

**SISTEM DIAGNOSIS CERDAS DEGRADASI ISOLATOR PORSELEN
AKIBAT POLUSI ABU BATUBARA BERBASIS AI MULTIMODAL**



**Laporan Akhir Ini Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menyelesaikan
Pendidikan Diploma III Pada Jurusan Teknik Elektro
Program Studi Teknik Listrik**

**OLEH
MUHAMMAD FAHDELIN HAFIZ
062330310521**

**POLITEKNIK NEGERI SRIWIJAYA
PALEMBANG
2026**

**SISTEM DIAGNOSIS CERDAS DEGRADASI ISOLATOR PORSELEN
AKIBAT POLUSI ABU BATUBARA BERBASIS AI MULTIMODAL**



LEMBAR PENGESAHAN

Palembang, Juli 2026

Menyetujui,

Dosen Pembimbing I

Anton Firmansyah, S.T., MT.
NIP. 197509242008121001

Dosen Pembimbing II

Indah Susanti, S.T., M.T.
NIP. 198809132014042002

Mengetahui,

**Ketua Jurusan
Teknik Elektro**



Dr. Ir. Selamat Muslimin, S.T., M.Kom., IPM.
NIP. 197907222008011007

**Koordinator Program Studi
D III Teknik Listrik**

Yessi Marniati, S.T., M.T.
NIP. 197603022008122001

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan:

Nama : Muhammad Fahdelin Hafiz
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Tempat, Tanggal Lahir : Palembang, 20 Oktober 2005
Alamat : Jl. Perintis Kemerdekaan Lr. Pasundan
Rt.05/Rw.06
NPM : 062330310521
Program Studi : DIII Teknik Listrik
Jurusan : Teknik Elektro
Judul Laporan Akhir : SISTEM DIAGNOSIS CERDAS DEGRADSI
ISOLATOR PORSELEN AKIBAT POLUSI
ABU BATUBARA BERBASIS AI
MULTIMODAL

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa:

1. Laporan Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri serta bebas dari tindakan plagiasi, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.
2. Dapat menyelesaikan segala urusan terkait pengumpulan revisi Laporan Akhir yang sudah disetujui oleh dewan penguji paling lama 1 bulan setelah ujian Laporan Akhir.
3. Dapat menyelesaikan segala urusan peminjaman/penggantian alat/buku dan lainnya paling lama 1 bulan setelah ujian Laporan Akhir.

Apabila dikemudian hari diketahui ada pernyataan yang terbukti tidak benar dan tidak dapat dipenuhi, maka saya siap bertanggung jawab dan menerima sanksi tidak diikuti sertakan dalam prosesi wisuda serta dimasukkan dalam daftar hitam oleh Jurusan Teknik Elektro sehingga berdampak tertundanya pengambilan Ijazah & Transkrip (ASLI & COPY). Demikian surat pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya dan dalam keadaan sadar tanpa paksaan.

Palembang, Juli 2026

Yang Menyatakan,



Muhammad Fahdelin Hafiz

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

“Dan aku menyerahkan segala urusanku kepada Allah.”

(QS. Ghafir : 44)

“Segala Sesuatu yang telah diawali, maka harus diakhiri walaupun penuh dengan ketidakpercayaan diri”

(Muhammad Fahdelin Hafiz)

KU PERSEMBAHKAN LAPORAN AKHIR INI KEPADA :

1. Kakek tercinta (Alm. KGS. H. Abdul Manan dan Alm. Syarifudin) dan nenek tercinta (Rohimah dan Rusnawati) beserta Kedua Orang tua penulis tercinta, ayah Suhardi dan ibu Rosmala dewi, yang telah mendidik serta menjadi panutan hidup penulis. Terima kasih untuk hari-hari yang telah dihabiskan, Terima kasih atas segala doa, kasih sayang, dukungan, dan motivasi yang selalu mengiringi setiap langkah penulis serta dukungan moril maupun materil yang selalu diberikan. Sungguh gelar ini penulis persembahkan untuk ayah dan ibu.
2. Kakak dan kakak Ipar, Muhammad Syahrul Nizam dan Nabella Dian Fitria A.Md. Terima kasih sudah menjadi bagian dalam proses penyusunan laporan akhir ini. Terimakasih atas dukungan dan nasehat-nasehat bijaknya.
3. Kepada Lutfi Ramadhan, Feri Irawan, Muhammad Sultan Komarrudin, M Sholehan, Terima kasih telah berkontribusi banyak dalam penyusunan laporan akhir ini, menjadi *support sistem* dan sosok saudara tak sedarah, meluangkan waktu, menemani, mendengarkan keluh kesah dan memberikan dukungan, serta memberi semangat untuk terus maju tanpa kenal kata menyerah dalam impian penulis.
4. Terakhir terima kasih kepada diriku sendiri sudah bertahan dan berjuang selama ini dalam menyelesaikan laporan akhir ini.

ABSTRAK

SISTEM DIAGNOSIS CERDAS DEGRADASI ISOLATOR PORSELEN AKIBAT POLUSI ABU BATUBARA BERBASIS AI MULTIMODAL

(2026 : xiv + 61 Halaman + Daftar Gambar + Daftar Tabel + Lampiran)

Muhammad Fahdelin Hafiz
062330310521
Jurusan Teknik Elektro
Program Studi Teknik Listrik
Politeknik Negeri Sriwijaya

Isolator outdoor merupakan komponen penting dalam sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai pemisah antara konduktor bertegangan dengan struktur penyangga. Pada lingkungan industri dan pembangkit listrik berbahan bakar batubara, isolator rentan mengalami degradasi akibat paparan polusi abu batubara yang dapat menurunkan kemampuan isolasi dan meningkatkan risiko gangguan sistem. Proses degradasi yang terjadi secara bertahap sering kali sulit dideteksi melalui inspeksi visual konvensional. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem diagnosis cerdas berbasis *Artificial Intelligence* (AI) multimodal menggunakan metode *Convolutional Neural Network* (CNN) untuk mengidentifikasi kondisi degradasi isolator outdoor. Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan citra isolator yang dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu kondisi berdebu banyak, kondisi berdebu sedikit, dan kondisi bersih. Data citra diproses melalui tahapan preprocessing, pelatihan model CNN, serta evaluasi menggunakan grafik accuracy, loss, dan confusion matrix. Hasil pelatihan menunjukkan bahwa nilai training accuracy meningkat hingga mencapai 100% pada epoch ke-30, sedangkan nilai loss mengalami penurunan hingga mendekati nol. Hasil pengujian confusion matrix menunjukkan bahwa sebagian besar data berhasil diklasifikasikan dengan benar, dimana setiap kelas mampu dikenali dengan tingkat ketepatan yang baik. Berdasarkan hasil penelitian, metode CNN mampu mengenali pola visual degradasi isolator akibat polusi abu batubara dengan baik dan berpotensi digunakan sebagai sistem diagnosis cerdas untuk mendukung pemantauan kondisi isolator secara lebih efektif, cepat, dan akurat sehingga dapat membantu meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik.

Kata Kunci : Isolator Outdoor, Degradasi Isolator, Abu Batubara, *Artificial Intelligence*, CNN, AI Multimodal.

ABSTRACT

INTELLIGENT DIAGNOSTIC SYSTEM FOR PORSELEN INSULATOR DEGRADATION CAUSED BY COAL ASH POLLUTION BASED ON MULTIMODAL ARTIFICIAL INTELLIGENCE

(2026 : xiv + 61 Pages + List of pictures + List of Tables + attachments)

Muhammad Fahdelin Hafiz
062330310521
Jurusan Teknik Elektro
Program Studi Teknik Listrik
Politeknik Negeri Sriwijaya

Outdoor insulators are important components in electric power systems that function as electrical separators between energized conductors and supporting structures. In industrial environments and coal-fired power plants, insulators are vulnerable to degradation caused by coal ash pollution, which can reduce insulation performance and increase the risk of system disturbances. Since the degradation process occurs gradually, it is often difficult to detect through conventional visual inspections. Therefore, this study aims to develop an intelligent diagnostic system based on Multimodal Artificial Intelligence (AI) using the Convolutional Neural Network (CNN) method to identify the degradation condition of outdoor insulators. The study was conducted using insulator images classified into three categories: heavily polluted condition, lightly polluted condition, and clean condition. The image data were processed through preprocessing, CNN model training, and evaluation using accuracy graphs, loss graphs, and confusion matrix analysis. The training results showed that the training accuracy increased to 100% at the 30th epoch, while the loss value decreased close to zero. The confusion matrix results indicated that most of the testing data were successfully classified into the correct categories, demonstrating good classification performance for each class. Based on the obtained results, the CNN method is capable of recognizing visual degradation patterns of outdoor insulators caused by coal ash pollution and has the potential to be implemented as an intelligent diagnostic system for more effective, faster, and accurate condition monitoring, thereby improving the reliability of electric power systems.

Keywords : Outdoor Insulator, Insulator Degradation, Coal Ash Pollution, Artificial Intelligence, CNN, Multimodal AI.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, atas izin, rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan akhir yang berjudul "Sistem Diagnosis Cerdas Degradasi Isolator Porselen Akibat Polusi Abu Batubara Berbasis AI Multimodal". Terima kasih kepada dosen pembimbing I, Bapak Anton Firmansyah, S.T., M.T dan dosen pembimbing II, Ibu Indah Susanti, S.T., M.T. yang telah berkenan membimbing dan mengarahkan penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan akhir ini dengan baik dan tepat waktu.

Laporan akhir ini dibuat untuk memenuhi persyaratan menyelesaikan Pendidikan Diploma III pada Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya. Selama penulisan laporan akhir ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan banyak pihak, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar- besarnya kepada:

1. Allah SWT. Yang telah memberikan petunjuk, kekuatan, kesabaran serta keteguhan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan Laporan Akhir ini dengan baik dan lancar tanpa melalaikan perintah-Nya.
2. Orang tua dan keluarga yang telah memberikan semangat, doa, dan dukung sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan dengan baik.
3. Bapak Ir. H. Irawan Rusnadi, M.T selaku Direktur Politeknik Negeri Sriwijaya.
4. Bapak Dr. Ir. Selamat Muslimin, S.T., M.Kom IPM selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
5. Ibu Lindawati, S.T., M.T.I selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Sriwijaya.
6. Ibu Yessi Marniati, S.T., M.T selaku Koordinator Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya.
7. Bapak Anton Firmansyah, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing I.
8. Ibu Indah Susanti, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II.
9. Bapak dan Ibu dosen pengajar di Jurusan Teknik Elektro terkhusus Prodi D-III Teknik Listrik yang telah memberikan ilmu yang bermanfaat.

10. Sekretariat UKM Karisma dan Rekan-rekan UKM Karisma yang telah menjadi tempat ternyaman, dan tempat meluapkan isi hati dan fikiran penulis.
11. Teman-teman kelas 6 LD, serta teman-teman seperjuangan jurusan Teknik Elektro 2023.
12. Kepada Mutia Ningsih dan ATK Permata, Terima kasih bantuan selama ini dan telah menjadi salah satu tempat ternyaman penulis untuk mengerjakan laporan.
13. Masjid Reira dan Jama'ah Masjid Reira, Terimakasih telah menjadi tempat menenangkan isi fikiran penulis.

Laporan ini masih memerlukan kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan laporan berikutnya agar dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan khususnya Mahasiswa/i Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya.

Palembang, Juli 2026

Penulis

DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN AKHIR	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Dan Manfaat.....	4
1.4.1 Tujuan	4
1.4.2 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Metode Pengumpulan Data	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Sistem Isolator Outdoor	7
2.1.1 Pengertian Isolator	7
2.1.2 Fungsi Isolator Outdoor	9
2.1.3 Jenis-Jenis Isolator Outdoor	10
2.1.4 Pengertian Degradasi Isolator	12
2.1.5 Faktor Penyebab Degradasi Isolator	13
2.2 Karakteristik dan Standar Pengotoran Isolasi (IEC 60815)	14
2.2.1 Mekanisme Kegagalan Isolasi Akibat Polusi.....	14
2.2.2 Klasifikasi Tingkat Polusi Berdasarkan Standar IEC 60815	15
2.2.3 Parameter Kuantitatif pengotoran (ESDD dan NSDD)	16
2.3 Polusi Abu Batubara	17
2.3.1 Intensitas Cahaya (Lux)	17

2.3.2	Suhu (Temperature)	18
2.3.3	Kelembaban Relatif (Relative Humidity - RH).....	18
2.3.4	Environment Meter	18
2.3.5	Flashover	19
2.3.6	<i>Tracking</i>	19
2.3.7	Tingkat Kontaminasi Isolator	20
2.4	Polusi Abu Batubara	20
2.4.1	Pengertian Abu Batubara	20
2.5	Artificial Intelligence (AI)	21
2.6	Deep Learning.....	23
2.7	<i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	24
2.7.1	Pengertian CNN	24
2.7.2	Arsitektur CNN	24
2.7.3	Input Layer	25
2.7.4	Convolution Layer	25
2.7.5	Fungsi Aktivasi ReLU	25
2.7.6	Pooling Layer	26
2.7.7	Flatten Layer	26
2.7.8	Fully Connected Layer.....	26
2.7.9	Output Layer	26
2.7.10	Proses Training Model CNN	27
2.7.11	Evaluasi Model CNN.....	27
2.8	AI Multimodal.....	28
2.8.1	Perancangan Sistem AI Multimodal	29
2.8.2	Konsep Sistem AI Multimodal	29
2.8.3	Arsitektur Sistem AI Multimodal	30
2.8.4	Input Data Citra Isolator.....	30
2.8.5	Input Data Numerik Pendukung.....	31
2.8.6	Preprocessing pada Sistem Multimodal	31
2.8.7	Ekstraksi Fitur	33
2.8.9	Fusion Multimodal	33
2.8.10	Output Sistem Diagnosis.....	34
2.9	Sistem Diagnosis Cerdas.....	34
2.10	Penelitian Terdahulu dan Kerangka Pemikiran.....	36
2.10.1	Penelitian Terdahulu.....	36

2.10.2 Kerangka Pemikiran	38
BAB III METODELOGI PENELITIAN.....	39
3.1 Metode Penelitian	39
3.2 Tempat dan waktu Penelitian.....	39
3.2.1 Tempat Penelitian	39
3.2.2 Waktu Penelitian	40
3.2.3 Sistem Distribusi Transformator	40
3.3 Peralatan Yang Digunakan	41
3.4 Prosedur Penelitian	42
3.4.1 Identifikasi Masalah	42
3.4.2 Studi Literatur	42
3.5 Pengumpulan Data	43
3.5.1 Pengumpulan Data Citra Isolator	43
3.5.2 Pengumpulan Data Pendukung	45
3.6 Diagram Alir	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1 Hasil Pengambilan Data.....	47
4.1.1 Hasil Pengambilan Data Citra Isolator	48
4.1.2 Hasil Pengukuran Parameter Pendukung	49
4.2 Hasil <i>Preprocessing</i> Data	50
4.2.1 Resize dan Normalisasi Data.....	51
4.2.2 Data Augmentation	51
4.2.3 Hasil Labeling Data.....	52
4.3 Hasil Perancangan Sistem AI Multimodal.....	52
4.4 Hasil Pelatihan Model CNN	53
4.4.1 Hasil Training Accuaracy dan Loss CNN.....	54
4.5 Hasil Pengujian Sistem	56
4.5.1 Hasil Evaluasi Model	56
4.5.2 Hasil Confusion Matrix.....	57
4.6 Pembahasan Hasil Penelitian	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Halaman

Gambar 2.1 Isolator Pin	10
Gambar 2.2 Isolator Suspensi	11
Gambar 2.3 Isolator Porselen.....	11
Gambar 2.4 Isolator Polymer	12
Gambar 2.5 Environment Meter dan Thermal kamera	18
Gambar 3.2 Konstruksi Transformator Distribusi	41
Gambar 3.3 Pengambilan Foto Isolator	44
Gambar 3.4 Pengumpulan Data Pendukung	45
Gambar 3.5 <i>Flowchart</i>	46
Gambar 4.1 (a, b, c) Polusi Pada Isolator kamera Hp dan kamera thermal	48
Gambar 4.4 Designer CNN.....	53
Gambar 4.6 Confusion Matrix	57

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Klasifikasi Tingkat Polusi Lingkungan	17
Tabel 4.1 Dataset Citra Isolator.....	48
Tabel 4.2 Isolator Transformator Distribusi 1	49
Tabel 4.3 Isolator Transformator Distribusi 2	50
Tabel 4.4 Isolator Transformator Distribusi 3.....	50
Tabel 4.5 Ukuran Citra pada CNN.....	51
Tabel 4.6 Teknik Data Augmentation	51
Tabel 4.7 Label Gambar	52
Tabel 4.8 Parameter pelatihan model CNN	53
Tabel 4.9 Hasil Training Accuaracy	54
Tabel 4.10 Hasil Training Loss	54
Tabel 4.11 Hasil Evaluasi Model CNN	56
Tabel 4.12 Confusion Matrix.....	57

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Lembar Kesepakatan Bimbingan Laporan Akhir Pembimbing 1
Lampiran 2	Lembar Kesepakatan Bimbingan Laporan Akhir Pembimbing 2
Lampiran 3	Surat Permohonan Pengambilan Data
Lampiran 4	Surat Pengantar Pengambilan Data dari Lembaga ke PT. Best
Lampiran 5	Surat Balasan Penerimaan Izin Pengambilan Data dari PT. Best
Lampiran 6	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Trafo Distribusi 1
Lampiran 7	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Trafo Distribusi 2
Lampiran 8	Tabel Hasil Pengambilan Data pada Trafo Distribusi 3
Lampiran 9	Lembar Bimbingan Laporan Akhir di sisak Pembimbing 1
Lampiran 10	Lembar Bimbingan Laporan Akhir di sisak Pembimbing 2
Lampiran 11	Lembar Bimbingan Laporan Akhir Pembimbing 1
Lampiran 12	Lembar Bimbingan Laporan Akhir Pembimbing 2
Lampiran 13	Lembar Rekomendasi sidang laporan akhir
Lampiran 14	Dokumentasi Pengambilan Data
Lampiran 15	Single Line Diagram Transformator Distribusi
Lampiran 16	Lembar-lembar dari SISAK