



Optimalisasi Pembelajaran Sistem Proteksi Tenaga Listrik melalui Pelatihan Simulasi Teknikal di Politeknik Negeri Padang

R. Reski Eka Putra^{1*}, Muhammad Rivaldi Harjian², Fadhel Putra Winarta³,
Ricky Wahyudi⁴, Muhammad Fahreza⁵

^{1,3,5}Program Studi Teknologi Rekayasa Instalasi Listrik, Politeknik Negeri Padang

⁴Program Studi Telekomunikasi, Politeknik Negeri Padang

²Program Studi Teknik Elektro, Universitas Mataram

¹rrekaputra@pnp.ac.id*

Abstract

This community service program aims to enhance the competencies of students from the Diploma in Electrical Engineering Program at Politeknik Negeri Padang in understanding and analyzing electrical power protection systems through intensive training using the Electrical Transient Analyzer Program (ETAP) software. The primary issue faced by students is the lack of practical skills in utilizing electrical simulation software as a learning tool in the Power System Protection course. The training was conducted in six face-to-face sessions with a total duration of 12 instructional hours. A case-based learning approach was implemented, using a 20 kV distribution system as the simulation context. The training materials covered short-circuit analysis and protection coordination simulations. Evaluation was carried out through pre- and post-tests as well as a participant satisfaction questionnaire. The results showed a 35.1% improvement in students' understanding of protection system concepts based on post-test scores, and 81.8% of participants successfully developed a complete distribution system model using ETAP. The success of the activity was also demonstrated by the high level of student engagement and the production of an ETAP-based practical module ready for implementation. This program is expected to serve as a sustainable model in supporting practice-based learning outcomes through the integration of technology in vocational education.

Keywords: case-based learning, ETAP simulation, protection system, vocational education.

Abstrak

Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk meningkatkan kompetensi mahasiswa Program Studi D3 Teknik Listrik Politeknik Negeri Padang dalam memahami dan menganalisis sistem proteksi tenaga listrik melalui pelatihan intensif perangkat lunak *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP). Tantangan yang dihadapi mahasiswa adalah terbatasnya keterampilan praktis dalam menggunakan perangkat lunak simulasi kelistrikan sebagai penunjang pembelajaran mata kuliah sistem proteksi. Pelatihan dilaksanakan dalam enam sesi pertemuan tatap muka dengan total durasi 12 jam pelajaran (JP). Metode pelatihan mengadopsi pendekatan berbasis studi kasus, dengan sistem distribusi 20 kV sebagai contoh penerapan. Materi pelatihan mencakup simulasi arus hubung singkat dan koordinasi proteksi. Evaluasi dilakukan melalui *pretest-posttest* dan kuesioner kepuasan. Hasil menunjukkan peningkatan pemahaman konsep sistem proteksi sebesar 35,1% berdasarkan nilai *posttest*, dan 81,8% peserta mampu membangun model sistem distribusi lengkap di ETAP. Keberhasilan kegiatan juga ditunjukkan melalui antusiasme peserta dan telah menghasilkan modul praktikum berbasis ETAP yang siap digunakan. Kegiatan ini diharapkan dapat menjadi model berkelanjutan dalam mendukung capaian pembelajaran berbasis keterampilan praktik melalui integrasi teknologi dalam proses pendidikan vokasi.

Kata kunci: pembelajaran studi kasus, pendidikan vokasi, simulasi ETAP, sistem proteksi.

© 2025 Jurnal Pustaka Paket

1. Pendahuluan

Transformasi digital diproyeksikan menjadi penggerak utama perubahan lanskap ketenagakerjaan di Indonesia hingga tahun 2030, dengan 83% perusahaan memprediksi adanya dampak signifikan terhadap struktur organisasi mereka dan angka ini melampaui rata-rata global sebesar 60% [1]. Pergeseran ini menuntut ketersediaan tenaga kerja dengan kompetensi teknis dan digital yang lebih tinggi, terutama dalam bidang seperti kecerdasan buatan, keberlanjutan, dan teknologi sistem tenaga listrik. Dalam konteks pendidikan vokasi, pelatihan berbasis simulasi teknikal menjadi sangat relevan sebagai media penguatan keterampilan aplikatif mahasiswa, sejalan dengan kebutuhan industri yang semakin terdigitalisasi dan terotomatisasi.

Namun demikian, masih terdapat kesenjangan substansial antara ekspektasi industri dan kesiapan institusi pendidikan vokasi dalam menyediakan pembelajaran yang selaras dengan perkembangan teknologi. Studi oleh Terron-Santiago dkk [2] menekankan bahwa pendekatan aktif berbasis pemecahan masalah dengan dukungan teknologi mampu meningkatkan keterlibatan dan hasil belajar mahasiswa teknik elektro. Hal ini diperkuat oleh temuan Andreenkov dan Shunaev [3] yang menunjukkan bahwa pemodelan simulatif dapat secara efektif menggantikan sebagian praktik laboratorium konvensional dalam pendidikan teknik. Oleh karena itu, integrasi teknologi simulasi dalam pembelajaran vokasional merupakan strategi krusial untuk menjembatani kesenjangan kompetensi lulusan dengan kebutuhan nyata dunia kerja.

Seiring meningkatnya kompleksitas sistem tenaga listrik, kekhawatiran terhadap kesiapan lulusan dalam menguasai aspek teknis semakin mengemuka. Salah satu strategi untuk merespons tantangan ini adalah melalui pemanfaatan perangkat lunak simulasi industri seperti *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP). ETAP merupakan perangkat lunak yang banyak digunakan dalam industri ketenagalistrikan untuk keperluan analisis arus hubung singkat, koordinasi proteksi, stabilitas tegangan, serta optimasi jaringan distribusi. Studi oleh Arizaldi dkk [4] membuktikan bahwa penggunaan ETAP dalam analisis sistem distribusi 20 kV meningkatkan efisiensi identifikasi titik gangguan dan penentuan koordinasi proteksi. Sementara itu, penelitian lain [5] menegaskan bahwa ETAP mampu menyediakan simulasi mendalam dalam analisis gangguan dan desain sistem proteksi, sehingga dapat meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik. Berdasarkan temuan tersebut, integrasi pelatihan ETAP dalam kurikulum vokasional teknik elektro menjadi pendekatan strategis untuk meningkatkan kesiapan lulusan dalam menghadapi tantangan industri berbasis teknologi.

Kegiatan pengabdian masyarakat ini bertujuan untuk merespons tantangan tersebut melalui pengembangan model pelatihan ETAP yang mengintegrasikan pendekatan *experiential learning* dengan standar industri terkini. Perancangan modul pelatihan secara khusus mengacu pada IEEE Std 242-2001 [6], yang merupakan standar internasional mengenai panduan praktik terbaik dalam perencanaan dan analisis sistem distribusi listrik industri (*IEEE Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*). Standar ini memberikan acuan teknis yang komprehensif untuk pemodelan, simulasi, dan proteksi sistem tenaga berbasis perangkat lunak, yang sejalan dengan fitur dan kemampuan perangkat lunak ETAP.

Pelatihan dikembangkan dalam tiga tahap progresif: pengenalan antarmuka ETAP, simulasi gangguan arus hubung singkat (*short-circuit analysis*), dan koordinasi proteksi menggunakan digital *overcurrent relay* berdasarkan karakteristik sistem proteksi sesuai standar IEEE. Efektivitas pendekatan ini telah dibuktikan melalui berbagai penelitian [7]-[9], yang menunjukkan bahwa penggunaan teknologi simulasi secara signifikan mampu meningkatkan kompetensi analitis dan pemahaman sistem kelistrikan.

Peserta pelatihan adalah mahasiswa Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Padang yang sedang menempuh mata kuliah Sistem Proteksi. Kelompok ini dipilih karena memiliki latar belakang pembelajaran yang relevan dengan analisis sistem tenaga listrik dan diharapkan menjadi calon tenaga kerja vokasional yang siap terjun ke industri berbasis otomasi dan elektrifikasi. Dengan pendekatan ini, kegiatan pelatihan diharapkan tidak hanya meningkatkan keterampilan teknis mahasiswa, tetapi juga memperkuat kesiapan mereka dalam menghadapi tuntutan transformasi digital di sektor energi.

Dengan mempertimbangkan berbagai kondisi tersebut, kegiatan ini mengusung topik "Optimalisasi Pembelajaran Sistem Proteksi Tenaga Listrik melalui Pelatihan Simulasi Teknikal di Politeknik Negeri Padang". Pelatihan diselenggarakan dalam bentuk *workshop* intensif yang menekankan pendekatan interaktif dan partisipatif untuk memperkuat pemahaman konseptual dan kemampuan teknis mahasiswa dalam sistem proteksi tenaga listrik [10]. Diharapkan, kegiatan ini dapat menjadi model kontribusi nyata dalam meningkatkan kualitas pendidikan vokasi yang adaptif terhadap dinamika industri.

2. Metode

2.1 Desain Model Pelatihan

Rancangan model pelatihan disusun untuk mengembangkan kompetensi praktis dalam simulasi sistem tenaga listrik menggunakan perangkat lunak ETAP, mengacu pada standar industri.

Tahapan pelatihan dirancang melalui tiga fase progresif, yaitu: Fase 1: Pengenalan Dasar ETAP (Instalasi, navigasi antarmuka, pembuatan *one-line diagram*) Fase 2: Simulasi Gangguan (Analisis arus hubung singkat, identifikasi titik gangguan kritis) Fase 3: Koordinasi Proteksi (Setting relai proteksi, koordinasi *time-current characteristic (TCC) curve*).

2.2 Rancangan Materi Pelatihan

Rencana materi pelatihan disusun dalam Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Rancangan Materi Pelatihan ETAP

Fase	Materi Utama	Target Kompetensi
Fase 1: Pengenalan	Instalasi ETAP, Navigasi GUI, Membuat <i>One-Line Diagram</i>	Familiarisasi <i>Software</i>
Fase 2: Simulasi	Analisis Arus Hubung Singkat, Identifikasi Gangguan	Diagnosis Gangguan Sistem
Fase 3: Proteksi	<i>Setting</i> Relai, Analisis Koordinasi Proteksi, <i>TCC Curves</i>	Optimasi Koordinasi Sistem Proteksi

2.3 Evaluasi

Evaluasi dilakukan menggunakan metode *micro-credential self-assessment* berbasis *platform online*, yang mengacu pada prinsip asesmen kompetensi terstruktur. Setiap peserta diharuskan: mengisi *pretest* dan *posttest* berbasis kasus teknik, menyelesaikan simulasi proyek akhir (*short-circuit & coordination study*), dan mengisi *form feedback*. Skema penilaian dirancang mengacu pada rekomendasi UNESCO-UNEVOC [11] validasi pembelajaran vokasi berbasis digital.

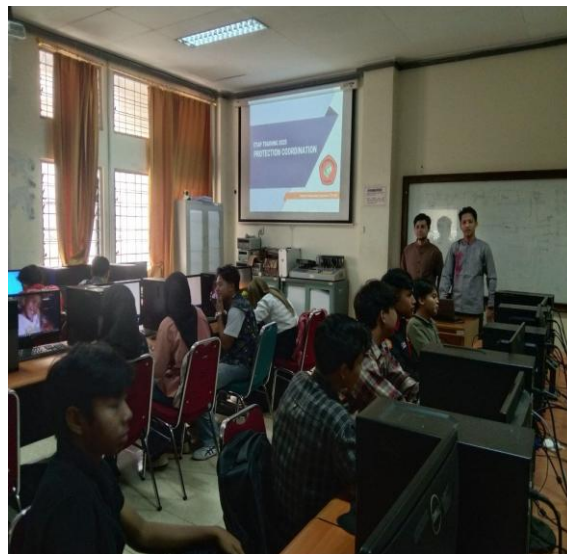
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Gambaran Umum Pelaksanaan Pelatihan

Pelatihan *Electrical Transient Analyzer Program* (ETAP) ini diikuti oleh 22 mahasiswa Program Studi D3 Teknik Listrik Politeknik Negeri Padang. Kegiatan terdiri atas enam sesi pertemuan, dengan total durasi 12 jam pelajaran (JP). Materi pelatihan dibagi menjadi tiga fase utama: Fase 1 pengenalan dasar antarmuka ETAP ditampilkan pada Gambar 1, Fase 2 simulasi arus hubung singkat, dan Fase 3 analisis koordinasi proteksi rele arus lebih.

Seluruh peserta mengikuti pelatihan dengan model pembelajaran berbasis studi kasus sistem

distribusi 20 kV, dengan asesmen formatif melalui *pretest-posttest* menggunakan kuesioner.



Gambar 1. Pemaparan Dasar Antarmuka Perangkat Lunak

3.2 Analisis *Pretest* dan *Posttest*

Sebelum pelatihan, peserta diberikan *pretest* untuk mengukur pemahaman awal tentang konsep sistem proteksi dan penggunaan perangkat lunak ETAP. Setelah pelatihan, *posttest* dilakukan untuk mengukur peningkatan kompetensi. Tabel 2 menunjukkan hasil nilai rata-rata *pretest* dan *posttest*.

Tabel 2. Hasil *Pretest* dan *Posttest* Mahasiswa

Aspek yang Dinilai	Rata-rata <i>Pretest</i>	Rata-rata <i>Posttest</i>	Peningkatan (%)
Pemahaman Konsep Sistem Proteksi	58,2	78,6	35,1%
Keterampilan Simulasi ETAP	42,5	75,1	76,7%

Hasil analisis menunjukkan peningkatan rata-rata sebesar 35,1% dalam pemahaman konsep sistem proteksi dan 76,7% dalam keterampilan penggunaan ETAP.

3.3 Hasil Pembuatan Model Sistem Distribusi

Pada akhir pelatihan, peserta ditugaskan membangun model sistem distribusi 20 kV menggunakan ETAP, termasuk simulasi arus hubung singkat dan koordinasi proteksi. Rencana capaian kompetensi peserta ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Capaian Kompetensi Praktis Peserta

Kategori Pencapaian	Jumlah Peserta	Persentase (%)
Mampu Membuat Model Sistem Distribusi Lengkap	18	81,8%
Membuat Model Sebagian Namun Fungsi Simulasi Berjalan	4	18,2%
Tidak Mampu Membuat Model	0	0%

Sebanyak 81,8% peserta mampu membuat model lengkap, menunjukkan efektivitas pendekatan *experiential learning* berbasis *software* simulasi.



Gambar 2. Pemeriksaan Model Sistem Setiap Peserta

3.4 Evaluasi Kepuasan Peserta

Evaluasi kepuasan dilakukan menggunakan kuesioner skala likert 1-5, mencakup beberapa aspek dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 4. Hasil Evaluasi Kepuasan Peserta

Aspek yang Dinilai	Rata-rata Skor
Relevansi Materi	4,6
Kualitas Penyampaian Instruktur	4,7
Kemudahan Pemahaman	4,4
Kualitas Fasilitas dan Media	4,2

Hasil evaluasi menunjukkan tingkat kepuasan tinggi, dengan skor rata-rata di atas 4,4 pada seluruh aspek. Tingginya tingkat kepuasan peserta memperkuat bahwa kegiatan ini tidak hanya meningkatkan kompetensi teknis, tetapi juga menciptakan pengalaman belajar yang positif.



Gambar 3. Foto Bersama Peserta Pelatihan dan Instruktur

3.5 Pembahasan

Peningkatan signifikan dalam hasil *posttest* dan pencapaian pembuatan model sistem distribusi mengindikasikan bahwa penggunaan ETAP dalam pelatihan terbukti efektif dalam meningkatkan kompetensi mahasiswa pada mata kuliah Sistem Proteksi. Temuan ini sejalan dengan penelitian Nyström dan Ahn [12], yang menunjukkan bahwa penggunaan simulasi dalam pembelajaran vokasional tidak hanya menghasilkan pengetahuan baru, tetapi juga membentuk praktik pembelajaran yang lebih kontekstual. Simulasi mendorong perubahan dalam peran pengajar serta menciptakan hubungan baru dalam proses belajar, sehingga memperkuat integrasi keterampilan teknis secara aplikatif di lingkungan pendidikan vokasi.

4. Kesimpulan

Kegiatan pelatihan ETAP yang dilaksanakan dalam program pengabdian ini terbukti efektif dalam meningkatkan kompetensi mahasiswa D3 Teknik Listrik Politeknik Negeri Padang pada mata kuliah Sistem Proteksi. Evaluasi kuantitatif menunjukkan peningkatan pemahaman konsep sebesar 35,1%, dengan 76,7% peserta terampil menggunakan ETAP dan 81,8% mampu berhasil melakukan pemodelan lengkap koordinasi proteksi secara mandiri. Selain itu, keberhasilan kegiatan ini tercermin dari antusiasme tinggi peserta dan terciptanya modul praktikum berbasis ETAP yang siap digunakan sebagai sumber belajar terintegrasi.

Implikasi dari hasil ini memperkuat pentingnya integrasi perangkat lunak simulasi industri ke dalam kurikulum vokasi, guna menjembatani kesenjangan kompetensi antara pendidikan dan kebutuhan dunia kerja. Namun, pelaksanaan pelatihan ini masih terbatas pada jumlah peserta dan cakupan skenario sistem distribusi sederhana, sehingga generalisasi hasil perlu dilakukan dengan hati-hati.

Sebagai arah pengembangan selanjutnya, model pelatihan ini dapat diperluas melalui integrasi metode pembelajaran adaptif berbasis kecerdasan buatan serta perluasan skenario simulasi ke sistem tenaga listrik yang lebih kompleks, seperti sistem transmisi dan pembangkitan. Selain itu, *longitudinal study* terhadap performa peserta di dunia kerja pasca-pelatihan dapat memberikan wawasan yang lebih dalam tentang efektivitas jangka panjang model ini.

Daftar Rujukan

- [1] World Economic Forum, "Future of Jobs Report 2025," Geneva, 2025.
- [2] C. Terron-Santiago, J. Burriel-Valencia, J. Martinez-Roman, and A. Sapena-Bano, "An Active Approach for Teaching and Learning Electrical Technology," *Knowledge*, vol. 4, no. 2, pp. 194–212, Apr. 2024, doi: 10.3390/knowledge4020010.

- [3] E. Andreenkov and S. Shunaev, "Application of Simulation Modeling as a Replacement for Laboratory Practice in Engineering Education," in *2022 VI International Conference on Information Technologies in Engineering Education (Inforino)*, Moscow, Russian Federation: IEEE, Apr. 2022, pp. 1–6. doi: 10.1109/Inforino53888.2022.9782940.
- [4] A. Arizaldi, S. Salahuddin, M. Muhammad, V. Jain, G. P. Pandey, and M. J. Watane, "Short Circuit Analysis on Distribution Network 20 kV Using Etap Software," *Journal of Renewable Energy, Electrical, and Computer Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 49–57, Sep. 2021, doi: 10.29103/jreece.v1i2.5232.
- [5] N. Bouchikhi *et al.*, "Optimal distributed generation placement and sizing using modified grey wolf optimization and ETAP for power system performance enhancement and protection adaptation," *Sci Rep*, vol. 15, no. 1, p. 13919, Apr. 2025, doi: 10.1038/s41598-025-98012-0.
- [6] *IEEE Std 242-2001: Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems*. New York, USA: IEEE, Inc, 2001. doi: 10.1109/IEEESTD.2001.93369.
- [7] S. Tauladan, H. Novia Syamsir, and M. Sahar, "Pelatihan Electrical Transient Analysis Program Software (ETAP) Mendukung Program Teaching Factory (TEFA) pada Tingkat Sekolah Menengah Kejuruan (SMK)," *BATOBO: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, vol. 02, no. 02, pp. 111–118, 2024, doi: <https://doi.org/10.31258/batobo.2.2.111-118>.
- [8] A. Junaidi and R. Rahmانيar, "Effectiveness of Learning Electric Power System Transmission using Higher Order Thinking Skill based Simulation," *AL-ISHLAH: Jurnal Pendidikan*, vol. 14, no. 3, pp. 4105–4116, Aug. 2022, doi: 10.35445/alishlah.v14i3.1227.
- [9] L. M. Hayusman, T. Hidayat, C. Saleh, I. M. Wartana, and T. Herbasuki, "Pelatihan Software ETAP (Electrical Transient Analyzer Program) Bagi Siswa dan Guru SMK Nasional Malang," *Industri Inovatif: Jurnal Teknik Industri*, vol. 7, no. 1, pp. 7–11, 2017.
- [10] K. Karsiyem, "Workshop Mampu Meningkatkan Kompetensi Guru dalam Implementasi Blended Learning," *Ideguru: Jurnal Karya Ilmiah Guru*, vol. 8, no. 2, pp. 354–362, Mar. 2023, doi: 10.51169/ideguru.v8i2.572.
- [11] Knowledge Innovation Centre, "Guide to Design, Issue and Recognise Micro-Credentials," Turin, Italy, 2022.
- [12] S. Nyström and S. Ahn, "Teaching with simulators in vocational education and training – From a storing place to a new colleague," *Teach Teach Educ*, vol. 138, pp. 1–7, Feb. 2024, doi: 10.1016/j.tate.2023.104409.