

## Workshop Koding Robotik dan Implementasi Kendali Robot Menggunakan Sinyal Tubuh bagi Siswa dan Guru SMPN 17 Bandung

### INFO PENULIS

Tito Waluyo Purboyo  
Universitas Telkom

Dziban Naufal  
Universitas Telkom

M. Darfyma Putra  
Universitas Telkom

Riza Aria Komara  
Universitas Telkom

Rifdah Nur Nasywa  
Universitas Telkom

Sultan Muhammad Naufal  
Universitas Telkom

### INFO ARTIKEL

ISSN: 2776-5148

Vol. 5, No. 2, Desember 2025

<http://almufi.com/index.php/AJPKM>

© 2025 Almufi All rights reserved

### **Saran Penulisan Referensi:**

Purboyo, T. W., Naufal, D., Putra, M. D., Komara, R. A., Nasywa, R. N., & Naufal, S. M. (2025). Workshop Koding Robotik dan Implementasi Kendali Robot Menggunakan Sinyal Tubuh bagi Siswa dan Guru SMPN 17 Bandung. *Almufi Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 5 (2), 154-162.

### **Abstrak**

Teknologi biomedis memungkinkan kendali robot melalui sinyal biologis seperti EMG (otot), ECG (jantung), dan EOG (mata), membuka inovasi rehabilitasi dan robotika responsif. Namun, konsep ini belum dikenalkan di SMP karena di luar kurikulum formal. Program pengabdian ini memperkenalkan dasar robotika berbasis sinyal biomedis kepada siswa dan guru SMPN 17 Bandung melalui pembelajaran hands-on, memahami konversi sinyal tubuh menjadi perintah robotik. Tujuan utamanya meningkatkan pemahaman interdisiplin biologi-teknologi-kontrol serta minat STEM, mendorong pendidikan adaptif terhadap kemajuan teknologi kesehatan.

**Kata kunci:** Robotika, sinyal EMG, ECG, EOG, kendali biomedis, STEM, pembelajaran hands-on

### **Abstract**

Biomedical technology enables robot control through biological signals such as EMG (muscle), ECG (heart), and EOG (eye movements), opening opportunities for innovation in rehabilitation and responsive robotics. However, this concept has not yet been introduced at the junior high school level because it lies outside the formal curriculum. This community service program introduces the fundamentals of biomedical signal-based robotics to students and teachers of SMPN 17 Bandung through hands-on learning, focusing on understanding the conversion of human body signals into robotic commands. The main objective is to enhance interdisciplinary understanding of biology, technology, and control systems, as well as to foster interest in STEM and promote education that is adaptive to advancements in healthcare technology.

**Keywords:** Robotics, EMG signals, ECG, EOG, biomedical control, STEM, hands-on learning

## A. Pendahuluan

Keterampilan logika komputasi merupakan kompetensi esensial yang wajib dikuasai individu modern, mengingat perannya krusial dalam mengatasi tantangan kompleks di lingkungan profesional, proses edukasi, maupun aktivitas harian, khususnya dalam ranah ilmu pengetahuan alam, informatika, rekayasa, dan perhitungan. Cattlin dan Woollard (2014) menguraikan empat elemen pokok logika komputasi yang harus diasah sejak usia dini, yakni pemecahan masalah menjadi unit-unit kecil (dekomposisi), pengenalan kesamaan dalam data (pattern recognition), penyaringan informasi esensial (abstraksi), serta penyusunan prosedur langkah demi langkah (algoritma). Pilar-pilar ini dapat dibina melalui beragam strategi pengajaran, seperti simulasi interaktif dan sesi praktik berbasis robot.

Periode adolescence, terutama di tingkat sekolah dasar atas (SMP) usia 13-15 tahun, menjadi momentum optimal untuk membentuk fondasi logika komputasi. Ironisnya, pengajaran robotika masih minim di level ini meski memiliki daya tarik luar biasa untuk memotivasi siswa mengasah kemampuan analisis sistematis. Sayangnya, aspek ini belum diintegrasikan secara eksplisit ke dalam desain kurikulum SMP, padahal vital menghadapi akselerasi transformasi digital ke depan.

Maka dari itu, inisiatif pengabdian publik ini diformulasikan untuk mengajak siswa SMP terlibat langsung dalam pembinaan logika komputasi via eksplorasi robotika. Pemanfaatan mekanisme pengaturan dasar berbasis impuls biologis seperti electrooculography (EOG) atau electromyography (EMG) menawarkan dimensi tambahan bernilai, karena membuka akses siswa ke ranah interdisipliner yang memadukan prinsip ilmiah dengan prinsip teknik. Remaja SMP pada fase ini punya kapasitas luar biasa untuk dilatih berpikir komputasional.

Simulasi robot sebagai alat didaktik terbukti ampuh memupuk kemampuan ini, sebab tidak hanya memikat perhatian siswa tetapi juga memfasilitasi keterlibatan nyata guna merasakan pembelajaran berbasis pengalaman langsung.



**Gambar 1.** Foto kegiatan pengabdian masyarakat SMPN 17 Bandung

Gambar 1 memperlihatkan kegiatan pengabdian masyarakat SMPN 17 Bandung. Kegiatan pengabdian masyarakat di SMPN 17 Bandung menggambarkan momen krusial dari workshop robotika berbasis sinyal biomedis, di mana fasilitator berpakaian formal sedang menjelaskan materi dengan antusias di depan layar proyektor sambil memegang pointer laser. Ruangannya laboratorium fisika yang luas dengan struktur baja ekspos terasa penuh semangat pembelajaran, dihiasi elemen visual seperti poster dan banner bertuliskan "abdimas" serta peralatan presentasi modern. Komposisi gambar menonjolkan interaksi dinamis antara pembicara dan audiens, mencerminkan efektivitas metode pengajaran interaktif yang menjadi ciri khas program ini.

Peserta yang terdiri dari siswa dengan seragam sekolah duduk rapi di meja masing-masing, menunjukkan perhatian penuh dengan posisi tubuh yang condong ke depan—indikator keterlibatan kognitif tinggi. Suasana kelas yang nyaman dengan ventilasi alami melalui jendela besar menciptakan lingkungan belajar optimal, sementara tumpukan kotak peralatan dan botol minuman menandakan persiapan matang untuk sesi hands-on robotics. Dokumentasi visual ini secara efektif mengilustrasikan bagaimana program berhasil menciptakan ekosistem pembelajaran STEM yang inklusif dan bermakna bagi generasi muda.

## B. Metodologi

Strategi implementasi program pengabdian publik ini dibangun atas kerangka tiga pilar esensial: persiapan matang, eksekusi lapangan, dan penilaian dampak. Fase persiapan diawali dengan studi lapangan intensif untuk mengidentifikasi aspirasi dan kapabilitas siswa dalam membina logika analitik via eksplorasi robotik. Hasil observasi tersebut menjadi landasan penyusunan kurikulum pelatihan yang mencakup fondasi robotika, prinsip-prinsip analisis sistematis, serta implikasinya dalam konteks praktis sehari-hari. Secara paralel, dilakukan sinkronisasi dengan manajemen SMPN 17 Bandung untuk mengonfirmasi timeline, venue acara, dan kriteria rekrutmen partisipan.

Eksekusi dilaksanakan pada Senin, 10 November 2025, pukul 14.00-16.00 WIB di fasilitas laboratorium Fisika SMPN 17 Bandung, melibatkan 15 siswa pilihan lintas kelas. Sepanjang sesi, audiens dibekali pemahaman mendalam tentang elemen analisis sistematis seperti pemecahan berjenjang, pengenalan tren data, penyaringan esensi, dan formulasi prosedur logis. Peserta juga diekspos dengan pengantar robotika esensial beserta konsep awal impuls bioelektrik dari aktivitas fisiologis manusia. Materi inti meliputi: prinsip robotika dan elemen konstruktifnya; aplikasi analisis sistematis melalui simulasi robot dasar; sesi rakit-bangun interaktif dengan kit siap pakai; serta eksplorasi mekanisme pengaturan berbasis bioimpuls yang memadukan paradigma ilmiah dengan inovasi teknik.

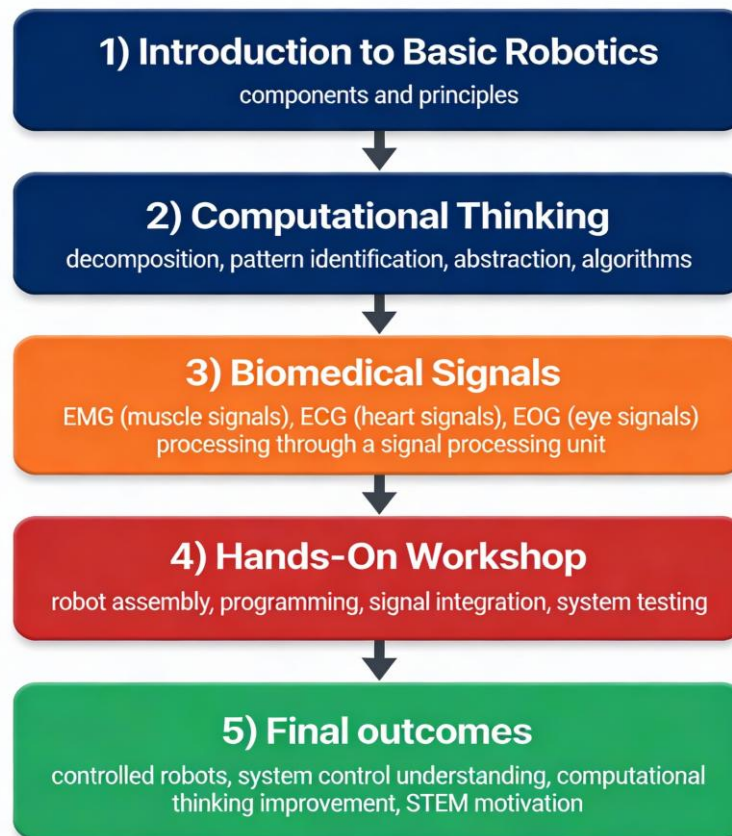
Gambar 2 menjelaskan sebuah kurikulum atau alur pembelajaran terpadu yang dirancang untuk mengajarkan konsep robotika dengan integrasi sinyal biomedis. Alur ini disusun secara bertahap, mulai dari pengenalan dasar hingga menghasilkan hasil akhir yang konkret, yang mencerminkan pendekatan pembelajaran berbasis proyek (project-based learning) dalam bidang STEM.

Tahap pertama adalah Pengenalan Robotika Dasar, di mana peserta mempelajari komponen-komponen robot dan prinsip-prinsip kerjanya. Tahap ini menjadi fondasi sebelum memasuki materi yang lebih kompleks. Selanjutnya, peserta diajak mengembangkan Pemikiran Komputasional melalui keterampilan seperti dekomposisi, identifikasi pola, abstraksi, dan pembuatan algoritma. Keterampilan ini penting untuk memecahkan masalah secara sistematis, terutama dalam pemrograman dan pengolahan sinyal.

Tahap ketiga memperkenalkan Sinyal Biomedis seperti EMG, ECG, dan EOG, yang merupakan sinyal tubuh yang dapat diukur dan diproses. Sinyal-sinyal ini diolah melalui unit pemrosesan sinyal untuk selanjutnya dijadikan sebagai input atau sistem kendali dalam robotika. Tahap keempat adalah Workshop Praktik Langsung, di mana peserta merakit robot, memprogram, mengintegrasikan sinyal biomedis ke dalam sistem, dan melakukan pengujian. Tahap ini menerapkan langsung teori yang telah dipelajari ke dalam bentuk prototipe nyata.

Hasil akhir dari proses pembelajaran ini adalah hasil yang terukur dan multidimensi, tidak hanya berupa robot yang dapat dikendalikan, tetapi juga peningkatan pemahaman sistem kendali, pengembangan kemampuan berpikir komputasional, serta motivasi belajar dalam bidang STEM. Gambar ini dengan jelas menggambarkan bagaimana pendekatan bertahap dan integratif dapat digunakan untuk menciptakan pengalaman belajar yang mendalam dan aplikatif, terutama dalam menghubungkan teknologi robotika dengan ilmu biomedis.

Tahapan berikutnya mengajak siswa memahami gangguan yang mungkin muncul saat menjalankan perintah. Hal ini bertujuan meningkatkan kesadaran siswa bahwa berbagai bentuk distraksi saat ini bisa mempengaruhi konsentrasi, dan penting untuk mengetahui cara menghadapinya. Kemudian siswa diarahkan untuk belajar menyusun langkah-langkah atau prosedur sistematis guna menyelesaikan masalah secara terstruktur. Kegiatan puncak dari rangkaian ini adalah sesi praktik dan lokakarya robotika, yang memberikan pengalaman langsung melalui metode Hands-On.



**Gambar 2.** Tahapan-tahapan edukatif yang dilaksanakan dalam kegiatan pengabdian masyarakat di SMPN 17 Bandung.

Pasca-pelaksanaan, tim melakukan asesmen komprehensif guna mengevaluasi efektivitas inisiatif secara keseluruhan. Penilaian ini mencakup survei tertulis dari responden muda dan sesi tanya jawab langsung untuk menggali pandangan mengenai substansi konten, metode penyampaian, serta nilai tambah yang dipersepsi. Di samping itu, pengukuran kompetensi praktis dilakukan lewat observasi output eksperimen dan presentasi akhir. Aspek kualitatif difokuskan pada instrumen terbuka yang menyoroti empat pilar esensial: fragmentasi masalah, pengenalan kesamaan data, penyaringan esensi, serta formulasi urutan logis.

Institusi mitra berperan strategis dalam keberhasilan program melalui penyediaan infrastruktur pendukung, termasuk venue pelaksanaan, ruang workshop, perangkat presentasi, dan fasilitas penunjang lainnya. Siswa SMPN 17 Bandung aktif berpartisipasi sebagai pembelajar utama dalam sesi edukasi dan praktik yang mengeksplorasi logika komputasi melalui aplikasi robotik. Kolaborasi erat dilakukan dengan koordinator siswa sekolah yang sekaligus berfungsi sebagai fasilitator mitra, untuk menjamin kelancaran timeline pelatihan serta pencapaian kompetensi analisis sistematis yang menjadi fokus pengembangan.

### C. Hasil dan Pembahasan

Evaluasi program pelatihan masyarakat mengungkap sejumlah poin kritis untuk bahan kajian dan penyempurnaan berikutnya. Hasil assesmen pasca-kegiatan menunjukkan bahwa secara umum, para peserta mengalami kemajuan signifikan dalam menyerap prinsip-prinsip robotika dan kaitannya dengan penanaman logika sistematis. Banyak individu yang awalnya belum tersentuh bidang ini kini telah memahami fondasi operasi robot, meliputi identifikasi bagian-bagian, prinsip pengkodean, serta aplikasinya untuk memecahkan beragam masalah.

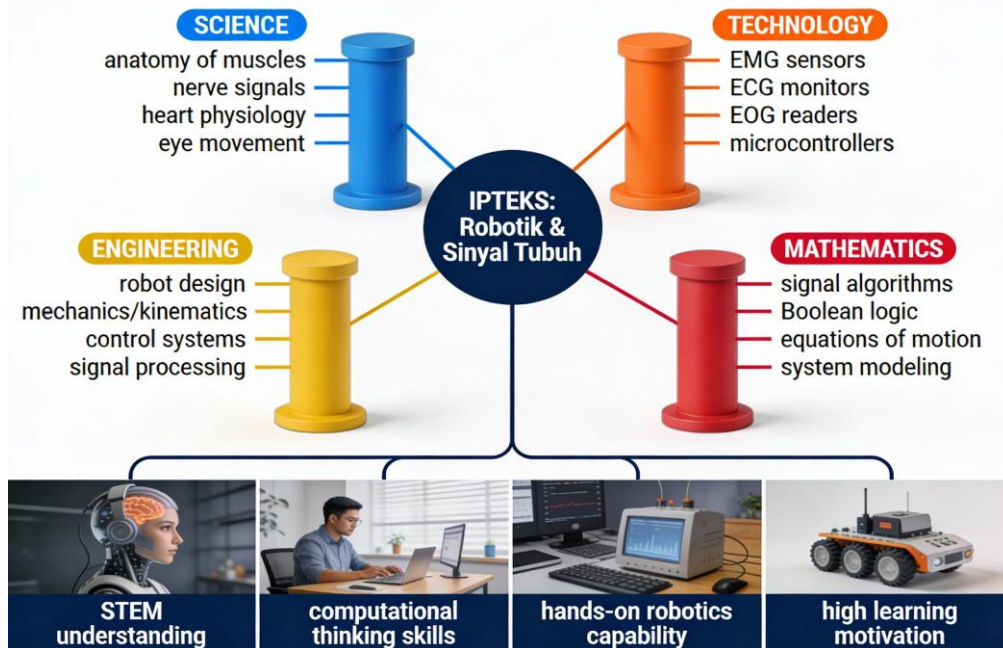
Di sisi lain, masih terdapat tantangan pada segi teknis tertentu, seperti pemrograman yang mengandalkan kecakapan logika dan perancangan alur algoritma. Beberapa peserta dengan latar belakang minim teknologi mengaku membutuhkan pendalaman lebih lama, terutama pada tahap perencanaan logika dan uji coba fungsi robot.

Tingkat keterlibatan peserta selama pelaksanaan pelatihan tergolong sangat aktif. Mereka berkontribusi dalam setiap tahapan, mengajukan pertanyaan substantif, serta bersama-sama membahas hambatan yang muncul. Antusiasme semacam ini mengindikasikan adanya

permintaan riil terhadap kompetensi robotika sebagai alat bantu pendidikan yang relevan dengan kebutuhan pemikiran terstruktur di era digital.

Pada Gambar 3, diperlihatkan transfer IPTEKS yang diterima oleh mitra. Selanjutnya, Gambar 4 menampilkan cuplikan kegiatan selama pelatihan berlangsung.

Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian masyarakat ini berhasil mencapai tujuannya. Program pelatihan robotika untuk pemula terbukti efektif dalam mengasah dan mengembangkan keterampilan berpikir komputasional siswa-siswi SMPN 17 Bandung.



**Gambar 3.** IPTEKS yang ditransfer ke mitra abdimas.

Gambar 3 mendeskripsikan integrasi disiplin ilmu STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) dalam konteks IPTEKS (Ilmu Pengetahuan, Teknologi, Teknik, dan Matematika) dengan fokus pada penerapannya di bidang robotika dan pemrosesan sinyal tubuh. Diagram ini menunjukkan bagaimana setiap komponen STEM berkontribusi pada pengembangan sistem yang kompleks, khususnya dalam memahami dan memanfaatkan sinyal-sinyal biologis manusia untuk aplikasi teknologi seperti robotika.

Pada bagian Science (Ilmu Pengetahuan), digambarkan pemahaman dasar tentang anatomi otot, fisiologi jantung, dan gerakan mata, yang menjadi fondasi untuk memahami aspek biologis manusia. Bagian Technology (Teknologi) menunjukkan perangkat seperti sensor EMG, monitor ECG, dan pembaca EOG, serta mikrokontroler yang digunakan untuk mendeteksi dan mengukur sinyal tubuh seperti aktivitas otot, detak jantung, dan gerakan mata. Kedua bidang ini menyediakan data dan pemahaman yang diperlukan untuk mengembangkan sistem teknik.

Sementara itu, Engineering (Teknik) berfokus pada perancangan robot, mekanika/kinematika, sistem kendali, dan pemodelan sistem. Mathematics (Matematika) memberikan alat-alat seperti algoritma sinyal, logika Boolean, persamaan gerak, dan pemrosesan sinyal yang diperlukan untuk menganalisis data dan mengoptimalkan fungsi teknik. Keempat bidang ini bersinergi dalam payung IPTEKS, khususnya dalam topik "Robotik & Sinyal Tubuh", di mana ilmu pengetahuan alam, teknologi, prinsip teknik, dan matematika diterapkan secara terpadu.

Hasil dari integrasi ini adalah peningkatan kemampuan STEM yang meliputi pemikiran komputasional, pembelajaran langsung melalui robotika, peningkatan pemahaman, keterampilan berpikir, kapabilitas, dan motivasi. Gambar ini dengan jelas menyampaikan bahwa inovasi di bidang interaksi manusia-teknologi, seperti robotika yang dikendalikan sinyal tubuh, memerlukan pendekatan multidisiplin yang saling terkait dan saling memperkuat.



Gambar 4. Dokumentasi kegiatan pengabdian masyarakat

Mengingat variasi dalam penguasaan teknologi peserta didik, kegiatan pelatihan selanjutnya perlu disusun dengan metode yang disesuaikan secara personal atau melalui pembagian kelompok sesuai tingkat kompetensi. Cara ini membantu mentor dalam memberikan perhatian lebih kepada siswa yang belum sepenuhnya menguasai prinsip dasar robotika dan logika komputasional.

Untuk memastikan keberlanjutan dampak pelatihan, dapat dirancang program pendampingan pascakegiatan. Aktivitas tersebut dapat diwujudkan dalam bentuk sesi konsultasi berkala atau forum diskusi online, sehingga peserta dapat saling bertukar pengalaman serta mendapat dukungan teknis dalam mengerjakan proyek robotika. Meski

pelatihan ini telah memberikan dasar yang cukup, beberapa peserta mungkin membutuhkan pengayaan materi lebih lanjut, terutama terkait penyusunan algoritma dan implementasi sistem robotika yang kompleks.

Secara umum, program ini telah berhasil mengembangkan keterampilan berpikir komputasional siswa SMPN 17 Bandung melalui pembelajaran berbasis robotika. Namun, masih terbuka peluang untuk mengembangkan dan menyempurnakan inisiatif ini agar dampaknya lebih luas dan berkelanjutan. Pada aspek Sains, dijelaskan pemahaman mendasar mengenai struktur otot, kerja jantung, serta mekanisme pergerakan mata sebagai landasan untuk memahami aspek biologis manusia. Aspek Teknologi memaparkan peralatan seperti sensor EMG, alat monitor ECG, dan pembaca EOG, beserta mikrokontroler yang berfungsi untuk mengenali dan mengukur sinyal tubuh seperti aktivitas otot, irama jantung, serta arah pandangan mata. Kedua ranah ini memberikan data dan insight yang mendukung pengembangan sistem teknik.

Di sisi lain, Teknik berperan dalam perancangan robot, kinematika, sistem kontrol, dan pemodelan sistem. Matematika menyediakan berbagai metode seperti algoritma pengolahan sinyal, logika Boolean, persamaan gerak, serta teknik analisis sinyal yang berguna untuk mengolah data dan menyempurnakan fungsi rekayasa. Keempat bidang ini berpadu dalam payung STEM, khususnya pada topik "Robotika & Sinyal Tubuh", di mana prinsip-prinsip sains, teknologi, teknik, dan matematika diterapkan secara terintegrasi.

Hasil dari konvergensi keilmuan ini adalah peningkatan kompetensi STEM yang mencakup kemampuan komputasional, pembelajaran langsung melalui robotika, peningkatan pemahaman konseptual, ketrampilan analitis, kapasitas teknis, serta motivasi belajar. Gambaran ini mempertegas bahwa inovasi dalam interaksi manusia-teknologi, seperti sistem robotika berbasis sinyal tubuh, membutuhkan pendekatan multidisiplin yang saling terhubung dan saling mendukung.

### Umpan Balik Hasil Pengabdian Masyarakat

Data survei pada Tabel 1 menunjukkan tingkat kepuasan peserta yang sangat tinggi terhadap program pelatihan robotika di SMPN 17 Bandung. Hampir seluruh responden (92,97% SS dan 7,1% S) setuju bahwa kegiatan menambah wawasan dan pengalaman tentang robotika, sementara materi disampaikan dengan mudah dipahami (78,6% SS dan 21,4% S).

Tabel 1 Persentase Umpan Balik Peserta Kegiatan Pengabdian Masyarakat

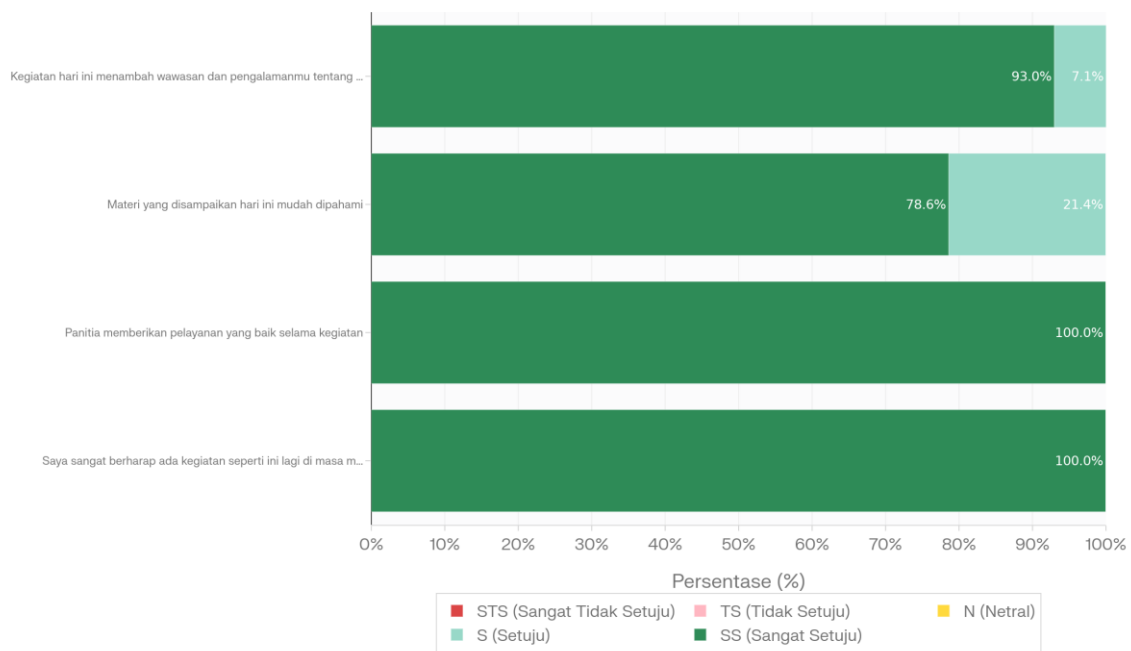
	SS (%)	S (%)	N (%)	TS (%)	STS (%)
Kegiatan hari ini menambah wawasan dan pengalamanmu tentang robotika	92,9	7,1	0	0	0
Materi yang disampaikan hari ini mudah dipahami	78,6	21,4	0	0	0
Panitia memberikan pelayanan yang baik selama kegiatan	100	0	0	0	0
Saya sangat berharap ada kegiatan seperti ini lagi di masa mendatang	100	0	0	0	0

Keterangan:

SS = Sangat Setuju; S = Setuju; N = Netral; TS = Tidak Setuju; STS = Sangat Tidak Setuju

## Persentase Umpan Balik Peserta Kegiatan Pengabdian Masyarakat

Tingkat kepuasan tinggi di semua aspek kegiatan



Gambar 5. Grafik Persentase Umpan Balik Peserta Kegiatan Pengabdian Masyarakat

Berdasarkan temuan yang tersaji pada Tabel 1 dan Gambar 4, dapat diketahui bahwa sebagian besar responden menunjukkan tingkat persetujuan yang tinggi terhadap keempat butir pernyataan yang digunakan sebagai instrumen evaluasi. Dengan demikian, program pengabdian kepada masyarakat yang diselenggarakan di SMPN 17 Bandung dinilai layak untuk dilanjutkan serta dikembangkan guna memberikan kontribusi berkelanjutan, baik bagi institusi sekolah maupun bagi peningkatan mutu pendidikan secara umum. Aspek pelayanan panitia dan harapan terhadap keberlanjutan program memperoleh apresiasi penuh dari responden, dengan persentase dukungan “Sangat Setuju” mencapai 100% dan tanpa adanya tanggapan negatif. Secara keseluruhan, tidak ditemukan respon dalam kategori “Netral”, “Tidak Setuju”, maupun “Sangat Tidak Setuju” pada keempat item pernyataan, yang mengindikasikan keberhasilan program pengabdian masyarakat tersebut.

### D. Kesimpulan

Program pengenalan robotika di SMPN 17 Bandung berhasil meningkatkan kemampuan berpikir komputasional siswa. Melalui kegiatan ini, peserta belajar tentang dasar-dasar robotika dan penerapannya dalam memecahkan masalah secara kreatif. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis robotika mampu menumbuhkan minat terhadap bidang STEM serta melatih kemampuan berpikir lintas disiplin.

Antusiasme siswa selama program berlangsung mencerminkan minat tinggi mereka untuk mengasah logika dan pola pikir sistematis. Pembelajaran robotika juga memberi pengalaman langsung yang memudahkan pemahaman konsep abstrak dan mendorong eksplorasi dunia teknologi.

Meski demikian, keberlanjutan kegiatan terkendala oleh keterbatasan sarana pendukung di sekolah. Untuk itu, diperlukan pendampingan lanjutan serta penyediaan peralatan robotika yang mudah diakses agar siswa dapat terus mengembangkan keterampilannya secara mandiri.

Secara keseluruhan, kegiatan ini berkontribusi positif terhadap peningkatan kompetensi digital siswa dan mempersiapkan mereka menghadapi tantangan teknologi masa depan.

### E. Referensi

Alonso-García, S., Aznar-Díaz, I., Cáceres-Reche, M. P., Trujillo-Torres, J. M., & Romero-Rodríguez, J. M. (2024). Enhancing computational thinking in early childhood education with robotics: A systematic review and meta-analysis. *Heliyon*, 10(12), Article e32732.

- Budiyanto, C. W., Fenyvesi, K., Lathifah, A., & Yuana, R. A. (2022). Computational thinking development: Benefiting from educational robotics in STEM teaching. *European Journal of Educational Research*, 11(4), 1997–2012. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.11.4.1997>
- Cattlin, D., & Woollard, J. (2014). *Educational robots and computational thinking*. University of Southampton.
- Ching, C. C., Heo, Y. J., Tsai, Y. W., Hsu, Y. S., & Hsu, W. C. (2023). Educational robotics for developing computational thinking in young learners: A systematic review. *Journal of Educational Computing Research*, 61(8), 1928–1952.
- Funk, M. G., Cascalho, J. M., Santos, A. I., & Mendes, A. B. (2021). *Educational robotics and tangible devices for promoting computational thinking*. *Frontiers in Robotics and AI*, 8, Article 713416. <https://doi.org/10.3389/frobt.2021.713416>
- Gerosa, A., Demartini, C., & Scarpa, F. (2022). *Educational robotics intervention to foster computational thinking in preschoolers*. *Frontiers in Psychology*, 13, Article 904761. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.904761>
- Gratani, F., Bocci, F., Fabbri, I., & Maresca, S. (2022). *Towards 2030. Enhancing 21st century skills through educational robotics*. *Frontiers in Education*, 7, Article 955285.
- Pellas, N. (2025). The impact of tangible programming tools in early childhood education. *Journal of Educational Computing Research*, 63(2), 301–320.