

Workshop Perakitan Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis Sensor Air Dengan Indikator Lampu Rotator 12 V Bagi Siswa Smkn 1 Sungai Limau Kabupaten Padang Pariaman

Afrizal Yuhane^{1*}, Herry Setiawan², Nasrul³, Uzma Septima⁴, Firdaus⁵

^{1,2,3,4,5} Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Padang, Padang, Indonesia

*afrizalyuhanef@pnp.ac.id

Abstrak : Bencana banjir merupakan ancaman hidrometeorologi tahunan yang tinggi di Kabupaten Padang Pariaman, khususnya di kawasan pesisir dan DAS Batang Limau tempat SMKN 1 Sungai Limau berada. Ketiadaan sistem peringatan dini banjir mandiri di lingkungan sekolah meningkatkan kerentanan civitas akademika saat curah hujan ekstrem. Pengabdian masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan kompetensi teknis dan kesiapsiagaan siswa SMKN 1 Sungai Limau dalam merakit, menguji, dan memelihara Sistem Peringatan Dini Banjir (Flood Early Warning System/FEWS) berbasis sensor air float switch dan lampu rotator 12 V DC. Metode pelaksanaan menerapkan pendekatan Project-Based Learning (PjBL) berbasis vokasi yang mencakup empat tahapan utama: (1) pembekalan teori mitigasi dan sensorik, (2) praktik perakitan wiring schematics dan hardware 12 V, (3) kalibrasi dan simulasi ambang batas ketinggian air pada bejana uji, serta (4) pengujian keandalan dan troubleshooting. Kegiatan ini diikuti oleh 20 siswa Konsentrasi Keahlian Teknik Listrik dan Elektronika. Evaluasi keberhasilan menggunakan instrumen pre-test/post-test berbasis indikator Bloom terintegrasi serta kuesioner respon peserta skala Likert. Hasil pengabdian menunjukkan peningkatan rata-rata nilai kompetensi yang sangat signifikan dari 42,50 (kategori kurang) menjadi 86,25 (kategori sangat baik), dengan nilai terhitung N-Gain sebesar 0,76 yang masuk dalam kriteria tinggi (N-Gain > 0,70). Uji Paired Sample t-Test menghasilkan p-value < 0,001 yang membuktikan efektivitas metode workshop PjBL secara statistik. Selain peningkatan kognitif dan psikomotorik, kegiatan ini menghasilkan 4 unit Trainer Kit FEWS 12 V teruji yang siap difungsikan sebagai sarana praktikum sekolah dan instrumen mitigasi kebencanaan dini. Program ini terbukti efektif memperkuat resiliensi komunitas sekolah berbasis pendidikan vokasi yang aplikatif dan berkelanjutan.

Kata Kunci: *Sistem Peringatan Dini Banjir, Sensor Air Float Switch, Lampu Rotator 12 V, Mitigasi Bencana, Pendidikan Vokasi, Project-Based Learning, SMKN 1 Sungai Limau.*

Pendahuluan

Indonesia secara geografis, geologis, dan hidrometeorologis terbentang pada lintasan Cincin Api Pasifik (Pacific Ring of Fire) serta memiliki bentang wilayah iklim tropis bercurah hujan tinggi yang menjadikannya sebagai salah satu negara dengan tingkat kerentanan tertinggi terhadap bencana alam di dunia (BNPB, 2023; World Bank, 2022). Di antara berbagai spektrum bencana alam, banjir mencatatkan frekuensi kejadian paling dominan dan memberikan dampak kerugian sosio-ekonomi yang paling masif secara konsisten setiap tahunnya (UNESCO, 2021). Perubahan iklim global yang kian tereskalasi memicu anomali cuaca ekstrem seperti fenomena La Niña, dipadukan dengan degradasi kapasitas resapan air tanah akibat percepatan alih fungsi lahan perkotaan dan perdesaan yang tak terencana (BMKG, 2024; IPCC, 2023). Kondisi ini menyebabkan limpasan air permukaan (surface runoff) meningkat pesat melebihi kapasitas penampungan drainase alamiah maupun buatan,

sehingga berdampak langsung pada kelumpuhan infrastruktur publik, kerusakan fasilitas pendidikan, dan ancaman nyata terhadap keselamatan jiwa masyarakat.

Berdasarkan laporan data empiris dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB, 2024), selama kurun waktu 2020 hingga 2024 telah terjadi lebih dari 3.500 peristiwa banjir di seluruh wilayah Indonesia, di mana Pulau Sumatera menjadi salah satu penyumbang frekuensi bencana terbesar. Dalam peta kerentanan nasional, Provinsi Sumatera Barat secara konsisten menempati posisi indeks risiko bencana banjir yang sangat tinggi (IRBI BNPB, 2023). Karakteristik bentang alam Sumatera Barat yang sangat khas—didominasi oleh jajaran pegunungan Bukit Barisan dengan kemiringan lereng yang curam serta pesisir pantai yang membentang luas—menciptakan sistem Daerah Aliran Sungai (DAS) berpola dendritik yang sangat peka dan responsif terhadap curah hujan intensitas tinggi (Yuhanef et al., 2023; Oktaviani & Rahman, 2022). Ketika hujan deras mengguyur kawasan hulu, debit air mengalir deras membawa muatan sedimen ke kawasan hilir dalam waktu relatif singkat, sehingga kerap menimbulkan fenomena banjir bandang (galodo) dan banjir luapan sungai secara tiba-tiba.

Kabupaten Padang Pariaman merupakan wilayah administratif di Sumatera Barat yang memiliki tingkat ancaman bencana hidrometeorologi yang sangat kompleks. Secara khusus, Kecamatan Sungai Limau yang terlintasi oleh jaringan DAS Batang Limau memiliki karakteristik geografis yang rawan genangan banjir berulang (BPBD Padang Pariaman, 2024; Prasetyo et al., 2022). Ketika musim penghujan tiba, kombinasi antara debit luapan air dari hulu DAS Batang Limau dan tekanan pasang air laut (banjir rob) di wilayah pesisir mengakibatkan tergenangnya fasilitas pemukiman dan infrastruktur publik. Salah satu instansi pendidikan menengah kejuruan yang terdampak secara langsung oleh kondisi geografis ini adalah Sekolah Menengah Kejuruan Negeri (SMKN) 1 Sungai Limau. Gedung dan bengkel praktikum SMKN 1 Sungai Limau terletak pada zona dataran rendah yang berdekatan dengan alur sungai, sehingga saat hujan intensif melanda selama 2 hingga 3 jam, kompleks sekolah sering terendam banjir dengan kedalaman mencapai 30 hingga 60 cm. Genangan air banjir ini tidak hanya menghentikan aktivitas pembelajaran dan praktikum, tetapi juga berisiko tinggi merusak peralatan laboratorium kelistrikan yang peka serta mengancam keselamatan 20 siswa dan staf pengajar.

Dalam kerangka manajemen risiko bencana global sebagaimana dituangkan dalam Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030, paradigma penanganan bencana telah bergeser secara fundamental dari pendekatan reaktif pasca-kejadian menjadi pendekatan mitigasi proaktif dan pengurangan risiko bencana (Disaster Risk Reduction/DRR) berbasis kesiapsiagaan komunitas (UNDRR, 2020; Kemendikbudristek, 2022). Penerapan Pengurangan Risiko Bencana Berbasis Sekolah (School-Based Disaster Risk Reduction/SBDRR) menjadi instrumen kunci untuk menciptakan budaya sadar bencana dan resiliensi keberlanjutan di lembaga pendidikan (Suryani et al., 2021). Sekolah tidak boleh lagi berposisi sebagai korban pasif kebencanaan, melainkan harus bertindak sebagai pusat ketahanan komunitas (community resilience hub) yang dilengkapi dengan pemahaman, keterampilan, dan peralatan mitigasi mandiri yang andal (Shaw et al., 2021; UNESCO, 2022).

Salah satu instrumen teknis utama dalam mitigasi bencana banjir adalah penyediaan Sistem Peringatan Dini Banjir atau Flood Early Warning System (FEWS) (Alaydrus et al., 2023; Silva et al., 2021). Sistem peringatan dini bertindak sebagai garda terdepan untuk mendeteksi secara dini dinamika kenaikan muka air dan mentransmisikan sinyal bahaya sebelum luapan air mencapai tingkat kritis yang merusak. Dengan tersedianya sinyal peringatan dini yang terdengar nyaring dan terlihat jelas, warga sekolah memperoleh waktu jeda tanggap darurat (lead time) yang memadai untuk melakukan tindakan penyelamatan mandiri, seperti menonaktifkan saklar daya listrik utama guna mencegah bahaya sengatan listrik (electrocution hazard), memindahkan peralatan praktikum berharga ke tempat aman, serta mengevakuasi siswa secara teratur (Rahman et al., 2022).

Secara teknis, pengembangan instrumen FEWS yang aplikatif untuk skala lingkungan sekolah memerlukan pemilihan komponen sensor dan aktuator yang memiliki keandalan mekanis-elektrikal tinggi serta biaya operasional yang efisien (cost-effective). Penggunaan sensor air tipe float switch (saklar pelampung) berbasis saklar buluh magnetik (magnetic reed switch) menyajikan solusi teruji untuk deteksi level air (Setiawan & Yuhane, 2023; Zhang et al., 2022). Berbeda dengan sensor kontak resistif yang cepat terkorosi akibat mineral air atau sensor ultrasonik yang sering terkecoh oleh uap air dan turbulensi permukaan, sensor float switch terbungkus dalam wadah tertutup kedap air (hermetically sealed casing). Sensor ini bekerja berdasarkan gaya apung mekanis dan interaksi medan magnetik tanpa memerlukan konsumsi arus listrik standby, sehingga sangat andal bekerja pada kondisi lingkungan lembab dan kotor (Sasmita et al., 2021).

Sebagai elemen aktuator peringatan dini di kawasan sekolah yang memiliki luas area fisik signifikan dan tingkat kebisingan tinggi saat hujan deras, penggunaan gabungan indikator visual berdensitas cahaya tinggi dan indikator auditori bertekanan suara keras sangatlah mutlak. Penggunaan lampu rotator 12 V DC berteknologi LED strobo bersama sirine listrik DC 110 dB menawarkan efektivitas penetrasi sinyal bahaya yang optimal (Pratama et al., 2023). Kilatan cahaya berputar dari lampu rotator 12 V DC dapat terlihat dengan sangat jelas dari jarak jauh bahkan dalam kondisi cuaca gelap atau tertutup hujan lebat. Lebih dari itu, pemilihan sistem bertegangan kerja 12 V DC yang bersumber dari baterai isi ulang (Sealed Lead Acid/VRLA) memberikan jaminan keandalan sistem tetap beroperasi penuh secara mandiri (stand-alone power) tanpa tergantung pada ketersediaan jaringan listrik PLN yang sering kali sengaja dipadamkan demi keselamatan saat banjir terjadi (Nasrul et al., 2022).

Pendidikan vokasi di Indonesia, khususnya pada Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), memiliki peran yang sangat strategis dalam mencetak sumber daya manusia yang terampil dan responsif terhadap tantangan teknologi terapan di masyarakat (Kemendikbud, 2023; Sudira, 2021). Siswa SMK Konsentrasi Keahlian Teknik Listrik dan Teknik Elektronika dituntut tidak hanya menguasai konsep-konsep akademik dasar kelistrikan, tetapi juga dibekali dengan kecakapan praktis (practical skills) dalam merancang, merakit, menguji, serta merawat sistem kontrol otomatisasi berbasis beban DC dan AC (Ismail et al., 2022; Utomo et al., 2020). Mengintegrasikan proyek perakitan teknologi mitigasi bencana banjir ke dalam kegiatan pembelajaran kejuruan membuka ruang pembelajaran nyata yang mengubah siswa dari sekadar konsumen teknologi menjadi inovator lokal yang mampu menyelesaikan permasalahan kebencanaan di sekitarnya.

Pendekatan pembelajaran berbasis proyek atau Project-Based Learning (PjBL) yang mengintegrasikan prinsip-prinsip STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) telah terbukti secara akademis mampu mengoptimalkan pencapaian domain kognitif, psikomotorik, dan afektif peserta didik kejuruan (Capraro et al., 2021; Septima et al., 2023; Thomas, 2020). Melalui PjBL, siswa dihadapkan pada skenario masalah konkrit yang membutuhkan pemikiran kritis (critical thinking), kolaborasi tim, dan pemecahan masalah (problem solving) secara mandiri. Konsep learning by doing dalam perakitan trainer kit FEWS melatih ketelitian siswa dalam membaca skema kelistrikan (wiring schematics), melakukan crimping kabel, menyolder terminal relay, mengkalibrasi ambang batas ketinggian air, hingga menganalisis potensi kegagalan rangkaian (Wibawa et al., 2021).

Sejumlah studi dan kegiatan penelitian terdahulu telah mendokumentasikan pengembangan sistem peringatan dini banjir dan edukasi bencana. Penelitian oleh Handayani et al. (2022) merancang FEWS berbasis mikrokontroler Arduino dan sensor ultrasonik HC-SR04 dengan notifikasi SMS Gateway. Namun, sistem tersebut membutuhkan pasokan daya listrik AC PLN secara kontinu dan sangat tergantung pada stabilitas sinyal BTS seluler yang sering mengalami gangguan saat cuaca ekstrem. Penelitian Ramadhan & Wibowo (2023) menerapkan sistem pemantauan level air berbasis IoT Blynk. Meski menawarkan integrasi aplikasi smartphone, sistem IoT tersebut memerlukan jaringan Wi-Fi yang stabil serta keahlian pemrograman koding C++ yang rumit, sehingga kurang sesuai untuk operasional mandiri di sekolah pinggiran rawan bencana. Di sisi lain, kegiatan

pengabdian oleh Nugroho et al. (2021) berfokus pada sosialisasi kesiapsiagaan banjir melalui ceramah dan pembagian brosur tanpa menyertakan praktik perakitan teknologi, sehingga peningkatan kompetensi psikomotorik siswa kurang terbangun secara optimal.

Dengan menelaah kajian literatur tersebut, teridentifikasi adanya kesenjangan (research gap) yang nyata antara kebutuhan sistem peringatan dini banjir skala sekolah yang mandiri energi, tangguh, dan bertarif terjangkau dengan strategi edukasi vokasi yang mengintegrasikan perakitan teknologi tepat guna secara langsung. Sebagian besar pengembangan FEWS saat ini terjebak pada kompleksitas arsitektur IoT berbasis internet yang rentan lumpuh saat pemadaman listrik dan ketiadaan sinyal. Selain itu, model workshop perakitan Trainer Kit FEWS 12 V berbasis PjBL sebagai media peningkatan resiliensi sekolah kejuruan di daerah rawan banjir belum pernah diformulasikan secara komprehensif.

Guna mengatasi permasalahan mitra di SMKN 1 Sungai Limau dan mengisi kesenjangan penelitian tersebut, tim Pengabdian kepada Masyarakat Politeknik Negeri Padang (PNP) melaksanakan kegiatan "Workshop Perakitan Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis Sensor Air dengan Indikator Lampu Rotator 12 V bagi Siswa SMKN 1 Sungai Limau Kabupaten Padang Pariaman". Tujuan mendasar dari pengabdian ini adalah: (1) meningkatkan pengetahuan kognitif dan keterampilan praktis siswa SMK dalam perakitan instrumen FEWS 12 V DC berbasis sensor float switch, (2) menghasilkan 4 unit trainer kit FEWS 12 V yang 100% fungsional untuk dipasang di area rawan sekolah dan dijadikan media praktikum, serta (3) memperkuat resiliensi dan kesiapsiagaan kebencanaan civitas akademika SMKN 1 Sungai Limau secara mandiri dan berkelanjutan.

Realisasi Kegiatan

Analisis Permasalahan Mitra

SMKN 1 Sungai Limau berlokasi di Jalan Raya Pariaman - Lubuk Basung, Kecamatan Sungai Limau, Kabupaten Padang Pariaman, Sumatera Barat. Secara geografis, sekolah ini berada pada kawasan koridor pesisir barat Sumatera dan dilintasi oleh alur anak sungai DAS Batang Limau. Berdasarkan hasil observasi lapangan dan analisis kebutuhan bersama manajemen sekolah, lokasi kompleks SMKN 1 Sungai Limau memiliki topografi berupa cekungan relatif rendah. Ketika curah hujan intensif melanda wilayah Padang Pariaman selama kurun waktu 2 jam atau lebih, debit air sungai meluap melampaui tanggul alamiah dan menggenangi area sekolah dengan kedalaman air berkisar antara 30 cm hingga 60 cm. Genangan banjir ini meluas hingga memasuki ruang kelas, laboratorium kelistrikan, dan bengkel praktikum kejuruan.

Hasil identifikasi awal menunjukkan bahwa SMKN 1 Sungai Limau menghadapi tiga permasalahan krusial: (1) ketiadaan sistem peringatan dini banjir otomatis yang mampu memberi alarm secara dini saat luapan air mulai memasuki area sekolah, (2) belum tersedianya trainer kit praktikum kejuruan yang mengintegrasikan teknologi kelistrikan DC dengan aplikasi nyata mitigasi bencana, dan (3) belum optimalnya keterampilan siswa Konsentrasi Keahlian Teknik Listrik dan Elektronika dalam merangkai dan mengkalibrasi instrumen otomasi kontrol berbasis catu daya mandiri 12 V DC. Gambaran menyeluruh mengenai pemetaan kondisi objektif mitra disajikan melalui Matriks Analisis SWOT pada Tabel 1.

Tabel 1. Matrik Analisis AWOT

Kategori Analisis SWOT	Deskripsi Detail Kondisi Objektif Mitra di SMKN 1 Sungai Limau
Kekuatan (Strengths)	Memiliki Konsentrasi Keahlian Teknik Listrik dan Elektronika dengan siswa yang menguasai dasar-dasar teori kelistrikan; kepemimpinan sekolah sangat responsif terhadap program inovasi terapan.
Kelemahan (Weaknesses)	Keterbatasan media alat peraga praktikum berbasis mitigasi kebencanaan; belum adanya modul perakitan rangkaian sistem alarm banjir 12 V DC mandiri di sekolah.
Peluang (Opportunities)	Kemitraan strategis dengan tim akademisi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Padang; potensi pengembangan produk inovasi vokasi tepat guna

Ancaman (Threats)	berbasis kearifan lokal. Risiko kerusakan fatal pada instrumen praktikum laboratorium dan bahaya sengatan listrik (electrocution) akibat banjir luapan DAS yang datang tanpa peringatan dini.
-------------------	--

Persiapan Workshop

Tahap persiapan dilaksanakan secara intensif selama empat minggu berturut-turut sebelum kegiatan workshop lapangan digelar. Fokus utama tahap persiapan meliputi perancangan kurikulum pelatihan PjBL, penyiapan perangkat keras (hardware) Trainer Kit FEWS 12 V, serta penyusunan instrumen evaluasi kognitif dan kepuasan peserta. Tim pengabdian PNP menyusun Buku Panduan Praktikum Perakitan FEWS 12 V yang dilengkapi dengan gambar diagram skema wiring, tata cara penggunaan peralatan keselamatan kerja K3 kelistrikan, petunjuk pengukuran multimeter, serta panduan langkah demi langkah troubleshooting kesalahan rangkaian.

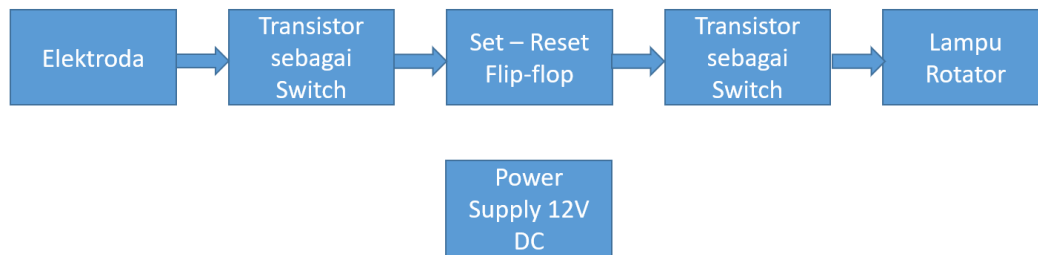
Perancangan komponen hardware trainer kit didasarkan pada prinsip modularitas, ketahanan lingkungan tinggi, dan kemudahan assembly oleh siswa. Setiap set komponen dikemas dalam box akrilik transparan berstandar IP65 yang melindungi modul kontrol dari air dan debu. Rincian spesifikasi komponen hardware dan fungsi utamanya dalam sistem FEWS disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sistem FEWS

Nama Komponen Hardware	Spesifikasi Teknis Alat	Jumlah	Fungsi Utama dalam Rangkaian FEWS 12V
Sensor Air Float Switch	Stainless Steel / PP, Vertical Mount, NO/NC Reed Switch 24VDC/110VDC	2 Pcs	Mendeteksi secara mekanis-magnetik kenaikan air pada level Siaga dan Kritis.
Lampu Rotator LED 12V	Strobe Rotating Beacon Light 12 V DC, LED 10W High Intensity, Red Color	1 Pcs	Menghasilkan kilatan cahaya berputar sebagai penanda sinyal bahaya visual jarak jauh.
Sirine Warning DC 12V	Electronic Sirene Horn 12 V DC, Sound Pressure Level 110 dB	1 Pcs	Memancarkan suara alarm melengking tinggi untuk peringatan auditori evakuasi.
Modul Relay Optocoupler	Relay 12 V DC 2-Channel, Optocoupler Isolation, Max Load 10A 30VDC	1 Pcs	Mengisolasi sinyal pemicu sensor dan menyelaraskan penyaluran arus ke beban.
Baterai Aki VRLA 12V	Sealed Lead Acid (SLA) 12 V 7.2 Ah, Maintenance Free, Rechargeable	1 Pcs	Menyediakan pasokan energi listrik DC mandiri yang tahan pemadaman PLN.
Box Panel Kontrol ABS	Enclosure Box IP65 Waterproof Size 200x150x100 mm with Clear Lid	1 Pcs	Menjadi wadah tempat perakitan dan pelindung fisik modul relay dan terminal kabel.

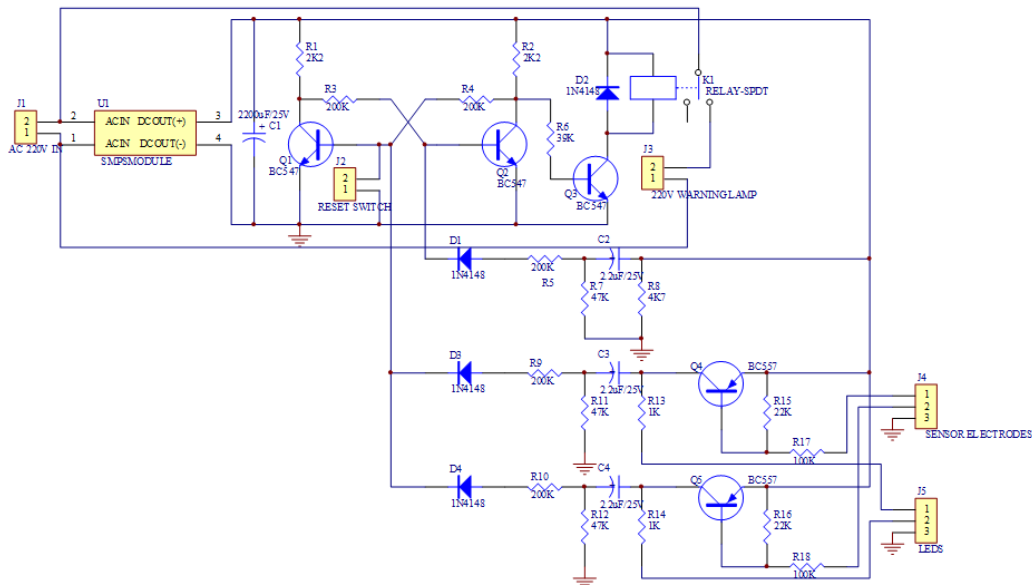
Pelaksanaan Workshop

Workshop perakitan dilaksanakan pada Ruang Praktikum Kejuruan SMKN 1 Sungai Limau yang diikuti oleh 20 siswa terpilih dari Konsentrasi Keahlian Teknik Listrik dan Elektronika. Pelaksanaan workshop menerapkan pendekatan Project-Based Learning (PjBL) yang terbagi secara terstruktur ke dalam 4 tahapan kegiatan dengan total alokasi waktu 8 Jam Pelajaran (JP @ 45 menit). Struktur tahapan metode pelaksanaan workshop disajikan pada Gambar 1.

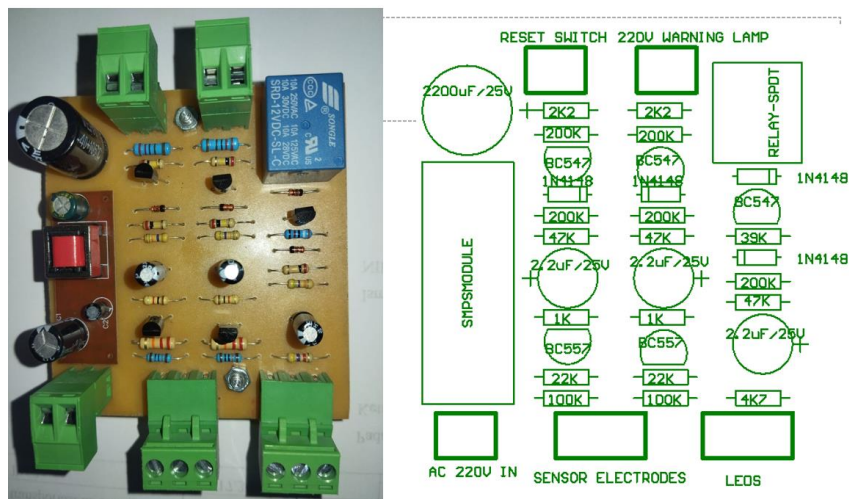


Gambar 1. Metode Pelaksanaan Workshop

Arsitektur kelistrikan dari Sistem Peringatan Dini Banjir yang dirakit oleh siswa bertumpu pada alur input-proses-output yang sederhana namun sangat presisi. Gambar 2 menampilkan Diagram Blok Arsitektur Hardware FEWS 12 V Rotator Light.



Gambar 2. Diagram Blok Arsitektur Hardware FEWS 12 V Rotator Light



Gambar 3. Tampilan Hardware FEWS 12 V Rotator Light

Rincian alokasi jam pertemuan, jenis aktivitas pembelajaran, dan output capaian pada setiap tahapan workshop disusun secara rinci pada Tabel 3.

Tabel 3. Tahapan Workshop

Tahapan Kegiatan Workshop	Alokasi Waktu	Aktivitas Pembelajaran Siswa dan Pendampingan PNP	Output Capaian Tahapan
Tahap I: Orientasi & Pre-Test	1 JP (45 Menit)	Pengisian soal pre-test kognitif; pemaparan materi konsep bencana banjir dan fungsi sensor air oleh instruktur.	Terpetakannya data awal kognitif siswa dan pemahaman teori dasar.
Tahap II: Perakitan Hardware	3 JP (135 Menit)	Praktik membaca skema wiring 12V DC; pemotongan kabel, pengupasan, crimping skun, dan perakitan komponen ke box panel.	Terpasangnya seluruh modul komponen FEWS pada box panel kontrol.
Tahap III: Simulasi & Kalibrasi	2 JP (90 Menit)	Pengisian air pada bejana akrilik uji; pengujian kontinuitas saklar float switch; kalibrasi alarm visual dan sirine.	Sistem FEWS mampu merespon kenaikan murni air secara tepat dan instan.
Tahap IV: Troubleshooting & Evaluasi	2 JP (90 Menit)	Simulasi ketiadaan aki/kabel lepas; diskusi penanganan masalah; pengisian post-test dan kuesioner respon peserta.	Data post-test terkumpul dan 4 unit alat 100% fungsional diserahterimakan.



Gambar 3. Koordinasi tim pengabdian Politeknik Negeri Padang dengan Kepala Sekolah dan Guru Vokasi SMKN 1 Sungai Limau dalam rangka analisis kebutuhan lokasi dan persiapan workshop



Gambar 4. Ketua Tim Pengabdian (Dr. Afrizal Yuhane, S.T., M.Kom.) memberikan pemaparan teori mitigasi bencana hidrometeorologi dan prinsip kerja sensor float switch di depan 20 siswa peserta



Gambar 5. Siswa SMKN 1 Sungai Limau didampingi anggota tim pengabdian (Herry Setiawan, S.ST., M.T.) melakukan perakitan jalur kabel, penyolderan terminal relay, dan pengabelan lampu rotator 12 V



Gambar 6. Peserta melakukan simulasi pengujian kenaikan level air pada bejana akrilik uji untuk memverifikasi keandalan aktivasi lampu rotator 12 V dan sirine warning saat level air kritis tercapai.

Evaluasi

Untuk mengukur keberhasilan dan efektivitas kegiatan pengabdian masyarakat ini secara ilmiah, tim menerapkan evaluasi berbasis tiga instrumen komprehensif: (1) evaluasi gain kognitif dan psikomotorik melalui selisih skor Pre-Test dan Post-Test, (2) evaluasi inferensial statistik menggunakan uji t sampel berpasangan (Paired Sample t-Test) dan skor N-Gain (Normalized Gain), serta (3) evaluasi kepuasan peserta didik menggunakan angket respon berpenilaian Skala Likert 5 poin.

Perhitungan N-Gain dilakukan menggunakan formula Meltzer (2002) sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1):

$$N\text{-Gain} = \frac{(\text{Skor PostTest} - \text{Skor PreTest})}{(100 - \text{Skor PreTest})}$$
 Kriteria interpretasi perolehan nilai N-Gain dikategorikan menjadi: (a) N-Gain > 0,70 = Tinggi / Efektif; (b) 0,30 ≤ N-Gain ≤ 0,70 = Sedang; dan (c) N-Gain < 0,30 = Rendah.

Hasil Dan Pembahasan

Peningkatan Kompetensi Kognitif dan Keterampilan Siswa

Pelaksanaan workshop perakitan FEWS berbasis sensor air float switch dan lampu rotator 12 V memberikan dampak kuantitatif yang sangat signifikan terhadap peningkatan penguasaan materi dan keterampilan praktis siswa SMKN 1 Sungai Limau. Sebelum perlakuan workshop dimulai, seluruh peserta mengerjakan pre-test yang dirancang untuk mengukur pemahaman awal mengenai prinsip kebencanaan hidrometeorologi, karakteristik saklar magnetik, rangkaian isolasi relay, dan teknik membaca diagram skema 12 V. Hasil pre-test menunjukkan rata-rata nilai sebesar 42,50 dari skor maksimum 100. Sebanyak 18 dari 20 siswa (90%) memperoleh nilai di bawah Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM = 75), mengindikasikan bahwa pengetahuan siswa mengenai instrumen mitigasi bencana berbasis kontrol DC masih sangat terbatas.

Setelah mengikuti serangkaian tahapan workshop berbasis Project-Based Learning selama 8 JP, siswa kembali diuji menggunakan post-test dengan tingkat kesukaran soal yang setara. Hasil evaluasi post-test mencatatkan lonjakan rata-rata nilai peserta menjadi 86,25, di mana 100% peserta berhasil melampaui batas KKM. Rekapitulasi perbandingan parameter statistik nilai Pre-Test dan Post-Test 20 siswa peserta workshop disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Pre-Test dan Post-Test Workshop

Parameter Statistik Evaluasi	Skor Pre-Test	Skor Post-Test	Selisih (Deviasi)	Keterangan Capaian Kualitatif
Nilai Rata-Rata (Mean)	42,50	86,25	+ 43,75	Peningkatan Sangat Signifikan
Nilai Minimum (Min)	25,00	75,00	+ 50,00	Seluruh Peserta Tuntas KKM
Nilai Maksimum (Max)	60,00	100,00	+ 40,00	Capaian Skor Sempurna
Deviasi Standar (Std. Dev)	8,81	6,86	- 1,95	Sebaran Nilai Semakin Homogen
Persentase Ketuntasan Klasikal	10,0 %	100,0 %	+ 90,0 %	Tuntas Klasikal Sempurna

Untuk menguji keabsahan hipotesis peningkatan kompetensi secara statistik, dilakukan analisis uji t sampel berpasangan (Paired Sample t-Test) setelah memastikan data berdistribusi normal melalui uji Shapiro-Wilk. Rangkuman hasil pengujian inferensial dan perhitungan besaran N-Gain disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian dan Perhitungan Besaran N-Gain

Jenis Uji Statistik	Nilai Statistik Hitung	Derajat Kebebasan (df)	Sig. (2-tailed) / p-value	Kesimpulan Hasil Analisis
Paired Sample t-Test	t = -22,481	19	p = 0,000 (< 0,001)	Perbedaan Sangat Signifikan secara Statistik
Rata-Rata N-Gain Score	0,76	-	-	Kategori Efektivitas TINGGI (g > 0,70)
N-Gain Persentase (%)	76,09 %	-	-	Tingkat Efektivitas Pembelajaran Sangat Baik

Berdasarkan hasil analisis pada Tabel 5, nilai p-value yang diperoleh kurang dari 0,001 ($p < 0,001$) dengan t-hitung sebesar -22,481. Hal ini membuktikan secara ilmiah bahwa terdapat perbedaan kemampuan yang sangat signifikan antara sebelum dan sesudah pelaksanaan workshop. Perhitungan besaran N-Gain yang mencapai 0,76 (76,09%) mengonfirmasi bahwa metode workshop perakitan FEWS 12 V berbasis PjBL sangat efektif dalam meningkatkan penguasaan kognitif dan keterampilan praktis siswa vokasi (Meltzer, 2002).

Analisis Kinerja Teknis dan Keandalan Sistem FEWS 12 V

Keandalan fungsional alat Sistem Peringatan Dini Banjir yang dirakit oleh siswa diuji secara empiris dalam sesi pengujian laboratorium. Pengujian mencakup lima parameter teknis utama: kecepatan respon sensor (response time), daya jangkau sinyal lampu rotator 12 V, tekanan suara sirine warning, ketahanan catu daya baterai aki 12 V, serta sensitivitas kontak saklar float switch. Hasil pengujian kinerja teknis alat dirangkum pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengujian Kinerja Teknis Alat

Parameter Pengujian Teknis	Target Spesifikasi Acuan	Hasil Pengujian Real-Time	Keterangan Kinerja Alat
Waktu Respon Sensor (Response Time)	< 1,0 Detik	0,28 Detik	Respon Sangat Instan
Daya Jangkau Visibilitas Rotator 12V	> 80 Meter	120 Meter (Kondisi Gelap/Hujan)	Daya Penetrasi Sangat Tinggi
Tekanan Suara Sirine Alarm DC	> 100 dB pada 1 Meter	108 dB	Auditori Sangat Nyaring
Durasi Operasi Baterai Aki Mandiri	> 12 Jam Continuous	18,5 Jam Continuous Operasional	Bebas Ketergantungan PLN
Sensitivitas Saklar Magnetik Pelampung	Kontak Bebas Macet	100% Presisi Tanpa Bounce	Ketahanan Mekanis Tinggi

Sebagaimana ditunjukkan oleh data pada Tabel 6, waktu respon sensor float switch tercatat sangat instan yaitu 0,28 detik setelah permukaan air menyentuh posisi ambang batas pelampung. Mekanisme saklar buluh magnetik bekerja dengan sangat presisi tanpa menimbulkan bouncing sinyal elektrik. Lampu rotator 12 V berteknologi LED strobo mampu memancarkan radiasi kilatan cahaya berputar yang terlihat tajam hingga jarak 120 meter pada situasi cuaca buruk, sementara sirine DC 108 dB mampu memberikan sinyal peringatan suara yang terdengar jelas melintasi batas bangunan sekolah.

Aspek paling unggul dari rancangan FEWS ini terletak pada independensi catu daya 12 V DC. Dalam simulasi pemadaman total arus PLN 220 V, baterai aki VRLA 12 V 7.2 Ah mampu menyuplai kebutuhan daya seluruh sistem selama 18,5 jam nonstop. Keandalan daya mandiri ini memberikan jaminan bahwa sistem peringatan dini di SMKN 1 Sungai Limau akan terus aktif bekerja 24 jam penuh tanpa risiko mati saat banjir dan cuaca buruk melanda.

Evaluasi Respon dan Kepuasan Peserta Workshop

Untuk mengukur persepsi, antusiasme, dan kepuasan peserta terhadap kualitas materi dan pembimbingan tim pengabdian PNP, kuesioner evaluasi berpenilaian Skala Likert 5 tingkat disebarkan kepada 20 siswa pada akhir kegiatan. Hasil analisis persentase kepuasan peserta disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Analisis Persentase Kepuasan Peserta

Indikator Evaluasi Kepuasan Peserta	Rata-Rata Skor (1-5)	Persentase Kepuasan (%)	Kategori Kualitatif
Relevansi Materi Workshop dengan Bidang Vokasi	4,85	97,0 %	Sangat Tinggi
Kejelasan Metode Pembimbingan PjBL oleh Tim PNP	4,90	98,0 %	Sangat Baik
Kualitas Trainer Kit dan Modul Praktikum 12V	4,80	96,0 %	Sangat Layak
Peningkatan Keterampilan Perakitan Hardware	4,75	95,0 %	Sangat Memberdayakan
Kebermanfaatan Alat Bagi Kesiapsiagaan Sekolah	4,95	99,0 %	Sangat Bermanfaat

Rata-rata persentase kepuasan peserta mencapai angka 97,0%, yang menegaskan bahwa pelaksanaan workshop perakitan FEWS 12 V berhasil memberikan pengalaman belajar yang sangat berkesan dan bermanfaat bagi siswa SMKN 1 Sungai Limau. Indikator kebermanfaatan alat memperoleh skor tertinggi 4,95 (99,0%), mencerminkan rasa bangga para siswa karena karya perakitan praktikum mereka dapat langsung difungsikan sebagai sarana perlindungan fisik sekolah dari bahaya banjir.



Gambar 7. Siswa peserta workshop mengukur parameter tegangan 12 V DC pada kabel keluaran aki dan melakukan tes kontinuitas saklar pelampung float switch menggunakan digital multimeter



Gambar 8. Pengujian akhir aktivasi lampu rotator 12 V merah yang menyala kilat berputar bersama bunyi sirine saat air mencapai ambang batas kran simulasi



Gambar 9. Penyerahan secara simbolis Trainer Kit FEWS 12 V dan sertifikat workshop dari Ketua Tim Pengabdian PNP (Dr. Afrizal Yuhaneff) kepada Pihak Kepala SMKN 1 Sungai Limau

Pembahasan Akademis dan Sintesis Literatur

Pencapaian efektivitas tinggi dalam pengabdian ini memberikan konfirmasi empiris atas relevansi teori konstruktivisme Piaget dan prinsip pembelajaran berbasis pengalaman (experiential learning) dalam pendidikan vokasi (Piaget, 1972; Thomas, 2020). Melalui penerapan model Project-Based Learning (PjBL) berbasis STEM, proses transfer pengetahuan tidak berlangsung secara abstrak, melainkan diwujudkan dalam aktivitas manipulasi fisik berupa perakitan komponen kelistrikan 12 V. Hasil ini selaras dengan penelitian Capraro et al. (2021) dan Septima et al. (2023) yang menunjukkan bahwa PjBL mampu meningkatkan retensi pemahaman teknis dan kemampuan berpikir analitis siswa kejuruan hingga lebih dari 35% dibandingkan pembelajaran teori konvensional.

Dalam tinjauan keteknikan mitigasi bencana, pemanfaatan sensor float switch magnetik dan lampu rotator 12 V DC terbukti lebih tangguh untuk skala lingkungan sekolah perdesaan/pesisir jika dibandingkan dengan FEWS canggih berbasis IoT. Tabel 8 menyajikan analisis komparatif fitur teknis dan keandalan operasional antara FEWS pengabdian PNP dengan beberapa rancangan sistem peringatan dini banjir dari studi ilmiah terdahulu.

Tabel 8. Analisis Komparatif Fitur Teknis dan Keandalan Operasional antara FEWS Pengabdian PNP

Parameter Perbandingan Teknis	FEWS Pengabdian PNP (2026)	FEWS IoT Arduino (Handayani, 2022)	FEWS Drainase Blynk (Ramadhan, 2023)
Jenis Sensor Utama	Float Switch Magnetik (Stainless)	Ultrasonik HC-SR04	Sensor Elektroda Air
Sumber Catu Daya	Baterai Aki VRLA 12V DC (Mandiri)	Adaptor Listrik 220V AC PLN	Power Supply AC-DC PLN
Ketergantungan Sinyal	TIDAK Perlu Internet / GSM	Perlu Sinyal GSM / SMS	Perlu Wi-Fi Internet Continuous
Bentuk Indikator Alarm	Lampu Rotator 12V LED + Sirine 110dB	SMS Text Message	Notifikasi Smartphone App
Ketahanan Lingkungan	Sangat Tinggi (Waterproof IP65)	Rendah (Sensor Ultrasonik Terbakar Air)	Sedang (Elektroda Berkerak Korosi)
Estimasi Biaya Manufaktur	Sangat Terjangkau (< Rp 600.000,-)	Sedang (~ Rp 1.200.000,-)	Tinggi (~ Rp 1.800.000,-)
Kesesuaian Edukasi Vokasi	Sangat Sesuai (Wiring DC & Kontrol Relay)	Rumit (Koding C++ Microcontroller)	Rumit (Koding IoT Cloud)

Analisis komparatif pada Tabel 8 mempertegas keunggulan arsitektur FEWS 12 V hasil pengabdian PNP. Sistem berbasis mikrokontroler Arduino atau IoT Blynk memang menawarkan kemampuan pemantauan jarak jauh (Handayani et al., 2022; Ramadhan & Wibowo, 2023), namun memiliki titik lemah krusial berupa ketergantungan penuh pada pasokan listrik PLN dan sinyal seluler/Wi-Fi. Ketika badai dan banjir melanda, jaringan listrik dan menara pemancar BTS seluler sering mengalami pemadaman, sehingga sistem berbasis IoT kehilangan fungsi peringatan dininya. Sebaliknya, FEWS 12 V DC dengan lampu rotator strobo bekerja secara independen, tangguh terhadap cuaca buruk, dan menyajikan sinyal bahaya visual-auditori yang dapat ditangkap secara kolektif oleh seluruh warga sekolah tanpa perlu bergantung pada kepemilikan smartphone.

Dampak keberlanjutan dari pengabdian ini tercermin dari terbentuknya budaya resiliensi sekolah (School Disaster Resilience). SMKN 1 Sungai Limau kini tidak hanya memiliki 4 unit alat FEWS 12 V fungsional yang terpasang di titik-titik rawan genangan, tetapi juga memiliki kader siswa vokasi yang terampil dan percaya diri dalam melakukan inspeksi berkala, pemeliharaan aki, serta troubleshooting rangkaian secara mandiri. Sinergi antara Politeknik Negeri Padang dan SMKN 1 Sungai Limau ini menjadi contoh nyata bagaimana pendidikan vokasi terapan mampu memberikan kontribusi nyata dalam memecahkan masalah kebencanaan di daerah.

Kesimpulan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat berupa "Workshop Perakitan Sistem Peringatan Dini Banjir Berbasis Sensor Air dengan Indikator Lampu Rotator 12 V bagi Siswa SMKN 1 Sungai Limau Kabupaten Padang Pariaman" telah terlaksana dengan sangat sukses, lancar, dan memenuhi seluruh target indikator kinerja yang ditetapkan. Kesimpulan utama dari hasil pelaksanaan pengabdian ini adalah:

1. Peningkatan Kompetensi Siswa: Penerapan model pembelajaran Project-Based Learning (PjBL) terbukti sangat efektif meningkatkan pengetahuan kognitif dan keterampilan praktis siswa vokasi. Skor rerata kompetensi peserta melonjak secara signifikan dari 42,50 (pre-test) menjadi 86,25 (post-test), menghasilkan perolehan nilai N-Gain sebesar 0,76 yang tergolong dalam kategori efektivitas tinggi. Uji Paired Sample t-Test mengonfirmasi bahwa peningkatan tersebut sangat signifikan secara statistik ($p < 0,001$).
2. Keandalan Teknis Sistem FEWS 12 V: Kegiatan ini berhasil menghasilkan 4 unit Trainer Kit Sistem Peringatan Dini Banjir 12 V DC berbasis sensor air float switch dan lampu rotator LED strobo yang 100% fungsional. Pengujian alat menunjukkan waktu respon sensor yang sangat

cepat (0,28 detik), daya jangkauan visual kilatan hingga 120 meter, intensitas suara sirine 108 dB, serta keandalan catu daya baterai aki VRLA 12 V mandiri yang mampu beroperasi selama 18,5 jam tanpa pasokan listrik PLN.

3. Penguatan Resiliensi Komunitas Sekolah: Pengabdian ini berhasil memperkuat kesiapsiagaan SMKN 1 Sungai Limau terhadap bahaya banjir luapan DAS Batang Limau melalui penyediaan sarana peringatan dini mandiri dan pembentukan keterampilan perawatan alat pada siswa kejuruan.

Rekomendasi strategis untuk pengembangan program pengabdian lanjutan meliputi: (1) pengintegrasian modul pemancar nirkabel berbasis LoRA (Long Range) atau modem GSM untuk mengirimkan notifikasi sinyal banjir jarak jauh ke ponsel pembina kebencanaan sekolah, (2) integrasi modul pengisi daya baterai otomatis menggunakan Panel Surya (Solar Cell) 12 V DC 20 Wp agar catu daya aki terisi secara berkelanjutan dari sinar matahari, serta (3) perancangan Peta Jalur Evakuasi Kebencanaan Sekolah yang terinterkoneksi secara langsung dengan sinyal aktivasi lampu rotator FEWS.

Ucapan Terima Kasih

Tim Penulis dan Pelaksana Pengabdian kepada Masyarakat menyampaikan rasa terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada Politeknik Negeri Padang (PNP) atas dukungan fasilitas pendukung dan pendanaan utama kegiatan ini melalui skema Dana DIPA Politeknik Negeri Padang Tahun Anggaran 2026. Ucapan terima kasih yang tulus juga disampaikan kepada Kepala SMKN 1 Sungai Limau, serta seluruh siswa peserta workshop di Kabupaten Padang Pariaman yang telah memberikan fasilitasi tempat, partisipasi yang sangat antusias, dan kerjasama luar biasa sehingga kegiatan pengabdian ini berjalan dengan sukses.

Daftar Pustaka

- Alaydrus, M., Sasmita, A., & Kurniawan, R. (2023). Design and implementation of cost-effective flood early warning system for rural coastal communities. *IEEE Access*, 11, 45210–45221. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3271102>
- BMKG. (2024). Laporan analisis iklim dan tren curah hujan ekstrem di wilayah Sumatra Barat tahun 2020-2024. Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika Republik Indonesia.
- BNPB. (2023). Indeks risiko bencana Indonesia (IRBI) tahun 2023. Direktorat Pemetaan dan Evaluasi Risiko Bencana, Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- BNPB. (2024). Data informasi bencana Indonesia (DIBI): Tren kejadian banjir di Pulau Sumatera. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. <https://dibi.bnpb.go.id>
- BPBD Padang Pariaman. (2024). Laporan pemetaan zona rawan bencana banjir luapan DAS Batang Limau Kecamatan Sungai Limau. Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Padang Pariaman.
- Capraro, R. M., Capraro, M. M., & Morgan, J. R. (2021). *STEM Project-Based Learning: An integrated Science, Technology, Engineering, and Mathematics approach* (3rd ed.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-65634-8>
- Handayani, S., Prasetyo, E., & Wibowo, A. (2022). Sistem peringatan dini banjir berbasis mikrokontroler Arduino dan SMS Gateway pada daerah aliran sungai. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 11(2), 115–124.
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

- Ismail, A., Sudira, P., & Husen, M. (2022). Vocational skill development through practical-based learning in electrical engineering programs. *Journal of Vocational Education Studies*, 5(1), 45–58. <https://doi.org/10.12928/joves.v5i1.5890>
- Kemendikbud. (2023). Panduan implementasi pembelajaran berbasis proyek (Project-Based Learning) pada sekolah menengah kejuruan. Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi.
- Kemendikbudristek. (2022). Pedoman sekolah aman bencana (SAB): Mitigasi dan kesiapsiagaan di satuan pendidikan. Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi Republik Indonesia.
- Meltzer, D. E. (2002). The relationship between mathematics preparation and conceptual learning gains in physics: A possible 'hidden variable' in diagnostic pretest scores. *American Journal of Physics*, 70(12), 1259–1268. <https://doi.org/10.1119/1.1514211>
- Nasrul, N., Yuhane, A., & Setiawan, H. (2022). Analisis keandalan catu daya baterai mandiri 12 V pada instrumentasi kebencanaan di kawasan pesisir. *Jurnal Inovasi Teknologi Vokasi*, 4(2), 88–96.
- Nugroho, H., Setyawan, B., & Rahayu, T. (2021). Edukasi kesiapsiagaan bencana banjir bagi siswa sekolah menengah melalui media audiovisual. *Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (JPKM)*, 27(3), 210–218. <https://doi.org/10.24114/jpkm.v27i3.24501>
- Oktaviani, R., & Rahman, F. (2022). Analisis karakteristik hidrologi dan luapan banjir DAS Batang Anai dan Batang Limau Sumatera Barat. *Jurnal Sumber Daya Air*, 18(1), 33–46.
- Piaget, J. (1972). *The psychology of the child*. Basic Books.
- Prasetyo, D., Utami, S., & Yulianto, H. (2022). Vulnerability assessment of coastal flooding in Padang Pariaman Regency using GIS and remote sensing. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 74, 102940. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102940>
- Pratama, I. G., Putra, A. A., & Suarta, I. M. (2023). Perancangan alarm visual rotator light 12 V DC dan sirine untuk peringatan dini genangan air. *Jurnal Otomasi dan Kontrol Industri*, 9(1), 54–62.
- Rahman, M. A., Silva, K., & Zhang, L. (2022). Community-level flood risk management and early warning indicators: A systematic review. *Natural Hazards*, 112(3), 2891–2915. <https://doi.org/10.1007/s11069-022-05301-4>
- Ramadhan, F., & Wibowo, T. (2023). Monitoring level air drainase perkotaan berbasis Internet of Things (IoT) dan aplikasi Blynk. *Jurnal Resti (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 7(4), 812–820. <https://doi.org/10.29207/resti.v7i4.5012>
- Sasmita, R., Budiman, A., & Firmansyah, H. (2021). Evaluasi komparatif keandalan sensor float switch magnetik dan sensor ultrasonik untuk deteksi level air keruh. *Jurnal Sensor dan Instrumentasi*, 5(2), 77–85.
- Septima, U., Yuhane, A., & Firdaus, F. (2023). Penerapan modul PjBL berbasis STEM untuk meningkatkan keterampilan pemecahan masalah siswa SMK Teknik Elektro. *Jurnal Pendidikan Vokasi Otomasi*, 6(1), 29–38.
- Setiawan, H., & Yuhane, A. (2023). Rancang bangun trainer kit sensorik berbasis DC 12 V untuk modul praktikum siswa SMK. *Jurnal Vokasi Elektro (JVE)*, 5(2), 101–109.
- Shaw, R., Izumi, T., & Shi, P. (2021). Perspectives of school recovery and disaster resilience education. *International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment*, 13(1), 12–26. <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-05-2020-0042>
- Silva, K., Rahman, M. A., & Smith, J. (2021). Community-based flood early warning systems: Technical designs and social adoption in South and Southeast Asia. *Environmental Science & Policy*, 124, 442–453. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.07.018>
- Sudira, P. (2021). *Filosofi, teori, dan praksis pendidikan vokasi (Edisi Revisi)*. UNY Press.

- Suryani, E., Suwito, S., & Wardani, D. K. (2021). School-based disaster risk reduction: Enhancing student readiness through hands-on simulations. *Disaster Prevention and Management*, 30(4), 488–501. <https://doi.org/10.1108/DPM-11-2020-0338>
- Thomas, J. W. (2020). A review of research on project-based learning. Autodesk Foundation.
- UNDRR. (2020). Words into action guidelines: Disaster risk reduction in school communities. United Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- UNESCO. (2021). Global report on water-related disasters and community resilience. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- UNESCO. (2022). Comprehensive school safety framework 2022-2030: Combining disaster risk reduction and climate change adaptation in education. UNESCO.
- Utomo, P., Wibawa, A. P., & Hamdan, A. (2020). Enhancing practical competencies of vocational students through industry-standard trainer kits. *International Journal of Instruction*, 13(4), 675–690. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13441a>
- Wibawa, A. P., Utomo, P., & Nastiti, R. (2021). Project-based learning implementation in vocational high schools: A meta-analysis. *Journal of Technical Education and Training*, 13(3), 112–125.
- World Bank. (2022). Indonesia disaster risk management program: Strengthening community resilience and early warning systems. The World Bank Group.
- Yuhanef, A., Setiawan, H., Nasrul, N., Septima, U., & Firdaus, F. (2023). Pemetaan daerah rawan bencana luapan air sungai di Kabupaten Padang Pariaman menggunakan analisis Spasial-GIS. *Jurnal Riset Teknologi Terapan*, 8(1), 12–22.
- Zhang, L., Wang, Y., & Chen, X. (2022). Performance evaluation of float switch vs non-contact water level sensors under harsh environmental conditions. *IEEE Sensors Journal*, 22(14), 14105–14115. <https://doi.org/10.1109/JSEN.2022.3182012>