PELATIHAN PENGENDALIAN MOTOR STEPPER BERBASIS ARDUINO SEBAGAI UPAYA PENINGKATAN LITERASI TEKNOLOGI KARANG TARUNA DESA NGIJO

Indarto Kusnohadi[1], Muhammad Mundzir Mubarok[2], Yogasmara Widiasta Riwangga[3], Rifky Hidayatullah[4], Hendra Yudhi Umasta[5], karimah[6]

[123456] Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Angkatan Darat
email: penulis_1indartosuad@gmail.com, email: penulis_2mundzird4elka9@gmail.com, email: penulis_3Ywriwangga@gmail.com, email: penulis_4rifkyhidayatullah11122001@gmail.com, email: penulis_5hendrayu2405@gmail.com, email: penulis_6karimah@gmail.com

Abstract

Technological literacy is an essential competency for young peoprle in the era of automation, yet village youth still have limited opportunities to learn control systems directly. This community service activity aimed to improve the understanding and basic skills of Karang Taruna Desa Ngijo members in controlling stepper motors using Arduino. The training was attended by 20 participants and consisted of a pre-test, lectures, equipment demonstrations, hands-on practice with a 28BYJ-48 stepper motor and a ULN2003 driver, discussion, and a post-test. The material covered the working principle, types, characteristics, step angle, Arduino-based control, and applications of stepper motors. The average score rose from 52.4 to 86.7, an increase of 34.3 points (65.5%) with a normalized gain of 0.72 (high category). The highest score increased from 75 to 100 and the lowest from 30 to 70, and all participants completed rotation tests of 90°, 180°, and 360°. These findings indicate that combining concept explanation, demonstration, and direct practice effectively improves technological literacy and basic automation skills, although follow-up mentoring is still needed.

Keywords: *stepper motor, Arduino, ULN2003, technological literacy, community service*

Abstrak

Literasi teknologi merupakan kompetensi penting bagi generasi muda di era otomasi, namun kesempatan pemuda desa untuk mempelajari sistem kendali secara langsung masih terbatas. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan pemahaman dan keterampilan dasar anggota Karang Taruna Desa Ngijo dalam mengendalikan motor stepper menggunakan Arduino. Pelatihan diikuti oleh 20 peserta dan terdiri atas pre-test, ceramah, demonstrasi alat, praktik langsung dengan motor stepper 28BYJ-48 dan driver ULN2003, diskusi, serta post-test. Materi mencakup prinsip kerja, jenis, karakteristik, step angle, kendali berbasis Arduino, dan aplikasi motor stepper. Nilai rata-rata peserta meningkat dari 52,4 menjadi 86,7, atau naik 34,3 poin (65,5%) dengan N-Gain 0,72 (kategori tinggi). Nilai tertinggi meningkat dari 75 menjadi 100 dan nilai terendah dari 30 menjadi 70, serta seluruh peserta mampu menjalankan pengujian putaran 90°, 180°, dan 360°. Temuan ini mengindikasikan bahwa pendekatan yang memadukan penjelasan konsep, demonstrasi, dan praktik langsung efektif meningkatkan literasi teknologi dan keterampilan dasar otomasi, meskipun pendampingan lanjutan masih diperlukan.

Kata kunci: *motor stepper, Arduino, ULN2003, literasi teknologi, pengabdian masyarakat*

1. PENDAHULUAN

Literasi teknologi menjadi salah satu kompetensi dasar yang dibutuhkan generasi muda di era industri 4.0, ketika otomasi dan sistem berbasis mikrokontroler semakin banyak dijumpai pada peralatan rumah tangga, pertanian, hingga industri manufaktur [1]. Karang Taruna sebagai organisasi kepemudaan di tingkat desa memiliki posisi strategis dalam menumbuhkan budaya belajar teknologi di lingkungannya, sebab anggotanya berada pada usia produktif dan relatif cepat mengadopsi pengetahuan baru. Namun, kesempatan

anggota Karang Taruna Desa Ngijo untuk mengenal perangkat kendali elektronik secara langsung masih terbatas, baik karena minimnya akses pelatihan maupun anggapan bahwa bidang ini hanya dapat dipelajari oleh mereka yang berlatar belakang teknik.

Arduino merupakan platform mikrokontroler *open-source* yang dirancang agar mudah dipelajari pemula karena perangkat kerasnya terjangkau, lingkungan pemrogramannya (Arduino IDE) sederhana, dan pustaka pendukungnya melimpah [2] [3]. Salah satu aktuator yang paling sering dipasangkan dengan Arduino untuk pembelajaran sistem kendali adalah motor stepper, yaitu motor listrik yang berputar dalam langkah-langkah sudut tetap setiap kali menerima satu pulsa listrik [4] [5]. Karena posisi poros dapat ditentukan dengan menghitung jumlah pulsa, motor stepper memungkinkan pengendalian posisi secara presisi tanpa sensor umpan balik pada banyak aplikasi [6].

Motor stepper banyak digunakan pada printer 3D, mesin CNC, robot, konveyor, dan berbagai sistem otomasi lainnya [7] [8] [9]. Meskipun demikian, konsep dasar yang melandasinya, seperti *step angle*, hubungan antara jumlah pulsa dan sudut putaran, serta peran rangkaian driver, sering kali sulit dipahami pemula apabila hanya disampaikan secara teoretis. Pemahaman tersebut lebih mudah dibangun ketika peserta dapat merakit, memprogram, dan mengamati langsung putaran poros motor [1]. Motor stepper 28BYJ-48 yang dipasangkan dengan modul driver ULN2003 dipilih sebagai media pelatihan karena bekerja pada tegangan 5 V yang aman bagi pemula, harganya terjangkau, dan dapat dikendalikan langsung dari papan Arduino Uno [10] [11].

Kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan literasi teknologi anggota Karang Taruna Desa Ngijo melalui pelatihan pengendalian motor stepper berbasis Arduino, yang mencakup pemahaman prinsip kerja motor stepper, konsep *step angle*, penggunaan driver ULN2003, serta keterampilan dasar memprogram Arduino untuk mengatur sudut putaran motor, sekaligus menjadi langkah awal penguatan keterampilan otomasi dan sistem kendali di tingkat desa.

2. METODELOGI PELAKSANAAN

2.1 Khalayak Sasaran dan Waktu Pelaksanaan

Khalayak sasaran kegiatan ini adalah anggota Karang Taruna Desa Ngijo sebanyak 20 orang yang berusia remaja akhir hingga dewasa muda, dengan latar belakang pelajar, mahasiswa, wirausaha muda, dan pekerja. Sebagian besar peserta belum pernah memprogram mikrokontroler sehingga materi disusun mulai dari konsep yang paling dasar. Sebelum pelaksanaan, tim melakukan survei lokasi ke sekretariat Karang Taruna untuk memeriksa ketersediaan ruang, kontak listrik, meja kerja, dan pencahayaan, serta berkoordinasi dengan pengurus mengenai jadwal dan jumlah peserta. Pelatihan dilaksanakan secara tatap muka selama satu hari dengan durasi efektif sekitar lima jam, yang terdiri atas sesi pengantar, penyampaian materi, demonstrasi, praktik berkelompok, dan evaluasi.

2.2 Alat dan Bahan

1. Papan Arduino Uno R3 beserta kabel USB tipe A–B (lima unit, satu unit untuk setiap kelompok praktik).
2. Motor stepper 28BYJ-48 (5 V) beserta modul driver ULN2003 (lima set).
3. Kabel jumper *female-to-female* untuk menghubungkan pin Arduino dengan modul ULN2003 (Gambar 1).
4. Laptop dengan Arduino IDE dan pustaka Stepper.h, serta proyektor untuk demonstrasi program dan alur kerja (Gambar 2).
5. Busur derajat dan stiker penanda untuk menandai posisi awal dan akhir poros motor selama pengujian.
6. Bahan tayang (slide), modul pelatihan, lembar panduan praktik, serta lembar soal *pre-test* dan *post-test*.

2.3 Tahapan Pelaksanaan

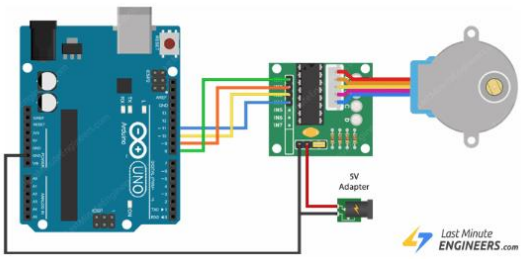
Pelatihan dilaksanakan melalui sepuluh tahapan, yaitu (1) survei lokasi, (2) persiapan alat dan bahan, (3) penyusunan materi, (4) pelaksanaan *pre-test*, (5) penyampaian materi, (6) demonstrasi alat, (7) praktik langsung peserta, (8) diskusi dan tanya jawab, (9) pelaksanaan *post-test*, dan (10) evaluasi kegiatan. Pada tahap persiapan, tim menguji seluruh set perangkat dan program

contoh agar berfungsi baik sebelum dibawa ke lokasi, kemudian menyusun materi yang meliputi pengertian, jenis, dan karakteristik motor stepper, konsep *step angle*, spesifikasi motor 28BYJ-48, driver ULN2003, peran Arduino, serta contoh aplikasi di dunia nyata.

Pada pelaksanaan, peserta lebih dahulu mengerjakan *pre-test* untuk mengetahui pemahaman awal, dilanjutkan penyampaian materi secara ceramah interaktif dan demonstrasi alat oleh instruktur. Peserta kemudian dibagi menjadi lima kelompok beranggotakan empat orang untuk berpraktik, dan kegiatan ditutup dengan diskusi, *post-test*, serta evaluasi. Rincian langkah teknis pada tahap (6) dan (7) dijabarkan sebagai berikut.

2.3.1 Langkah-Langkah Perakitan dan Pengkabelan Motor Stepper

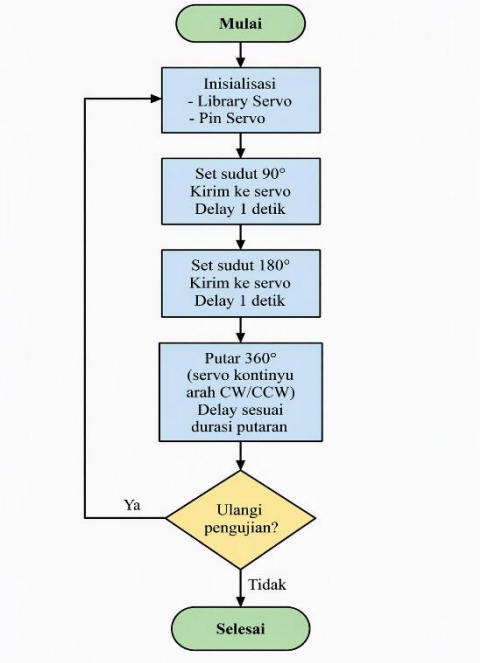
1. Instruktur memperkenalkan komponen yang digunakan, yaitu Arduino Uno, motor stepper 28BYJ-48, modul ULN2003, kabel jumper, dan kabel USB, beserta fungsi masing-masing, kemudian setiap kelompok menerima satu set komponen.
2. Sebelum merakit, peserta memastikan kabel USB Arduino dalam keadaan terlepas dari laptop agar tidak terjadi hubungan singkat saat pengkabelan.
3. Konektor lima pin pada motor dipasang ke soket modul ULN2003 sesuai arah kunci konektor sehingga tidak terbalik.
4. Pin IN1, IN2, IN3, dan IN4 pada modul ULN2003 dihubungkan secara berurutan ke pin digital 8, 9, 10, dan 11 pada Arduino Uno menggunakan kabel jumper.
5. Pin VCC (+) dan GND (−) pada modul ULN2003 dihubungkan ke pin 5V dan GND pada Arduino sebagai sumber daya, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.
6. Setiap kelompok memeriksa silang pengkabelan dengan diagram pada Gambar 1, kemudian instruktur memverifikasi sebelum daya dihidupkan.
7. Stiker penanda dipasang pada poros keluaran motor sebagai acuan posisi awal (0°), lalu Arduino dihubungkan ke laptop melalui kabel USB.



Gambar 1. Diagram pengkabelan Arduino Uno, modul ULN2003, dan motor stepper 28BYJ-48

2.3.2 Langkah-Langkah Pemrograman dan Pengujian Putaran Motor

1. Peserta membuka Arduino IDE, memilih papan Arduino Uno dan port yang sesuai, lalu menuliskan program dengan pustaka Stepper.h, yaitu menetapkan konstanta stepsPerRevolution = 2048, membuat objek Stepper(2048, 8, 10, 9, 11), dan mengatur kecepatan putar melalui setSpeed(10) (10 rpm).
2. Program diverifikasi (*compile*) dan diunggah (*upload*) ke Arduino, sementara instruktur menjelaskan alur kerja program pada Gambar 2.
3. Peserta menjalankan tiga pengujian berurutan, yaitu putaran 90° (step(512)), 180° (step(1024)), dan 360° (step(2048)), dengan jeda dua detik di antara pengujian, kemudian menandai posisi akhir poros pada stiker penanda.
4. Peserta membandingkan sudut hasil pengamatan (menggunakan busur derajat) dengan sudut teoretis, mencatat selisihnya, dan mendiskusikan kemungkinan penyebab perbedaan sebagai bahan evaluasi hasil pengujian.



Gambar 2. Diagram alir program pengujian putaran 90°, 180°, dan 360° pada Arduino

2.4 Instrumen Evaluasi Pemahaman Peserta

Untuk mengukur keberhasilan pelatihan, tim pelaksana menyusun instrumen evaluasi berupa soal tes tertulis yang diberikan kepada peserta pada dua waktu, yaitu sebelum pelatihan dimulai (*pre-test*) dan setelah seluruh rangkaian kegiatan selesai (*post-test*). Setiap tes terdiri atas 10 butir soal pilihan ganda dan uraian singkat dengan skala skor 0–100, serta disusun pada tingkat kesulitan yang setara. Butir soal dikelompokkan ke dalam enam indikator utama, yaitu: (1) prinsip kerja motor stepper, (2) konsep *step angle*, (3) perhitungan sudut putaran, (4) penggunaan driver ULN2003, (5) pengendalian motor stepper menggunakan Arduino, dan (6) implementasi motor stepper dalam sistem otomasi.

Data dianalisis secara deskriptif dengan menghitung nilai rata-rata, nilai tertinggi, dan nilai terendah, selisih nilai rata-rata, serta persentase peningkatan = (rata-rata *post-test* − rata-rata *pre-test*) ÷ rata-rata *pre-test* × 100%. Besarnya peningkatan juga dinyatakan dengan *normalized gain* (N-Gain) = (rata-rata *post-test* − rata-rata *pre-test*) ÷ (100 − rata-rata *pre-test*), dengan kategori tinggi (N-Gain ≥ 0,70), sedang (0,30–0,69), dan rendah (< 0,30). Tingkat kehadiran, antusiasme, dan kemampuan praktik peserta dicatat melalui daftar hadir dan lembar observasi selama kegiatan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Penyampaian Materi Motor Stepper dan Konsep Step Angle

Pada sesi penyampaian materi, peserta terlebih dahulu diperkenalkan dengan pengertian motor stepper. Motor stepper adalah motor listrik tanpa sikat (*brushless*) yang mengubah pulsa listrik digital menjadi gerakan poros dalam langkah sudut yang tetap dan terukur [4] [5]. Prinsip kerjanya adalah mengalirkan arus ke belitan stator secara bergantian dengan urutan tertentu sehingga medan magnet stator berpindah dari satu kutub ke kutub berikutnya, dan rotor yang bermagnet mengikuti perpindahan tersebut selangkah demi selangkah. Satu pulsa menghasilkan satu langkah, sehingga arah putaran ditentukan oleh urutan energisasi belitan, sedangkan kecepatan ditentukan oleh frekuensi pulsa. Fungsi utama motor stepper adalah memosisikan poros secara tepat, mengatur kecepatan putar secara digital, dan menahan posisi saat tidak berputar. Untuk memudahkan pemahaman, instruktur menganalogikannya dengan jarum detik jam yang berpindah satu tanda setiap detik.

Materi berikutnya adalah tiga jenis motor stepper. *Permanent Magnet* (PM) *Stepper Motor* memiliki rotor magnet permanen sehingga menghasilkan torsi yang baik pada kecepatan rendah dengan sudut langkah yang relatif besar (umumnya 7,5° hingga 15°) dan harga murah, sebagaimana motor 28BYJ-48 yang digunakan dalam praktik. *Variable Reluctance* (VR) *Stepper Motor* memiliki rotor besi lunak bergerigi tanpa magnet permanen, memberikan respons yang cepat dan sudut langkah kecil, tetapi torsinya rendah serta tidak menahan posisi ketika belitan tidak dialiri arus. *Hybrid Stepper Motor* menggabungkan kedua prinsip tersebut sehingga menghasilkan sudut langkah kecil (1,8° atau 0,9°), torsi tinggi, dan akurasi baik, sehingga paling banyak digunakan pada peralatan presisi [4] [6].

Peserta kemudian mempelajari lima karakteristik utama motor stepper. Torsi, yaitu kemampuan memutar atau menahan beban, terdiri atas torsi penahan (*holding torque*) dan torsi dinamis yang cenderung menurun ketika

kecepatan meningkat. Akurasi posisi menyatakan kedekatan posisi poros dengan target dan pada motor stepper tidak terakumulasi dari langkah ke langkah selama tidak ada langkah yang hilang. Resolusi ditentukan oleh jumlah langkah per putaran dan dapat dipertajam dengan mode *half-step* atau *microstepping* [7]. Kecepatan putaran sebanding dengan frekuensi pulsa, yaitu n (rpm) = f × θ ÷ 6 dengan f dalam Hz dan θ dalam derajat. Konsumsi daya relatif tetap karena belitan terus dialiri arus untuk menahan posisi walaupun motor diam, sehingga motor dan driver dapat menjadi hangat.

Konsep yang menjadi inti pelatihan adalah *step angle* (θ), yaitu besar sudut putaran poros untuk setiap satu langkah atau satu pulsa. Karena satu putaran penuh adalah 360°, jumlah langkah per putaran dirumuskan N = 360° ÷ θ, dan sudut total putaran setelah n pulsa adalah α = n × θ atau, sebaliknya, n = α ÷ θ. Peserta menghitung tiga contoh bersama instruktur, yaitu motor 1,8° dengan N = 360 ÷ 1,8 = 200 langkah, motor 0,9° dengan N = 360 ÷ 0,9 = 400 langkah, dan motor 7,5° dengan N = 360 ÷ 7,5 = 48 langkah per putaran. Hasil perhitungan tersebut, beserta nilai untuk motor 28BYJ-48, dirangkum pada Tabel 1.

Jenis Motor	Step Angle	Perhitungan	Jumlah Step
Motor 1,8°	1,8°	360° ÷ 1,8°	200 step
Motor 0,9°	0,9°	360° ÷ 0,9°	400 step
Motor 7,5°	7,5°	360° ÷ 7,5°	48 step
28BYJ-48 (*full-step*, poros keluaran)	≈ 0,176°	(360° ÷ 11,25°) × 64	2048 step
28BYJ-48 (*half-step*, poros keluaran)	≈ 0,088°	(360° ÷ 5,625°) × 64	4096 step

Tabel 1. Perhitungan step angle

Tabel 1 memperlihatkan bahwa semakin kecil *step angle*, semakin banyak pulsa yang diperlukan untuk satu putaran penuh dan semakin halus resolusi putarannya. Hubungan jumlah pulsa dengan sudut putaran juga diperagakan dengan contoh perhitungan putaran 90°: motor 1,8° memerlukan 90 ÷ 1,8 = 50 pulsa, motor 0,9° memerlukan 90 ÷ 0,9 = 100 pulsa, dan motor 7,5° memerlukan 90 ÷ 7,5 = 12 pulsa. Pada motor 28BYJ-48 yang dioperasikan dalam mode *full-step*, putaran 90° memerlukan 512 pulsa, putaran 180° memerlukan 1024 pulsa, dan putaran 360° memerlukan 2048 pulsa. Perhitungan inilah yang kemudian diterapkan peserta pada sesi praktik.

3.2 Hasil Demonstrasi dan Praktik Pengendalian Motor Stepper 28BYJ-48

Pada sesi demonstrasi, instruktur memperkenalkan motor stepper 28BYJ-48. Berdasarkan lembar data produsen [11], motor ini bekerja pada tegangan kerja 5 V DC, bertipe unipolar empat fasa dengan lima kabel, hambatan belitan sekitar 50 Ω, dan torsi sekitar 34,3 mN·m. Motor dilengkapi gearbox reduksi dengan rasio nominal 1:64 sehingga poros keluaran berputar lebih lambat tetapi memiliki torsi lebih besar. Pada mode *full-step*, rotor memiliki 32 langkah per putaran (11,25° per langkah) sehingga setelah direduksi menjadi 2048 langkah per putaran poros keluaran dengan resolusi sudut ≈ 0,176°, sedangkan pada mode *half-step* menjadi 4096 langkah dengan resolusi ≈ 0,088°. Kelebihan motor ini adalah harga murah, tegangan kerja rendah, torsi cukup besar berkat gearbox, dan resolusi sudut yang halus. Kekurangannya adalah kecepatan putar yang rendah (sekitar belasan rpm), adanya kelonggaran gigi (*backlash*) pada gearbox, serta torsi yang terbatas sehingga tidak cocok untuk beban berat.

Peserta selanjutnya diperkenalkan dengan modul driver ULN2003. Modul ini memuat IC ULN2003A yang tersusun atas tujuh pasang transistor Darlington dengan arus kolektor maksimum sekitar 500 mA per kanal dan dilengkapi dioda peredam tegangan induksi balik [10]. Fungsi driver diperlukan karena pin Arduino hanya mampu memberikan arus sekitar 20 mA per pin, sedangkan belitan motor memerlukan arus yang jauh lebih besar. Cara

kerjanya, sinyal HIGH dari pin Arduino pada input IN1–IN4 menyalakan transistor yang bersesuaian sehingga arus dari catu daya mengalir melalui belitan motor ke ground; empat LED pada modul menyala sesuai belitan yang aktif sehingga peserta dapat melihat urutan energisasi secara langsung. Dengan demikian, Arduino berperan sebagai pengirim sinyal logika, sedangkan ULN2003 menyediakan arus daya bagi motor.

Terkait peran Arduino, peserta memahami bahwa Arduino Uno yang berbasis mikrokontroler ATmega328P berfungsi sebagai otak sistem kendali [2] [12]. Alur kerjanya dimulai dari program yang menentukan jumlah langkah dan kecepatan, kemudian Arduino mengeluarkan urutan sinyal HIGH–LOW pada pin 8 sampai 11, sinyal tersebut diperkuat oleh ULN2003 untuk mengalirkan arus ke belitan, dan medan magnet yang berubah menggerakkan rotor satu langkah pada setiap perubahan urutan. Pustaka Stepper.h mengelola urutan energisasi ini sehingga peserta hanya perlu menetapkan jumlah langkah dan kecepatan. Pada kecepatan 10 rpm dengan 2048 langkah per putaran, frekuensi pulsa yang diperlukan adalah $f = 10 \times 2048 \div 60 \approx 341$ Hz, sehingga putaran 90°, 180°, dan 360° masing-masing berlangsung sekitar 1,5; 3; dan 6 detik.

Pada sesi praktik, seluruh peserta (20 orang) terlibat aktif dalam lima kelompok. Seluruh kelompok dapat mengenali komponen dan menyebutkan fungsinya, serta menyelesaikan perakitan dan pengkabelan dalam waktu 15–25 menit. Empat dari lima kelompok berhasil menjalankan motor pada percobaan pertama, sedangkan satu kelompok mengalami motor yang hanya bergetar karena urutan pin IN2 dan IN3 tertukar. Kelompok tersebut dapat memperbaikinya setelah instruktur menjelaskan kaitan urutan energisasi belitan dengan urutan pin pada program Stepper(2048, 8, 10, 9, 11), sehingga kendala ini justru memperkuat pemahaman peserta mengenai prinsip kerja motor stepper. Selain itu, satu laptop memerlukan pemasangan *driver* port serial agar papan Arduino terbaca oleh Arduino IDE.

Pada pengujian putaran, seluruh kelompok berhasil memutar poros motor sebesar 90° (512 langkah), 180° (1024 langkah), dan 360° (2048 langkah). Pengamatan dengan busur derajat menunjukkan bahwa posisi akhir poros sesuai dengan sudut teoretis dengan selisih yang tidak melebihi sekitar 3°, yang pada evaluasi hasil pengujian dikaitkan dengan ketebalan penanda, ketelitian pembacaan visual, dan *backlash* pada gearbox. Pada pengujian 360°, poros kembali tepat ke penanda awal pada seluruh kelompok. Dalam sesi evaluasi, 18 dari 20 peserta (90%) mampu menjelaskan hubungan antara jumlah pulsa dan sudut putaran serta menghitung sendiri jumlah langkah untuk sudut lain, misalnya 45° yang memerlukan 256 langkah.

3.3 Hasil Diskusi, Kelebihan–Kekurangan, dan Aplikasi Motor Stepper

Diskusi dan tanya jawab berlangsung dinamis. Pertanyaan yang diajukan peserta antara lain perbedaan motor stepper dengan motor DC dan motor servo, alasan motor 28BYJ-48 memerlukan 2048 langkah untuk satu putaran padahal sudut langkah rotornya 11,25°, penyebab motor bergetar ketika urutan kabel keliru, serta kemungkinan memperbesar torsi agar dapat menggerakkan beban yang lebih berat. Instruktur menjelaskan bahwa motor stepper menggerakkan poros berdasarkan jumlah pulsa tanpa sensor posisi, sedangkan motor DC memerlukan sensor untuk menentukan posisi; bahwa angka 2048 berasal dari perkalian jumlah langkah rotor dengan rasio gearbox; dan bahwa beban yang lebih berat memerlukan motor jenis *hybrid* dengan driver arus yang lebih besar.

Peserta juga merumuskan kelebihan dan kekurangan motor stepper. Kelebihannya adalah posisi dapat dikendalikan secara presisi tanpa sensor umpan balik, konstruksi tanpa sikat sehingga lebih awet, mampu menahan posisi saat diam, mudah dikendalikan secara digital oleh mikrokontroler, respons *start–stop–reverse* cepat, dan biayanya relatif murah [6]. Kekurangannya adalah konsumsi daya dan panas yang tetap tinggi walaupun motor diam, torsi menurun pada kecepatan tinggi, rentan getaran dan resonansi pada kecepatan tertentu, serta berpotensi kehilangan langkah tanpa disadari apabila beban melebihi torsi motor karena tidak adanya umpan balik posisi [4] [7].

Pembahasan ditutup dengan aplikasi motor stepper di dunia nyata dan ide

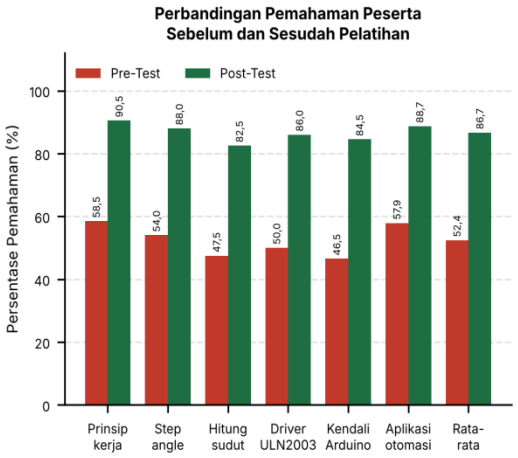
pemanfaatannya di desa. Pada printer 3D, motor stepper (umumnya jenis *hybrid*) menggerakkan sumbu X, Y, Z, dan ekstruder dengan ketelitian posisi tinggi. Pada mesin CNC, motor stepper menggerakkan pahat sesuai lintasan yang telah diprogram. Pada robotika, motor stepper digunakan untuk sendi lengan robot dan penggerak roda [8] [9], sedangkan pada sistem otomasi motor stepper dipakai untuk pemberi pakan otomatis, tirai atau pintu otomatis, dan mesin pengisi. Pada konveyor, motor stepper mengatur perpindahan benda pada jarak yang tepat, dan pada *tracker antenna* motor stepper mengatur sudut azimut dan elevasi agar antena selalu mengarah ke satelit atau sumber sinyal. Beberapa peserta mengusulkan penerapan sederhana, seperti alat pemberi pakan ikan otomatis dan tirai penjemur otomatis, yang menunjukkan tumbuhnya kemampuan mengaitkan konsep dengan kebutuhan lingkungan sekitar.

3.4 Hasil Evaluasi Pemahaman Peserta (Pre-Test dan Post-Test)

Selain hasil praktik, keberhasilan pelatihan juga diukur melalui perubahan tingkat pemahaman peserta sebelum dan sesudah kegiatan berlangsung. Pada *pre-test*, nilai rata-rata 20 peserta adalah 52,4 dengan nilai tertinggi 75 dan nilai terendah 30, sedangkan pada *post-test* nilai rata-rata menjadi 86,7 dengan nilai tertinggi 100 dan nilai terendah 70. Tabel 2 dan Gambar 3 menyajikan perbandingan persentase pemahaman peserta pada enam indikator yang dievaluasi.

Indikator Pemahaman	Pre Test (%)	Post Test (%)	Peningkatan (poin)
Prinsip kerja motor stepper	58,5	90,5	+32,0
Konsep *step angle*	54,0	88,0	+34,0
Perhitungan sudut putaran	47,5	82,5	+35,0
Penggunaan driver ULN2003	50,0	86,0	+36,0
Pengendalian motor stepper dengan Arduino	46,5	84,5	+38,0
Implementasi pada sistem otomasi	57,9	88,7	+30,8
Rata-rata keseluruhan	**52,4**	**86,7**	**+34,3**

Tabel 2. Perbandingan persentase pemahaman peserta sebelum dan sesudah pelatihan (N=20 peserta)



Gambar 3. Grafik perbandingan pemahaman peserta pre-test dan post-test per indikator

Data pada Tabel 2 menunjukkan peningkatan rata-rata pemahaman peserta sebesar 34,3 poin

(selisih 86,7 − 52,4), dari 52,4 (kategori cukup) pada saat *pre-test* menjadi 86,7 (kategori tinggi) pada saat *post-test*. Persentase peningkatannya adalah (34,3 ÷ 52,4) × 100% ≈ 65,5%, dan nilai N-Gain adalah 34,3 ÷ (100 − 52,4) = 34,3 ÷ 47,6 ≈ 0,72, yang termasuk kategori tinggi. Nilai tertinggi meningkat 25 poin (75 menjadi 100) dan nilai terendah meningkat 40 poin (30 menjadi 70), sehingga rentang nilai peserta menyempit dari 45 menjadi 30 poin. Hal ini mengindikasikan bahwa peserta dengan pemahaman awal paling rendah memperoleh manfaat terbesar, dan seluruh peserta mencapai nilai minimal 70 setelah pelatihan.

Dari sisi indikator, peningkatan paling menonjol terjadi pada kemampuan mengendalikan motor stepper menggunakan Arduino (+38,0 poin), yang pada awalnya merupakan indikator dengan nilai terendah (46,5), sehingga pendekatan praktik langsung terbukti efektif membangun keterampilan yang belum dimiliki peserta. Peningkatan pada penggunaan driver ULN2003 (+36,0), perhitungan sudut putaran (+35,0), dan konsep *step angle* (+34,0) menunjukkan bahwa penjelasan bertahap dari rumus, contoh perhitungan, hingga pengujian langsung membantu peserta memahami hubungan pulsa dan sudut putaran. Pemahaman prinsip kerja motor stepper meningkat +32,0 poin dan mencapai nilai post-test tertinggi (90,5), sedangkan implementasi pada sistem otomasi meningkat paling kecil (+30,8) karena peserta sudah mengenal peralatan seperti printer 3D dan mesin CNC sebelum pelatihan (nilai awal 57,9). Indikator perhitungan sudut putaran memperoleh nilai *post-test* terendah (82,5), yang wajar karena menuntut kemampuan berhitung sekaligus pemahaman konsep sehingga berpotensi menjadi fokus penguatan pada pelatihan lanjutan.

3.5 Evaluasi Pelaksanaan Pelatihan

Secara umum, kegiatan berjalan lancar dan sesuai rencana. Tingkat kehadiran peserta mencapai 100% (20 dari 20 peserta terdaftar) dan seluruh peserta mengikuti kegiatan dari awal hingga akhir. Peserta menunjukkan antusiasme tinggi yang terlihat dari keaktifan bertanya, kesediaan bergantian merakit dan memprogram dalam kelompok, serta keinginan mencoba variasi program, misalnya mengubah jumlah langkah dan kecepatan putar. Beberapa peserta mampu menjelaskan kembali dengan bahasa sederhana bahwa "satu pulsa sama dengan satu langkah sudut, jadi sudut putar dapat dihitung dari jumlah pulsa", yang menunjukkan bahwa pemahaman konseptual dasar telah tercapai.

Kendala yang ditemui selama pelatihan antara lain keterbatasan waktu praktik, variasi tingkat pemahaman dasar komputer di antara peserta, kesalahan urutan pengkabelan pada salah satu kelompok, serta pemasangan *driver* port serial pada satu laptop, sehingga pendampingan individual masih diperlukan pada sesi praktik. Sebagai tindak lanjut, direkomendasikan pelatihan lanjutan yang mencakup pengendalian arah dan kecepatan dengan tombol atau sensor, penggunaan driver motor yang lebih kuat untuk motor *hybrid*, serta pembentukan kelompok belajar Karang Taruna yang didampingi tim pengabdian.

4. KESIMPULAN

1. Pelatihan pengendalian motor stepper berbasis Arduino yang memadukan penyampaian materi, demonstrasi alat, dan praktik langsung efektif digunakan sebagai media peningkatan literasi teknologi bagi anggota Karang Taruna Desa Ngijo yang sebagian besar berlatar belakang non-teknik.
2. Nilai rata-rata peserta meningkat dari 52,4 pada *pre-test* menjadi 86,7 pada *post-test*, yaitu naik 34,3 poin atau 65,5% dengan N-Gain 0,72 (kategori tinggi), sedangkan nilai tertinggi meningkat dari 75 menjadi 100 dan nilai terendah dari 30 menjadi 70.
3. Pemahaman peserta meningkat pada seluruh indikator, yaitu prinsip kerja motor stepper, *step angle*, perhitungan sudut putaran, penggunaan ULN2003, pengendalian motor stepper menggunakan Arduino, dan implementasi motor stepper dalam sistem otomasi, dengan peningkatan terbesar pada pengendalian motor stepper menggunakan Arduino.
4. Seluruh kelompok peserta mampu merakit rangkaian Arduino–ULN2003–28BYJ-48, mengunggah program, dan menjalankan pengujian putaran 90°, 180°, dan 360° dengan hasil yang sesuai perhitungan teoretis, sehingga keterampilan dasar peserta di bidang otomasi dan sistem kendali meningkat dan perlu

dilanjutkan melalui pendampingan berkelanjutan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pengabdian mengucapkan terima kasih kepada Politeknik Angkatan Darat atas dukungan fasilitas selama kegiatan, kepada pengurus Karang Taruna dan perangkat Desa Ngijo atas izin dan koordinasi pelaksanaan kegiatan, serta kepada seluruh peserta pelatihan atas partisipasi aktif yang mendukung keberhasilan kegiatan pengabdian ini.

6. REFERENSI

[1] A. Hindratmo, O. Purnamayudhia, F. G. Dewi, C. W. Oktavia, and D. P. I. B. S. Wulan, "Pelatihan Pengenalan dan Perakitan Energi Terbarukan dan IoT Berbasis Arduino pada Siswa Sekolah Wijaya Putra," *Pengabdian Masyarakat dan Inovasi Teknologi (DIMASTEK)*, vol. 5, no. 1, pp. 335–340, 2026, doi: 10.38156/dimastek.v5i01.149.

[2] Y. A. Badamasi, "The working principle of an Arduino," in *2014 11th International Conference on Electronics, Computer and Computation (ICECCO)*, 2014, pp. 1–4, doi: 10.1109/ICECCO.2014.6997578.

[3] L. Louis, "Working principle of Arduino and using it as a tool for study and research," *Int. J. Control, Autom., Commun. Syst.*, vol. 1, no. 2, pp. 21–29, 2016, doi: 10.5121/ijcacs.2016.1203.

[4] P. P. Acarnley, *Stepping Motors: A Guide to Theory and Practice*, 4th ed. London, U.K.: Institution of Engineering and Technology, 2002.

[5] T. Kenjo and A. Sugawara, *Stepping Motors and Their Microprocessor Controls*, 2nd ed. Oxford, U.K.: Clarendon Press, 1994.

[6] V. V. Athani, *Stepper Motors: Fundamentals, Applications and Design*. New Delhi, India: New Age International, 1997.

[7] P.-S. Tsai, T.-F. Wu, J.-Y. Chen, and P.-T. Teng, "Micro-Stepping Motor for Instrument Panel Using PWM Drive Method," *Processes*, vol. 11, no. 2, p. 329, 2023, doi: 10.3390/pr11020329.

[8] K. R. Sreejyothi, K. Chenchireddy, A. Srujana, D. Nagaraju, G. Ramcharan, and D. Raghu, "Arduino based stepper motor speed regulation for robotics applications," *Int. J. Appl. Power Eng.*, vol. 13, no. 3, pp. 695–702, 2024, doi: 10.11591/ijape.v13.i3.pp695-702.

[9] K. Kasiyanto, A. Aripriharta, D. Widiatmoko, D. Irmanto, and M. Cahyo Bagaskoro, "Hostage Liberation Operations using Wheeled Robots Based on LIDAR (Light Detection and Ranging) Sensors," *MATRIK J. Manajemen, Tek. Inform. dan Rekayasa Komput.*, vol. 23, no. 2, pp. 243–258, 2024, doi: 10.30812/matrik.v23i2.3493.

[10] Texas Instruments, "ULN2003A High-Voltage, High-Current Darlington Transistor Arrays," Datasheet SLRS027, 2016.

[11] Kiatronics, "28BYJ-48 – 5V Stepper Motor," Product datasheet, n.d.

[12] M. Banzi and M. Shiloh, *Getting Started with Arduino*, 4th ed. Sebastopol, CA, USA: Maker Media, 2022.