahaya
2. Grafik E_k vs f adalah garis lurus dengan slope = $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J s
3. Adanya frekuensi ambang di bawah mana tidak ada elektron yang keluar
4. Intensitas cahaya tidak mempengaruhi energi kinetik, hanya jumlah elektron

Berupa ini sesuai sempurna dengan prediksi Einstein. Percobaan Millikan memberikan bukti empiris yang kuat untuk teori kuantum dan dualisme gelombang-partikel cahaya.

H. KUNCI JAWABAN LKPD

Jawaban Pertanyaan pada LKPD:

1. Bagaimana pengaruh frekuensi cahaya terhadap energi kinetik elektron?

Frekuensi cahaya memiliki pengaruh linear positif terhadap energi kinetik maksimum elektron.

Penjelasan:

- Hubungan ditunjukkan oleh persamaan: $E_k = hf - W$
- Jika frekuensi meningkat, energi foton (hf) meningkat
- Dengan fungsi kerja (W) tetap, energi kinetik (E_k) akan meningkat sebesar peningkatan hf
- Hubungan ini linear (garis lurus) dengan slope gradient = h (konstanta Planck)
- Secara matematis: $\Delta E_k / \Delta f = h$
- Energi kinetik maksimal tercapai saat cahaya ultraviolet (frekuensi sangat tinggi)
- Energi kinetik minimal (atau zero) saat cahaya mencapai frekuensi ambang ($f = f_0$)

Grafik: Garis lurus dengan slope positif, memotong sumbu vertikal di titik $(-W/h)$, memotong sumbu horizontal di titik (f_0) .

2. Apakah intensitas cahaya berpengaruh terhadap kuantitas elektron? Jelaskan!

Jawaban: TIDAK - Intensitas cahaya TIDAK mempengaruhi kuantitas elektron.

Penjelasan Fisis:

Intensitas cahaya hanya mempengaruhi JUMLAH elektron yang keluar (besar arus fotoelektrik), BUKAN apakah elektron akan keluar.

Alasan:

1. Interaksi satu-satu: Dalam model foton, satu foton berinteraksi dengan satu elektron. Energi yang mentransfer ke elektron adalah energi satu foton: $E = hf$
2. Intensitas = jumlah foton: Intensitas cahaya tinggi berarti ada lebih banyak foton per satuan luas per satuan waktu. Tetapi energi PER FOTON tetap sama: $E = hf$
3. Syarat kuantitas elektron: Elektron keluar jika $hf > W$, tidak peduli ada berapa foton
4. Contoh nyata:
 - o Cahaya merah ($f = 4.3 \times 10^{14}$ Hz) dengan intensitas $1000 \text{ W/m}^2 \rightarrow hf = 1.8 \text{ eV} < 3.63 \text{ eV}$ (fungsi kerja Zn) \rightarrow NO elektron

- o Cahaya biru ($f = 7.5 \times 10^{14}$ Hz) dengan intensitas $10 \text{ W/m}^2 \rightarrow hf = 3.1 \text{ eV} < 3.63 \text{ eV}$ (actually lebih rendah, diperbaiki) \rightarrow YES elektron (jika cukup)

Pengaruh intensitas:

- Intensitas rendah: Sedikit foton, sedikit elektron keluar
- Intensitas tinggi: Banyak foton, banyak elektron keluar
- Tetapi energi kinetik setiap elektron sama

3. Apa hubungan hasil percobaan Anda dengan teori kuantum Planck dan Einstein?

Jawaban: Hasil percobaan MEMBUKTIKAN teori kuantum Planck dan Einstein

Hubungan Dasar:

A. Teori Planck (Energi Cahaya Bersifat Diskrit):

Planck menyatakan bahwa energi cahaya datang dalam paket-paket diskrit (kuanta) dengan $E = hf$

Bukti dari percobaan:

- Adanya frekuensi ambang (f_0): Ini membuktikan bahwa energi cahaya bukan kontinuas melainkan paket diskrit
- Jika energi kontinuas, maka elektron seharusnya dapat keluar pada frekuensi berapa pun, asalkan jumlah foton cukup banyak (intensitas tinggi)
- Tetapi hasil menunjukkan: di bawah f_0 , tidak ada elektron yang keluar, betapa pun tinggi intensitasnya
- Ini hanya dapat dijelaskan jika energi cahaya datang dalam paket: jika energi satu paket (satu foton) $= W$, maka tidak ada yang dapat dilepaskan

B. Teori Einstein (Foton dan Interaksi Satu-Satu):

Einstein menyatakan bahwa cahaya terdiri dari foton, dan setiap foton berinteraksi dengan satu elektron melalui mekanisme satu-satu.

Bukti dari percobaan:

1. Hubungan linear E_k vs f : Persamaan $E_k = hf - W$ adalah persamaan linear. Percobaan menunjukkan grafik E_k vs f adalah garis lurus \rightarrow ✓ Sesuai
2. Slope grafik $= h$: Dari grafik, gradien $= \Delta E_k / \Delta f = h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$. Nilai ini sama dengan konstanta Planck \rightarrow ✓ Verified

3. Frekuensi ambang: Percobaan Einstein memprediksi $f = W/h$. Percobaan menunjukkan adanya frekuensi ambang yang terukur \rightarrow ✓ Sesuai
4. Intensitas vs jumlah elektron: Percobaan menunjukkan arus fotolistrik LINEAR dengan intensitas. Einstein memprediksi ini karena lebih banyak foton (intensitas tinggi) \rightarrow lebih banyak elektron \rightarrow ✓ Sesuai
5. Intensitas vs energi kinetik: Percobaan menunjukkan energi kinetik TIDAK berubah dengan intensitas. Einstein memprediksi ini karena energi per foton ($E = hf$) tidak berubah meskipun jumlah foton berubah \rightarrow ✓ Sesuai

C. Dualisme Gelombang-Partikel

Masih percobaan menunjukkan bahwa cahaya bersifat PARTIKEL (foton) dalam efek fotolistrik, sambil juga diketahui dari percobaan lain (interferensi, difraksi) bahwa cahaya bersifat GELOMBANG.

Kesimpulan Umum:

"Hasil percobaan efek fotolistrik memberikan bukti empiris yang sangat kuat bahwa cahaya memiliki sifat partikel (foton) dengan energi diskrit $E = hf$, sebagaimana diprediksi oleh Planck dan Einstein. Efek fotolistrik adalah tanggung jawab dalam sejarah fisika yang menandai awal penerapannya mekanika kuantum oleh konstanta Planck."

1. LEMBAR KERJA PESERTA DIDIK (LKPD) LENGKAP

(Lihat LKPD yang telah disediakan di awal, dengan tambahan)

Lembar Data Pengamatan Simulasi:

Kelompok: _____ Tanggal: _____

Anggota 1: _____ 2: _____ 3: _____

Anggota 4: _____ 5: _____ 6: _____

Pengamatan 1: Pengaruh Frekuensi terhadap Energi Kinetik Maksimum

Logam yang digunakan: Natrium (Na) [Fungsi Kerja $W = 2.36 \text{ eV}$]

No.	Frekuensi ($\times 10^{14}$ Hz)	Energi Foton (eV)	Elektron Keluar?	Energi Kinetik Maks. (eV)
1	3.5			
2	4.0			
3	4.5			
4	5.0			
5	5.5			
6	6.0			
7	6.5			

Pertanyaan:

- Pada frekuensi berapa pertama kali elektron mulai keluar? (Ini adalah f_0)
- Bagaimana hubungan antara frekuensi dan energi kinetik maksimum? (linear/non-linear?)
- Jika frekuensi meningkat 1×10^{14} Hz, berapa peningkatan energi kinetik?

3. RENCANA PEMBELAJARAN DETAIL (2 PERTEMUAN)

PERTEMUAN 1: Simulasi hingga Pengumpulan Data ($4 \times 45 = 180 \text{ menit} = 3 \text{ jam}$)

Waktu	Kegiatan	Pengalaman
10 menit	Apersepsi + Video	Guru menampilkan video efek fotoelektrik, peserta didik tertarik
10 menit	Rumusan Masalah	Peserta didik membuat pertanyaan penelitian bersama guru
5 menit	Hipotesis	Peserta didik menuliskan dugaan awal mereka

45 menit	Data Collection	Peserta didik studi literatur (30 menit) + simulasi PhET (15 menit)
20 menit	Pelaporan Awal	Setiap kelompok mengumpulkan data mentah dan lembar pengamatan

PERTEMUAN 2: Pengolahan Data hingga Generalisasi (4 × 45 = 180 menit = 3 jam)

Waktu	Kegiatan	Penjelasan
5 menit	Review Apersepsi	Guru menengokkan pertemuan sebelumnya, peserta didik recall data
20 menit	Pembuatan Grafik	Peserta didik membuat grafik folcensi vs energi kinetik
20 menit	Analisis Matematis	Peserta didik menghitung konstanta Planck dan fungsi kerja
25 menit	Presentasi (3 grup)	Setiap kelompok presentasi
10 menit	Verification	Guru dan peserta didik membandingkan hasil dengan teori Einstein
10 menit	Penulisan Kesimpulan	Peserta didik menulis kesimpulan kelompok

K. DIFERENSIASI PEMBELAJARAN (Untuk Peserta Didik dengan Kebutuhan Berbeda)

1. Untuk Peserta Didik Berkemampuan Tinggi (Advanced):

a. Tantangan Tambahan:

- 1) Hitung konstanta Planck dari data grafik meowka dan bandingkan dengan nilai teori
- 2) Melacak mengapa Millikan menyetujui percobaan presisi tinggi untuk memverifikasi teori Einstein
- 3) Analisis efek Compton dan hubungannya dengan efek fotolistrik
- 4) Hitung energi kinetik maksimum dan kecepatan elektron menggunakan
$$v = \sqrt{2E_k/m_e}$$

b. Sumber Belajar Tambahan:

- 1) Jurnal ilmiah: "Photoelectric Effect" dari *Physics Education Journal*
- 2) Video: "Einstein's Nobel Prize: The Photoelectric Effect" (situs panjang)
- 3) Simulasi advanced: Variasi material logam dan analisis fungsi kerja

2. Urak Peserta Didik Berkemampuan Sedang:

Scaffolding:

- 1) Sediakan tabel kosong yang sudah diformat dengan benar
- 2) Berikan template grafik dengan skala dan label sudah ada
- 3) Berikan contoh perhitungan konstanta Planck yang lengkap
- 4) Fasilitas diskusi kelompok dengan pertanyaan-pertanyaan pemantun

3. Urak Peserta Didik Berkemampuan Rendah atau yang Membutuhkan Dukungan Khusus:

Modifikasi:

- 1) Gunakan simulasi yang lebih sederhana dengan interface intuitif
- 2) Kurangi jumlah data yang harus dikumpulkan (gunakan 3 data point bukan 7)
- 3) Berikan kalkulator scientific dan tabel nilai konstanta Planck
- 4) Pasangkan dengan peer tutor (peserta didik berkemampuan tinggi)
- 5) Sediakan checklist untuk setiap tahap *Discovery Learning*
- 6) Istimakan penggunaan bahasa visual diagram daripada penjelasan tertulis yang panjang

1. REFLEKSI GURU

Setelah menyelesaikan dua pertemuan ini, guru diharapkan melakukan refleksi:

1. Ketercapaian Tujuan Pembelajaran:

- a. Apakah peserta didik sudah memahami konsep efek fotolistrik?
- b. Apakah mereka dapat menerapkan persamaan Einstein dengan benar?
- c. Apakah mereka memahami perbedaan pengaruh frekuensi dan intensitas?

2. Efektivitas Model *Discovery Learning*:

- a. Pada tahap mana peserta didik paling engaged?
- b. Berapa persen peserta didik yang berhasil menyelesaikan masalah dengan baik?
- c. Apakah ada tahap yang perlu diperpanjang atau dipersingkat?

3. Manajemen Waktu:
 - a. Apakah alokasi waktu tepat?
 - b. Bagian mana yang memerlukan waktu lebih/lurang?
4. Ketersediaan Sumber Daya:
 - a. Apakah semua peserta didik dapat mengakses simulasi?
 - b. Apakah ada masalah teknis yang perlu diatasi?
5. Kualitas Data dan Analisis:
 - a. Apakah data yang dikumpulkan cukup akurat?
 - b. Apakah analisis peserta didik menunjukkan pemahaman mendalam?
6. Catatan untuk Perbaikan Ke depannya:
 - a. Apa yang akan diubah untuk pembelajaran berikutnya?
 - b. Masukkan apa dari peserta didik?

M. DAFTAR PUSTAKA DAN KUDUKAN

1. Buku Teks Fisika:
 - a. Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for Scientists and Engineers*. Cengage Learning.
 - b. Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2015). *Fundamentals of Physics*. Wiley.
 - c. Tipler, P. A., & Llewellyn, R. A. (2012). *Modern Physics*. W.H. Freeman.
2. Sumber Online:
 - a. PhET Simulations: <https://phet.colorado.edu/en/simulations/photoelectric>
 - b. Khan Academy: "Photons and the Photoelectric Effect"
 - c. YouTube: "The Photoelectric Effect - Physics" (various educational channels)
3. Jurnal dan Penelitian:
 - a. "The Photoelectric Effect" - *Physics Education Journal*
 - b. Millikan, R. A. (1916). "A direct photoelectric determination of Planck's h ". *Physical Review*.
4. Kurikulum:
 - a. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. (2022). *Kurikulum Merdeka - Mata Pelajaran Fisika Fase F (Kelas 11-12)*.

N. LAMPIRAN: ANALISIS TINGKAT KESULITAN BERDASARKAN BLOOM'S TAXONOMY

Tahap Bloom	Tujuan Pembelajaran	Aktivitas <i>Discovery Learning</i>
Remember (C1)	Peserta didik dapat mengingat kembali persamaan Einstein dan definisi efek fotolistrik	Studi literatur pada tahap Data Collection
Understand (C2)	Peserta didik dapat menjelaskan hubungan antara frekuensi, energi foton, dan energi kinetik	Diskusi pada tahap Verification
Apply (C3)	Peserta didik dapat menerapkan persamaan $E_k = hf - W$ untuk perhitungan	Aktivitas perhitungan pada tahap Data Processing
Analyze (C4)	Peserta didik dapat menganalisis pengaruh frekuensi vs intensitas	Pembuatan grafik dan analisis pola pada tahap Data Processing
Evaluate (C5)	Peserta didik dapat membandingkan hasil eksperimen dengan teori Einstein	Presentasi dan diskusi pada tahap Verification
Create (C6)	Peserta didik dapat merumuskan masalah baru atau merancang eksperimen lanjutan	Tantangan untuk peserta didik berdasarkan tinggi



Lembar Kerja Peserta Didik

LKPD

FISIKA

BERBASIS DISCOVERY LEARNING

Materi : Efek Fotolistrik



Disusun Oleh:

SUWARNO



KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) ini dapat terwujud dengan baik. LKPD ini dirancang untuk memfasilitasi proses pembelajaran efek fotolistrik dengan menggunakan modal *discovery learning* yang didukung oleh virtual laboratorium.

Efek fotolistrik merupakan salah satu konsep penting dalam fisika modern yang menjelaskan fenomena emisi elektron dari permukaan logam ketika disinari cahaya dengan frekuensi tertentu. Memahami konsep ini secara mendalam sangatlah krusial untuk menguasai dasar-dasar fisika kuantum. Melalui LKPD ini, Anda akan diajak untuk secara aktif mengeksplorasi dan membangun pemahaman Anda sendiri tentang efek fotolistrik melalui serangkaian eksperimen virtual yang interaktif dan menarik.

Penggunaan virtual laboratorium dalam LKPD ini bertujuan untuk memberikan pengalaman belajar yang lebih nyata dan fleksibel, memungkinkan Anda untuk melakukan percobaan kapan saja dan di mana saja tanpa terdampai oleh keterbatasan alat dan bahan fisik. Diharapkan dengan pendekatan ini, Anda tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir kritis, analitis, dan pemecahan masalah.

Kami menyadari bahwa LKPD ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, saran dan masukan yang konstruktif dari berbagai pihak sangat kami harapkan demi penyempurnaan di masa mendatang. Semoga LKPD ini dapat memberikan manfaat sebesar-besarnya bagi Anda dalam memahami efek fotolistrik dan menumbuhkan minat Anda terhadap ilmu fisika. Selamat belajar dan berpetualang dalam dunia fisika.

Hormat kami,
Penulis

LEMBAR KERJA PESERTA DIDIK (LKPD)

Mata Pelajaran	: Fisika
Kelas/Semester	: XII / Ganjil
Materi Pokok	: Fenomena Kuantum
Model Pembelajaran	: Discovery Learning

1. Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti pembelajaran ini, peserta didik diharapkan dapat:

- Menjelaskan konsep dasar fenomena kuantum, seperti efek fotolistrik dan radiasi benda hitam.
- Menemukan hubungan antara energi kuantum dan frekuensi cahaya melalui pengamatan data eksperimen sederhana.
- Menggunakan fenomena kuantum berdasarkan hasil penemuan sendiri.
- Membuktikan melalui percobaan bahwa cahaya bersifat partikel berdasarkan fenomena kuantum.

2. Materi Esensial

- Radiasi benda hitam
- Efek fotolistrik
- Teori kuantum Planck
- Dualisme gelombang-partikel
- Konstanta Planck dan persamaan energi $E = h \cdot f$

3. Media dan Alat

- Video simulasi efek fotolistrik (misal: PhET Simulations)
- Laptop atau HP
- Worksheet lembar kerja eksperimen
- Proyektor (di Fokus)

4. Langkah-Langkah Pembelajaran

(Model Discovery Learning)

A. Simulasi (Simulasi)

- Silahkan unduh simulasi berikut dan tonton video tentang efek fotolistrik dalam kehidupan sehari-hari pada link berikut ini.

<https://youtu.be/ja88MgkV-aw>

B. Problem Statement (Identifikasi Masalah)

Setelah unduh dan menonton/menyimak video efek fotolistrik, silahkan unduh buat rumusan masalah.

Contoh Rumusan masalah:

"Bagaimana hubungan antara energi cahaya dan energi kinetik elektron?"

.....

.....

.....

.....

JAWABAN PERTANYAAN :

1. Pengaruh Frekuensi Cahaya terhadap Energi Kinetik Elektron

Frekuensi cahaya memiliki pengaruh langsung dan linear terhadap energi kinetik maksimum elektron yang dipancarkan dalam efek fotolistrik. Hubungan ini dijelaskan oleh persamaan efek fotolistrik Einstein:

$$E_k = hf - W$$

di mana:

- E_k adalah energi kinetik maksimum elektron.
- h adalah konstanta Planck ($6.626 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$).
- f adalah frekuensi cahaya.
- W adalah fungsi kerja (energi minimum yang diperlukan untuk melepaskan elektron dari permukaan logam).

Dari persamaan ini, terlihat bahwa:

- Jika frekuensi cahaya (f) meningkat, maka energi foton (hf) juga meningkat, dan akibatnya, energi kinetik maksimum elektron yang dipancarkan (E_k) juga akan meningkat.
- Jika frekuensi cahaya berada di bawah frekuensi ambang (E_0), yaitu frekuensi minimum yang diperlukan agar elektron dapat lepas ($hf < W$), maka tidak akan ada elektron yang terlepas, bahkan jika intensitas cahaya sangat tinggi.

2. Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Keluarannya Elektron

Intensitas cahaya tidak berpengaruh terhadap keluarannya elektron secara individual, melainkan berpengaruh terhadap jumlah elektron yang keluar. Penjelasananya adalah sebagai berikut:

- Cahaya sebagai partikel (foton): Dalam efek fotolistrik, cahaya dianggap sebagai aliran partikel energi yang disebut foton. Setiap foton memiliki energi yang berbanding lurus dengan frekuensinya ($E = hf$).
- Interaksi satu-satu: Pelepasan elektron terjadi ketika sebuah foton memiliki energi yang cukup (melebihi fungsi kerja logam) dan bertabrakan dengan elektron. Ini adalah interaksi satu-satu.
- Intensitas sebagai jumlah foton: Intensitas cahaya berkaitan dengan jumlah foton yang tiba per satuan luas per satuan waktu. Jadi, intensitas cahaya yang lebih tinggi berarti ada lebih banyak foton yang datang.
- Lebih banyak foton, lebih banyak elektron: Jika ada lebih banyak foton dengan energi yang cukup, maka akan ada lebih banyak foton yang dapat menabrak elektron dan melepaskannya. Oleh karena itu, intensitas cahaya yang lebih tinggi akan menghasilkan arus fotolistrik yang lebih besar (lebih banyak elektron yang keluar per detik), tetapi tidak akan meningkatkan energi kinetik masing-masing elektron atau menyebarkan elektron keluar jika frekuensi di bawah ambang.

Singkatnya, intensitas cahaya menentukan banyaknya elektron yang keluar, sedangkan frekuensi cahaya menentukan apakah elektron akan keluar dan seberapa besar energi kinetik maksimumnya.

3. Hubungan Hasil Percobaan dengan Teori Konstant Planck dan Einstein

Hasil percobaan efek fotolistrik sangat mendukung dan menjadi bukti kunci bagi teori konstant Planck dan Einstein.

- Teori Kuantum Planck: Pada awalnya, Planck menggunakan bahwa energi radiasi elektromagnetik (termasuk cahaya) tidak dipancarkan atau diserap secara kontinu, melainkan dalam paket-paket diskrit yang disebut kuantum (atau foton). Energi setiap kuantum berbanding lurus dengan frekuensinya ($E=hf$). Efek fotolistrik secara langsung menunjukkan bahwa energi cahaya memang datang dalam paket-paket diskrit ini. Jika energi cahaya diserap secara kontinu, maka elektron seharusnya dapat terlepas pada frekuensi berapa pun asalkan intensitasnya cukup tinggi, yang bertentangan dengan hasil percobaan.
- Teori Kuantum Einstein (Penjelasan Efek Fotolistrik): Einstein menggunakan konsep kuantum Planck untuk menjelaskan efek fotolistrik. Ia menggunakan bahwa setiap foton menumbuk satu elektron, dan seluruh energi foton diberikan kepada elektron. Jika energi foton (hf) lebih besar dari fungsi kerja (U), maka kelebihan energi akan menjadi energi kinetik elektron ($E_{\text{kin}}=U$).
 - Adanya Frekuensi Ambang: Penjelasan Einstein secara akurat memprediksi adanya frekuensi ambang. Jika energi foton kurang dari fungsi kerja, elektron tidak akan terlepas, tidak peduli seberapa banyak foton yang datang (intensitas).
 - Hubungan Linear Frekuensi dan Energi Kinetik: Persamaan Einstein juga memprediksi hubungan linear antara frekuensi cahaya dan energi kinetik maksimum elektron, yang terbukti benar dalam percobaan.
 - Intensitas dan Jumlah Elektron: Konsep foton juga menjelaskan mengapa intensitas cahaya hanya mempengaruhi jumlah elektron yang terlepas, bukan energi kinetiknya. Lebih banyak foton berarti lebih banyak "peluru" yang bisa menumbuk elektron, bukan peluru yang lebih kuat.

Jadi, hasil percobaan efek fotolistrik adalah bukti empiris yang kuat yang menegaskan bahwa cahaya memiliki sifat partikel (foton) selain sifat gelombangnya, sehingga memperkaya dasar-dasar mekanika kuantum. Ini adalah salah satu tonggak penting dalam pengembangan fisika modern.

KUBRIK PENILAIAN KETERAMPILAN

Mata Pelajaran	: Fisika
Materi	: Fenomena Kinetik
Jenis Produk	: Laporan Hasil Kerja (Discovery Learning)

Aspek Penilaian dan Kriteria

Aspek yang Dinilai	Skor 4 (Sangat Baik)	Skor 3 (Baik)	Skor 2 (Cukup)	Skor 1 (Kurang)
Pengamatan dan Presentasi Data	Data lengkap, akurat, dan rapi. Setiap perubahan terukur secara sistematis.	Data cukup lengkap dan akurat, sedikit kurang rapi.	Data kurang lengkap, ada kesalahan presentasi.	Data banyak yang hilang tidak akurat.
Analisa Data	Analisa mendalam, menggunakan data dengan teori dengan tepat.	Analisa sesuai, tetapi kurang mendalam.	Analisa kurang tepat atau terlalu sederhana.	Tidak melakukan analisa atau salah.
Penyajian Grafik Tabel	Grafik/tabel rapi, lengkap dengan judul, label sumbu, satuan.	Grafik/tabel ada, tapi kurang rapi atau label kurang lengkap.	Grafik/tabel kurang benar, informasi tidak lengkap.	Tidak membuat grafik/tabel atau salah acurahannya.
Kesimpulan Kesimpulan	Kesimpulan sangat sesuai dengan data dan teori.	Kesimpulan cukup sesuai dengan data.	Kesimpulan kurang logis atau tidak mengacu pada data.	Tidak ada kesimpulan atau kesesuaiannya dengan data.
Kerapiban dan Sistematiasi Laporan	Laporan sangat rapi, sistematis, dan menarik.	Laporan cukup rapi dan sistematis.	Laporan kurang sistematis atau banyak typo.	Laporan acak-acakan dan tidak sistematis.

Skala Nilai

- Skor 4 = Sangat Baik
- Skor 3 = Baik
- Skor 2 = Cukup
- Skor 1 = Kurang

Total skor maksimum = 20

Nilai Akhir = $(\text{Total Skor} \div 20) \times 100$

Catatan untuk Guru

- Gunakan rubrik ini saat menilai laporan individu atau kelompok.
- Sertakan feedback singkat di bagian komentar untuk membantu siswa memperbaiki keterampilan ilahisnya.

**Lembar Pengamatan Aktivitas Guru dan Siswa
Model *Discovery Learning* (DL) Berbasis Virtual Laboratories
Materi: Efek Fotolistrik (Fisika Kelas XII - Kurikulum Merdeka)**

IDENTITAS OBSERVASI

Komponen	Isian
Nama Guru	
Mata Pelajaran	Fisika
Kelas/Semester	XII / Genap
Topik	Efek Fotolistrik (<i>Photoelectric Effect</i>)
Model Pembelajaran	<i>Discovery Learning</i> (DL) Berbasis Virtual Lab
Tanggal	
Waktu	
Observer	
Jumlah Siswa	11 Siswa

PETUNJUK PENGISIAN

1. Berikan tanda \checkmark jika indikator terlaksana atau skor 1-4 sesuai kategori
2. Skala Penilaian:
 - o 4 (SB) = Sangat Baik (100% siswa ideal)
 - o 3 (B) = Baik (75-99% siswa baik)
 - o 2 (C) = Cukup (50-74% siswa cukup)
 - o 1 (K) = Kurang (<50% siswa kurang)
3. Tulis catatan untuk bukti observasi konkret
4. Virtual Lab yang digunakan: PhET *Photoelectric Effect* / Lab-Maya Kandilifrat

A. AKTIVITAS GURU (Sintaks *Discovery Learning* 5 Fase)

Fase DL	Indikator Aktivitas Guru	Skor (1-4)	Catatan Bukti
Fase 1: Stimulasi (Pemberian Stimulus - 10 menit)			
1a	Menyajikan fenomena autentik (sensor pita video PhET)		
1b	Membuat stimulus visual audio (video efek fotolistrik)		
1c	Mengajak siswa mengamati fenomena tanpa penjelasan		

Fase 3: Data Collection									
Mempersiapkan Virtual Lab mandiri									
Mengisi tabel data akurat									
Mengulang percobaan $\geq 2x$									
Fase 4: Verification									
Menganalisis pola data grafik									
Memverifikasi hipotesis awal									
Fase 5: Generalization									
Merumuskan konsep persamaan									
Kedaki pembelajaran									
Total Kelompok	---	---	---	---	---	---	---	---	84

C. PENGGUNAAN VIRTUAL LABORATORIUM

Indikator	Skor (1-4)	Catatan
Akses platform lancar & cepat		
Mempulsi variabel sesuai instruksi		
Pembacaan data simulasi akurat		
Interpretasi output PolT (grafik KE vs t)		
Total Virtual Lab	/16	

D. INTERAKSI GURU-SISWA & SIKAP

Aspek	% Siswa Aktif	Skor (1-4)	Catatan
Perhatian pada stimulus awal	%		
Inisiatif eksplorasi Virtual Lab	%		
Diskusi kelompok efektif	%		
Kontribusi pada generalisasi	%		
Total Interaksi		/16	

REKAPITULASI SKOR OBSERVASI

Komponen	Skor Maksimal	Skor Diperoleh	Persentase
A. Aktivitas Guru	44		%
B. Aktivitas Siswa (Rata-rata)	34		%
C. Virtual Lab	16		%
D. Interaksi & Sikap	16		%
TOTAL	110		%

Predikat Keterlaksanaan DL + Virtual Lab:

- 90-100% = Sangat Baik (Discovery optimal, konsep dikuasai mandiri)
- 75-89% = Baik (butuh bimbingan tambahan)
- 60-74% = Cukup (terlalu banyak arahan guru)
- <60% = Kurang (modal tidak terakumulasi)

E. CATATAN KUALITATIF & REKOMENDASI

Temuan Positif	Area Perbaikan	Rekomendasi

Bukti Khusus: Discovery Learning + Virtual Lab:

- Stimulus paling efektif:
- Kendala DL:
- Kelompok discovery terbaik:

F. IDENTITAS OBSERVER

Komponen	Isian
Nama Lengkap	_____
NIP/Jabatan	_____
Institusi	_____
Tanda Tangan	_____
Tanggal	_____

EVALUASI KETERAMPILAN PEMECAHAN MASALAH

3.488 orang yang digunakan sebagai protokol dan portok (100 soal yang sama), untuk mengukur keterampilan pemecahan masalah (Indikator Polya: memahami masalah-memencarakan-mencakrakan-memeriksa kembali) pada materi atau topik/tema kelas XII IPA. Soal disusun menantang, kurang dikenal (suara) dan $\Sigma = 50$). Tingkat belajar, kemampuan analisis, suaya, kemahiran matematis, dan penguasaan hasil belajar materi akan ditentukan di kelas. Pada kelas XII.

Pelaksanaan pengujian

- Tiga langkah pemecahan masalah emiter (1) Memahami masalah, (2) Mencaerkan yang dikehendaki, (3) Pemecahan, (4) Uji jawaban hasil + kesimpulan.
- Durasi $t = 6.00 \pm 10^{-1}$ s, $\lambda = 3.00 \pm 10^2$ Hz, dan 1.00 ± 10^{-1} s atau sebaliknya.

Lembar soal

Kategori Analisis Polya (1-4)

Dua gelombang = (Tahap 1 + Tahap 2 + Tahap 3 + Tahap 4) = 14 (Dua Maksimalum setiap soal)

Total tes (4 soal) maksimum 56.

Nilai Akhir = (Dua Tang dipertahab + Dua Maksimalum) = 100

2. Merencanakan strategi	Memilih konsep dan persamaan yang tepat dan langkah (mis. $Z =$ $N \cdot t = N_0 \cdot Z_0^{t/n}$ atau $N^t = P, a \cdot t = Z_0^{t/n}$, $A = a \cdot Z$, dan variabel lain) dan serta menjelaskan urutan langkah, menang dengan runtut.	Persamaan utama tepat dan strategi sudah runtut, namun ada keanginan penyederhanaan kurang Oh ya, tidak menuliskan jarak perhitungan persamaan atau tipe manajemen (umum)	Memilih peralatan persamaan benar tepat/strategi tuning rumus/luring langkah ada langkah yang melompati	Strategi cenderung coba-coba, persamaan/luring tepat, tuning relax, namun memilih ada upaya menulis penyederhanaan.	Tidak ada rencana atau persamaan/strategi yang akurat tidak nalaran sama sekali.
--------------------------------	--	---	--	--	--

8.	Substansi benar, aliter benar, peritungan jumlah benar, ukuran jumlah, untuk soal konseptual, argumen if, persaman logis tanda koreksi efek falsifikasi dan kontradiksi dengan strategi	Langkah penjelasan umumnya benar ada masalah jadi [hitung/pembel- an, satuan minor] tanda tidak menurut struktur soal.	Ada beberapa kesalahan prosedur (sistem), akurasi, k[isi]er[er] kelangka hati-hati mencari, namun alur pengisian mudu bertahap benar	Konsep kesalahan prosedur, hanya adanya hasil langkah yang benar/masih relatif	Tidak ada penjelasan terutama [angka/argumen tidak sesuai konsep atau konsep]
----	---	---	--	---	--

2. Apakah insulasi terjadi?

Formulasi tegangan masuk: $\phi = 2,0 \text{ eV}$. Logam ditembak cahaya dengan panjang gelombang 200 nm. Tentukan apakah terjadi insulasi. Jika tidak, tentukan panjang gelombang minimum agar insulasi terjadi pada logam.

Contoh jawaban

Diketahui	$\phi = 2,0 \text{ eV}$ $\lambda = 200 \text{ nm} = 2 \times 10^{-7} \text{ m}$ $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}$ (atau $h = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$) $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$
Ditanya	(1) Apakah terjadi insulasi? (2) λ_{min} [panjang gelombang minimum]
Dianggap benar	$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{1240}{200} = 6,2 \text{ eV}$
Kaputusan	$E = 6,2 \text{ eV} > \phi = 2,0 \text{ eV} \rightarrow$ tidak terjadi insulasi (insulasi terjadi)
Penjang gelombang minimum	$\lambda_{\text{min}} = \frac{hc}{\phi} = \frac{1240}{2,0} = 620 \text{ nm}$
Cek kevalidan	$\lambda_{\text{min}} < \lambda$ (panjang cahaya 200 nm panjang gelombangnya lebih besar dari minimum \rightarrow energi fotonya lebih kecil) \rightarrow memang tidak cukup untuk melepaskan elektron e^-

Tahap Polya	Skor 4 (Sangat baik)	Skor 3 (Baik)	Skor 2 (Cukup)	Skor 1 (Rendah)	Skor 0 (Tidak ada, bukan tes)
1. Memahami masalah	<p>Menuliskan lingkup d & m ($0 < d < m < 100$) serta l-kompartemen m & n jika perlu, konstanta n_0, dan memahami dua parameter (terjadi/tidak & melenturkan A_1) dengan jelas.</p>	<p>Diketahui d & mnya lengkap lingkup $0 < d < m < 100$ dan kompartemen m & n dengan jelas.</p>	<p>Menuliskan sebagian diketahui, d & mnya $0 < d < m < 100$ dan l-kompartemen m & nnya.</p>	<p>Mengalokasikan sedikit diketahui, d & mnya.</p>	<p>Tidak memula diketahui, d & mnya atau tidak memahami l-kompartemen.</p>

<p>1. Merencanakan strategi)</p>	<p>Mentor persamaan kegal $Z = \frac{1}{2} \cdot 1$ untuk awang) Paten, membandingkan n, \bar{z} vs z, \bar{z} $\bar{z}_1 = \frac{1}{2} \cdot 10$ Mencari untuk langkah dengan rumus (1)</p>	<p>Merencanakan benar dan strategi untuk rumus, namun perbedaan rumus langkah (mis. tidak menyebutkan istilah \bar{z} & z)</p>	<p>Mentor dengan persamaan benar langkah strategi rumus namun tidak ada langkah maksud</p>	<p>Strategi untuk sama, persamaan langkah rumus namun masih mengarah ke persamaan</p>	<p>Tidak ada rencana atau persamaan tidak relevan.</p>
--	--	--	--	---	--

3.	Substansi $h_2 =$	Langkah umumnya	Beberapa	Konsep	Tidak ada
mekanismenya	$1240 \text{ m}^3/\text{hari}$	Senai, ada reaksi	reaksi	reaksi	penyelesaian
penyelesaian	$1 = 100 \text{ m}^3/\text{hari}$	hasil	prosedur	prosedural	bermakna atau
	$2 = 1,62 \text{ m}^3/\text{hari}$	[perkembangan/penemuan]	[konversi]	hanya sebagian	angka tidak terakumulasi
	konsep	[yang tidak masuk]	suksesnya]	hasil langkah	konsep
	perbandingan	struktur awal	salingsaling hasil	yang benar	
	$2 \text{ m}^3/\text{hari} = 100 \text{ m}^3/\text{hari}$		masalah umum		
	terjadi error:		struktur		
	$1_1 = 1240/2 =$		berhasil		
	$620 \text{ m}^3/\text{hari}$ benar				
	salah				
	kesalahan. 2				

4. Numerasi & komunikasi	<p>Melakukan dan menjabarkan cara $I_1 \times I_2 =$ hasil kali dengan tidak salah I_1 dan I_2 menunjukkan kemampuan melakukan operasi $I_1 \times I_2$ karena $I_1 \times I_2$ panjang dan lebar adalah $I_1 \times I_2$ cm.</p>	<p>Ada kemampuan dan upaya dan tingkat belajar tidak sepenuhnya akurat.</p>	<p>Kemampuan ada dengan cukup lengkap (ada lengkap atau kurang).</p>	<p>Memiliki wawasan atau tingkat kemampuan (ada dan tanpa ada).</p>	<p>Tidak ada kemampuan/terasa kurang atau tidak sesuai penerapannya.</p>
--------------------------	---	---	--	---	--

<p>2. Merencanakan strategi</p>	<p>Memilih dan merencanakan strategi/teori dan langkah-langkah yang akan diambil. $Z = X^T$, namun penekanan urutan langkah, kompartemen atau organ sebenarnya lengkap.</p> <p>Ditulis $Z = X^T - 0$ lalu mengkonvert hasil $Z = X^T$ dan X^T ke (jika) urutan langkah di mana saja.</p>	<p>Memilih persamaan utama yang akan (jika) $Z = X^T$ dan menyatak $Z = X^T$, namun penekanan urutan langkah, kompartemen atau organ sebenarnya lengkap.</p>	<p>Strategi ekspansi besar: merencanakan salah satu persamaan (jika) hanya $Z = X^T$ atau hanya $Z = X^T - 0$ tetapi tanpa rencana awal untuk mencapai $Z = X^T$ dalam dua situasi.</p>	<p>Strategi kurung besar: total-cara persamaan yang dipilih tidak sepenuhnya relevan, tetapi masih ada untuk mendapatkan konsep efek langsung.</p>	<p>Tidak ada rencana atau persamaan yang digunakan tidak relevan sama sekali.</p>
---------------------------------	--	--	--	--	---

<p>3. Realisasi dan penyediaan</p>	<p>Memerlukan 2 = 1) dengan benar memerlukan 2 elemen (1) dan diwujudkan melalui sesuatu 1 dan lainnya 1 oleh penyediaan pada menggunakan 2 dengan benar untuk memisahkan 2¹ dan melakukan sesuatu 1 () dengan benar dalam keadaan dan langkah elemen 1 untuk benar</p>	<p>Langkah penyediaan utamanya benar tetapi terdapat 1- 2 kesalahan kecil (gambutan, kesalahan angka- titik, penulisan angka yang tidak mengadun makna kecil esensi signifikan</p>	<p>Benar-benar realisasi prosedur (1) dan salah subesensi nilai, kalma (sangat) dan elemen terwujud tidak benar kurang tepat, tetapi nilai penyediaan masih menunjukkan pemahaman yang cukup</p>	<p>Ketidak-nyataan (prosedur) hanya sebagai hasil langkah yang sesuai, atau hasil akhir sangat jauh dari nilai sebenarnya</p>	<p>Tidak ada petunjuk sebenarnya, atau semua langkah (jika tidak terdapat prosedur yang benar</p>
---	--	---	---	---	--

<p>4. Nomor & ringkasan</p>	<p>Melakukan pengamatan terhadap (tipe) masalah $\Sigma_1^{(n)}$ bernilai positif dan lebih kecil dari energi foton, memerasi orde besaran dalam \square dan melakukan sampling untuk mencari nilai $\Sigma_1^{(n)}$ dalam \square dan \square saja dengan nilai yang benar</p>	<p>Melakukan sampling pada dengan nilai dan semua, tetapi tanpa nilai ke-n seperti itu, tidak dilakukan dengan sangat akurat</p>	<p>Melakukan nilai sum $\Sigma_1^{(n)}$ tetapi tanpa titik yang nilai atau tidak berakurasi bahwa semua (harga \square) atau hanya \square saja tidak ada dan berakurasi</p>	<p>Karya melakukan hasil untuk tipe masalah, melakukan \square dan \square melakukan kurang merajut apa yang diminta (mis. karya 'energi foton' bukan $\Sigma_1^{(n)}$)</p>	<p>Tidak ada sampling terhadap nilai atau melakukan tidak merajut pernyatan</p>
---------------------------------	--	---	---	--	---

<p>\hat{L}</p> <p>Merencanakan strategi</p>	<p>Menentukan strategi terbaik dan layak</p> <p>menghitung energi bebas $\Delta G = \Delta H^\circ_f$</p> <p>membandingkan dengan 0</p> <p>menentukan energi standar molal untuk $\Delta G_f^{\circ} = \Delta H^\circ_f - TS^\circ$</p> <p>memulai</p> <p>menggunakan turunan $\partial G / \partial x_i = \Delta G_f^{\circ}$ untuk mencari x_i serta merencanakan kembali seluruh nilai perlu ($\partial G / \partial x_i = 0$)</p>	<p>Menentukan persamaan utama yang benar</p> <p>(misalnya $\Delta G_f^{\circ} = \Delta H^\circ_f - TS^\circ$ dan $\Delta G_f^{\circ} = \Delta G_f^{\circ}$) dan</p> <p>mengukur $\Delta G = \Delta H^\circ_f$</p> <p>memulai uraian</p> <p>langkah, koefisien dan konstanta</p> <p>secara lengkap.</p>	<p>Strategi menerima</p> <p>dan menentukan salah satu</p> <p>persamaan (mis. $\Delta G = \Delta H^\circ_f$ atau $\Delta G = \Delta H^\circ_f - TS^\circ$) yang</p> <p>menunjukkan alat</p> <p>kepada data T_f</p>	<p>Strategi</p> <p>dan dengan cara-cara persamaan yang dipilih telah digunakan secara sistematis</p> <p>relatif, tetapi</p> <p>masih banyak</p> <p>berusaha</p> <p>menggunakan</p> <p>langkah lain</p> <p>keseluruhan.</p>	<p>Tidak ada rencana yang jelas, atau persamaan yang digunakan sama sekali tidak relevan dengan aljabar formal, prosedur yang</p>
--	--	---	--	--	---

3.	Metode	Langkah	Beberapa	Kerangka	Tipe data
realisasi dan penyelesaian	perhitungan $Z = \frac{t^*}{\sigma}$ dengan cara menyelesaikan dalam α' atau β dengan cara menghitung β_{α}^{min} atau α_{β}^{min} dengan tabel bantuan menghitung $t^* = \frac{Z_{\alpha}^{min}}{\sigma}$ atau secara manual dan tujuan komputer tertera di pendiri nilai t^* yang valid (yaitu dan kerangka valid)	penyelesaian secara manual karena memang ada $1 - \beta$ kasalahan kecil (ambiguitas) keakuratan angka minor penurunan akurat yang tidak memadai maka hasil secara signifikan	kerangka prosedur (misalnya manual, atau kerangka α' atau β manual) sehingga hasil lebih akurat tetapi sangat sulit perhitungan manual menunjukkan parameter yang cukup	kerangka kerangka prosedur hanya sedikit langkah yang benar manual lebih cepat dari manual lainnya	perhitungan kerangka langkah-langkah yang dibuat tidak sesuai prosedur perhitungan t^*

<p>4. Numerik & menyimpulkan</p>	<p>Menentukan pergerakan tersebut adalah akumulasi memeriksa bahwa if n > 0 sehingga i, pilih point memeriksa orde besar dari i, kemudian memulai keimpulan yang lengkap dan jelas menyebutkan i, dengan satuan nilai dan menyatakan bahwa nilai tersebut masuk ke (tidak masuk)</p>	<p>Menentukan keimpulan dari sebuah nilai i, dengan satuan, dan ada upaya untuk ringkas mantri tidak dilakukan detail.</p>	<p>Menentukan nilai i, tetapi tanpa satuan yang jelas atau tanpa kemampuan menganalisis keputusan, hanya i, keimpulan sangat terbatas.</p>	<p>Kalau menentukan angka berapa kalimat keimpulan yang jelas, atau keimpulan tidak jelas untuk mendeskripsikan perhitungan awal jika tidak menyebut bahwa menjadi i(i).</p>	<p>Tidak ada keimpulan, terdapat ada, atau keimpulan sama sangat tidak menarik pernyataan tentang i.</p>
--------------------------------------	---	--	--	--	--

E. Tanggah Bertindak reaktif (pasifitas belajar)

Dalam keadaan, Beliaulahanya aktif tetap di atas airnya. Intimidasi sebagai ancaman 2 kali lebih. Tindakan (tanggap atau tidak) apa yang terjadi pada: (1) jumlah frekuensi atau frekuensi, (2) energi tingkat maksimum, dan (3) potensial basal.

Tingkat Daya	Daya 4 (Sangat baik)	Daya 2 (Baik)	Daya 2 (Cukup)	Daya 1 (Kurang)	Daya 0 (Tidak ada atau tidak)
1. Menerima masalah	<p>Memahami dengan jelas bahwa frekuensi cahaya yang ada dan ada di atas permukaan airnya. Lebih dari yang di bawah adalah yang sudah pada air, jumlah frekuensi yang akan maksimum dan potensial basal.</p> <p>Kepuasan belajar ini akan sangat baik (baik).</p>	<p>Memahami dengan jelas bahwa frekuensi cahaya yang ada di atas airnya. Lebih dari yang sudah pada air, jumlah frekuensi akan basal yang maksimum tidak memuaskan karena frekuensi yang ada.</p>	<p>Memahami dengan jelas bahwa frekuensi cahaya yang ada di atas airnya. Lebih dari yang sudah pada air, jumlah frekuensi akan basal yang maksimum tidak memuaskan karena frekuensi yang ada.</p>	<p>Memahami dengan jelas bahwa frekuensi cahaya yang ada di atas airnya. Lebih dari yang sudah pada air, jumlah frekuensi akan basal yang maksimum tidak memuaskan karena frekuensi yang ada.</p>	<p>Tidak memahami dengan jelas bahwa frekuensi cahaya yang ada di atas airnya. Lebih dari yang di bawah adalah yang sudah pada air, jumlah frekuensi akan basal yang maksimum tidak memuaskan karena frekuensi yang ada.</p>

2. Menentukan energi)	Menentukan secara eksplisit bahwa energi dari E_{total} ditransfer oleh foton (jumlah intensitas, waktu, intensitas) memengaruhi jumlah foton per satuan waktu dan luasnya memengaruhi jumlah foton. Menentukan untuk memisahkan (a), (b), (c) berdasarkan hubungan energi tersebut.	Mengemukakan ide fundamental tentang hubungan dengan jumlah foton, frekuensi, dan foton. Menentukan energi foton, namun tidak memuliskan rumus yang untuk mengaitkannya dengan hasil persamaan (a-d).	Strategi jawaban benar. Menanya tanya mengenai bahwa foton akan memuliskan energi foton yang lebih memisahkan secara eksplisit ke foton dan luas atau sebaliknya.	Strategi main konsep, coba saja, menggunakan bahasa lebih benar (foton energi, foton tidak memengaruhi hubungan yang akan antara konsep dan bagian (a-4).	Tidak ada strategi konseptual yang lengkap, atau penjelasan mengenai pada konsep yang salah (foton, intensitas, memisahkan energi foton?).
-----------------------------	---	---	---	---	--

3.	Menentukan penyusutan	Menentukan dengan cara tulis (a) awal, (b) awal, (c) awal, (d) awal, (e) awal, (f) awal, (g) awal, (h) awal, (i) awal, (j) awal, (k) awal, (l) awal, (m) awal, (n) awal, (o) awal, (p) awal, (q) awal, (r) awal, (s) awal, (t) awal, (u) awal, (v) awal, (w) awal, (x) awal, (y) awal, (z) awal.	Menentukan dengan cara tulis (a) awal, (b) awal, (c) awal, (d) awal, (e) awal, (f) awal, (g) awal, (h) awal, (i) awal, (j) awal, (k) awal, (l) awal, (m) awal, (n) awal, (o) awal, (p) awal, (q) awal, (r) awal, (s) awal, (t) awal, (u) awal, (v) awal, (w) awal, (x) awal, (y) awal, (z) awal.	Menentukan dengan cara tulis (a) awal, (b) awal, (c) awal, (d) awal, (e) awal, (f) awal, (g) awal, (h) awal, (i) awal, (j) awal, (k) awal, (l) awal, (m) awal, (n) awal, (o) awal, (p) awal, (q) awal, (r) awal, (s) awal, (t) awal, (u) awal, (v) awal, (w) awal, (x) awal, (y) awal, (z) awal.	Menentukan dengan cara tulis (a) awal, (b) awal, (c) awal, (d) awal, (e) awal, (f) awal, (g) awal, (h) awal, (i) awal, (j) awal, (k) awal, (l) awal, (m) awal, (n) awal, (o) awal, (p) awal, (q) awal, (r) awal, (s) awal, (t) awal, (u) awal, (v) awal, (w) awal, (x) awal, (y) awal, (z) awal.
----	-----------------------	--	--	--	--

<p>4. Memeriksa & mengimpikan</p>	<p>Mengimpikan dengan baik sebagai diri dalam satu lingkungan. "Kalau frekuensi setiap di atas akan bergula intensitas di dalam, itu di dalam itu elektron mendapat dengan energi kecil, maka itu dan penerima hasil setiap" Menunjukkan kesesuaian dengan prinsip atau tindakan (frekuensi mengatur energi, intensitas mengatur jumlah)</p>	<p>Menurut keinginan yang menyebarkan ke arah (m-1) namun tanpa manajemen, kontrol akan trik akan tanpa menghubungkan secara efektif ke prinsip frekuensi energi.</p>	<p>Menurut kemampuan sebagai apa (melakukan hanya menyebarkan ke arah) tanpa mengatur seluruh permintaan itu, itu keimpian itu dan itu untuk dengan tindakan yang unik.</p>	<p>Kerucut (mengulang) sebagai (jumlah tanpa bentuk) keinginan yang jelas itu, tidak menunjukkan upaya mengasah kemampuan dengan (tugas)</p>	<p>Tidak ada keimpian, tidak ada aksi, atau pernyataan akan (jika tidak sesuai dengan konsep akan frekuensi)</p>
---------------------------------------	--	---	---	--	--

Detunjuk pengerjaan Pretest-Posttest

- Kerjakan soal nomor 1-10 secara urut dan tuliskan jawaban pada lembar jawaban yang disediakan.
- Untuk setiap nomor, tuliskan langkah jawaban dengan format wajib:
 - Diketahui (tuliskan besaran, simbol, dan satuan)
 - Ditanya
 - Strategi/Rumus yang digunakan (sertakan slavan singkat memilih rumus)
 - Penyelesaian/Perhitungan (tuliskan substitusi angka, proses hitung, dan satuan)
 - Cek & Kesimpulan (cek kerjanya: tanda positif/negatif, orde besaran, syarat akhir, lalu simpulkan sesuai pertanyaan).
- Gambarkan konsep utama efek fotolistrik sesuai kebutuhan soal:
 Energi foton: $E = hf$ atau $E = \frac{hc}{\lambda}$
 Syarat antri: $hf \geq \phi$
 Persamaan Einstein: $E_{kmax} = hf - \phi$
 Potensial henti: $eV_s = E_{kmax}$
- Jika Anda memperoleh $E_{kmax} < 0$ atau $V_s < 0$, jelaskan maknanya (biasanya berarti tidak terjadi antri karena frekuensi belum melewati ambang).
- Perhatikan satuan: $nm \rightarrow m$, $eV \rightarrow J$ (jika diminta dalam joule), dan tuliskan satuan pada hasil akhir.
- Untuk soal uraian konsep (mis. nomor 3, 8, 9, 10), jawablah dengan slavan fisika yang jelas (gunakan istilah: foton, energi kerja, frekuensi ambang, intensitas, arus fotolistrik).
- Tunjukkan cara berpikir Anda. Jawaban akhir tanpa langkah dapat mengurangi nilai.
- Gambarkan $h = 6.63 \times 10^{-34}$ J.s, $c = 3.00 \times 10^8$ m/s, dan $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19}$ J bila diperlukan.

Jawablah Soal-Soal dibawah ini dengan baik dan benar !!!!

- Suatu logam memiliki fungsi kerja $\phi = 2,2 \text{ eV}$. Tentukan frekuensi ambang f_0 dan panjang gelombang ambang λ_0 . Jelaskan makna fisik "ambang" pada efek fotolistrik.
- Pernahkan logam memiliki $\phi = 3,0 \text{ eV}$. Logam disinari cahaya dengan panjang gelombang 500 nm. Tentukan apakah terjadi antri fotoelektron. Jika tidak, tentukan panjang gelombang maksimum agar fotoelektron tepat antri terlepas.
- Sebuah katoda memiliki $\phi = 2,0 \text{ eV}$ dan disinari cahaya berfrekuensi $8,0 \times 10^{14}$ Hz. Hitung energi kinetik maksimum fotoelektron yang keluar (dalam eV dan joule).
- Pada percobaan efek fotolistrik, logam dengan $\phi = 2,3 \text{ eV}$ disinari cahaya berfrekuensi $1,0 \times 10^{15}$ Hz. Hitung potensial henti V_s yang diperlukan agar arus fotolistrik menjadi nol. Lakukan pengacakan: apakah V_s masuk akal (tidak negatif).
- Dalam percobaan, frekuensi cahaya dibuat tetap di atas ambang. Intensitas cahaya dinaikkan 3 kali lipat. Jelaskan (dengan slavan fisika) apa yang terjadi pada: (a) jumlah fotoelektron/arus fotolistrik, (b) energi kinetik maksimum, dan (c) potensial henti.

Fundus penskoran

Berikut panduan penskoran untuk *Angket Self-Efficacy* dengan pilihan jawaban SS, S, R, TS, STS serta pernyataan pernyataan positif/negatif yang sudah tercantum di instrumen.

1. Skor per butir (Skala Likert 5)

Gunakan penskoran 1-5, dengan status dibalik untuk pernyataan negatif

A. Pernyataan positif (favorable)

- SS = 5
- S = 4
- R = 3
- TS = 2
- STS = 1

B. Pernyataan negatif (unfavorable)

- SS = 1
- S = 2
- R = 3
- TS = 4
- STS = 5

2. Kunci butir positif dan negatif

Gunakan tabel "Indikator dan nomor soal" pada instrumen sebagai kunci pembalikan skor

Butir positif: 1, 2, 7, 17, 9, 12, 8, 13, 16, 19, 21, 23, 25, 27, 29, 31, 33, 35, 38, 37, 44, 45, 42, 43, 46

Butir negatif: 3, 4, 5, 10, 11, 14, 6, 15, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30, 32, 34, 36, 40, 39, 41, 39, 47, 41, 48

3. Cara menghitung skor responden

- 1) Beri skor tiap nomor 1-50 sesuai status pada Bagian (1), lalu balik skor untuk nomor yang termasuk negatif.
- 2) Jumlahkan seluruh skor butir untuk memperoleh Skor Total Self-Efficacy.
- 3) (Optional) Hitung skor per aspek (Magnitude, Strength, Generality) dengan menjumlahkan butir yang masuk aspek tersebut sesuai instrumen.

4. Rentang skor (untuk interpretasi)

Instrumen berisi 50 butir dengan skor 1-5, sehingga:

- Skor minimum = $50 \times 1 = 50$
- Skor maksimum = $50 \times 5 = 250$

5. Konversi ke persentase (optional)

Jika dalam bentuk persentase:

Persentase = (Skor Total ÷ 110) × 100%

INDIKATOR DAN NOMOR SOAL TES *SELF EFFICACY*

Aspek <i>Self Efficacy</i>	Indikator	No Soal	
		Pernyataan positif (+)	Pernyataan Negatif (-)
Mapehade	1. Tingkat penyelesaian tugas	1,2,7	3,4,5
	2. Tingkat kesulitan tugas	17,9,12	10,11,14
	3. Optimis menghadapi tugas	8,13,16	6,15,18
Dinamik	4. Gigit dalam belajar	19,21, 23	20,22, 24
	5. Gigit dalam mengerjakan tugas	25,27,29	26,28,30
	6. Komitmen dalam mencapai tujuan	31,33,33	32,34,36
Generalis	7. Penguasaan tugas-tugas yang diberikan	38	40
	8. Penguasaan materi-materi pembelajaran	37,44,43	39,41,50
	9. Cara mengatur waktu	42,45,46	47,48,49

ANGKET SELF EFFICACY

Instruksi Pengisian

1. Tuliskan nama lengkap, kelas, sekolah terlebih dahulu.
2. Bacalah pernyataan di bawah ini dengan cermat dan pilih sesuai dengan keadaan yang sebenarnya.
3. Berilah tanda centang (✓) pada kolom jawaban yang sudah disediakan.

Keterangan

SS: Sangat Setuju, S: Setuju, R: Ragu-Ragu, TS: Tidak Setuju dan STS: Sangat Tidak Setuju

Nama :
Kelas :
Sekolah :

Aspek	No Soal	Pernyataan	Pilihan Jawaban				
			SS	S	R	TS	STS
Mapeknada	1	Saya akan tetap mengerjakan soal tes walaupun soal tersebut sulit					
	2	Semakin sering saya berusaha menyelesaikan tugas-tugas yang sulit, semakin saya terlatih untuk menyelesaikannya sehingga saya yakin meraih Kesuksesan					
	3	Saya merasa sudah menyerah bila menjangkau soal-soal Fisika yang sulit karena soal yang sulit membuat saya malas untuk dapat mengerjakannya					
	4	Saya tidak menyelesaikan tugas yang sulit					
	5	Saya pusing ketika menghadapi soal yang sulit					
	6	Saya merasa bingung mengerjakan soal yang sulit					
	7	Saya dapat mengerjakan tugas yang sulit secara Mandiri					
	8	Saya dapat menyelesaikan tugas yang sulit jika saya berusaha keras					
	9	Saya kurang bersemangat untuk mengerjakan soal yang terlalu mudah					

Aspek	No Soal	Pernyataan	Pilihan Jawaban					
			SS	S	R	TS	STS	
	10	Seandainya sulit soal ulangan yang saya terima, semakin membuat saya bingung						
	11	Saya akan memilih mengerjakan soal yang mudah daripada soal yang sulit						
	12	Saya yakin dapat mengerjakan soal Fisika yang sulit sampai selesai						
	13	Saya dapat menyelesaikan soal yang sulit walaupun ada yang salah						
	14	Saya ragu bisa mendapatkan nilai Fisika yang bagus karena soal ulangan sangat sulit						
	15	Saya kebal saat menyelesaikan soal yang sulit						
	16	Saya yakin mendapatkan nilai Fisika yang bagus dalam ulangan walaupun soal ulangan tersebut sulit						
	17	Saya merasa tertantang saat mengerjakan soal yang sulit						
	18	Saya tidak menyelesaikan semua soal ulangan Fisika karena ada yang tidak bisa						
	Jawab	19	Saya akan selalu belajar setiap malam					
		20	Saya merasa hanya belajar ketika akan ulangan Fisika					
		21	Setelah pulang sekolah, saya akan membaca kembali materi yang diajarkan guru di sekolah					
		22	Saya malas belajar jika tidak ada PR Fisika					
		23	Saya bisa tetap tenang ketika menghadapi tugas yang sulit karena saya yakin dengan kemampuan saya					
		24	Saya merasa menyerah dalam belajar ketika					

Aspek	No Soal	Pernyataan	Pilihan Jawaban				
			SS	S	R	TS	STS
		mendapatkan nilai yang jelek					
	25	Saya dapat menyelesaikan tugas diskusi walaupun ada perbedaan pendapat					
	26	Saya menyelesaikan soal latihan Fisika jika diajari guru					
	27	Saya akan tetap menyelesaikan soal latihan Fisika walaupun tidak diajari guru					
	28	Saya akan berhenti mengerjakan soal Fisika yang tidak bisa dikerjakan					
	29	Saya bertanya kepada guru jika belum paham					
	30	Saya belum mengerjakan tugas dari guru					
	31	Saya akan tetap belajar sebelum mengerjakan soal rumah					
	32	Saya merasa tidak yakin menjadi juara kelas					
	33	Saya akan tetap rajin belajar walaupun pernah mendapatkan nilai jelek					
	34	Saya merasa takut jika mendapatkan nilai di bawah KKM					
	35	Saya akan tetap fokus belajar walaupun tidak ada guru					
	36	Saya hanya belajar ketika ada tugas					
Generality	37	Saya yakin menguasai semua materi yang diajarkan guru					
	38	Saya dapat memahami tugas dari guru					
	39	Saya merasa sulit dalam menghafal materi pelajaran					
	40	Saya merasa malas mengerjakan tugas yang sulit dari guru					

Aspek	No Soal	Pernyataan	Pilihan Jawaban				
			SS	S	R	TS	STS
	41	Saya bingung jika mendapatkan materi yang sulit dimengerti					
	42	Saya akan melakukan jadwal belajar dengan teratur					
	43	Saya yakin dapat memperoleh nilai yang bagus					
	44	Saya yakin bisa tanya jawab mengenai materi Fisika yang diajarkan guru					
	45	Saya akan tetap belajar walaupun libur sekolah					
	46	Saya membuat catatan tentang kegiatan yang akan dilakukan setiap hari					
	47	Saya selalu mengerjakan tugas					
	48	Saya belajar jika sedang tidak malas saja					
	49	Saya dinggalkan orang tua dalam hal belajar					
	50	Saya memperlakukan masalah dari guru saat mengerjakan soal					

(Sumber: Firdausi et al, 2020; Bandura, 2000)

Real Estate Broker License Exam

Question	Answer	Question	Answer	Question	Answer	Question	Answer
1	A	11	B	21	C	31	D
2	B	12	A	22	D	32	A
3	C	13	C	23	A	33	B
4	D	14	D	24	B	34	C
5	A	15	A	25	C	35	D
6	B	16	B	26	D	36	A
7	C	17	C	27	A	37	B
8	D	18	D	28	B	38	C
9	A	19	A	29	C	39	D
10	B	20	B	30	D	40	A

LAMPIRAN
FOTO KEGIATAN PENELITIAN

1. Kelas 12.1 PBL



Gambar 1. Pelaksanaan Pre-Test



Gambar 2. Pelaksanaan Pembelajaran Pertemuan ke-1



Gambar 3. Pelaksanaan Pembelajaran Pertemuan ke-2



Gambar 4. Pelaksanaan Pembelajaran Pertemuan ke-2



Gambar 5. Pelaksanaan *Peer-Teach*

1. Kelas 11.2 *Discovery Learning*



Gambar 6. Pelaksanaan *Peer-Teach*



Gambar 7. Pelaksanaan Pembelajaran



Gambar 8. Pelaksanaan Pembelajaran



Gambar 9. Pelaksanaan Post-Test

3. Kelas Konvensional



Gambar 10. Pelaksanaan Post-Test



Gambar 11. Pelaksanaan Pembelajaran



Gambar 12. Pelaksanaan Pembelajaran ke-2 dan *Post-Test*

MPair Tests

Note:

Output Created		11/12/2025 20:45:43
Comments		
Input	Data	Q:\Instructions F:\NCU\114M\Unlabeled 19 Kruskal-Wallis.sav
	Active Dataset	Unlabeled1
	Filter	None*
	Weight	None*
	Split File	None*
	N of Rows in Working Data File	104
Missing Value Handling	Definition of Missing	List-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics for each test are based on all cases with valid data for the variable(s) used in that test.
Sort		None (SORT) N=Variable BY Name(1-3) ASCENDING alpha.NAME
Resources	Processor Time	00:00:00.02
	Elapsed Time	00:00:00.07
	Number of Cases Allowed ^a	40299

a. Based on availability of workspace memory.

Kruskal-Wallis Test

Ranks

	Rank	N	Mean Rank
Site	Rank 192, Berhambun Unlabeled	30	63.50
	Rank 33, Berhambun Unlabeled	30	66.73
	Rank 44, (Kruskal-Wallis)	33	25.44
Total		104	

Test Statistics^{a,b}

	Total
Observed Statistic	30.141
df	2
Asymptotic Sig.	<.001

a. Pearson Chi-Square Test

b. Grouping Variable:
None

Nonparametric Tests

Notes

Output Created	11/15/2025 20:35:18	
Contents		
Root	Data	Q1 Statistics Frequencies DATA PASL FREQUENCY of Value 1 0 Kruskal-Wallis test
	Active Dataset	DataSet1
	File	None*
	Weight	None*
	Split File	None*
	N of Missing in Working Data File	104
System	NPTESTS INDEPENDENT TESTS (N=) GROUP (N=) (N=) KRUSKAL WALLIS (COMFREQ=) (N=) (N=) .SIZES=) SCORING=ANALYSIS LOSS=MISSING=ALL=0 SCORING=ALL=0.25 CLEVEL=95	
Processor	Processor Time	00:00:01.84
	Elapsed Time	00:00:01.62

Hypothesis Test Summary

	Null Hypothesis	Test	Sig. ^{a,b}
1	The distribution of total is the same across categories of notes	Independent-Samples Kruskal-Wallis Test	< .001

Hypothesis Test Summary

	Decision
1	Reject the null hypothesis.

a. The significance level is .050.

b. Asymptotic significance is displayed.

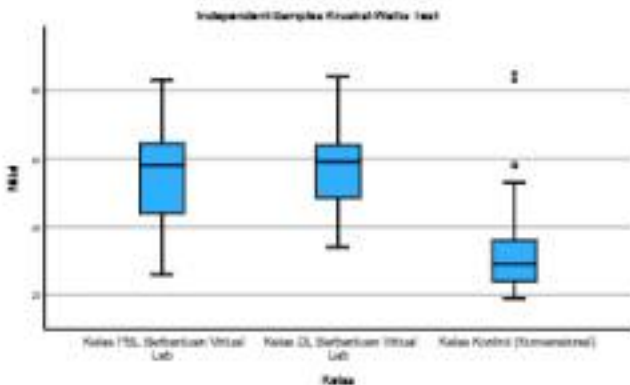
Independent-Samples Kruskal-Wallis Test

Null versus Alternative

Independent-Samples Kruskal-Wallis Test Summary

Total N	134
Test Statistic	33.741 ^a
Degrees of Freedom	2
Asymptotic Sig. (2-sided test)	<.001

a. The test statistic is adjusted for ties.



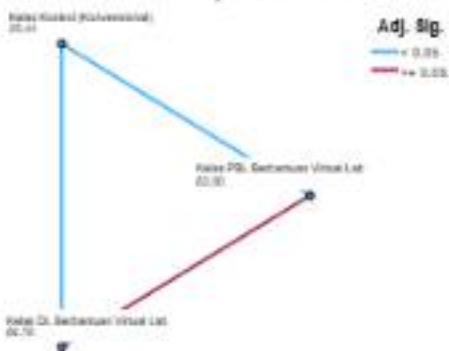
Pairwise Comparisons of Kelas

Sample 1-Sample 2	Test Statistic	DF	Std. Test Statistic	Sig.	Adj. Sig. ^a
Kelas Kuning (Komersial) -Kelas PG, Berbahasa Visual Lab	34.361	7.288	5.238	<.001	.000
Kelas Kuning (Komersial) -Kelas DL, Berbahasa Visual Lab	41.281	7.313	5.840	<.001	.000
Kelas PG, Berbahasa Visual Lab-Kelas DL, Berbahasa Visual Lab	-0.200	1.157	-.447	.655	1.000

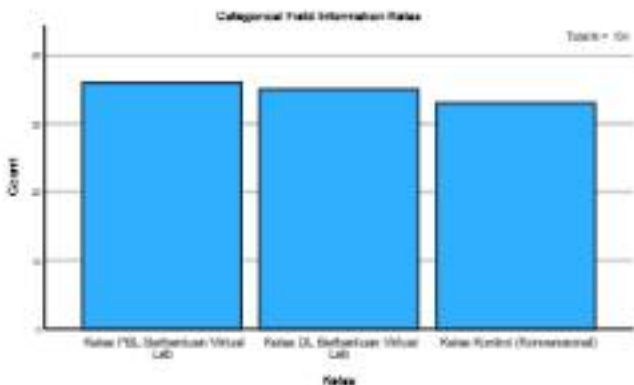
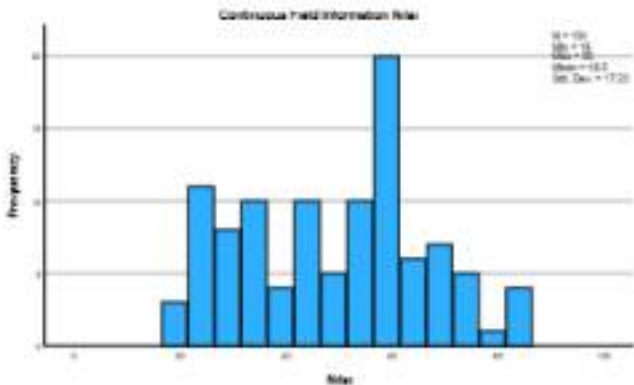
Each row tests the null hypothesis that the Sample 1 and Sample 2 distributions are the same. Anytable significance (2-tailed tests) are displayed. The significance level is .050.

a. Significance values have been adjusted by the Bonferroni correction for multiple tests.

Pairwise Comparisons of Kelas



Each line shows the sample average rank of Kelas.



Warning # ET. Command pane: Get row

File document is already in use by another user or process. If you make changes to the document they may overwrite changes made by others or your

options may be restricted by others.

only opened if users have appropriate permissions and data restrictions.

NPar Tests

Notes

Output Created		13-FEB-2025 22:30:08
Comments		
Test	Date	Q1=Median P=Median(Q1+IQR), P=Median(Q1+IQR)+1-IQ Kruskal-Wallis (3-Sided) Test
	Active (Default)	Default
	Filter	None
	Weight	None
	Split File	None
	N of Rows in Working Data File	104
Missing Value Handling	Definition of Missing	User-defined missing values are treated as missing.
	Cases Used	Statistics for each test are based on all cases with valid data for the variable (x) used in that test.
Display		NO P-VALUE NONPARAMETRIC TESTS MIDRANGE ANALYSIS
Processing	Processing Time	00:00:00.02
	Elapsed Time	00:00:00.07
	Number of Cases Deleted ^a	40293

^a Based on availability of workspace memory.

Kruskal-Wallis Test

Ranks

	Rank	N	Mean Rank
None (3-Sided)	None (3-Sided, Default) (None)	38	50.26
	None (3-Sided, Default) (None)	33	54.55
	None (3-Sided, Default) (None)	33	50.26
	Total	104	

Test Statistics^{a,b}

Total Likelihood Ratio

Kruskal-Wallis H	2.16
df	2
Significance (Sig.)	.342

a. Kruskal-Wallis Test

b. Grouping Variable: force



Nomer : 046/01.01/013-AU/C/2020
 Lampiran : 1 Berkas
 Hal : Permohonan Izin Penelitian

Kepada Yth. Kepala Sekolah SMAN 2 Muara Beliti
 Di
 Muara Beliti-Musi Rawas

Assalamualaikum Wr. Wb

Terhug salam semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua dalam beraktivitas.

Dalam rangka memperoleh data penelitian untuk penyusunan tesis, maka melalui surat ini kami sampaikan permohonan kepada Bapak/Ibu agar dapat memberikan izin penelitian mahasiswa kami sebagai berikut:

Nama : Sowero
 NPM : 2186113032
 Prodi : Magister Pedagogi
 Fakultas : KEP

Untuk melakukan penelitian dengan judul yaitu:

"Pengaruh PBL dan Discovery Learning Berbantuan Virtual Laboratorium Terhadap Peningkatan Keterampilan Pemecahan Masalah Serta Efikasi Diri Siswa Di SMAN 2 Muara Beliti"

Adapun kegiatan penelitian ini akan dilaksanakan sebagai berikut:

Tempat Penelitian : SMAN 2 Muara Beliti
 Objek Penelitian : Siswa
 Lama Penelitian : ± 2 bulan

Sebagai bahan pertimbangan Bapak/Ibu Izin Kami lampirkan proposal tesis mahasiswa yang telah diuraikan oleh dosen pembimbing.

Demikianlah surat permohonan ini kami sampaikan. Atas bantuan dan kerjasamanya yang baik kami ucapkan terimakasih.

Bengkulu, 15 Januari 2020

Di Depan
 Kepala Sekolah

 Dr. Tami Hidayat, M.Pd
 NIK.1501089541



PEMERINTAH PROVINSI SUMATERA SELATAN
DINAS PENDIDIKAN
SMA NEGERI 2 MUARA BELITI
SEKOLAH RUJUKAN



TERAKREDITASI A, No. Sertifikat: 16.23.00101
NPS : 30111041034, NPSN : 10643008

Jalan : B. Jalan Sumatera SMA Negeri 2 Muara Beliti, Muara Beliti, Kabupaten Muara Beliti, Sumatera Selatan 30111

SURAT KETERANGAN PENELITIAN

NOMOR: 001/119/SMA/2026/02/02/2026

Yang bertanda tangan di bawah ini, Kepala SMA Negeri 2 Muara Beliti, dengan ini menerangkan bahwa:

Nama : SUWARNO
NIM : 230119022
Program Studi : Magister Pedagogi
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Bengkulu

telah selesai melaksanakan penelitian di SMA Negeri 2 Muara Beliti dalam rangka penyusunan tesis dengan judul:

"PBL dan Discovery Learning Berbantuan Virtual Laboratorium terhadap Peningkatan Keterampilan Pemecahan Masalah dan Efikasi Diri Siswa di SMA Negeri 2 Muara Beliti"

Kegiatan penelitian tersebut telah dilaksanakan pada tanggal 15 Januari 2026 sampai dengan 25 Februari 2026. Selama melaksanakan penelitian, yang bersangkutan telah mematuhi peraturan yang berlaku di sekolah dan mengambil data dengan penuh tanggung jawab.

Oleh karena surat keterangan ini dibuat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Muara Beliti, 25 Februari 2026

Kepala SMA Negeri 2 Muara Beliti,



YASRUDAYA, S.Pd., M.Pd.
NIP. 19691028 199703 1 004