

Peningkatan Literasi Lingkungan dan Keterampilan Pengelolaan Limbah Elektronik melalui Workshop 3R Berbasis Hands-on Learning di SMA Negeri 65 Jakarta Barat

Tasdik Darmana¹, Syarif Hidayat², Ridha Yasser³

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan. Institut Teknologi PLN. Jl. Duri Cengkareng Raya, RT.1/RW.1, Duri Kosambi, Kecamatan Cengkareng, Kota Jakarta Barat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 11750
Email: tasdik.darmana@itpln.ac.id

Peningkatan penggunaan perangkat elektronik di kalangan pelajar telah berkontribusi terhadap bertambahnya volume limbah elektronik (e-waste) yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan baik. Rendahnya pemahaman mengenai pengelolaan limbah elektronik dan minimnya keterampilan pemeliharaan perangkat menjadi tantangan dalam mendukung transisi energi bersih dan pembangunan berkelanjutan. Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini bertujuan meningkatkan literasi lingkungan, pengetahuan, dan keterampilan siswa SMA Negeri 65 Kebon Jeruk, Jakarta Barat, dalam pengelolaan limbah elektronik berbasis prinsip Reduce, Reuse, dan Recycle (3R). Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan edukatif, partisipatif, dan aplikatif melalui tahapan survei awal, sosialisasi, workshop praktik pengelolaan limbah lampu LED, pendampingan oleh mahasiswa, serta evaluasi dan refleksi kegiatan. Materi yang diberikan mencakup dampak limbah elektronik terhadap lingkungan, perubahan iklim, pemeliharaan perangkat elektronik, serta pemanfaatan kembali komponen elektronik yang masih layak digunakan. Hasil kegiatan menunjukkan adanya peningkatan pemahaman dan kesadaran siswa terhadap pentingnya pengelolaan limbah elektronik. Pendekatan hands-on learning terbukti efektif dalam meningkatkan partisipasi peserta, keterampilan dasar pengelolaan e-waste, serta membentuk sikap peduli lingkungan. Program ini berpotensi menjadi model edukasi berkelanjutan dalam mendukung pengurangan limbah elektronik dan transisi menuju lingkungan yang lebih bersih dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: Limbah Elektronik, E-Waste, Transisi Energi Bersih, 3R, Literasi Lingkungan

This is an open access article under the [CC BY-NC](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) license



Korespondensi:

Tasdik Darmana

Program Studi S1 Teknik Elektro, Fakultas Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan. Institut Teknologi PLN.

Jl. Duri Cengkareng Raya, RT.1/RW.1, Duri Kosambi, Kecamatan Cengkareng, Kota Jakarta Barat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 11750

tasdik.darmana@itpln.ac.id

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi digital dalam dua dekade terakhir telah mengubah pola konsumsi masyarakat terhadap perangkat elektronik. Laptop, telepon pintar (*smartphone*), tablet, dan berbagai perangkat digital lainnya kini menjadi bagian penting dalam aktivitas sehari-hari, termasuk dalam proses pembelajaran di tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA). Meningkatnya penggunaan perangkat elektronik memberikan dampak positif terhadap akses informasi dan kualitas pembelajaran, namun di sisi lain juga menyebabkan peningkatan volume limbah elektronik (*electronic waste* atau *e-waste*) yang menjadi salah satu tantangan utama dalam pembangunan berkelanjutan.

Berdasarkan laporan *Global E-Waste Monitor 2020*, dunia menghasilkan sekitar 53,6 juta metrik ton limbah elektronik pada tahun 2019 dan diproyeksikan meningkat menjadi 74,7 juta metrik ton pada tahun 2030 [1]. Indonesia menjadi salah satu penyumbang limbah elektronik terbesar di Asia dengan produksi sekitar 1,6 juta ton per tahun. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan limbah elektronik menjadi isu

Peningkatan Literasi Lingkungan dan Keterampilan Pengelolaan Limbah Elektronik melalui Workshop 3R Berbasis Hands-on Learning di SMA Negeri 65 Jakarta Barat. Tasdik Darmana et.al

yang semakin penting, terutama karena sebagian besar perangkat elektronik mengandung bahan berbahaya seperti timbal, merkuri, dan kadmium yang berpotensi mencemari lingkungan apabila tidak dikelola secara tepat.



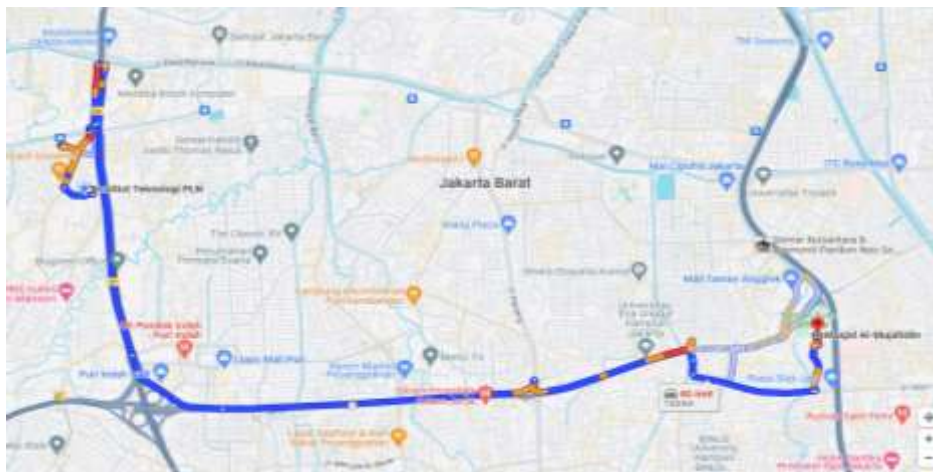
Gambar 1. Ilustrasi E-Waste

Selain persoalan pengelolaan limbah, rendahnya literasi digital ekologis (eco-digital literacy) juga menjadi tantangan di kalangan pelajar. Setiawan et al. [2] menjelaskan bahwa kurangnya edukasi mengenai dampak limbah elektronik menyebabkan rendahnya kesadaran siswa terhadap pentingnya memperpanjang umur pakai perangkat elektronik serta melakukan pengelolaan e-waste secara bertanggung jawab. Akibatnya, banyak perangkat elektronik yang sebenarnya masih dapat diperbaiki atau digunakan kembali justru dibuang tanpa melalui proses pengelolaan yang sesuai.

Upaya mengurangi timbulan e-waste tidak hanya dilakukan melalui proses daur ulang, tetapi juga melalui peningkatan umur pakai perangkat elektronik. Baldé et al. [3] menyatakan bahwa masa pakai perangkat elektronik dapat diperpanjang hingga 20–30% melalui perawatan rutin, penggunaan yang bijaksana, dan pemeliharaan sederhana. Oleh karena itu, edukasi mengenai pemeliharaan perangkat elektronik menjadi langkah preventif yang efektif dalam mengurangi laju pertumbuhan limbah elektronik sekaligus mendukung pemanfaatan sumber daya secara berkelanjutan.

Seljalan dengan kebijakan Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM), kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini merupakan bentuk implementasi peran perguruan tinggi dalam memberikan solusi terhadap permasalahan masyarakat melalui kegiatan edukatif dan kolaboratif [4]. Program ini sekaligus mendukung pencapaian Indikator Kinerja Utama (IKU) perguruan tinggi, khususnya peningkatan pengalaman belajar mahasiswa di luar kampus serta keterlibatan dosen dalam menyelesaikan permasalahan masyarakat. Selain itu, kegiatan ini juga berkontribusi terhadap pencapaian Sustainable Development Goals (SDGs), terutama SDG 12 (Responsible Consumption and Production) dan SDG 13 (Climate Action).

SMA Negeri 65 Kebon Jeruk, Jakarta Barat, dipilih sebagai mitra kegiatan karena memiliki intensitas penggunaan perangkat elektronik yang tinggi dalam proses pembelajaran serta berada pada lokasi yang strategis dengan jarak sekitar 12 km dari Institut Teknologi PLN (ITPLN). Berdasarkan hasil observasi awal dan diskusi bersama pihak sekolah, ditemukan beberapa permasalahan utama, yaitu: (1) rendahnya kesadaran siswa terhadap pentingnya pemeliharaan perangkat elektronik; (2) minimnya pengetahuan mengenai dampak limbah elektronik terhadap kesehatan dan lingkungan; (3) belum adanya program edukasi khusus mengenai pengelolaan e-waste di lingkungan sekolah; (4) meningkatnya potensi akumulasi limbah elektronik akibat penggunaan perangkat digital yang semakin intensif; serta (5) terbatasnya keterampilan siswa dalam melakukan perawatan dan deteksi kerusakan ringan pada perangkat elektronik.



Gambar 2. Jarak lokasi kegiatan PKM dari kampus IT-PLN

Limbah elektronik (electronic waste atau e-waste) merupakan salah satu tantangan lingkungan global yang memerlukan penanganan secara sistematis, termasuk di lingkungan sekolah. Berdasarkan hasil observasi dan diskusi dengan pihak SMA Negeri 65 Kebon Jeruk, Jakarta Barat, ditemukan dua permasalahan utama yang menjadi prioritas untuk ditangani. Pertama, masih rendahnya kesadaran siswa dan tenaga pendidik terhadap pentingnya pemeliharaan perangkat elektronik sehingga banyak perangkat mengalami kerusakan sebelum mencapai masa pakai optimal. Kedua, terbatasnya keterampilan teknis siswa dalam melakukan perawatan dan perbaikan ringan pada perangkat elektronik sehingga perangkat yang mengalami kerusakan kecil cenderung langsung dibuang dan berpotensi menambah volume limbah elektronik.

Permasalahan tersebut berkontribusi terhadap meningkatnya timbulan e-waste yang mengandung berbagai bahan berbahaya, seperti timbal, merkuri, dan kadmium, yang dapat mencemari lingkungan apabila tidak dikelola dengan benar [1]. Setiawan et al. [2] menjelaskan bahwa rendahnya literasi mengenai pengelolaan limbah elektronik menyebabkan sebagian besar pelajar belum memiliki perilaku yang bertanggung jawab terhadap siklus hidup perangkat elektronik. Sementara itu, Baldé et al. [3] menyatakan bahwa masa pakai perangkat elektronik dapat diperpanjang hingga 20–30% melalui pemeliharaan rutin dan penggunaan yang tepat sehingga mampu menekan laju pertumbuhan limbah elektronik.

Berdasarkan kondisi tersebut, tim Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) menawarkan dua solusi utama. Solusi pertama berupa program edukasi mengenai pemeliharaan perangkat elektronik melalui kegiatan sosialisasi, pelatihan, dan simulasi praktik sederhana. Materi yang diberikan meliputi teknik membersihkan perangkat, pengelolaan baterai, pembaruan sistem operasi, serta kebiasaan penggunaan perangkat yang benar. Pendekatan pembelajaran menggunakan metode simulasi dan praktik langsung dipilih karena terbukti mampu meningkatkan pemahaman dan keterampilan peserta [5], [6].

Solusi kedua berupa pelatihan keterampilan teknis dasar dalam pengelolaan perangkat elektronik dan limbah elektronik. Kegiatan ini mencakup praktik sederhana mendeteksi kerusakan ringan, penggunaan alat ukur dasar seperti multimeter, pembongkaran perangkat elektronik secara aman, pemilahan komponen berdasarkan prinsip reduce, reuse, dan recycle (3R), serta pemanfaatan kembali komponen yang masih layak digunakan. Menurut Velde et al. [7], pembelajaran berbasis pengalaman (experiential learning) mampu meningkatkan kemampuan peserta dalam menerapkan pengetahuan pada situasi nyata. Temuan tersebut diperkuat oleh UNESCO [8] yang menyatakan bahwa keterlibatan siswa dalam kegiatan perbaikan dan pemanfaatan kembali perangkat elektronik dapat membangun kesadaran terhadap konsep circular economy sekaligus mengurangi timbulan limbah elektronik.

Melalui penerapan kedua solusi tersebut diharapkan terjadi peningkatan pengetahuan, keterampilan, dan kepedulian siswa terhadap pemeliharaan perangkat elektronik serta pengelolaan e-waste. Program ini juga

Peningkatan Literasi Lingkungan dan Keterampilan Pengelolaan Limbah Elektronik melalui Workshop 3R Berbasis Hands-on Learning di SMA Negeri 65 Jakarta Barat. Tasdik Darmana et.al

diharapkan mampu membentuk budaya penggunaan teknologi yang lebih bertanggung jawab di lingkungan sekolah, mengurangi potensi timbulan limbah elektronik, serta mendukung pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (Sustainable Development Goals), khususnya SDG 12 mengenai konsumsi dan produksi yang bertanggung jawab serta SDG 13 mengenai penanganan perubahan iklim.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu program edukasi yang tidak hanya meningkatkan pengetahuan siswa mengenai pengelolaan limbah elektronik, tetapi juga membekali mereka dengan keterampilan praktis dalam merawat perangkat elektronik agar memiliki umur pakai yang lebih panjang. Oleh karena itu, tim PKM ITPLN menyelenggarakan kegiatan sosialisasi dan pelatihan yang mencakup pemahaman mengenai e-waste, teknik pemeliharaan perangkat elektronik, strategi reuse dan recycle, serta simulasi deteksi kerusakan ringan pada perangkat elektronik. Untuk mengukur efektivitas program, kegiatan dilengkapi dengan pelaksanaan pre-test dan post-test sehingga peningkatan pengetahuan peserta dapat diukur secara objektif. Melalui kegiatan ini diharapkan terbentuk budaya penggunaan teknologi yang lebih bertanggung jawab serta munculnya agen-agen perubahan (eco-digital ambassadors) yang mampu menularkan perilaku ramah lingkungan kepada keluarga, sekolah, dan masyarakat sekitarnya.

2. Metode Pelaksanaan

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) ini dilaksanakan di SMA Negeri 65 Kebon Jeruk, Jakarta Barat, dengan sasaran siswa sebagai upaya meningkatkan literasi mengenai pemeliharaan perangkat elektronik dan pengelolaan limbah elektronik (electronic waste/e-waste). Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan edukatif, partisipatif, dan aplikatif, sehingga peserta tidak hanya memperoleh pengetahuan secara konseptual, tetapi juga terlibat secara aktif dalam kegiatan praktik dan diskusi. Menurut Velde et al. [7], pembelajaran berbasis pengalaman (experiential learning) mampu meningkatkan pemahaman konseptual sekaligus keterampilan peserta melalui keterlibatan langsung dalam aktivitas nyata.

Tahap pertama adalah persiapan dan identifikasi kebutuhan mitra. Pada tahap ini tim pelaksana melakukan observasi lapangan, wawancara, dan diskusi dengan pihak sekolah untuk mengidentifikasi kondisi awal, kebutuhan peserta, serta permasalahan yang berkaitan dengan penggunaan perangkat elektronik dan pengelolaan limbah elektronik. Hasil identifikasi menjadi dasar dalam penyusunan materi sosialisasi, modul pelatihan, serta skenario praktik yang disesuaikan dengan karakteristik siswa. Tahap analisis kebutuhan merupakan langkah penting agar program pengabdian mampu memberikan solusi yang tepat sasaran [6].



Gambar 3. Metode Pelaksanaan Sosialisasi E-Waste di SMAN 65 Kebon Jeruk

Tahap kedua adalah sosialisasi mengenai pemeliharaan perangkat elektronik dan pengelolaan e-waste. Materi yang disampaikan meliputi pengertian limbah elektronik, dampak limbah elektronik terhadap kesehatan dan lingkungan, prinsip pengelolaan limbah berbasis reduce, reuse, dan recycle (3R), serta teknik sederhana dalam merawat perangkat elektronik agar memiliki umur pakai yang lebih panjang. Penyampaian materi dilakukan melalui ceramah interaktif, diskusi, dan pemutaran media edukatif sehingga peserta dapat memahami hubungan antara penggunaan perangkat elektronik dan upaya pelestarian lingkungan. Setiawan et al. [2] menjelaskan bahwa edukasi mengenai e-waste sejak usia sekolah mampu meningkatkan kesadaran lingkungan dan membentuk perilaku yang lebih bertanggung jawab terhadap penggunaan perangkat elektronik.

Tahap ketiga adalah workshop dan praktik langsung. Pada tahap ini peserta dibimbing untuk melakukan pemeliharaan dasar perangkat elektronik, seperti membersihkan perangkat, mengelola penggunaan baterai, melakukan pembaruan sistem operasi, serta mengenali gejala awal kerusakan ringan. Selain itu, peserta juga melakukan praktik pembongkaran sederhana terhadap perangkat elektronik dan lampu LED bekas untuk mengenali jenis komponen yang masih dapat dimanfaatkan kembali sesuai prinsip 3R. Pendekatan praktik dipilih karena memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna dibandingkan pembelajaran teoritis. Kurniawati et al. [5] menyatakan bahwa metode simulasi dan praktik langsung terbukti mampu meningkatkan pemahaman dan keterampilan peserta secara signifikan.

Tahap keempat adalah pendampingan dan diskusi kelompok. Selama kegiatan praktik berlangsung, mahasiswa Institut Teknologi PLN berperan sebagai fasilitator yang mendampingi setiap kelompok siswa dalam melakukan identifikasi komponen elektronik, proses pemeliharaan, serta pemanfaatan kembali komponen yang masih layak digunakan. Pendampingan ini bertujuan memberikan bimbingan teknis sekaligus membangun kemampuan berpikir kritis dan kerja sama antarpeserta. Menurut UNESCO [8], pembelajaran kolaboratif dalam pengelolaan limbah elektronik dapat memperkuat pemahaman mengenai konsep circular economy serta meningkatkan kepedulian terhadap keberlanjutan lingkungan.

Tahap terakhir adalah monitoring dan evaluasi. Evaluasi dilakukan melalui pemberian pre-test dan post-test untuk mengukur peningkatan pengetahuan peserta sebelum dan sesudah kegiatan. Selain itu, observasi selama praktik, diskusi reflektif, dan umpan balik dari peserta digunakan untuk mengevaluasi efektivitas pelaksanaan program. Hasil evaluasi menjadi dasar dalam penyempurnaan kegiatan PKM pada

masa mendatang sekaligus sebagai indikator keberhasilan program. Baldé et al. [3] menjelaskan bahwa peningkatan literasi mengenai pemeliharaan perangkat elektronik dan pengelolaan e-waste merupakan salah satu strategi preventif yang efektif dalam mengurangi volume limbah elektronik melalui perpanjangan umur pakai perangkat.

3. Hasil dan Pembahasan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan di SMA Negeri 65 Kebon Jeruk dengan fokus pada peningkatan literasi lingkungan dan keterampilan siswa dalam pengelolaan limbah elektronik, khususnya lampu LED, melalui pendekatan sosialisasi dan workshop berbasis praktik. Hasil dan pembahasan disajikan berdasarkan tahapan pelaksanaan kegiatan yang meliputi persiapan, sosialisasi, workshop 3R, dan penutup.

Tahap Persiapan

Tahap persiapan diawali dengan survei awal untuk mengidentifikasi kondisi mitra dan permasalahan yang dihadapi terkait pengelolaan limbah elektronik di lingkungan sekolah seperti terlihat pada Gambar 4 dibawah ini. Hasil survei menunjukkan bahwa lampu LED rusak umumnya langsung dibuang tanpa proses pemilahan atau upaya pemanfaatan kembali, serta belum adanya program edukasi khusus mengenai e-waste. Temuan ini mengindikasikan rendahnya literasi siswa terhadap siklus hidup perangkat elektronik dan dampak lingkungannya.



Gambar 4. Pertemuan persiapan pelaksanaan PKM

Berdasarkan hasil survei tersebut, tim PKM menyusun materi sosialisasi dan modul workshop yang menekankan keterkaitan antara limbah elektronik, perubahan iklim, dan prinsip reduce, reuse, recycle (3R). Pada tahap ini, mahasiswa pendamping juga diberikan pelatihan teknis pengelolaan limbah lampu LED berbasis 3R di Laboratorium Smart Energy System Laboratory (SESL) seperti terlihat pada Gambar 5. Pelatihan ini bertujuan meningkatkan kesiapan mahasiswa dalam mendampingi siswa, baik dari aspek teknis maupun komunikasi edukatif.



Gambar 5. Pelaksanaan Pelatihan kepada mahasiswa untuk workshop 3R Lampu LED

Pelaksanaan Sosialisasi

Sosialisasi dilaksanakan secara klasikal dengan melibatkan dua kelas X. Kegiatan diawali dengan pembukaan oleh Ketua Tim PKM dan sambutan perwakilan sekolah, yang menegaskan pentingnya kolaborasi perguruan tinggi dan sekolah dalam edukasi lingkungan seperti terlihat pada Gambar 6. Materi sosialisasi mencakup isu global perubahan iklim, peran sektor energi dan elektronik terhadap emisi karbon, serta dampak limbah elektronik terhadap lingkungan dan kesehatan.



Gambar 6. Sambutan dari Perwakilan SMAN 65 (Bp. Mujiono) dan Tim PKM ITPLN



Gambar 7. Penyampaian Materi Sosialisasi oleh Ketua Tim PKM-ITPLN

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa metode penyampaian interaktif yang disertai contoh kontekstual mampu meningkatkan partisipasi siswa. Sesi diskusi dan tanya jawab berlangsung aktif, dengan pertanyaan siswa yang menunjukkan peningkatan kesadaran terhadap permasalahan e-waste di lingkungan sekitar. Sosialisasi ini berperan sebagai penguatan konseptual sebelum siswa mengikuti kegiatan praktik.



Gambar 8. Diskusi dan tanya jawab paparan materi dengan siswa

Pelaksanaan Workshop 3R Limbah Lampu LED

Workshop 3R merupakan inti dari kegiatan PKM ini. Kegiatan diawali dengan pengarahan teknis oleh Ketua Tim PKM terkait alur kerja, keselamatan penggunaan alat, dan tujuan praktik seperti pada Gambar 9. Siswa kemudian dibagi ke dalam kelompok kecil dan didampingi oleh mahasiswa untuk melakukan pembongkaran lampu LED bekas, identifikasi komponen utama, serta pemilahan komponen berdasarkan potensi pemanfaatan kembali.



Gambar 9. Pengarahan workshop 3R



Gambar 10. Kegiatan workshop 3R bagi siswa SMAN 65 Kebon Jeruk, Jakarta Barat

Hasil kegiatan menunjukkan bahwa pendekatan hands-on learning efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep 3R. Siswa tidak hanya memahami bahwa lampu LED termasuk limbah elektronik, tetapi juga menyadari potensi reuse dan recycle dari komponen tertentu. Peran mahasiswa pendamping terbukti penting dalam menjaga keselamatan kerja, meminimalkan kesalahan teknis, serta memfasilitasi diskusi selama praktik berlangsung. Interaksi ini menciptakan proses pembelajaran kolaboratif yang memperkuat transfer pengetahuan dan keterampilan.

Refleksi

Pada sesi penutup, dilakukan diskusi reflektif yang melibatkan siswa, guru, dan tim PKM. Siswa menyampaikan bahwa kegiatan workshop memberikan pengalaman baru yang aplikatif dan relevan dengan kehidupan sehari-hari seperti pada Gambar 11. Pihak sekolah memberikan apresiasi terhadap kegiatan ini dan menyatakan bahwa model edukasi berbasis praktik sangat sesuai untuk meningkatkan kepedulian lingkungan siswa.



Gambar 11. Penyampaian respon dan umpan balik dari siswa di depan kelas.

Secara keseluruhan, hasil kegiatan menunjukkan bahwa kombinasi sosialisasi dan workshop berbasis praktik mampu menjawab permasalahan mitra secara efektif. Kegiatan PKM ini berkontribusi pada peningkatan literasi lingkungan, keterampilan dasar pengelolaan limbah elektronik, serta pembentukan sikap peduli lingkungan di kalangan siswa. Temuan ini menegaskan bahwa sekolah merupakan ruang strategis untuk implementasi edukasi pengelolaan e-waste yang berkelanjutan dan berpotensi mendukung upaya pengurangan limbah elektronik serta emisi karbon secara tidak langsung.

4. Kesimpulan

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) yang dilaksanakan di SMA Negeri 65 Kebon Jeruk, Jakarta Barat berhasil meningkatkan literasi lingkungan dan keterampilan dasar siswa dalam pengelolaan limbah elektronik melalui pendekatan edukatif, partisipatif, dan berbasis *hands-on learning*. Rangkaian kegiatan yang meliputi sosialisasi, workshop penerapan prinsip *Reduce, Reuse, dan Recycle* (3R), serta pendampingan praktik pembongkaran dan pemanfaatan kembali komponen lampu LED memberikan pengalaman belajar yang kontekstual dan aplikatif bagi peserta. Melalui kegiatan tersebut, siswa memperoleh pemahaman yang lebih baik mengenai dampak limbah elektronik terhadap lingkungan, pentingnya pemeliharaan perangkat elektronik untuk memperpanjang masa pakai, serta penerapan prinsip ekonomi sirkular dalam pengelolaan limbah elektronik.

Selain meningkatkan pengetahuan, kegiatan ini juga mendorong tumbuhnya kepedulian dan tanggung jawab siswa terhadap penggunaan perangkat elektronik secara lebih bijaksana. Kolaborasi antara dosen, mahasiswa, dan pihak sekolah menciptakan proses pembelajaran yang interaktif sehingga mampu meningkatkan partisipasi aktif peserta selama kegiatan berlangsung. Program ini menunjukkan bahwa edukasi berbasis praktik merupakan strategi yang efektif dalam membangun kesadaran lingkungan sekaligus mengembangkan keterampilan teknis dasar peserta didik. Oleh karena itu, model workshop 3R berbasis *hands-on learning* berpotensi untuk direplikasi di sekolah lain sebagai bagian dari pendidikan lingkungan yang berkelanjutan, sekaligus mendukung pengurangan limbah elektronik, penguatan budaya *green school*, dan pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*), khususnya SDG 12 dan SDG 13.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Institut Teknologi PLN dan Kepala Sekolah di SMA Negeri 65 Kebon Jeruk Jakarta Barat, mahasiswa pendamping serta seluruh pihak yang telah mendukung pelaksanaan kegiatan pengabdian Masyarakat ini sehingga dapat terlaksana dengan baik.

5. Daftar Pustaka

- [1] V. Forti, C. P. Baldé, R. Kuehr, and G. Bel, *The Global E-Waste Monitor 2020: Quantities, Flows, and the Circular Economy Potential*. Bonn, Germany: United Nations University (UNU), United Nations Institute for Training and Research (UNITAR), and International Telecommunication Union (ITU), 2020.
- [2] A. Setiawan, B. Prasetyo, and D. Kurniawan, "Eco-digital literacy among secondary school students: Awareness of electronic waste management," *Jurnal Pendidikan Lingkungan*, vol. 8, no. 2, pp. 115–126, 2022.
- [3] C. P. Baldé, V. Forti, R. Kuehr, and G. Bel, "The role of product lifetime extension in reducing electronic waste generation," in *The Global E-Waste Monitor 2020*. Bonn, Germany: United Nations University, 2020.
- [4] Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia, *Buku Panduan Merdeka Belajar–Kampus Merdeka*. Jakarta, Indonesia: Kemendikbudristek, 2020.
- [5] D. Kurniawati, A. Nugroho, and S. Hidayat, "Implementation of simulation and role-play methods in practical learning to improve students' competencies," *Jurnal Pendidikan Indonesia*, vol. 4, no. 1, pp. 45–54, 2023.
- [6] S. Suprihhatin and Y. Rohmadi, "Character building through project-based learning in secondary education," *Jurnal Pendidikan Karakter*, vol. 13, no. 2, pp. 98–109, 2022.

- [7] C. Velde, A. Wallace, and S. Choy, "Experiential learning in technical and vocational education: Preparing students for authentic practice," *Journal of Vocational Education and Training*, vol. 72, no. 3, pp. 357–375, 2020.
- [8] UNESCO, *Education for Sustainable Development: A Roadmap*. Paris, France: UNESCO Publishing, 2021.