

**STUDI RETROFIT SISTEM KELISTRIKAN GEDUNG E FAKULTAS
TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG**

(Skripsi)

Oleh

MUHAMMAD AL RASYID SYIDIQ

NPM 2115031055



JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS LAMPUNG

BANDAR LAMPUNG

2025

ABSTRAK

STUDI RETROFIT SISTEM KELISTRIKAN GEDUNG E FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG

Oleh

MUHAMMAD AL RASYID SYIDIQ

Studi retrofit sistem kelistrikan pada Gedung E, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi, keandalan, ketersediaan, dan keberlanjutan infrastruktur listrik. Latar belakang penelitian ini didasarkan pada kondisi *eksisting* sistem kelistrikan yang belum optimal, khususnya dalam mengakomodasi peningkatan kebutuhan energi dan menjamin kontinuitas operasional yang andal. Beberapa tantangan yang dihadapi mencakup ketidaksesuaian teknis, keterbatasan kapasitas sistem, serta potensi gangguan akibat kurangnya sistem proteksi yang memadai. Tujuan utama dari penelitian ini adalah mengidentifikasi kekurangan pada sistem kelistrikan yang ada, merencanakan perbaikan teknis, serta mengusulkan solusi retrofit yang berkelanjutan dengan memanfaatkan teknologi terkini untuk mencapai efisiensi energi dan standar keselamatan yang lebih baik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup survei lapangan, pengukuran parameter kelistrikan secara langsung, serta analisis kesesuaian terhadap standar nasional dan internasional seperti PUIL, SNI, IEC, dan IEEE. Hasil perancangan *Detail Engineering Drawing* (DED) menunjukkan bahwa desain sistem kelistrikan yang diusulkan mampu meningkatkan kesesuaian terhadap standar teknis serta memperkirakan peningkatan efisiensi dan keandalan sistem secara signifikan. Usulan perbaikan mencakup pemilihan kabel dengan luas penampang sesuai standar, pemisahan beban pada panel distribusi untuk optimalisasi sistem proteksi, serta penambahan sistem pentanahan dan unit generator sebagai sumber daya cadangan. Desain retrofit ini dirancang untuk dapat meningkatkan performa sistem kelistrikan gedung secara menyeluruh dan memenuhi ketentuan standar yang berlaku.

Kata Kunci: sistem kelistrikan, retrofit, pentanahan, *generator set*

ABSTRACT

ELECTRICAL SYSTEM RETROFIT STUDY OF BUILDING E OF THE FACULTY OF ENGINEERING, UNIVERSITY OF LAMPUNG

By

MUHAMMAD AL RASYID SYIDIQ

The retrofit study of the electrical system in Building E, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, aims to enhance energy efficiency, reliability, availability, and the sustainability of the electrical infrastructure. The background of this research is based on the existing electrical system, which is not yet optimal, particularly in accommodating increasing energy demands and ensuring reliable operational continuity. Several challenges identified include technical non-compliance, limited system capacity, and potential disruptions due to the absence of adequate protection systems. The main objective of this study is to identify deficiencies in the current electrical system, plan technical improvements, and propose a sustainable retrofit solution by utilizing the latest technology to achieve better energy efficiency and safety standards. The methods employed in this study include field surveys, direct electrical parameter measurements, and conformity analysis based on national and international standards such as PUIL, SNI, IEC, and IEEE. The results of the Detailed Engineering Drawing (DED) design indicate that the proposed electrical system is capable of improving compliance with technical standards and is projected to significantly enhance the system's efficiency and reliability. The proposed improvements include the selection of cables with appropriate cross-sectional area according to standards, load separation in the distribution panels for optimized protection systems, and the addition of an earthing system and a generator set as a backup power source. This retrofit design is intended to comprehensively improve the performance of the building's electrical system in accordance with applicable standards.

Keywords: retrofit, electrical system, distribution panel, grounding, generator set

**STUDI RETROFIT SISTEM KELISTRIKAN GEDUNG E FAKULTAS
TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG**

Oleh

MUHAMMAD AL RASYID SYIDIQ

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG**

2025

Judul Skripsi : **STUDI RETROFIT SISTEM KELISTRIKAN
GEDUNG E FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG**

Nama Mahasiswa : **Muhammad Al Rasyid Syidiq**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2115031055

Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing



Dr. Eng. Ir. Khairudin, S.T., M.Sc.
NIP. 19700719 200012 1 001



Ubaidah, S.T., M.T.
NIP. 19951122 202321 2 036

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro



Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 19710314 199903 2 001

Ketua Program Studi Teknik Elektro



Sumadi, S.T., M.T.
NIP. 19731104 200003 1 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Dr. Eng. Ir. Khairudin, S.T., M.Sc.**



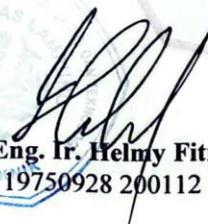
Sekretaris : **Ubaidah, S.T., M.T.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Eng. Ir. Lukmanul Hakim, S.T.,
M.Sc. IPM**



2. Dekan Fakultas Teknik


Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP. 19750928 200112 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **9 Mei 2025**

SURAT PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana yang disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi akademik sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 13 Juni 2025



Muhammad Al Rasyid Syidiq
NPM. 2115031055

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Muara Enim, Kabupaten Muara Enim, Sumatera Selatan pada tanggal 18 Desember 2003. Penulis merupakan anak pertama dari 5 bersaudara dari pasangan Bapak Oih Solihin dan Ibu Qomariah. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari Sekolah Dasar Negeri (SDN) 3 Muara Enim pada tahun 2009 hingga tahun 2015, Sekolah Menengah Pertama Negeri (SMPN) 1 Muara Enim pada tahun 2015 hingga tahun 2018, dan Sekolah Menengah Atas Negeri (SMAN) 1 Muara Enim pada tahun 2018 hingga tahun 2021. Penulis menjadi mahasiswa Jurusan Teknik Elektro, Universitas Lampung, pada tahun 2021 melalui jalur SBMPTN. Aktifitas penulis selain kuliah adalah penulis berkesempatan tergabung dalam keanggotaan asisten Laboratorium Sistem Tenaga Listrik pada tahun 2023. Selama menjadi asisten, penulis juga berkesempatan menjadi asisten mata kuliah Menggambar Teknik pada tahun 2023 hingga 2024, asisten mata kuliah Praktikum Analisa Sistem Tenaga pada tahun 2020, dan selama menjadi asisten penulis berkesempatan mengikuti beberapa proyek dosen yang menjadi suatu pengalaman berharga. Penulis juga tergabung dalam Lembaga kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Jurusan Teknik Elektro (HIMATRO) sebagai Staff Dapertemen Pendidikan dan Pengembangan Diri pada divisi Minat dan Bakat (Mikat). Penulis juga tergabung dalam Lembaga Kemahasiswaan Badan Eksekutif Mahasiswa (BEM) pada tahun 2022 sebagai Staff Advokesma, Selain itu Penulis juga berkesempatan menjadi Panitia PEMIRA BEM-U pada tahun 2022 hingga tahun 2023. Dan Penulis juga tergabung dalam UKM Silat Nasional Perisai Diri Universitas Lampung sebagai Ketua Umum pada tahun 2023. Kemudian Pada 01 Juli – 03 Agustus tahun 2024, Penulis melaksanakan kerja praktik di PTBA Tanjung Enim yang tergabung dalam divisi Perawatan dan Perencanaan Listrik dan melanjutkan membuat laporan yang berjudul “ANALISA SISTEM PROTEKSI PADA *FEEDER* A18 MENGGUNAKAN *SCHNEIDER SEPAM* DI *MAIN SWITCH STATION* (MSS) PT BUKIT ASAM TBK.”.

الرَّحِيمِ الرَّحْمَنِ اللَّهُ بِسْمِ

*Alhamdulillah Puji Syukur Kehadirat Allah SWT atas
Rahmat dan Ridho-Nya*

Kupersembahkan karya ini untuk:

Abah dan Umi Tercinta

Oih Solihin dan Qomariah

Serta Saudara-Saudariku

M. Rifqi Hawari

M. Sayyid Hidayatulloh

M. Ahsan Sobari

Rihadatul Aisyah Thufailah

Keluarga Besar, Dosen, Sahabat dan Almamater

MOTTO

"Karena sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan"

(QS. Al-Insyirah 94: 5)

"Allah tidak memberi cobaan melebihi kemampuan hamba-nya."

(QS. Al-Baqarah 2: 286)

**"Siapa saja yang ingin mencapai sukses, haruslah mendaki dan memanjatnya
bukan melompatinya."**

-R. M. S Dirdjotmodjo-

**"Ada pohon yang ditakdirkan tidak memiliki bunga yang indah, tapi ia tumbuh
diberi akar yang kuat agar tidak tumbang."**

-Anonymous-

**"Ketika ditengah jalan terasa semangatmu berkurang,
ingatlah pertama kali kamu memulai ini semua, demi apa dan untuk siapa"**

-Anonymous-

SANWACANA

Segala puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “STUDI RETROFIT SISTEM KELISTRIKAN GEDUNG E FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS LAMPUNG” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

Pada kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A. IPM., ASEAN.Eng., selaku Rektor Universitas Lampung.
2. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
4. Bapak Sumadi, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Ir. Khairudin, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan bimbingan, arahan, motivasi, dan pandangan hidup kepada penulis di setiap kesempatan dengan baik dan ramah.
6. Ibu Ubaidah, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan, arahan, nasihat dan motivasi kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah.
7. Bapak Dr. Eng. Ir. Lukmanul Hakim, S.T., M.Sc., IPM. selaku dosen penguji yang memberikan kritik, masukan, saran serta motivasi dan pandangan kehidupan kepada penulis disetiap kesempatan dengan baik dan ramah.
8. Bapak Ir. Noer Soedjarwanto, S.T., M.T., selaku dosen Pembimbing Akademik (PA) yang telah memberikan nasihat, arahan, bimbingan dengan baik dan tulus kepada penulis selama perkuliahan.
9. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah memberikan pengajaran dan pandangan hidup selama perkuliahan.

10. Staff administrasi Jurusan Teknik Elektro dan Fakultas Teknik Universitas Lampung yang telah membantu penulis dalam hal administrasi.
11. Penulis ucapkan terimakasih kepada kedua orang tua tercinta yakni Abah dan Umi terimakasih atas setiap tetes keringat dalam setiap langkah pengorbanan dan kerja keras yang dilakukan untuk memberikan yang terbaik kepada anak-anaknya, mengusahakan segala kebutuhan penulis, mendidik, membimbing, dan selalu memberikan kasih sayang yang tulus, motivasi, serta dukungan dan mendoakan penulis dalam keadaan apapun agar penulis mampu bertahan untuk terus melangkah dalam meraih mimpi di masa depan. Terimakasih untuk selalu di sisi penulis dan menjadi alasan terbesar bagi penulis untuk terus maju menyelesaikan penulisan skripsi ini hingga memperoleh gelar Sarjana Teknik.
12. Keempat adikku, Ayi, Ayid, Ahsan, dan Aisyah yang selalu membawakan semangat dan keceriaan yang memotivasi penulis untuk terus maju.
13. Segenap Keluarga Besar Baharudin dan Hasan Basri terutama Ibu Ismanidar, Ayah Azahari, Wak Khai, Wak Ana, kak Iqbal, Kak Hamzah, Yuk Rahma, Kak Azis, Kak Huda, Kak Endut dan yang tidak bisa disebutkan satu satu terima kasih telah memberikan motivasi, nasehat, pengalaman-pengalaman hidup yang sangat berarti bagi penulis.
14. Segenap Keluarga Besar Laboratorium Sistem Tenaga Listrik: Pak Herri, Pak Lukman, Pak Khai, Pak Zul, Pak Rachman, Ibu Ubai dan Pak Riza, atas ilmu dan kerjasamanya selama penulis menjadi asisten laboratorium. Kakak-kakak asisten Lab STL 2020 kak Rizki, kak Arnes, kak Aymanul, kak Ipna, dan kak Syawal atas ilmu, bantuan serta pengalamannya. Aslab STL 2021 Imam, Rasel, Eikel, Jerry, Tegar, Frissa, Desta, dan Nadia atas semangat, kerjasama, candaan, *reminder*, dan bantuannya selama ini, serta adik-adik Asisten 2022 Adnan, Luthfi, Hakim, Andri, Pharrel, Jakub, Dian, Magdalena, dan Komang Novelia.
15. Segenap Keluarga Silat Nasional Perisai Diri Universitas Lampung, Bapak Lukmanul Hakim, Pak Meizano, Pak Cip, Mas Sungkono, yuk Diana, Hamzah, dan Riko yang telah memberikan pengalaman, ilmu dan kesan yang luar biasa.

16. Teman-Teman PRAMUBA: Imam, Rasel, Syabi, Rizky, dan Alfiza. Yang terus memberikan dukungan tenaga, pikiran dan materi serta terus memberikan semangat baik tentang perkuliahan dan kehidupan.
17. Teman-Teman seperbimbingan: Piz Roni, Frissa, dan Imam, yang selalu kebersamai dalam suka dan duka.
18. Teman-teman MSIB: Imam, Luthfi, Hakim, Mutiara, Penta, Agita, Alif, Andri, Bimo, Grace, Jakub, Kai, dan Novelia, yang selalu seru dengan berbagai candaannya.
19. Keluarga Besar HIMATRO UNILA, EXCALTO 2021, dan TTL 21.
20. Teman-Teman Panitia Pemira BEM U 2022 : Khusnul, Geri, Alda, Roffah, Billa, Inka, Elsa, dan Raihana yang telah memberikan kesan dan pengalaman yang luar biasa.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penulisan skripsi ini. Penulis menerima kritik dan saran yang membangun dari semua pihak demi kemajuan bersama. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Bandar Lampung, Juni 2025

Muhammad Al Rasyid Syidiq

DAFTAR ISI

ABSTRAK	ii
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL	xviii
LAMPIRAN.....	xix
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	2
1.3. Rumusan Masalah	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Penelitian Terdahulu.....	5
2.2. Instalasi Tenaga Listrik	6
2.3. Retrofit Sistem Kelistrikan	8
2.4. Prinsip Dasar Instalasi Listrik	8
2.5. Proteksi Pada Instalasi Listrik	9
2.5.1. Arus Lebih	10
2.5.2. <i>Drop Voltage</i>	10
2.5.3. <i>Miniature Circuit Breaker</i> (MCB).....	12
2.5.4. <i>Moulded Case Circuit Breaker</i> (MCCB).....	13
2.5.5. No Fuse Breaker (NFB).....	14
2.5.6. <i>Earth-Leakage Circuit Breaker</i> (ELCB)	14

2.5.7. Arus Nominal Pengaman	15
2.6. Penghantar Intalasi Listrik.....	16
2.7. Panel Hubung Bagi.....	20
2.8. Pengelompokan Perlengkapan Sirkuit.....	21
2.9. Panel Distribusi	21
2.10. <i>Busbar</i>	22
2.11. Daya Listrik	23
2.11.1. Macam Macam Daya Arus Listrik Bolak Balik (AC)	23
2.12. Air Conditioner (AC)	25
2.13. Pentanahan.....	25
III. METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1. Waktu dan Tempat	27
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	28
3.3. Metodologi Penelitian	28
3.4. Diagram Pelaksanaan Penelitian	29
3.5. Rencana Retrofitting Sistem Distribusi Listrik Gedung E Fakultas Teknik	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1. Gambaran Kondisi Eksisting.....	31
4.1.1. Luas Penampang Kabel	31
4.1.2. Komponen Instalasi	32
4.1.3. Pentanahan	33
4.2. Perencanaan Retrofitting	33
4.2.1. Besaran Rating MCB dan Luas Penampang Kabel	33
4.2.2. MCCB	67
4.2.3. KABEL DAN KAWAT.....	68

4.2.4. Busbar	70
4.2.5. Menentukan Sambungan Daya Dari PLN	76
4.3. Pembahasan	76
4.3.1. Kabel dan Luas Penampang.....	76
4.3.2. Komponen Instalasi	77
4.3.3. Pentanahan	78
V. KESIMPULAN.....	80
5.1. Kesimpulan.....	80
5.2. Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	82

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Miniature Circuit Breaker</i> (MCB)	13
Gambar 2. 2 <i>Moulded Case Circuit Breaker</i> (MCCB)	13
Gambar 2. 3 <i>No Fuse Breaker</i> (NFB)	14
Gambar 2. 4 <i>Earth-Leakage Circuit Breaker</i> (ELCB).....	15
Gambar 2. 5 Kabel NYA.....	17
Gambar 2. 6 Kabel NYM.....	18
Gambar 2. 7 Kabel NYY.....	19
Gambar 2. 8 Busbar.....	22
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian.....	29
Gambar 3. 2 Rencana Sistem Distribusi Listrik.....	30
Gambar 4. 1 Panel Penerangan, AC dan Stop Kontak Lantai 1 Gedung E Fakultas Teknik Universitas Lampung.....	32
Gambar 4. 2 Panel Penerangan, Stop Kontak dan AC Lantai 2 Gedung E Fakultas Teknik Universitas Lampung.....	33

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan.....	27
Tabel 4. 1 MCB dan Luas Penampang Kabel SDP-LP Lantai 1.....	34
Tabel 4. 2 MCB dan Luas Penampang Kabel SDP-LP Lantai 2	40
Tabel 4. 3 MCB dan Luas Penampang Kabel SDP-AC Lantai 1.....	45
Tabel 4. 4 MCB dan Luas Penampang Kabel SDP-AC Lantai 2.....	50
Tabel 4. 5 MCB dan Luas Penampang Kabel SDP-PP Lantai 1.....	57
Tabel 4. 6 MCB dan Luas Penampang Kabel SDP-PP Lantai 2.....	62
Tabel 4. 7 Besaran kapasitas MCCB pada panel MDP dan SDP.....	67
Tabel 4. 8 Kabel pada Gedung E	68
Tabel 4. 9 Kabel dan Kawat <i>Grounding</i>	69
Tabel 4. 10 Ukuran <i>Busbar Fasa</i>	70
Tabel 4. 11 Ukuran <i>Busbar</i> pada <i>Netral</i> dan <i>Grounding</i>	74
Tabel 4. 12 Total Daya pada Gedung E	75

LAMPIRAN

Lampiran 1. 1 Daftar Gambar dan Legend	86
Lampiran 1. 2 Main Distribution Panel	87
Lampiran 1. 3 Change Over Terminal	88
Lampiran 1. 4 Jalur Distribusi Daya	89
Lampiran 1. 5 Denah Lantai 1.....	90
Lampiran 1. 6 Instalasi Kabel Tray.....	91
Lampiran 1. 7 Instalasi Penerangan Lantai 1	92
Lampiran 1. 8 Instalasi AC lantai 1	93
Lampiran 1. 9 Instalasi Stop Kontak Lantai 1	94
Lampiran 1. 10 Load Schedule Penerangan Lantai 1	95
Lampiran 1. 11 SDP-Penerangan Lantai 1.....	96
Lampiran 1. 12 Load Schedule AC Lantai 1.....	97
Lampiran 1. 13 SDP-AC Lantai 1.....	98
Lampiran 1. 14 Load Schedule AC Lantai 1.....	99
Lampiran 1. 15 SDP-PP Lantai 1	100
Lampiran 1. 16 Tabel Beban Lantai 1.....	101
Lampiran 1. 17 Instalasi Grounding Lantai 1	102
Lampiran 1. 18 Denah Lantai 2.....	103
Lampiran 1. 19 Instalasi Kabel Tray Lantai 2.....	104
Lampiran 1. 20 Instalasi Penerangan Lantai 2	105
Lampiran 1. 21 Instalasi AC Lantai 2	106
Lampiran 1. 22 Instalasi Penerangan Lantai 2	107
Lampiran 1. 23 Load Schedule Penerangan Lantai 2	108
Lampiran 1. 24 Instalasi Penerangan Lantai 2	109
Lampiran 1. 25 Load Schedule AC Lantai 2.....	110
Lampiran 1. 26 SDP AC Lantai 2	111
Lampiran 1. 27 Load Schedule Stop Kontak Lantai 2	112
Lampiran 1. 28 SDP-PP Lantai 2.....	113
Lampiran 1. 29 Tabel Beban Lantai 2.....	114

Lampiran 1. 30 Instalasi Grounding Lantai 2	115
Lampiran 1. 31 RAB Retrofit Sistem Kelistrikan Gedung E Fakultas Teknik Universitas Lampung	116
Lampiran 1. 32 Spesifikasi Teknis.....	132

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Instalasi listrik merupakan sebuah rangkaian listrik yang berfungsi sebagai menyalurkan daya energi listrik kepada beban yang dituju. Pada prinsipnya dalam pembuatan rancangan suatu sistem instalasi listrik harus memenuhi ketentuan Peraturan Umum Instalasi Listrik (PUIL) dan peraturan yang berlaku lainnya.[1] Peraturan tersebut dibuat agar instalasi dapat memenuhi standar dan aman bagi penggunaannya. Rancangan baru yang dibuat wajib mengikuti pedoman PUIL, karena tujuan persyaratan umum instalasi listrik adalah agar terselenggara dengan baik perusahaan instalasi listrik terutama yang menyangkut keselamatan manusia (terhadap bahaya sentuhan serta kejutan arus listrik), keamanan instalasi listrik beserta perlengkapannya, dan keamanan gedung serta isinya terhadap kebakaran akibat arus listrik [2]

Gedung E Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik adalah salah satu aset penting dalam lingkungan akademik yang memiliki kebutuhan energi yang signifikan untuk mendukung kegiatan belajar mengajar, penelitian dan administrasi. Sistem kelistrikan yang beroperasi dalam gedung ini menjadi tulang punggung infrastruktur yang memastikan penggunaan listrik yang stabil dan efisien. Namun, seiring berjalannya waktu dan perubahan kebutuhan, sistem kelistrikan yang ada mungkin mengalami tantangan yang perlu ditangani secara menyeluruh.

Dalam beberapa tahun terakhir, terjadi perkembangan teknologi dan peningkatan kesadaran akan efisiensi energi dan keberlanjutan. Hal ini mendorong organisasi, termasuk institusi pendidikan seperti Fakultas Teknik Universitas Lampung, untuk mempertimbangkan *retrofitting* sistem kelistrikan sebagai strategi untuk meningkatkan performa, efisiensi, dan keandalan infrastruktur listrik.

Beberapa masalah yang dihadapi oleh sistem kelistrikan gedung E Jurusan Teknik Sipil termasuk peningkatan beban listrik akibat perluasan ruang dan penggunaan sistem pendingin udara (AC) yang semakin *massive*, penuaan peralatan, kerentanan terhadap gangguan listrik dan kebutuhan akan solusi berkelanjutan yang ramah lingkungan. Di sisi lain, pada saat gedung tersebut dibangun, perencanaan sistem kelistrikannya sangat mungkin belum mempertimbangan masifnya penggunaan AC dan belum adanya tuntutan penggunaan energi yang mempertimbangkan dampak lingkungan. Oleh karena itu, studi *retrofitting* menjadi relevan dan penting untuk mengevaluasi serta merumuskan strategi perbaikan yang tepat guna menjawab tantangan tersebut.[3]

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Mendapatkan gambaran kondisi eksisting sistem kelistrikan Gedung E Fakultas Teknik.
2. Mendapatkan rancangan *Detail Engineering Drawing* dan Spesifikasi Teknis.
3. Mendapatkan estimasi biaya retrofit.

1.3 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Apa saja kendala teknis dan operasional yang dihadapi dalam sistem kelistrikan Gedung E yang memerlukan tindakan retrofit?
2. Solusi berkelanjutan apa yang dapat diusulkan untuk merancang dan mengimplementasikan perbaikan sistem kelistrikan yang ramah lingkungan di Gedung E?
3. Berapa estimasi biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk melaksanakan proyek *retrofitting* sistem kelistrikan di Gedung E, dan bagaimana perencanaan jadwal pelaksanaannya?

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian ini akan berfokus pada menganalisis kebutuhan *retrofitting* gedung E Fakultas Teknik Universitas Lampung dan kondisi eksisting yang tidak memenuhi standar Sistem kelistrikan.
2. Hanya mendesain rancangan *Detail Engineering Drawing* Instalasi Listrik Gedung E Fakultas Teknik Universitas Lampung.
3. Tidak melakukan Analisa aliran daya menggunakan *ETAP*.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini dibagi ke dalam lima bab dengan sistematika sebagai berikut:

BAB I. PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang masalah yang mendasari penelitian ini, tujuan penelitian yang ingin dicapai, rumusan masalah, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini membahas teori-teori dan referensi yang relevan yang digunakan dalam penelitian ini, yang bersumber dari buku manual, jurnal ilmiah, dan artikel internet.

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan waktu dan lokasi penelitian, alat dan bahan yang digunakan, metode penelitian yang diterapkan, serta diagram penelitian yang menunjukkan alur kerja dalam menyelesaikan tugas akhir.

BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memaparkan hasil-hasil penelitian yang telah dilakukan, termasuk hasil temuan kondisi eksisting, analisis kebutuhan retrofitting, perencanaan, dan solusi berkelanjutan.

BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir ini berisi kesimpulan dari penelitian yang dilakukan berdasarkan hasil dan pembahasan, serta memberikan saran untuk penelitian lebih lanjut dari hasil penelitian.

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian sebelumnya yang membahas mengenai studi retrofit sebagai proses perbaikan atau modernisasi sistem yang ada untuk meningkatkan efisiensi energi, keamanan, dan kinerja bangunan. Dalam proses retrofit suatu bangunan akan mengalami perubahan, perbaikan atau penambahan teknologi yang lebih modern dan efisien. Retrofit dapat mencakup perubahan sistem penerangan, sistem pendingin (*Air Conditioner*), stop kontak, panel distribusi listrik dan lain-lain untuk efisiensi energi dan keamanan sistem kelistrikan.

(Issn and Arthasari 2020) membahas penerapan konsep bangunan hijau pada kegiatan retrofit khususnya pada bangunan kantor pusat informasi pengembangan pemukiman dan bangunan. Penelitian ini dikaitkan dengan upaya global menuju Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Develop Goals atau SDGs*), yang mencakup pertumbuhan ekonomi, keterlibatan sosial, dan perlindungan lingkungan.[4]

(Hajar et al. 2020) membahas kegiatan pengabdian masyarakat (PkM) yang dilakukan di Pondok Pesantren STP SMP/SMA KU Sumedang terkait perancangan instalasi listrik untuk bangunan bertingkat. Fokus dari artikel ini adalah penyusunan desain instalasi listrik yang sebelumnya tidak tersedia untuk bangunan pesantren tersebut.[5]

(Sanvia 2018) membahas penerapan *Energy Saving Performance Contract* (ESPC) sebagai alternatif untuk mendukung efisiensi energi pada sektor bangunan gedung, yang merupakan salah satu konsumen energi listrik terbesar. Investigasi penerapan ESPC dalam retrofit perangkat sistem tata udara, khususnya *Chiller*, yang merupakan salah satu pengguna energi terbesar di gedung.[6]

(Suyono, Tony Prasetyo, and Assafat 2011) membahas utilitas listrik pada bangunan sebagai komponen penting yang mendukung fungsi bangunan, terutama terkait aspek ke amanan penggunaan energi listrik bagi manusia dan lingkungan. Karena listrik dapat berbahaya, maka utilitas listrik di bangunan harus mematuhi regulasi dan standar minimal yang telah ditetapkan untuk memastikan keamanan.[7]

(Tasya, Setijanti, and Dinapradipta 2020) membahas pentingnya efisiensi energi sebagai target utama untuk mengurangi biaya operasional bangunan dan mencapai keberlanjutan. Salah satu cara mencapai hal ini adalah melalui kegiatan retrofit, yaitu proses memperbaiki atau memodifikasi bangunan yang sudah ada untuk meningkatkan kinerja energi. Selain membantu mengurangi konsumsi energi, retrofit juga berpotensi mengurangi emisi karbon. Namun, beberapa fitur bangunan mungkin harus diubah atau dilepaskan selama proses renovasi demi mencapai tujuan energi.[3]

(Purbantoro and Siregar 2019) membahas penerapan konsep bangunan hijau (*green building*) dan dampaknya pada operasional gedung, khususnya dari segi penghematan biaya. Konsep bangunan hijau tidak hanya memperkuat citra merek dari gedung itu sendiri, tetapi juga memberikan keuntungan finansial melalui pengurangan biaya operasional.[8]

(Fernandes et al. 2022) membahas strategi untuk memantau parameter kelistrikan secara real-time dengan menggunakan solusi *Internet of Things* (IoT), aplikasi berbasis cloud, dan retrofit sistem kelistrikan bangunan yang sudah ada (*legacy systems*). Fokus utamanya adalah mengatasi tantangan penggantian sistem usang yang masih dibutuhkan dengan menawarkan alternatif berupa retrofit untuk memantau penggunaan energi secara efisien.[9]

2.2 Instalasi Tenaga Listrik

Instalasi listrik adalah perlengkapan yang digunakan untuk menyalurkan energi listrik dari sumber listrik ke beban atau peralatan yang membutuhkan. Perencanaan pemasangan instalasi listrik sangat vital bagi suatu bangunan supaya bangunan tersebut mempunyai fungsi seperti yang

di harapkan. Secara umum instalasi listrik bangunan dibagi *dua* yaitu instalasi penerangan dan instalasi tenaga. Instalasi penerangan adalah instalasi yang beban kerjanya berupa lampu – lampu penerangan. Instalasi tenaga merupakan instalasi listrik yang beban kerjanya berupa motor- motor listrik atau peralatan yang menggunakan tenaga listrik sebagai penggerakannya. Instalasi daya listrik terdiri dari beberapa bagian antara lain :

1. Penyedia tenaga listrik.
2. Pembagian daya listrik.
3. Saluran daya listrik.
4. Proteksi daya listrik.
5. Pentanahan.

Di indonesia Persyaratan Umum Instalasi Listrik (PUIL) adalah dokumen Standar Nasional Indonesia (SNI) wajib yang digunakan sebagai standar acuan dalam pemasangan instalasi tenaga listrik tegangan rendah untuk rumah tangga, gedung perkantoran, gedung publik dan bangunan lainnya. PUIL 2011 menjadi standar yang harus diikuti dalam perancangan, pemasangan, pemeriksaan dan pengujian, pelayanan, pemeliharaan maupun pengawasan instalasi voltase rendah. PUIL 2011 memuat berbagai aspek pengaturan yang berkaitan dengan instalasi tenaga listrik antara lain jenis dan persyaratan peralatan, tata cara dan kondisi pemasangan, spesifikasi teknis, besaran listrik, dan sebagainya.[10]

Tujuan pemberlakuan PUIL 2011 adalah agar keamanan instalasi listrik dapat ditingkatkan guna mencegah resiko kecelakaan listrik bagi manusia dan lingkungan, atau resiko kebakaran yang diakibatkan oleh listrik. Pemasangan instalasi listrik yang mengikuti PUIL akan mendapatkan instalasi listrik yang handal serta effisiennya meningkat dengan berkurangnya kerugian (*losses*) arus bocor.[2]

2.3 Retrofit Sistem Kelistrikan

Retrofit adalah proses peningkatan atau pembaruan sistem kelistrikan yang sudah ada di Gedung E Fakultas Teknik Universitas Lampung agar lebih efisien, aman, dan sesuai dengan standar terbaru.

Retrofit dalam sistem kelistrikan bisa mencakup beberapa aspek, seperti:

- Mengganti peralatan listrik yang sudah usang atau tidak efisien dengan yang lebih baru dan hemat energi.
- Meningkatkan sistem distribusi daya agar lebih andal dan stabil.
- Menyesuaikan sistem kelistrikan dengan standar keselamatan terbaru.
- Mengoptimalkan penggunaan energi dengan teknologi yang lebih modern, seperti pencahayaan LED atau sistem otomatisasi listrik.

2.4 Prinsip Dasar Instalasi Listrik

Pemasangan instalasi listrik harus mempertimbangkan beberapa prinsip agar instalasi listrik dapat digunakan secara efektif, optimal dan efisien. Adapun prinsip dasar tersebut adalah sebagai berikut :

1. Syarat Ekonomis

Instalasi listrik di rencanakan harus dibuat sedemikian rupa sehingga harga dari keseluruhan instalasi itu, biaya pemasangan, dan biaya pemeliharaannya semurah mungkin.

2. Syarat Keamanan

Instalasi listrik harus dipasang dengan benar berdasarkan standar dan peraturan yang ditetapkan oleh SPLN, PUIL 2011 serta IEC (*International Electrotechnical Commission*). Sistem instalasi listrik dinyatakan aman bila dilengkapi dengan sistem proteksi yang handal dan mampu merespon dengan cepat saat terjadi gangguan baik secara langsung maupun tidak langsung. Aman dalam hal ini berarti instalasi listrik tidak membahayakan bagi manusia, peralatan yang digunakan, serta lingkungan sekitarnya

akibat adanya gangguan hubung singkat, gangguan beban lebih, dan gangguan tegangan lebih.

3. Syarat Keandalan.

Instalasi harus dapat beroperasi secara terus menerus selama mungkin ketika diperlukan dan saat terjadi gangguan dapat segera diatasi

4. Kemudahan.

Kemudahan pada sistem instalasi didapatkan jika pengoperasian sistem tidak memerlukan skill tinggi, cepat dalam pemasangan peralatan, serta mudah dalam perawatan dan perbaikan.

5. Ketersediaan.

Ketersediaan sistem tercapai jika ada ketersediaan alat ketika terjadi kerusakan, cadangan tempat untuk menempatkan peralatan dan cadangan daya pada sistem tanpa mengganti atau menambah kabel pada saat akan melakukan pengembangan atau perluasan sistem.

6. Pengaruh lingkungan.

Perencanaan instalasi harus mempertimbangkan dampak lingkungan dimana instalasi akan terpasang baik pengaruh lingkungan terhadap peralatan yang akan dipasang maupun pengaruh peralatan terhadap lingkungan.

7. Keindahan.

Kerapian dalam pemasangan sistem instalasi akan mempermudah dalam melakukan perawatan dan perbaikan sistem. Keindahan sistem meliputi : keserasian pemilihan peralatan, keindahan tata letak peralatan, kerapian dalam pemasangan dan pengawatan.[11]

2.5 Proteksi Pada Instalasi Listrik

Ada berbagai permasalahan atau gangguan yang mungkin terjadi pada sistem instalasi listrik diantaranya arus lebih dan jatuh tegangan. Untuk mengatasi gangguan yang mungkin terjadi maka diperlukan peralatan proteksi pada sistem kelistrikan. Tujuan dari pemasangan alat proteksi pada sistem instalasi listrik adalah :

1. Mengisolasi gangguan yang terjadi pada suatu tempat agar tidak berdampak pada tempat yang lain.
2. Mengisolasi ketika ada pemeliharaan, perbaikan, atau penambahan instalasi.
3. Mengamankan manusia, peralatan yang digunakan, dan lingkungan sekitar dari bahaya listrik.[12]

2.5.1 Arus Lebih

Definisi arus lebih menurut PUIL 2011 adalah arus dengan nilai melebihi nilai pengenalan tertinggi; (*overcurrent*) – IEV 151, 441 dan setiap arus yang melebihi nilai pengenalnya; untuk penghantar, nilai pengenalnya adalah Kemampuan Hantar Arus (KHA) penghantar yang bersangkutan (*overcurrent*) – IEV 826-05-0 . Ada dua macam penyebab arus lebih yaitu :

1. Beban lebih atau *over load* terjadi ketika arus yang mengalir dalam suatu sistem melebihi dari biasanya (50 % ~ 100 % lebih tinggi). *Overload* tidak terjadi secara tiba-tiba tetapi bertahap. Penggunaan kabel penghantar yang tidak sesuai dengan nilai KHA akan menyebabkan penghantar menjadi panas. Kondisi panas pada penghantar bisa menyebabkan kabel penghantar meleleh dan menimbulkan api.
2. Hubung singkat adalah terhubungnya fasa dan netral, atau antar fasa dengan pentanahan. Koneksi antar penghantar memiliki nilai resistansi rendah sehingga arus yang mengalir akan menjadi ratusan kali lebih tinggi dalam sistem[12][2]

2.5.2 Drop Voltage

Drop voltage atau jatuh tegangan merupakan penyimpangan tegangan terhadap tegangan sumber, penyimpangan tersebut berupa tegangan yang lebih rendah dari tegangan normal saat arus melalui penghantar. Penyebab kerugian tegangan atau jatuh tegangan pada instalasi listrik dipengaruhi oleh :

Panjang kabel penghantar.

Semakin panjang sebuah penghantar, maka tahanan dalam sebuah penghantar semakin besar. Hal ini akan menyebabkan jatuh tegangan semakin besar karena terdapat hambatan dalam bahan penghantar

1. Luas penampang penghantar

Luas penampang penghantar akan berbanding terbalik dengan tahananannya. Semakin besar konduktor sebuah penghantar akan semakin kecil hambatan dalam penghantar.

2. Tahanan jenis penghantar.

Penggunaan bahan penghantar yang digunakan akan berpengaruh pada jatuh tegangan karena berkaitan dengan tahanan jenis dari bahan tersebut.

3. Besar arus

Semakin besar arus listrik yang mengalir pada penghantar, maka akan semakin besar kerugian tegangan.

Jatuh tegangan sesuai dengan yang disyaratkan oleh PUIL 2011 adalah ≤ 4

%. Jatuh tegangan yang berlebihan akan menyebabkan kerusakan peralatan, beban akan bekerja keras karena tegangan pendorong arus menurun sedangkan daya yang diperlukan tidak berubah. Kondisi ini akan menyebabkan kabel menjadi panas berlebih dan terbakar. Jatuh tegangan dapat dihitung menggunakan persamaan (2.1) dan (2.2) :

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (2.1)$$

$$V_{drop} = (\sqrt{3} \times L \times I (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi)) \quad (2.2)$$

Dimana :

V_{drop} = Jatuh tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

L = Panjang kabel (Km)

R = Resistansi kabel (Ohm/Km)

X = Reaktansi kabel (Ohm/Km)

$\cos \varphi, \sin \varphi$ = Faktor daya

2.5.3 *Miniature Circuit Breaker (MCB)*

MCB (*Miniature Circuit Breaker*) adalah perangkat penting dalam sistem penyediaan listrik yang berfungsi sebagai pengaman terhadap beban lebih dan hubung singkat. MCB terdiri dari dua komponen utama yang memiliki fungsi spesifik dalam menjaga keamanan instalasi listrik. Komponen pertama adalah sistem pengaman termal yang berfungsi untuk mencegah kerusakan akibat beban lebih, dan kedua adalah relai elektromagnetik yang melindungi dari kondisi hubung singkat. Sistem pengaman termal pada MCB biasanya terdiri dari logam bimetal yang tertekuk saat terpapar panas akibat arus berlebih, sehingga dapat memutuskan jalur listrik dengan menarik tuas pemutus [13]. Penggunaan MCB perlu dilakukan pengecekan berkala untuk memastikan bahwa perangkat berfungsi dengan baik dan dapat diandalkan dalam situasi darurat. Penelitian menunjukkan pentingnya melakukan evaluasi sistem pengaman ini, terutama pada aplikasi di industri, di mana beban berlebih dan hubung singkat dapat merusak peralatan dan menghasilkan kehilangan yang signifikan [14].

Keuntungan penggunaan MCB meliputi :

1. Dapat mengamankan (memutus hubungan) semua fasa dari rangkaian 3 fasa walaupun terjadi hubung singkat pada salah satu fasanya saja.
2. Dapat digunakan kembali setelah proses pengamanan terjadi akibat hubung singkat atau beban lebih.
3. Mempunyai respon yang baik bila terjadi gangguan seperti hubung singkat dan beban lebih

$$I_{MCB} = I_{nominal} \times 1,25 \quad (2.3)$$

MCB biasa digunakan untuk rangkaian 1 fasa untuk pengaman instalasi rumah sederhana dan biasa terdapat pada KWH sebagai pembatas beban penggunaan. Maksud dari batas penggunaan adalah batasan daya yang dipakai misalnya 400 atau 950 watt. Bila pemakaian melebihi batasan tersebut, maka MCB akan memutus arus secara otomatis. Pemakaian MCB 3 fasa biasa digunakan untuk

instalasi rumah yang memiliki PHB sebagai papan hubung bagi juga terdapat pada instalasi besar lainnya. Kisaran arus perlindungan dari MCB adalah : 2 A, 4 A, 10 A, 32 A, 64 A.[12].



Gambar 2. 1 *Miniature Circuit Breaker* (MCB)

2.5.4 *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB)

Moulded Case Circuit Breaker memiliki fungsi yang sama dengan MCB karena dapat mengamankan arus listrik dari beban lebih atau dari hubung singkat. Yang membedakan MCCB dan MCB adalah mempunyai kemampuan pemutusan arus yang dapat diatur sesuai dengan batas beban yang diinginkan. MCCB memiliki kemampuan hantar arus maksimal yang jauh lebih besar dibandingkan MCB, kemampuan MCCB ada yang mencapai 1000 A. MCCB dapat digunakan untuk berbagai tegangan listrik, dari mulai *low voltage* sampai *medium voltage*. [12]



Gambar 2. 2 *Moulded Case Circuit Breaker* (MCCB)

2.5.5 No Fuse Breaker (NFB)

NFB atau *No Fuse Breaker* berfungsi sebagai pembatas arus listrik dari beban lebih. Bila arus yang mengalir pada NFB ini melebihi dari I_n (arus nominal) pada NFB, maka NFB ini akan memutuskan arus ke beban[15]



Gambar 2. 3 *No Fuse Breaker* (NFB)

2.5.6 *Earth-Leakage Circuit Breaker* (ELCB)

Earth-Leakage Circuit Breaker (ELCB) adalah alat pengaman listrik dari resiko kebocoran arus listrik. ELCB biasa dapat ditemukan di dalam panel listrik, seperti MCB. Sekilas ELCB mirip dengan MCB, tetapi ELCB dan MCB ini mempunyai fungsi yang berbeda. MCB berfungsi sebagai proteksi apabila terjadi beban lebih (*overload*) ataupun hubung singkat (*short circuit*). Sedangkan ELCB bekerja dengan mendeteksi arus listrik yang tidak seimbang. Sebagai contoh, ketika seseorang menyentuh kabel listrik yang terbuka dari alat listrik yang sedang menyala, maka arus listrik akan bocor dan mengalir melalui orang tersebut. ELCB akan segera mendeteksi arus bocor ini dengan membandingkan arus listrik yang mengalir pada fasa dan netral, yang ternyata tidak seimbang, sehingga akan mengaktifkan relay untuk *trip/switch off*. [15]



Gambar 2. 4 *Earth-Leakage Circuit Breaker (ELCB)*

2.5.7 Arus Nominal Pengaman

Untuk pemilihan rating pengaman alat proteksi instalasi listrik, terlebih dahulu harus diketahui arus nominal kapasitas dari alat proteksi tersebut. Arus nominal pengaman dapat dihitung dengan persamaan :

1. Tegangan 1 fasa

$$I_n = \frac{P}{(V \times \cos \varphi)} \quad (2.5)$$

2. Tegangan 3 Fasa

$$I_n = \frac{P}{(\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi)} \quad (2.6)$$

Sesuai dengan PUIL 2011 pasal 2.2 ayat 2.2.8.3 besar nilai KHA perlengkapan yang dibebani arus lebih adalah 125 % dari arus pengenal beban, sehingga didapat persamaan :

$$1 \text{ KHA} = I_n \times 1,25 \quad (2.7)$$

Dimana :

I_n = Arus Nominal (A)

1 KHA = Arus KHA (A)

P = Daya (W)

V = Tegangan Kerja (V)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

2.6 Penghantar Instalasi Listrik

Arus listrik disalurkan melalui sebuah media yang dinamakan kabel. Bahan untuk kabel listrik bermacam-macam, khususnya bagian yang dipakai untuk menghantarkan arus (*isolator*). Umumnya tembaga dipakai sebagai *isolator* karena harganya terjangkau dan mempunyai daya hantar yang baik. Ada beberapa jenis kabel yang biasa dipakai dalam instalasi listrik yaitu :

1. Kabel NYA

Kepanjangan dari kabel NYA, yaitu :

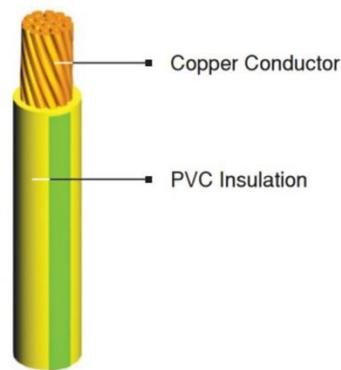
N = Kabel inti tembaga

Y = Isolasi PVC

A = Kabel tunggal

Bisa kita diartikan bahwa kabel NYA merupakan kabel tembaga tunggal dengan *isolator* terselubung dengan berbahan PVC. Pada umumnya, kabel ini sering digunakan dalam instalasi listrik rumah tinggal dan sistem tenaga.

Spesifikasi ukuran diameter dari kabel NYA ini rata rata sekitar 1,5 mm – 2,5 mm. Isolator pembungkus kabel NYA memiliki warna merah, kuning, biru dan hitam yang berguna untuk memudahkan pemasangan jalur jaringan instalasi listrik.[16]



Gambar 2. 5 Kabel NYA

2. Kabel NYM.

Kepanjangan dari kabel NYM, yaitu :

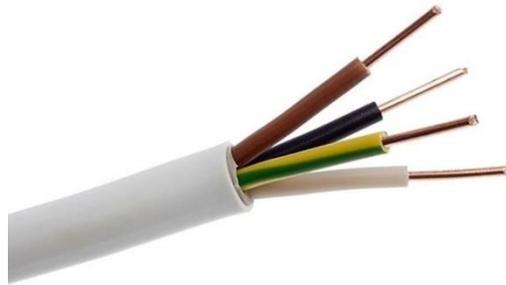
N = Kabel inti tembaga

Y = Isolasi PVC

M = Inti kabel lebih dari satu

Kabel NYM merupakan kabel yang memiliki konduktor atau tembaga lebih dari satu dengan *isolator* terselubung dengan berbahan PVC. Kabel NYM sering digunakan khusus untuk pada instalasi tetap bangunan, dimana penempatannya biasanya di luar/di dalam tembok.

Ukuran kabel NYM sangat tergantung dari berapa jumlah inti kabel tembaga, bisa terdiri dari 2, 3, sampai 4 jika diperlukan untuk tambahan *grounding*. Warna lapisan isolator PVC pada kabel NYM biasanya putih atau abu-abu.[16]



Gambar 2. 6 Kabel NYM

3. Kabel NYY

Kepanjangan dari kabel NYY, yaitu :

N = Kabel inti tembaga

Y = Isolasi PVC

Y = Selubung luar Isolasi PVC

Kabel NYY merupakan kabel yang memiliki lebih dari satu inti tembaga dengan isolasi PVC dan selubung luar berbahan PVC. Kabel NYY bisa dibilang penyempurnaan dari kabel NYA dan NYM. Kabel ini cocok digunakan untuk instalasi listrik tetap seperti di bawah tanah ataupun tempat *outdoor* lain namun tetap harus diberikan perlindungan khusus seperti pipa.

Kabel NYY memiliki jumlah inti tembaga 2 , 3 atau 4 dengan lapisan isolasi PVC berwarna hitam. Bahan isolator untuk jenis kabel ini memiliki konstruksi yang lebih kuat dan kaku karena terdapat selubung tambahan dan berbahan anti gigitan tikus.[16]



Gambar 2. 7 Kabel NYY

Pemilihan luas penampang kabel untuk instalasi listrik yang akan digunakan ditentukan oleh KHA (kemampuan hantar arus) suatu kabel. KHA adalah arus maksimal yang dapat dihantarkan secara terus-menerus oleh suatu konduktor pada kondisi yang ditentukan tanpa suhu kondisi tunaknya (*steady state*) melebihi nilai yang ditentukan (PUIL 2011, IEV 826-13-18) . Untuk menghitung KHA yang melewati kabel menggunakan persamaan :[17]

1. Instalasi satu fasa.

a. Beban kapasitif.

$$I = \frac{P}{(V_f \times \cos \varphi)} \quad (2.8)$$

b. Beban resistif.

$$I = \frac{S}{V_f} \quad (2.9)$$

2. Instalasi tiga fasa

a. Beban kapasitif.

$$I = \frac{P}{(\sqrt{3} \times V_L \times \cos \varphi)} \quad (2.10)$$

b. Beban resestif

$$I = \frac{S}{(\sqrt{3} \times V_L)} \quad (2.11)$$

Dimana :

I = Kuat arus listrik yang boleh dilewatkan (*Ampere*)

P = Daya beban terpasang (*volt*)

V_f = Tegangan fasa terpasang (*volt*)

V_L = Tegangan line terpasang (*volt*)

$\text{Cos } \varphi$ = Faktor daya

Sesuai dengan ketentuan yang diatur dalam PUIL 2011 bahwa penghantar sirkit suplai tidak boleh mempunyai kurang dari KHA 125 % arus pengenal beban penuh, atau dapat dituliskan dengan persamaan:

$$1 \text{ KHA} = I_n \times 1,25 \quad (2.12)$$

2.7 Panel Hubung Bagi

PHB adalah peralatan yang berfungsi menerima energi listrik dari APP dan selanjutnya mendistribusikan dan sekaligus mengontrol penyaluran energi listrik tersebut melalui sirkit cabang ke PHB cabang atau langsung melalui sirkit akhir ke beban yang berupa beberapa titik lampu dan melalui kotak-kontak ke peralatan pemanfaat listrik yang berada dalam ruangan[10].

Fungsi utama dari PHB pada suatu instalasi listrik adalah :

1. Menghubungkan suplai tenaga listrik dari panel utama sampai ke beban beban baik instalasi penerangan maupun instalasi tenaga.
2. Mengamankan secara otomatis apabila terjadi gangguan pada rangkaian instalasi, komponen yang berfungsi sebagai pengaman pada panel listrik adalah MCB dan MCCB.
3. Membagi kelompok beban baik pada instalasi penerangan maupun instalasi tenaga, pembagian tersebut dibagi menjadi beberapa group beban dan juga membagi fasa R, S,T agar mempunyai beban yang seimbang.

4. Menyuplai dan mendistribusikan tenaga listrik dari panel utama, panel cabang sampai ke pusat beban.

2.8 Pengelompokan Perlengkapan Sirkuit

Pengelompokan Perlengkapan Sirkuit. Sesuai dengan PUIL 2011 pasal 511.2.5 pada PHB yang mempunyai banyak sirkuit keluar fasa tunggal dan fasa tiga, baik untuk instalasi daya maupun instalasi pencahayaan, gawai proteksi, sakelar, dan terminal yang serupa harus dikelompokkan sehingga :

1. Kelompok perlengkapan instalasi daya sebaiknya terpisah dari kelompok perlengkapan pencahayaan.
2. Kelompok perlengkapan fasa tunggal, fasa dua, dan fasa tiga merupakan kelompok sendiri yang terpisah.[2]

2.9 Panel Distribusi

Panel distribusi listrik adalah sebuah alat atau perangkat yang memiliki fungsi untuk membagi, menyalurkan dan kemudian mendistribusikan energi listrik dari sumbernya kepada konsumen [10]. Terdapat beberapa jenis panel distribusi untuk instalasi listrik yaitu :

1. Panel LVMDP (*Low Voltage Main Distribution Panel*) yang berfungsi sebagai panel utama , panel tersebut menerima daya dari masukan PLN dan mendistribusikan ke panel SDP.
2. Panel SDP (*Sub Distribution Panel*) yang berfungsi sebagai panel pembagi ke sirkuit akhir yang berupa panel penerangan dan panel daya.
3. Panel LP (*Lightning Panel*) yang berfungsi sebagai pusat pembagian beban yang berupa lampu.
4. Panel PP (*Power Panel*) yang berfungsi sebagai pusat pembagi beban yang berupa kotak-kontak.

2.10 Busbar

Busbar adalah penghantar listrik yang terbuat dari pelat tembaga yang digunakan dalam sebuah panel distribusi. *Busbar* berbentuk pelat persegi panjang dengan lubang-lubang yang yang dapat dijadikan terminal penghubung dengan penghantar. Alasan pemakaian *busbar* dalam panel distribusi karena *busbar* mempunyai kapasitas hantar arus yang lebih besar dari pada kabel dan konstruksinya yang mempermudah dalam penyambungan penghantarnya.[10]

Untuk mengetahui luas dari busbar yang akan digunakan dapat menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$A = \text{tebal} \times \text{lebar} \quad (2.13)$$

Kerapatan arus atau densitas pada suatu tembaga ketika berada pada udara yang diam diketahui bahwa $\approx 3 \text{ A/mm}^2$. Jadi, untuk mengetahui busbar yang dipilih dapat menggunakan formulasi sebagai berikut:

$$A = \frac{I_n \times \text{mm}^2}{3 \text{ A}} \quad (2.14)$$



Gambar 2. 8 Busbar

2.11 Daya Listrik

Daya listrik adalah besarnya laju hantaran energi listrik yang terjadi pada suatu rangkaian listrik. Dalam satuan Internasional daya listrik adalah w (*watt*) yang menyatakan besarnya usaha yang dilakukan oleh sumber tegangan untuk mengalirkan arus listrik tiap satuan waktu (*joule/detik*), Daya listrik dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = \frac{W}{t} \quad (2.15)$$

Dimana :

P = Daya (W)

W = Usaha (J)

T = Waktu (s)

2.11.1 Macam Macam Daya Arus Listrik Bolak Balik (AC)

Macam-Macam Daya Listrik Arus Bolak-Balik Dalam sistem listrik arus bolak-balik ada tiga jenis daya yang dikenal, khususnya untuk beban yang memiliki impedansi (Z), yaitu :

1. Daya Aktif (P)

Daya aktif adalah daya sesungguhnya yang dibutuhkan beban. Satuan daya aktif adalah W (*Watt*) dan dapat diukur dengan menggunakan alat ukur listrik *Wattmeter*. Persamaan untuk menghitung daya aktif adalah :

a. Tegangan 1 fasa

$$P = V \times I \quad (2.16)$$

b. Tegangan 3 fasa

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \quad (2.17)$$

Dimana :

P = Daya semu (*Watt*)

V = Tegangan (V)

$I =$ Arus listrik (A)

2. Daya Reaktif (Q)

Daya reaktif adalah daya yang ditimbulkan akibat adanya efek induksi elektromagnetik oleh beban yang bersifat induktif. Satuan dari daya reaktif adalah VAR (*volt ampere reactive*). Pada rangkaian yang memiliki beban induktif biasanya di pasang kapasitor untuk menghemat daya reaktifnya. Hal tersebut dilakukan pada pabrik-pabrik yang menggunakan beban berupa motor listrik. Persamaan untuk menghitung daya reaktif adalah :

a. Tegangan 1 fasa

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (2.18)$$

b. Tegangan 3 fasa

$$Q = \sqrt{3} V \times I \times \sin \varphi \quad (2.19)$$

Dimana :

$Q =$ Daya semu (Var)

$V =$ Tegangan (V)

$I =$ Arus listrik (A)

$\varphi =$ Faktor daya

3. Daya Semu (S)

Daya semu adalah daya nyata yang diberikan oleh PLN ke konsumen. Beban dari daya semu berupa beban bersifat resistif dan mempunyai satuan VA (*volt ampere*). Persamaan untuk menghitung daya semu adalah :

a. Tegangan 1 fasa

$$S = V \times I \quad (2.20)$$

b. Tegangan 3 fasa

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi \quad (2.21)$$

Dimana :

$S = \text{Daya semu (VA)}$

$V = \text{Tegangan (V)}$

$I = \text{Arus listrik (A)}$

2.12 Air Conditioner (AC)

Kenyamanan di dalam ruangan merupakan aspek dasar yang sangat memengaruhi produktivitas seseorang. Tidak hanya pencahayaan yang perlu diperhatikan, tetapi juga kualitas udara di dalam ruangan memiliki peran krusial dalam menciptakan lingkungan yang mendukung aktivitas. Udara yang bersih dan sejuk dapat diperoleh melalui sistem pengkondisian udara, yakni proses pengaturan suhu, kelembapan, kebersihan, dan distribusi udara secara terpadu untuk menciptakan kondisi yang nyaman. Hal ini sangat penting, khususnya di Indonesia yang beriklim tropis dan kerap menghadapi suhu tinggi sepanjang tahun.

Salah satu elemen penting dalam pengkondisian udara adalah proses pendinginan yang bertujuan untuk menjaga suhu ruangan dalam kisaran ideal, yaitu antara 24°C hingga $26,5^{\circ}\text{C}$ [18]. Suhu yang optimal ini tidak hanya menambah kenyamanan, tetapi juga telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi dan konsentrasi kerja [19].

2.13 Pentanahan

Sistem pentanahan merupakan bagian vital dalam instalasi listrik yang berfungsi sebagai jalur pelepasan arus lebih ke tanah. Tujuannya adalah untuk melindungi manusia dan peralatan listrik dari bahaya akibat gangguan listrik, seperti arus bocor atau hubung singkat yang bisa menimbulkan kerusakan atau bahkan kecelakaan [13][20]. Agar sistem ini bekerja secara optimal, nilai tahanan tanah yang rendah sangatlah penting. Semakin kecil nilai tahanannya, semakin cepat arus lebih dapat dialirkan ke tanah dan semakin efektif sistem proteksi dalam menghentikan aliran arus berbahaya [14].

Untuk menjamin keselamatan dan kinerja sistem, instalasi pentanahan harus mengikuti standar yang telah ditentukan. Salah satunya adalah Pedoman Umum Instalasi Listrik (PUIL) 2011, yang merekomendasikan nilai tahanan pentanahan tidak melebihi 5 *ohm* [21]. Namun, pencapaian nilai ini sering terhambat oleh kesalahan teknis, seperti pemasangan elektroda yang terlalu dangkal atau jenis tanah yang tidak sesuai. Akibatnya, sistem menjadi kurang efektif dalam mengalirkan arus gangguan, sehingga berisiko terhadap keselamatan [22] [23] Studi juga menunjukkan bahwa kedalaman dan jenis tanah sangat mempengaruhi nilai tahanan pentanahan, terutama pada instalasi besar seperti pembangkit listrik tenaga uap [24].

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian tugas akhir ini dimulai sejak November 2024 dan selesai pada Maret 2025, bertempat di Gedung E Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung. Adapun Jadwal Penelitian seperti pada

No.	Agenda	Bulan																									
		Nov				Des				Jan				Feb				Mar				April				Mei	
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2
1.	Studi Literatur dan Studi Bimbingan	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2.	Pembuatan Proposal	■	■	■	■																						
3.	Seminar proposal							■																			
4.	Survei ke Gedung								■	■	■	■	■														
5.	Pengisian Kuisioner Wawancara									■	■	■	■	■													
6.	Analisis Data									■	■	■	■														
7.	Penyusunan Laporan										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
8.	Seminar Hasil																			■							
9.	Ujian Komprehensif																										■

Tabel 3. 1 Jadwal Pelaksanaan

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam Penelitian ini antara lain :

Alat :

1. Laptop
2. Perangkat Lunak *Autocad* 2023
3. *Handy Talky*
4. *Test Pen*

Bahan :

Data Denah Gambar Gedung E Fakultas Teknik

3.3 Metodologi Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari serta mengkaji literatur yang berkaitan dengan penelitian tugas akhir, yaitu mengenai sistem kelistrikan yang sesuai dengan standar-standar yang berlaku. Literatur tersebut diambil dari berbagai sumber, seperti jurnal ilmiah dan laporan-laporan penelitian terdahulu.

2. Studi Bimbingan

Studi bimbingan dilakukan dengan diskusi untuk menyelesaikan persoalan-persoalan selama penelitian bersama dosen pembimbing. Diskusi dilakukan secara berkala, mulai dari diskusi mengenai kondisi eksisting hingga metode yang digunakan penulis untuk melakukan analisis kebutuhan *retrofitting*. Dengan adanya studi bimbingan, penulis banyak mendapatkan pengetahuan serta arahan dalam pengerjaan penelitian tugas akhir.

3. Pengumpulan dan Pengolahan Data

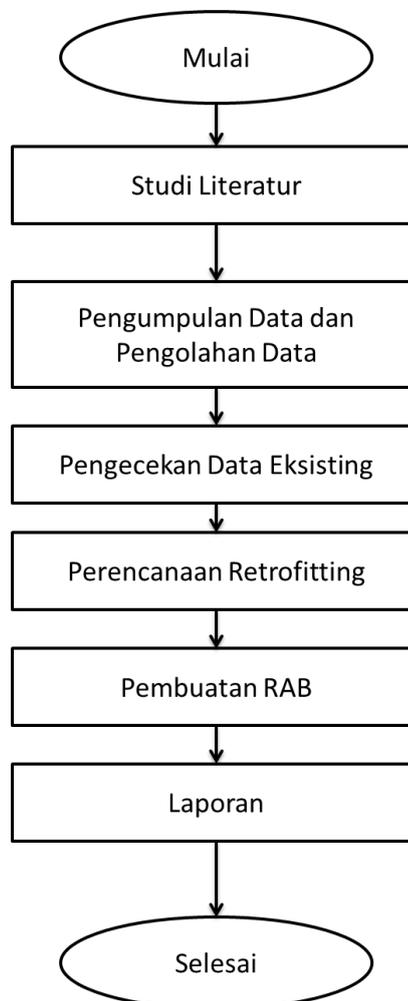
Pengumpulan data berasal dari survei lapangan untuk melihat kondisi eksisting sistem kelistrikan, beban yang terpasang, denah pemasangan instalasi listrik lalu dari data tersebut digambar dan dianalisis menjadi *As-Built Drawing* menggunakan perangkat lunak *Autocad*.

4. Penulisan Laporan

Perancangan penelitian ini dituangkan kedalam sebuah laporan proposal penelitian. Lalu, hasil penelitian ini dituangkan kedalam sebuah laporan akhir penelitian/ skripsi. Laporan ini merupakan dokumentasi pengerjaan penelitian tugas akhir dan dapat dipertanggungjawabkan sebagaimana mestinya.

3.4 Diagram Pelaksanaan Penelitian

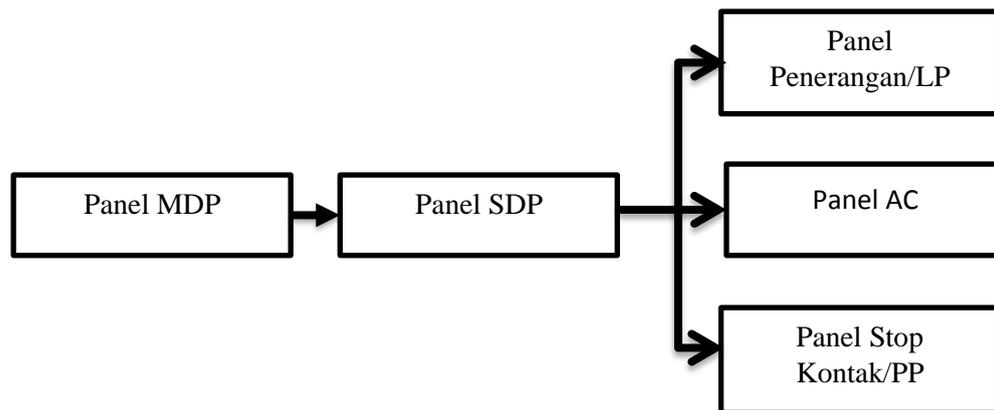
Pada Gambar berikut merupakan tahap-tahap pelaksanaan kegiatan penelitian tugas akhir.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

3.5 Rencana Retrofitting Sistem Distribusi Listrik Gedung E Fakultas Teknik

Rencana Retrofitting Gedung E Fakultas Teknik Universitas Lampung. Sumber listrik yang digunakan berasal dari PLN dengan klasifikasi beban panel distribusi.



Gambar 3. 2 Rencana Sistem Distribusi Listrik

V. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Adapun Kesimpulan pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil survei di Gedung E, ditemukan beberapa ketidaksesuaian dalam sistem kelistrikan yang dapat berdampak pada keamanan dan efisiensi instalasi. Luas penampang kabel pada beberapa sirkit tidak memenuhi standar PUIL 2020, yang dapat menyebabkan peningkatan suhu kabel dan risiko kebakaran, sehingga diperlukan penyesuaian ukuran kabel sesuai regulasi. Selain itu, panel listrik di gedung ini tidak memiliki pengaturan kabel yang rapi serta kekurangan *busbar*, yang berpotensi meningkatkan risiko hubungan arus pendek dan *overheating*. Sistem pentanahan juga tidak ditemukan, yang dapat meningkatkan risiko arus bocor dan bahaya sengatan listrik. Oleh karena itu, solusi yang diusulkan meliputi peningkatan spesifikasi kabel, pemasangan ducting cable dan busbar pada panel, serta implementasi sistem pentanahan sesuai standar untuk memastikan keandalan dan keamanan sistem distribusi listrik di Gedung E.
2. Berdasarkan hasil *Design Engineering Drawing* (DED) Gedung E lantai 1 mempunyai beban terpasang sebesar 35,536 kW dan beban maksimumnya sebesar 29,613 kW. Lantai 2 Gedung E mempunyai beban terpasang sebesar 37,100 kW dan beban maksimumnya sebesar 30,916 kW. Jadi, total daya semu beban terpasang sebesar 85,454 kVA dan beban maksimum 71,21 kVA. Dari total beban tersebut maka trafo

distribusi pada Gedung E dengan kapasitas 200 kVA masih memiliki *spare* yang cukup apabila kedepannya akan ada penambahan untuk beban lainnya.

3. Berdasarkan Rancangan Anggaran Biaya (RAB) yang telah disusun, total biaya yang diperlukan untuk instalasi kelistrikan di Gedung E mencakup berbagai komponen seperti material, jasa pemasangan, serta tambahan biaya berupa ROK sebesar 20% dan PPN sebesar 11%. Secara keseluruhan, biaya yang dibutuhkan untuk Gedung E total biaya yang harus dikeluarkan adalah Rp745,228,501.

5.2 Saran

Adapun Saran pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk meningkatkan keamanan pengguna gedung dan melindungi peralatan listrik di Gedung E, diperlukan perencanaan tambahan yang mencakup sistem penangkal petir, alarm kebakaran, dan sistem pemadam kebakaran. Sistem ini akan meminimalkan risiko kerusakan akibat petir dan kebakaran, menciptakan lingkungan yang lebih aman dan andal bagi penghuni dan operasional gedung.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. F. Adha, K. J. Setyono, J. T. Sipil, P. N. Semarang, S. H. Tembalang, and K. Semarang, “Led Pada Gedung Gramedia Matraman Dengan Cara,” vol. 08, pp. 1–8, 2022.
- [2] B. S. N. BSN, “Puil 2011,” *DirJen Ketenagalistrikan*, vol. 2011, no. Puil, pp. 1–683, 2011.
- [3] A. F. Tasya, P. Setijanti, and A. Dinapradipta, “Retrofit pada Bangunan Komersial: Tinjauan Masalah dan Metode,” *ARSITEKTURA*, vol. 18, no. 2, p. 199, Nov. 2020, doi: 10.20961/arst.v18i2.42632.
- [4] P. E. Issn and A. H. Arthasari, “Available online through <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/modul> PENINGKATAN KINERJA HIJAU MELALUI RETROFITTING STUDI KASUS : PEKERJAAN PENGUBAHSUAIAN BANGUNAN PIP2B DIY Abstrak,” vol. 2877, pp. 57–65, 2020.
- [5] I. Hajar, D. J. Damiri, Y. Yuliasyah, J. Jumiati, M. S. P. Lesmana, and M. I. Romadhoni, “Desain Instalasi Listrik Bangunan Bertingkat (Studi Kasus: Pesantren Khoiru Ummah Sumedang),” *Terang*, vol. 3, no. 1, pp. 31–40, 2020, doi: 10.33322/terang.v3i1.1073.
- [6] S. F. Sanvia, “Studi Penerapan Energy Saving Performance Contract Dalam Efisiensi Energi Listrik Sektor Bangunan Gedung Di Indonesia,” *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, vol. 17, pp. 1–7, 2018.
- [7] Suyono, M. Tony Prasetyo, and L. Assafat, “Tingkat Keandalan Utilitas Kelistrikan Bangunan Gedung Bertingkat Di Kota Semarang,” *Media Elektr.*, vol. 4, no. 1, pp. 1–17, 2011.
- [8] F. Purbantoro and M. Siregar, “Optimasi Dan Monitoring Peringkat Green Building Pada Gedung Terbangun Di Gedung Sampoerna Strategic Square Jakarta,” *J. Bakti Masy. Indones.*, vol. 2, no. 1, pp. 182–190, 2019, doi:

10.24912/jbmi.v2i1.4344.

- [9] R. A. Fernandes *et al.*, “A Retrofit Strategy for Real-Time Monitoring of Building Electrical Circuits Based on the SmartLVGrid Metamodel,” *Energies*, vol. 15, no. 23, Dec. 2022, doi: 10.3390/en15239234.
- [10] T. Sutrisno, S. Dinata, and W. A. Nurtiyanto, “Perancangan Panel Distribusi Daya Listrik (SDP) Untuk Gedung Kampus Universitas Sutomo,” *Epic J. Electr. Power Instrum. Control*, vol. 5, no. 2, p. 177, 2023, doi: 10.32493/epic.v5i2.27538.
- [11] A. D. Prok, H. Tumaliang, and M. Pakiding, “Penataan Dan Pengembangan Instalasi Listrik Fakultas Teknik UNSRAT 2017,” *J. Tek. Elektro dan Komput.*, vol. 7, no. 3, pp. 207–218, 2018, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/elekdankom/article/view/20767>
- [12] B. Pandjaitan, “Praktik-Praktik Proteksi Sistem Tenaga Listrik,” p. 482, 2012.
- [13] K. V. N. R. Ummah, S. Sutedjo, M. M. Rifadil, and L. S. Mahendra, “Alat Uji MCB 1 Fasa Instalasi Milik Pelanggan (IML),” *Emit. J. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 2, pp. 141–147, 2022, doi: 10.23917/emitor.v22i2.19352.
- [14] J. T. Mesin *et al.*, “Evaluasi Sistem Proteksi Motor Induksi 3 Fasa sebagai Mesin Bubut Program Studi Teknik Elektro Universitas PGRI Palembang , Indonesia proteksi yang handal agar motor tidak terjadi kerusakan atau gangguan pada saat pengoprasian ,” vol. 3, no. 3, 2024.
- [15] Schneider Electric, “Schneider Electric.”
- [16] T. J. Listrik, “Jenis Jenis Kabel Listrik.”
- [17] S. N. Indonesia, “Persyaratan Umum Instalasi Listrik 2011 (PUIL 2011),” *DirJen Ketenagalistrikan*, vol. 2011, pp. 1–133, 2011.
- [18] F. P. Andini, T. Andini, N. Aryanto, and P. A. Topan, “Rancang Bangun Kandang Ayam Pedaging Cerdas Otomatis Berbasis Mikrontroler Esp32 Dan Aplikasi Blynk Iot,” *J. Inform. Teknol. dan Sains*, vol. 6, no. 3, pp.

595–604, 2024, doi: 10.51401/jinteks.v6i3.4361.

- [19] A. Sasmita, D. Andrio, N. Aini, and I. Artikel, “Analisis Tingkat Kerentanan Wilayah Di Kota Pekanbaru Terhadap Bencana Akibat Perubahan Iklim Analysis of the Level of Regional Vulnerability in Pekanbaru City To Disasters Due To Climate Change,” *J. Pembang. Wil. dan Kota*, vol. 18, no. 4, pp. 414–429, 2022, doi: 10.14710/pwk.v20i1.37111.
- [20] T. Zhang, X. Duan, M. Zhao, H. Shen, and T. Ma, “Research on Motion Characteristics of Circuit Breaker Electromagnet in Different Conditions,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2527, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2527/1/012038.
- [21] X. Li, M. Cheng, W. Chen, and Y. Luo, “An online detection method for the mechanical fault of circuit breakers of rural distribution lines based on continuous wavelet transform and vibration signal characteristics,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2757, no. 1, 2024, doi: 10.1088/1742-6596/2757/1/012024.
- [22] Y. Zhang, X. Zhang, X. Qu, S. Wang, X. Liu, and J. Zhang, “Research on temperature rise prediction model for circuit breaker based on numerical Laplace transform,” *Eng. Res. Express*, vol. 6, no. 4, 2024, doi: 10.1088/2631-8695/ad8f91.
- [23] A. R. Mallah, N. Aljuraid, O. A. Alawi, Z. M. Yaseen, K. Singh, and A. Ataki, “A hybrid numerical/machine learning model development to improve the bimetal performance in the electric circuit breakers,” *Sci. Rep.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–19, 2022, doi: 10.1038/s41598-022-22763-3.
- [24] Y. Su *et al.*, “The modular design and verification of a 110kV circuit breaker,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2564, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2564/1/012064.