

Modul Beban Buatan Untuk Praktikum Distribusi Daya Listrik Di Laboratorium Distribusi Dan Proteksi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Lhokseumawe

Yaman^{1*}, Said Aiyub², Subhan³, Taufik⁴, Nuraini⁵

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

Jln. B.Aceh Medan Km.280 Buketrata 24301 INDONESIA

*Koresponden email: yaman_gayo@pnl.ac.id

Abstrak— Praktikum distribusi listrik berfokus konsep dasar seperti penurunan, perbaikan penurunan dan regulasi tegangan yang disebabkan oleh impedansi jaringan dan jenis beban terhubung. Beban dalam praktik diwakili oleh beban resistif (lampu pijar), beban induktif (lampu fluoresen), dan beban non-linier (lampu LED). Masalah yang teridentifikasi beban membutuhkan waktu lama untuk dirakit karena penggunaan kabel, klip buaya, fitting lampu, dan alat bantu lainnya, membuat praktik menjadi tidak efisien dan memerlukan kehati-hatian. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan memproduksi modul beban listrik yang efisien dan aman untuk digunakan dalam praktik distribusi listrik, tanpa mengorbankan tujuan pendidikan. Modul beban yang dikembangkan terdiri dari beban resistif, induktif, dan non-linier yang dapat beroperasi dalam sistem tiga fase atau fase tunggal. Modul ini terintegrasi ke dalam rangka modul trainer distribusi dan terhubung langsung dengan jumper, memenuhi standar keselamatan seperti IEC 61010-031. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Research and Development (R&D) yang berbasis pada pendekatan eksperimen dan pengembangan untuk memenuhi aspek keamanan, kemudahan, dan kecepatan dalam praktik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan modul beban ini dapat menghemat waktu praktik hingga 83% yang berarti durasi praktik berkurang dari 59 menit menjadi 10 menit. Hasil pengukuran isolasi antara penghantar dengan panel adalah $>1 \text{ T}\Omega$ yang menunjukkan bahwa modul aman digunakan, dengan nilai Polarization Index (PI) sebesar 1,008 dan Dielectric Absorption Ratio (DAR) sebesar 1,72 yang menunjukkan kualitas isolasi yang stabil dan aman. Modul ini meningkatkan efisiensi waktu dan keamanan sehingga cocok digunakan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran di laboratorium distribusi daya.

Kata kunci— Dielectric Absorption Ratio (DAR), Distribusi daya listrik, Modul beban, Polarization Index (PI), Praktikum laboratorium.

Abstract— The electrical power distribution lab focuses on basic concepts such as voltage drop, voltage drop correction, and voltage regulation caused by network impedance and types of connected loads. The loads used in the lab are represented by resistive loads (incandescent lamps), inductive loads (fluorescent lamps), and non-linear loads (LED lamps). The identified problem is that the loads take a long time to assemble due to the use of cables, alligator clips, fixtures, and other auxiliary tools, which makes the practice inefficient and requires caution. This research aims to design and manufacture an efficient and safe electrical load module for use in electrical distribution practice without compromising educational objectives. The developed load module consists of resistive, inductive and non-linear loads that can operate in three-phase or single-phase systems. The module is integrated into the frame of the distribution trainer module and directly connected with jumpers, meeting safety standards such as IEC 61010-031. The method used in this research is Research and Development (R&D) based on an experimental and developmental approach to meet the aspects of safety, convenience and speed in practice. The results showed that the use of this load module can save up to 83% of the practice time, which means that the duration of the practice is reduced from 59 minutes to 10 minutes. The insulation measurement results between the conductor and the panel are $>1 \text{ T}\Omega$, indicating that the module is safe to use, with a Polarization Index (PI) value of 1.008 and a Dielectric Absorption Ratio (DAR) of 1.72, indicating stable and safe insulation quality. This module increases time efficiency and safety, making it suitable for improving the quality of learning in the power distribution laboratory.

Keywords— Dielectric Absorption Ratio (DAR), Power distribution, Load module, Polarization Index (PI), , laboratory practice

I. PENDAHULUAN

Selama pelaksanaan praktikum teridentifikasi muncul beberapa **masalah**. Pemakaian beban ini membutuhkan waktu yang relatif lama untuk merangkai, karena menggunakan kabel yang dihubungkan ke penjepit buaya, fitting lampu serta alat dan bahan tang kombinasi, tang potong, gunting, dan isolasi kabel listrik. Memerlukan waktu tambahan pemeriksaan hubungannya. Hal ini menjadi perhatian karena jam praktikum terbatas, dan kegiatan praktikum tidak boleh terlantar karena adanya pelajaran lain yang masuk ke laboratorium. Keselamatan sangat penting dalam pelaksanaan praktikum. Hasil rangkaian yang dibuat tidak selalu aman dan memerlukan kehati-hatian ekstra. Adakalanya, proses penghubungan kabel dengan netral dan grounding dapat menyebabkan kecelakaan kecil seperti tersengat listrik secara langsung atau tidak langsung. Selain penggunaan beban, fuse, dan kabel yang tidak terhubung dengan benar juga menjadi sumber potensi bahaya [1], [2].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang modul beban praktikum distribusi yang lebih cepat, praktis, aman, rapi dalam penggunaan dan pengoperasian, serta tetap memenuhi tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan. Modul trainer

beban praktikum distribusi ini dapat diintegrasikan dengan modul trainer yang sudah ada, baik untuk beban resistif, induktif, maupun non-linear. Modul tersebut dapat dioperasikan pada sistem tiga fasa maupun satu fasa. Modul ini dapat dipasangkan pada frame modul trainer distribusi, dengan penyambungan langsung menggunakan jumper U. Untuk beban induktif yang menggunakan lampu TL, diletakkan di luar frame dengan menggunakan kabel jumper. Kemajuan teknologi yang terus berubah dengan cepat, tuntutan akan pendidikan yang adaptif dan inovatif semakin mendesak. Penelitian hadir sebagai respons terhadap tantangan ini, dengan pengembangan modul trainer yang bertujuan untuk menghadirkan pengalaman praktikum distribusi listrik, yang menggabungkan keunggulan teknologi terkini dan prinsip-prinsip dasar atau filosofi yang membimbing pendekatan pengajaran dan pembelajaran yang teruji (*pedagogis*) [3], [4], [5]. Upaya mencapai standar dalam keamanan, kemudahan, dan efisiensi praktikum, Para penelitian menggabungkan pendekatan interdisipliner dan kolaboratif, memanfaatkan pengetahuan dari berbagai bidang seperti teknik elektro, desain instruksional, dan manajemen risiko. Para penelitian tidak hanya bertujuan untuk memenuhi kebutuhan aktual dalam pembelajaran di perguruan tinggi,

tetapi juga berpotensi menginspirasi perubahan positif dalam paradigma pendidikan *tefocumik* di masa depan. Perlindungan peralatan dan kelistrikan di laboratorium sangat penting, mengingat banyaknya bahaya akibat penyalahgunaan perangkat yang dapat menyebabkan kecelakaan. Fakultas perlu memberikan masukan keselamatan kepada administrasi akademik untuk mencegah potensi kecelakaan, karena bahaya kelistrikan sering kali tidak sepenuhnya dipahami oleh peneliti dan mahasiswa. Oleh karena itu, laboratorium akademis harus menjadi lingkungan yang aman untuk pengajaran, pembelajaran, dan penelitian, serta bebas dari bahaya listrik. [2], [6].

Penelitian pengembangan trainer instalasi listrik dapat dipelajari cara mengamati prosedur, spesifikasi dan mengikuti manual instruksi, melakukan pekerjaan roughing-in, pengkabelan dan pemasangan kabel untuk distribusi fase tunggal, daya, penerangan, dan sistem tambahan, memasang stopkontak yang dipasang di dinding peralatan pengkabelan, perlengkapan penerangan, sakelar dan stopkontak tambahan, pemasangan instalasi distribusi, daya, tambahan, penerangan dan sistem pembumihan serta perangkat pengamanan listrik[7] [8], [9].

Penutup terminal sekrup meningkatkan keselamatan di laboratorium kelistrikan dengan melindungi dari kontak langsung dan sengatan. Selain itu, penutup ini transparan, kompatibel dengan berbagai ukuran terminal, dan mudah dipasang tanpa perangkat mahal, sehingga dapat digunakan oleh berbagai tingkat kemampuan [10].

Kecelakaan laboratorium sering terjadi, sehingga tindakan pencegahan penting untuk mencegah kerugian. Pengelolaan keselamatan laboratorium yang optimal diperlukan untuk memaksimalkan kinerja riset. Manajer riset harus menyeimbangkan antara kinerja dan keselamatan laboratorium [11].

Media trainer instalasi listrik yang dihasilkan dinyatakan layak digunakan sebagai media pembelajaran, baik dari aspek teknis maupun praktis. Penggunaan media ini terbukti memberikan pengaruh signifikan dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran dibandingkan dengan mahasiswa yang tidak menggunakannya. [12] [13].

Jenis beban listrik pada rangkaian arus bolak-balik (AC) meliputi beban resistif, induktif, kapasitif, dan nonlinear, yang masing-masing memiliki karakteristik berbeda. Beban resistif (R), seperti elemen pemanas dan lampu pijar, hanya mengonsumsi energi listrik secara aktif dengan faktor daya satu. Beban induktif, seperti motor listrik, transformator, dan relay, menghasilkan medan magnet melalui kumparan kawat. Beban kapasitif, yang bertolak belakang dengan induktif, menghalangi tegangan dan menyebabkan arus mendahului tegangan, serta dapat menyimpan tegangan sementara [14], [15], [16], [17], [18].

Probe dan aksesorinya yang digunakan untuk pengukuran dan pengujian listrik. Probe ini digunakan untuk koneksi listrik langsung atau non-kontak antara komponen dan peralatan pengukuran dan pengujian listrik. Konektor pengaman diperkuat dengan selongsong pelindung dan tutup insulasi di bagian atas kontak. Selongsong pelindung mungkin dapat ditarik atau tidak dapat ditarik. Semua colokan dengan selongsong yang tidak dapat ditarik memiliki nilai 600V, CAT III atau 1000V, CAT II[19], [20], [21], [22].

PI (Polarization Index) dan DAR (Dielectric Absorption Ratio). Indeks Polarisasi (PI) menggambarkan seberapa banyak suatu material dapat dipolarisasi ketika terkena medan

listrik. Polaritas di sini berarti bahwa muatan dalam material akan bergerak atau terpisah di bawah pengaruh medan listrik, menciptakan dipol listrik. Rasio Penyerapan Dielektrik (DAR) mengukur seberapa baik suatu material dapat menyerap energi dari gelombang elektromagnetik (seperti gelombang radio, microwave, atau cahaya) ketika gelombang tersebut melewati material.

Indeks Polarisasi (PI) adalah rasio antara resistansi isolasi (IR) yang diukur setelah 10 menit dengan resistansi isolasi yang diukur setelah 1 menit.

Rumus:

$$PI = \frac{R_{10}}{R_1} \tag{1}$$

R_{10} = resistansi isolasi setelah 10 menit,

R_1 = resistansi isolasi setelah 1 menit Rasio Penyerapan Dielektrik (DAR)

Rasio Penyerapan Dielektrik (DAR) dihitung dengan membandingkan resistansi isolasi yang diukur pada 60 detik dengan resistansi yang diukur pada 30 detik.

Rumus:

$$DAR = \frac{R_{60}}{R_{30}} \tag{2}$$

R_{60} = resistansi isolasi pada 60 detik,

R_{30} = resistansi isolasi pada 30 detik

PI dan DAR sangat penting untuk menilai kondisi sistem isolasi listrik. Nilai yang lebih tinggi menandakan kualitas isolasi yang lebih baik, sebagai indikasi bahwa peralatan cenderung lebih aman dari masalah, seperti masuknya kelembaban atau kerusakan isolasi. Dapat dilihat pada tabel 1, tabel nilai PI dan DAR [23], [24], [25], [26], [27].

Tabel 1. Nilai PI dan DAR

Nilai PI / DAR	Kondisi Isolasi	Keterangan
PI > 2.0	Baik	Isolasi kondisi baik, aman digunakan.
PI < 1.0	Buruk	Isolasi kondisi buruk, berisiko.
DAR > 1.25	Baik	Isolasi yang baik.

Polarization Index (PI) dan Dielectric Absorption Ratio (DAR) digunakan untuk menilai kondisi insulasi suatu perangkat. Pengukuran ini membantu mengidentifikasi kerusakan pada isolasi sebelum terjadi kegagalan serius, sehingga mencegah kecelakaan listrik yang dapat membahayakan keselamatan pengguna [28], [29], [30].

II. METODOLOGI PENELITIAN

Perancangan dan pembuatan modul trainer beban untuk praktikum Distribusi Daya Listrik bertujuan untuk melengkapi serta menciptakan modul yang efisien dan sesuai dengan kebutuhan praktikum. Modul trainer ini terdiri dari tiga unit yang masing-masing mewakili tiga jenis beban, yaitu resistif, induktif, dan non-linear. Setiap unit memiliki tiga modul beban, sehingga total terdapat 27 lampu yang digunakan. Beban resistif menggunakan lampu pijar 25 W, beban induktif menggunakan lampu TL 20 W, dan beban non-linear menggunakan lampu LED 5 W.

Langkah-langkah dalam perancangan dan pembuatan modul trainer dimulai dengan melakukan survei untuk mengetahui kebutuhan dan spesifikasi modul trainer. Setelah itu, dibuat desain tata letak modul yang mencakup ukuran, bahan, dan komponen yang diperlukan. Pada tahap ini, ditentukan ukuran modul yang sesuai dengan ruang dan kebutuhan praktikum. Langkah berikutnya adalah menyusun daftar bahan dan alat yang diperlukan, seperti akrilik 5mm, saklar on-off, safety plug, fitting lampu, dan kabel. Bahan-bahan tersebut

kemudian dibeli dan dilakukan pengujian kelayakan terhadap setiap komponen yang akan digunakan.

Tahap berikutnya adalah pengerjaan rancangan, memerjukan pabrikator yang berpengalaman dalam mengolah bahan akrilik dan logam. Pada tahap ini, rancangan tata letak diuji untuk memastikan bahwa desain dapat diimplementasikan sesuai dengan gambar yang telah dibuat.

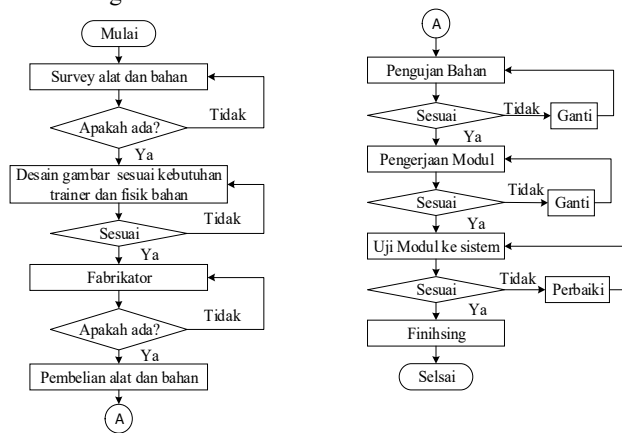
Setelah rancangan selesai, untuk pembuatan modul trainer. Diberikan desain tata letak modul ke pabrikator untuk memulai proses pembuatan sesuai dengan rancangan yang telah disusun.

Pada tahap penempatan komponen, komponen seperti safety plug, rumah fuse, dan fitting lampu dipasang sesuai dengan desain yang telah dibuat. Setelah pemasangan selesai, dilakukan pengujian fungsi dan keamanan untuk memastikan semua komponen berfungsi dengan baik dan aman digunakan. Tahap akhir dari proses ini adalah finishing dan pengujian akhir. Pada tahap ini, modul diberi label dan dirapikan untuk memastikan tampilan yang rapi. Setelah itu, dilakukan pengujian fungsi dan keamanan modul sesuai dengan standar keselamatan yang berlaku.

Untuk pengujian di laboratorium Proteksi dan Distribusi, beberapa alat ukur digunakan, di antaranya adalah Three phase meter CO5127-1Z untuk pengujian akhir pada modul, RCL meter GW Instek LCR816 untuk mengukur resistansi, kapasitansi, dan induktansi, Insulating Tester METREL MI2077 untuk mengukur tegangan tembus isolasi PI dan DAR, serta Avometer BK Precision untuk mengukur tahanan dan sambungan.

Bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan modul ini, seperti akrilik 5mm, lampu TL, lampu LED, lampu pijar, saklar, kabel 1,5mm, safety plug, dan fitting lampu, dapat diperoleh di pasar Lhokseumawe. Namun, beberapa komponen seperti safety plug dan skun harus dipesan secara online dan harus mematuhi standar IEC 61010-031.

Untuk lebih jelasnya proses penelitian ini dapat dilihat pada flowchart gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

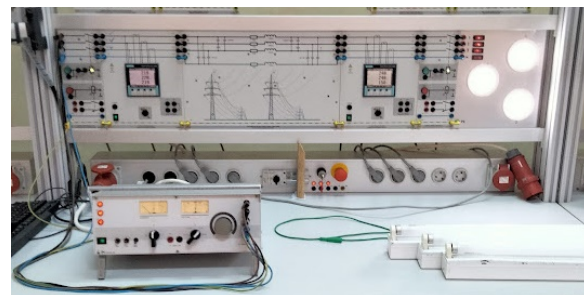
Hasil dari perancangan, pembuatan dan pengujian modul trainer beban untuk praktikum distribusi daya listrik. Modul dengan ukuran tinggi x lebar x tebal, modul lampu LED 29,7 cm x 25 cm x 0,5 cmm modul lampu Pijar 29,7 cm x 12,7 cm x 0,5 cm, untuk lampu TL 36 W dan TL 18W sesuai

sarangnya, untuk lebih jelasnya perancangan dan pembuatan dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Perancangan dan pembuatan

No Modul	Rancangan	Pembuatan	Hasil
1. Resistif			
2. Non Linier			
3. Induktif			

Hasil dari perancangan dan pembuatan, bagian modul beban ini sapat masuk ke frame buatan lucasnuelle, konektor safety plug dapat terhubung dengan modul bawaan, switch berfungsi dengan baik pada system 1 phasa dan 3 phasa seperti diperlihatkan pada gambar 2.



Gambar 2. Pemasangan pada frame dan pengujian

Hasil pengukuran resistansi, PI dan DAR pada Modul Lampu Pijar, LED, serta TL menggunakan alat Metrel MI 2077, untuk mengetahui kualitas isolasi dan keamanan modul selama digunakan dalam praktikum. Dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran

Modul	Teg Uji (V)	R (15s) (GΩ)	R (1min) (GΩ)	R (10mi n) (GΩ)	PI	DAR	Kondisi Isolasi
Lp Pijar	1100	314	541	545	1.008	1.72	Baik, stabil, isolasi aman
Lp LED	1100	46.8	53.78	81.9	1.52	1.15	Baik, peningkatan resistansi stabil
Lp TL	1100	46.8	78.63	87.97	1.12	1.68	Baik, peningkatan resistansi wajar

Berdasarkan hasil pengukuran di atas, bahwa modul Lampu Pijar, LED, dan TL memiliki kualitas isolasi yang cukup baik, dengan PI dan DAR yang mendekati atau di atas standar minimal untuk keamanan isolasi. Tidak ada indikasi

kebocoran arus atau penurunan signifikan dalam kualitas isolasi, sehingga modul-modul ini aman untuk digunakan dalam kondisi praktikum.

Dibandingkan dengan cara lama dalam merangkai beban distribusi menggunakan kabel secara manual, modul trainer memberikan peningkatan efisiensi waktu yang signifikan. Data perbandingan dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan cara lama dan baru

Tahapan	Cara Lama (Konvensional)	Cara Baru (Modul Trainer)
Persiapan alat dan bahan	17 menit	5 menit
Merangkai beban lampu pijar, TL, LED	32 menit	0 menit (sudah terpasang)
Merangkai ke frame	7 menit	2 menit
Praktik pengujian	3 menit	3 menit
Total Waktu	59 menit	10 menit

Dari tabel 3 penggunaan modul trainer mengurangi waktu praktikum dari 59 menit menjadi hanya 10 menit. Ini berarti terdapat penghematan waktu sebesar 83%. Pengurangan waktu ini sangat penting, terutama dalam laboratorium dengan waktu terbatas untuk setiap sesi praktikum.

IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan modul beban ini dapat menghemat waktu praktik hingga 83% yang berarti durasi praktik berkurang dari 59 menit menjadi 10 menit. Hasil pengukuran isolasi antara penghantar dengan panel adalah >1 TΩ yang menunjukkan bahwa modul aman digunakan, dengan nilai Polarization Index (PI) sebesar 1,008 dan Dielectric Absorption Ratio (DAR) sebesar 1,72 yang menunjukkan kualitas isolasi yang stabil dan aman. Modul ini meningkatkan efisiensi waktu dan keamanan sehingga baik digunakan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran di laboratorium distribusi daya listrik. Berdasarkan hasil pengukuran bahwa modul Lampu Pijar, LED, dan TL memiliki kualitas isolasi yang cukup baik, dengan PI dan DAR yang mendekati atau di atas standar minimal untuk keamanan isolasi. Tidak ada indikasi kebocoran arus atau penurunan signifikan dalam kualitas isolasi, sehingga modul-modul ini aman untuk digunakan dalam kondisi praktikum.

REFERENSI

[1] B. V. Fracasso, C. de S. Libanio, and F. G. Amaral, "RN32: Review Of Protection In Laboratories Of Higher Education Institutions," *Sistemas & Gestao*, vol. 15, no. 3, 2020.

[2] [2] N. M. Aljamali and A. H. Jaber, "Review in Protection of Laboratory and Electrical Equipment in Laboratories and Institutions," *Journal of Controller and Converters*, vol. 6, no. 1, 2021.

[3] [3] M. A. Radin, *International & Multidisciplinary Pedagogy: Discoveries, Innovations, Challenges & Successes*. 2023. doi: 10.1142/12987.

[4] [4] M. Ukowitz, "Who defines innovation in education? Participatory action research and organisational learning," *Educ Action Res*, vol. 31, no. 2, 2023, doi: 10.1080/09650792.2021.1944245.

[5] [5] G. Daú, A. Scavarda, M. T. Rosa Alves, R. Santa, and M. Ferrer, "An analysis of the Brazilian higher educational opportunity and challenge processes to achieve the 2030 Agenda for the sustainable development," *International Journal of Sustainability in Higher Education*, vol. 24, no. 6, 2023, doi: 10.1108/IJSHE-07-2021-0278.

[6] [6] R. Araneo, P. Dehghanian, and M. Mitolo, "On Electrical Safety in Academic Laboratories," in *IEEE Transactions on Industry Applications*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Nov. 2019, pp. 5613–5620. doi: 10.1109/TIA.2019.2934940.

[7] [7] H. Yamashika and M. Kamil, "Rancang Bangun Scaled-Down Model Sistem Distribusi Tenaga Listrik," *Rang Teknik Journal*, vol. 5, no. 1, 2022, doi: 10.31869/rjtj.v5i1.3069.

[8] [8] J. G. Pereyras, "Development of an electrical wiring installation trainer," *International Journal of Scientific and Technology Research*, vol. 9, no. 3, 2020.

[9] [9] J. G. Pereyras, "Acceptability and Technical Feasibility of an Electrical Wiring Installation Trainer," *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, vol. 9, no. 3, 2020, doi: 10.30534/ijatcse/2020/77932020.

[10] [10] A. Andrzejewski and M. Rosić, "Protection against electric shock in electrical engineering didactic laboratories," in *Proceedings TIE 2022*, University of Kragujevac, Faculty of Technical Sciences Čačak, 2022, pp. 109–115. doi: 10.46793/TIE22.109A.

[11] [11] D. Yoon, "Operational Process for R&D Laboratory Safety," *Sage Open*, vol. 11, no. 1, 2021, doi: 10.1177/2158244020988853.

[12] [12] Elfizon, M. Muskhir, and Asnil, "Development of Industrial Electrical Installation Trainer Nuanced to Training within Industry for Students of Electrical Industrial Engineering Universitas Negeri Padang," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2019. doi: 10.1088/1742-6596/1165/1/012014.

[13] [13] N. Yuniarti, D. L. B. Taruno, M. Ali, T. Sukisno, and M. Muhfizaturrahmah, "Development of an Industrial Electrical Installation Training Unit," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 7, no. 2, pp. 87–103, Jun. 2023, doi: 10.21831/jee.v7i2.60431.

[14] [14] Lukman . A and Alhaqam R. I, "Analisis Konsumsi Daya Pemasangan Kapasitor Bank Pada Sistem Jaringan Listrik Tegangan Rendah Di Hotel THE 101 Cengkareng," *Jurnal Elektro*, vol. 10, 2022.

[15] [15] N. Setiaji, Sumpena, and A. Sugiharto, "Analisis Konsumsi Daya Dan Distribusi Tenaga Listrik," *Jurnal Tekonologi Industri*, vol. 11, no. 1, 2022.

[16] [16] O. SATIVA, A. ANDANG, and A. CHOBIR, "Pemodelan Active Front End Converter (AFE) Tiga-Fasa Tiga-Kaki menggunakan Kendali Model Predictive Control (MPC)," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 11, no. 1, 2023, doi: 10.26760/elkomika.v11i1.241.

[17] [17] E. Sarwono and V. N. Sulistyawan, "Karakteristik Hamonik Pada Beban Nonlinear Lampu LED," *Edu Elekrika Journal*, vol. 8, no. 2, 2019.

[18] [18] A. W. , Indrawan, D. , Bandoe, S. , Ramadhany, and M. A. Gunawan, "Rancang Bangun Simulator Beban 3 Fasa Berbasis Programmable Logic Controller (PLC) OMRON CP1E," *SENTRINOV*, vol. 9, no. 1, pp. 574–384, 2023.

[19] [19] J. Bonchill, *Managing Health and Safety in the Dental Practice*. 2010. doi: 10.1002/9781444324983.

[20] [20] D. M. Jawd and M. A. H. Shallah, "Electrical Safety of Laboratory Equipment," 2021. [Online]. Available: www.matjournals.com

[21] [21] Group Safety Publication, "International Electrotechnical Commission IEC 61010-031:2022," International Electrotechnical Commission.

[22] [22] S. 61000-1 IEC, "IEC 61010-1 Safety Requirements for Electrical Equipment for Measurement, Control and Laboratory," *Current*, vol. 3, 2001.

[23] [23] "Metrel doo - MI 3201 TeraOhm 5 kV Plus." Accessed: Sep. 24, 2024. [Online]. Available: https://www.metrel.si/en/shop/HVI/high-voltage-insulation-testers/mi-3201.html

[24] [24] M. H. Indra, Yanolanda Suzanthy Handayani, and I. Priyadi, "Pengujian Tahanan Isolasi Pada Transformator Distribusi 160 kVA Di PT. PLN (PERSERO) UP3 Bengkulu," *JURNAL AMPLIFIER: Jurnal Ilmiah Bidang Teknik Elektro Dan Komputer*, vol. 12, no. 2, 2022, doi: 10.33369/jamplifier.v12i2.25274.

[25] [25] "Berapa nilai PI (indeks polarisasi) dan DAR (rasio penyerapan dielektrik)? (Penguji Isolasi Tegangan Tinggi) | FAQ | Hioki." Accessed: Sep. 24, 2024. [Online]. Available: https://www.hioki.com/id-id/support/faq/detail/id_n1252407

[26] [26] "Apa Itu Metode PI Dan DAR Pada Pengujian Insulation Resistance? | PT. Radius Allkindo Electric." Accessed: Sep. 24, 2024. [Online]. Available: https://www.radius.co.id/apa-itu-metode-pi-dan-dar-pada-pengujian-insulation-resistance/

[27] [27] "Polarization Index Test or PI Test." Accessed: Sep. 24, 2024. [Online]. Available: https://www.electricalvolt.com/polarization-index-test/#google_vignette

[28] [28] C. Suo *et al.*, "Analysis of XLPE Cable Health Assessment Parameters under Various Test Voltages by PDC Method," in *2022 IEEE International Conference on High Voltage Engineering and Applications, ICHVE 2022*, 2022. doi: 10.1109/ICHVE53725.2022.9961371.

[29] [29] J. Dey, S. Dutta, A. Baral, A. Kiran, and D. Kumar, "Estimation of Insulation Condition Sensitive Parameters from Polarization Current using DFA," in *2022 2nd International Conference on Emerging*

Frontiers in Electrical and Electronic Technologies, ICEFEET 2022, 2022. doi: 10.1109/ICEFEET51821.2022.9847873.

- [30] J. D. Z. Castro, C. H. E. Ardila, L. A. C. Rey, and J. E. T. Artunduaga, "Empirical and Theoretical Electrical Integrity Analysis Based on Polarization Index, Dielectric Absorption Ratio and Insulation Measurements," in *Society of Petroleum Engineers - SPE Artificial Lift Conference and Exhibition - Americas 2022, ALCE 2022*, 2022. doi: 10.2118/209757-MS.