



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Badak LNG
LNG ACADEMY

PNJ - PT BADAK LNG

**RANCANG BANGUN UNIT KONTROL ADSORPSI
MERKURI BERBASIS KARBON AKTIF PADA AIR
BUANGAN YANG TERAKUMULASI DI TANGKI
KONDENSAT PT X SEBAGAI UPAYA OPTIMALISASI
PENGOLAHAN LIMBAH B3 BERBASIS IOT**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Oleh:
Ary Maulana
NIM. 2302319015

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN

PROGRAM *LNG ACADEMY*

KERJASAMA PNJ - PT BADAK LNG

JURUSAN TEKNIK MESIN

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN

KONSENTRASI LISTRIK INSTRUMENTASI

BONTANG 2026



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Badak LNG
LNG ACADEMY

PNJ - PT BADAK LNG

**RANCANG BANGUN UNIT KONTROL ADSORPSI
MERKURI BERBASIS KARBON AKTIF PADA AIR
BUANGAN YANG TERAKUMULASI DI TANGKI
KONDENSAT PT X SEBAGAI UPAYA OPTIMALISASI
PENGOLAHAN LIMBAH B3 BERBASIS IOT**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Diploma III Program Studi D3 Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin

Oleh:
Ary Maulana
NIM. 2302319015

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN

PROGRAM *LNG ACADEMY*

KERJASAMA PNJ - PT BADAK LNG

JURUSAN TEKNIK MESIN

**PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN
KONSENTRASI LISTRIK INSTRUMENTASI
BONTANG 2026**



“Tugas akhir ini kupersembahkan untuk Papah, Mamah, Abang, Adik, dan Almamater”

© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**HALAMAN PERSETUJUAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN UNIT KONTROL ADSORPSI MERKURI
BERBASIS KARBON AKTIF PADA AIR BUANGAN YANG
TERAKUMULASI DI TANGKI KONDENSAT PT X SEBAGAI UPAYA
OPTIMALISASI PENGOLAHAN LIMBAH B3 BERBASIS IOT**

Oleh:
Ary Maulana
NIM. 2302319015
Program Studi D3 Teknik Mesin

Laporan Tugas Akhir telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Ir. Benhur Nainggolan, M.T
NIP. 196106251990031003

Pembimbing 2

Ir. Atrios Martha MT, MBA, IPU
NIP. 130581

Ketua Program Studi D3 Teknik Mesin

Nabila Yudisha, S.T., M.T.
NIP. 199311302023212045



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN UNIT KONTROL ADSORPSI MERKURI
BERBASIS KARBON AKTIF PADA AIR BUANGAN YANG
TERAKUMULASI DI TANGKI KONDENSAT PT X SEBAGAI UPAYA
OPTIMALISASI PENGOLAHAN LIMBAH B3 BERBASIS IOT**

Oleh:
Ary Maulana
NIM. 2302319015
Program Studi D3 Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Tugas Akhir di hadapan Dewan
Penguji pada tanggal - dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar
Diploma III pada Program Studi D3 Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1	Nabila Yudisha, S.T., M.T. NIP. 199311302023212045	Ketua Penguji		9/7/2026
2	Rahmat Subarkah, S.T., M.T. NIP.197601202003121001	Penguji 1		9/7/2026
3	Surya Ramadhan NIP. 132877	Penguji 2		9/7/2026

Depok, 9 Juli 2026

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Fuad Zamuri, S.T., M.Si.
NIP. 197602252000121002



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Ary Maulana
NIM. 2302319015
Program Studi D3 Teknik Mesin

Menyatakan bahwa yang dituliskan di dalam Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri bukan jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat di dalam Laporan Tugas Akhir telah saya kutip dan saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Bontang, 03 Juli 2026



Ary Maulana
2302319015

POLITEK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

RANCANG BANGUN UNIT KONTROL ADSORPSI MERKURI BERBASIS KARBON AKTIF PADA AIR BUANGAN YANG TERAKUMULASI DI TANGKI KONDENSAT PT X SEBAGAI UPAYA OPTIMALISASI PENGOLAHAN LIMBAH B3 BERBASIS IOT

Ary Maulana^{1*}, Benhur Nainggolan¹, Atrios Martha²

¹ Program Studi D3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

² PT Badak NGL, Plant Site Bontang, Kalimantan Timur 75324

*Corresponding author E-mail address: ary.maulana.tm23@stu.pnj.ac.id

Abstrak

Tindak lanjut optimalisasi pengolahan air limbah kondensat buangan PT X memerlukan solusi pengolahan merkuri yang ramah lingkungan. Karbon aktif, seperti biochar memiliki kemampuan adsorpsi yang baik terhadap merkuri yang terlarut dalam air limbah sehingga dapat mengurangi risiko pelepasan kembali merkuri ke lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang system otomasi yang berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau parameter operasi adsorpsi merkuri, mengotomasi pergantian mercury removal vessel sebagai pengganti metode draining manual yang masih digunakan PT X hingga sekarang, serta menurunkan biaya operasional pengolahan limbah B3. Sistem menggunakan ESP DEVKIT V1 sebagai pusat kendali untuk memantau debit, tekanan, dan mengendalikan pergantian mercury removal vessel berdasarkan nilai differential pressure (ΔP). Metode penelitian yang digunakan adalah metode rancang bangun yang meliputi perancangan sistem, kelistrikan, instrumentasi, dan integrasi mikrokontroler ESP DEVKIT V1. Pada uji performansi, sistem ini menghasilkan unit kontrol adsorpsi merkuri yang mampu bekerja secara otomatis untuk melakukan pergantian mercury removal vessel berdasarkan nilai differential pressure (ΔP) yang telah ditentukan, serta pemantauan jarak jauh real-time melalui antarmuka IoT.

Kata-kata kunci: ESP32, otomatis, differential pressure, mercury removal vessel

Abstract

Follow-up on the optimization of condensate wastewater treatment at PT X requires an environmentally friendly mercury removal solution. Activated carbon and biochar are widely recognized for their excellent adsorption capabilities for binding mercury, thereby reducing the risk of its re-release into the environment, and can be utilized in an activated carbon-based mercury adsorption system. This study aims to design an automated monitoring system to eliminate the manual draining process and reduce the operational costs of hazardous waste (B3) treatment. An ESP32 microcontroller is used as the main controller to monitor flow rate, pressure, and automatically control the switching of the mercury removal vessel based on a differential pressure (ΔP). The research employed a design and development method, which included system design, electrical design, instrumentation design, and the integration of the ESP DEVKIT V1 microcontroller. The main outcome of this study is an automated mercury adsorption control unit capable of real-time monitoring and automatic control activation.

Keywords: ESP32, automatic, differential pressure, mercury removal vessel



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Unit Kontrol Adsorpsi Merkuri Berbasis Karbon Aktif pada Air Buangan yang Terakumulasi di Tangki Kondensat PT X Sebagai Upaya Optimalisasi Pengolahan Limbah B3 Berbasis *IoT*” sebagai salah satu syarat kelulusan Program Studi DIII Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta dan sebagai media pembelajaran bagi masa yang akan mendatang.

Tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan yang datang dari berbagai pihak, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin PNJ
2. Ibu Nabila Yudisha, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi D3 Teknik Mesin
3. Bapak Ir. Benhur Nainggolan, M.T selaku pembimbing akademik dari PNJ yang bertepatan dengan penulisan ini sudah pensiun, terimakasih banyak Bapak atas bimbingan dan ilmu yang telah diberikan kepada penulis
4. Bapak Ir. Atrios Martha MT, MBA, IPU selaku pembimbing lapangan dari PT Badak NGL
5. Bapak Bapak Ir. Anas Malik Abdillah, S.T., MBA., IPM., selaku Direktur LNG Academy
6. Mama, Papa, Abang Aby, Mba Arti, Affan, dan Arumi selaku keluarga penulis atas doa dan dukungannya
7. Rekan-rekan mahasiswa LNG Academy, Teknik Mesin, dan semua pihak yang turut membantu, khususnya Yugi Armadhan dan Izzata Sabbahana Falikulisbah selaku tim Tugas Akhir.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat dan referensi pengembangan ilmu di bidang teknik mesin.

Bontang, 03 Juli 2026

Penulis



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
RINGKASAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.3.1 Tujuan Utama.....	3
1.3.2 Tujuan Khusus.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat	4
1.5.1 Bagi Penulis	4
1.5.2 Bagi <i>LNG Academy</i> dan Politeknik Negeri Jakarta	4
1.5.3 Bagi PT Badak <i>LNG</i> dan Dunia Industri.....	5
1.6 Lokasi Objek	5
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Kajian Teori.....	7
2.1.1 Teknologi Adsorpsi Merkuri Berbasis Karbon Aktif	7
2.1.2 Sistem Kendali	10
2.1.3 <i>Internet Of Things (IoT)</i>	13
2.1.4 Otomasi	14
2.2 Kajian Literatur	14
2.3 Kajian Komponen Alat.....	15
2.3.1 Mikrokontroler	15
2.3.2 <i>Power Supply</i>	16



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

2.3.3 LCD	17
2.3.4 Solenoid Valve	18
2.3.5 Relay.....	19
2.3.6 Miniature Circuit Breaker	19
2.3.7 Flow Sensor.....	20
2.3.8 Pressure Sensor	21
2.3.9 Contactor	22
2.3.10 Pilot Lamp.....	23
2.3.11 Rocker Switch.....	23
2.3.12 Push Button	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2 Penjelasan Langkah Kerja.....	27
3.2.1 Perumusan Masalah	27
3.2.2 Studi Literatur	28
3.2.3 Perancangan dan Desain Alat.....	29
3.2.4 Perancangan Sistem Kontrol	33
3.2.5 Perancangan Sistem Listrik.....	36
3.2.6 Perancangan Sistem Proteksi	38
3.2.7 Pemilihan komponen.....	41
3.2.8 Pengujian Komponen.....	43
3.2.9 Perancangan dan Pemograman Sistem.....	45
3.2.10 Pengujian Rangkaian.....	47
3.2.11 Assembly.....	47
3.2.12 Pengujian Alat	49
3.2.13 Connect to Internet Of Things (IoT).....	49
3.2.14 Kesimpulan dan Saran.....	51
3.3 Metode Pemecahan Masalah.....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	52
4.2 Logika Kontrol Sekuensial Proses Pengolahan Air Limbah Merkuri.....	63
4.3 Pengujian Sistem Kontrol Proses Pengolahan Air Limbah Merkuri.....	69
4.3.1 Pengujian Sistem Switching	69
4.3.2 Pengujian Sistem Force Shutdown.....	73
4.3.3 Pengujian Pump Trip System.....	75



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

4.3 Integrasi <i>Internet of Things (IoT)</i>	76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	80
5.1 Kesimpulan	80
5.2 Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA	82
LAMPIRAN	82





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian , penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Blok Diagram Sistem Kendali Lup Terbuka	11
Gambar 2.2 Blok Diagram Sistem Kendali Lup Tertutup.....	12
Gambar 2.3 ESP32	16
Gambar 2.4 <i>Power Supply</i>	17
Gambar 2.5 <i>LCD</i>	18
Gambar 2.6 <i>Solenoid Valve</i>	18
Gambar 2.7 <i>Relay</i>	19
Gambar 2.8 <i>MCB</i>	20
Gambar 2.9 <i>Flow Sensor</i>	21
Gambar 2.10 <i>Pressure Sensor</i>	22
Gambar 2.12 <i>Contactora</i>	22
Gambar 2.13 <i>Pilot Lamp</i>	23
Gambar 2.14 <i>Rocker Switch</i>	24
Gambar 2.14 <i>Push Button</i>	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian	26
Gambar 3.2 Diagram Alir Kerja Sistem	30
Gambar 3.3 <i>P&ID</i> Sistem Kontrol.....	34
Gambar 3.4 <i>Single Line Diagram</i>	40
Gambar 3.5 Ilustasi Integrasi Perangkat Keras	45
Gambar 3.6 <i>Layout Panel Box</i>	48
Gambar 3.7 Alur Komunikasi <i>IoT</i>	50
Gambar 4.1 Pengujian <i>Flow Meter</i>	53
Gambar 4.2 Pengujian <i>Pressure Transmitter</i>	57
Gambar 4.3 Pengujian <i>Solenoid Valve</i>	60
Gambar 4.4 Diagram Alir Logika Kontrol Sekuensial.....	64
Gambar 4.5 (A) Tampak Dalam <i>Panel Box</i> (B) Tampak Depan <i>Panel Box</i>	69
Gambar 4.6 Konfigurasi Baris Kode <i>IoT</i>	77
Gambar 4.7 Tampilan Blynk <i>Dashboard Web Version</i>	78
Gambar 4.8 Tampilan Blynk <i>Dashboard Mobile Version</i>	78



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Baku Mutu Air Limbah Industri Minyak dan Gas	7
Tabel 2.2 Perbandingan Mikrokontroler	15
Tabel 3.1 Beban 220VAC	36
Tabel 3.2 Beban DC	37
Tabel 3.3 <i>MCB</i> Beban AC	38
Tabel 3.4 <i>MCB</i> Beban DC	39
Tabel 3.5 Pemilihan Komponen	42
Tabel 4.1 Spesifikasi <i>Flow Meter</i>	52
Tabel 4.2 Nilai <i>Error</i> dan Akurasi <i>Flow Meter</i>	55
Tabel 4.3 Spesifikasi <i>Pressure Transmitter</i>	56
Tabel 4.4 Nilai <i>Error</i> dan Akurasi <i>Pressure Transmitter</i>	58
Tabel 4.5 Spesifikasi <i>Solenoid Valve</i>	60
Tabel 4.6 Hasil Pengujian <i>Solenoid Valve</i>	62
Tabel 4.7 Konfigurasi GPIO Sistem	68
Tabel 4.8 Hasil Pengujian Pada Sistem <i>Differential Pressure (ΔP)</i>	72
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Sistem <i>Force Shutdown</i>	74
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Sistem <i>Pump Trip System</i>	75

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

RINGKASAN

Air kondensat yang terakumulasi di tangki fasilitas minyak dan gas memiliki potensi mengandung logam berat seperti merkuri (Hg) serta fraksi hidrokarbon yang terlarut. Keberadaan air kondensat yang mengandung merkuri pada air buangan ini sangatlah berbahaya bagi lingkungan khususnya perairan tempat dimana air dibuang karena tingkat bioakumulasi yang tinggi dapat terakumulasi dalam ekosistem, sehingga menimbulkan pencemaran dalam jangka waktu tertentu. Melalui bahaya pencemaran ini mendorong pemerintah Indonesia untuk mengadakan *Minamata Convention on Mercury* melalui Undang-Undang Nomor 11 Tahun 2017 sebagai upaya perlindungan lingkungan.

Analisis awal yang dilakukan oleh *Laboratory & Environment Control* PT X, hasil menunjukkan konsentrasi merkuri pada air kondensat melebihi baku mutu yang ditetapkan, yaitu di atas 0,005 mg/L, sehingga air kondensat harus dikirim ke fasilitas pengolahan limbah B3 (PPLI), hal ini menimbulkan biaya operasional yang signifikan terutama di bidang transportasi dan pengolahan limbah.

Penelitian ini merancang sistem adsorpsi merkuri berbasis karbon aktif yang dilengkapi dengan sistem kontrol dan teknologi *Internet Of Things (IoT)*. Sistem kontrol berbasis mikrokontroler ESP32 memiliki stabilitas dan keandalan yang tinggi dengan tingkat keberhasilan 100% pada seluruh skenario pengujian proteksi kelistrikan, pengujian ini dibagi menjadi tiga skenario, yaitu pada fitur *force shutdown*, fitur *switching*, dan fitur *pump trip system* dengan rentang *error* pembacaan *pressure transmitter* ada di *range* 1,17%-1,43%. Nilai tersebut berdasarkan acuan teknis pabrikan, yaitu $\pm 1,5\%$ *Full Scale Output (FSO)* masih masuk ke dalam *range* toleransi.

Kata Kunci : Merkuri, Air Kondensat, Sistem Kontrol, *Internet Of Things (IoT)*, Adsorpsi



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air kondensat yang terakumulasi pada tangki-tangki minyak dan gas dapat mengandung logam berat, seperti merkuri (Hg) dan fraksi hidrokarbon yang terlarut. Hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas lingkungan, terutama lingkungan perairan dimana air limbah tersebut dibuang. Laju bioakumulasi merkuri pada rantai makanan perairan lebih tinggi dibandingkan logam berat lainnya, sehingga konsentrasi Hg pun meningkat seiring dengan tingkatan rantai makanan, menyebabkan pencemaran (Hasibuan et al., 2021).

Bahaya dari merkuri mendorong kebijakan penggunaan merkuri di Indonesia dengan mengeluarkan Undang-Undang No. 11 Tahun 2017 tentang Pengesahan *Minamata Convention on Mercury*. Konvensi Minamata adalah perjanjian kesepakatan yang dilakukan 101 negara, termasuk Indonesia, di Kumamoto, Jepang pada tahun 2013, dengan tujuan sebagai upaya perlindungan dan penyelamatan lingkungan terhadap bahaya merkuri sebagai usaha menyelamatkan dan melindungi lingkungan terhadap bahaya merkuri (Safety & 2019, 2019).

PT X adalah perusahaan pengolahan gas terbesar di Kalimantan Timur. PT X memiliki izin pembuangan air limbah ke laut dari Dinas Penanaman Modal dan Pelayanan Terpadu Satu Pintu (DPMPTSP) Provinsi Kalimantan Timur tahun 2018. PT X memiliki tangki kondensat, namun pada analisis awal oleh *Laboratory & Environment Control* PT X, hasil menunjukkan konsentrasi merkuri pada air kondensat yang melebihi batas baku mutu yang ditetapkan ($<0,005$ mg/L), sehingga air kondensat tidak dapat langsung dibuang ke perairan. Pengolahan air kondensat kemudian dikirim ke fasilitas pengolahan limbah B3 (PPLI). Hal ini akan menimbulkan biaya (operasional transportasi, pengolahan, administrasi) sekitar 10 juta/ton limbah B3.

Hingga sekarang, PT X hanya mengandalkan *draining manual* tiap harinya, normalnya pada pukul 17.00 sore berdurasi 30-40 menit yang dilakukan oleh *field*



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

operator. Pelaksanaan kegiatan ini bukan termasuk bagian kerja terdedikasi pada *operator* unit tangki kondensat, sering kali tugas ini dikerjakan oleh *operator* pada unit selain tangki kondensat. Setiap *field operator* memiliki jadwal terstruktur pekerjaan yang harus dilakukan setiap harinya, proses *draining* secara manual ini dapat mengganggu peristiwa proses kilang yang membutuhkan respon cepat.

Sebuah penelitian pada tahun 2025 oleh Mahasiswa D3 LNG Academy berjudul “Otomasi Fotobioreaktor Mikroalga Berbasis Mikrokontroler Untuk Fiksasi Emisi CO₂ Vent Stack Amine Regenerator” yang menggunakan *IoT* untuk memonitor parameter proses alat (pH, suhu, dan kekeruhan fluida) (Ubaidillah et al., 2025). Melalui referensi tersebut dan penelitian oleh Prasetya (2020) di UGM menggunakan zeolit untuk menghilangkan 90% merkuri dari air yang mengandung 20 ppm Hg (Prasetya et al., 2020). Dari informasi yang ditemukan pada kedua makalah tersebut, penulis kemudian mencetuskan solusi sistem kontrol karbon aktif (*active carbon/charcoal*) yang dikenal memiliki kemampuan adsorpsi yang baik untuk menyerap logam berat seperti merkuri, sehingga PT X tidak perlu lagi mengirim air kondensat ke PPLI.

Media karbon aktif yang jenuh oleh merkuri tidak akan diregenerasi secara pembakaran pada lokasi karena berisiko melepaskan kembali uap merkuri beracun dan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, metode yang digunakan adalah penggantian media adsorpsi. Berdasarkan estimasi awal pengiriman air kondensat ke fasilitas PPLI memerlukan biaya sebesar 10 juta/ton limbah B3 sedangkan penggantian media adsorpsi (*Activated Carbon/Charcoal 8x30, 25 L x 3 unit*) hanya membutuhkan dana sebesar Rp 5.390.671 saat pertama kali sistem beroperasi dengan biaya perawatan total sebesar Rp 8.678.502 setiap tahun (penggantian media adsorpsi sebanyak empat kali setiap tahun).

Integrasi antara sistem kontrol dan *IoT* dapat menyelesaikan permasalahan *draining* secara manual dan mengurangi biaya operasional PT X dalam mengolah air kondensat. Berdasarkan permasalahan di atas, penulis mengajukan tugas akhir yang berjudul “Rancang Bangun Unit Kontrol Adsorpsi Merkuri Berbasis Karbon Aktif pada Air Buangan yang Terakumulasi di Tangki Kondensat PT X Sebagai Upaya Optimalisasi Pengolahan Limbah B3 Berbasis *IoT*”.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan sistem kontrol adsorpsi merkuri berbasis karbon aktif beroperasi untuk mengurangi konsentrasi merkuri pada air buang PT X?
2. Bagaimana sistem kontrol dapat mengatur pergantian vessel berdasarkan kejenuhan secara *real time*?
3. Bagaimana integrasi *IoT* pada sistem digunakan sebagai *monitoring* parameter operasi, seperti *pressure*, *flow*, dan kejenuhan *vessel* secara *real time*?

1.3 Tujuan

1.3.1 Tujuan Utama

Merancang dan membangun sistem kontrol adsorpsi merkuri dengan integrasi *IoT* pada air buangan tangki kondensat PT X yang dapat mengatur parameter operasi, seperti *pressure*, *flow*, dan pergantian *vessel* secara otomatis.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Mengevaluasi kinerja dari sistem kontrol adsorpsi merkuri yang telah dibuat.
2. Mengevaluasi efektivitas sistem kontrol terhadap *output* air limbah yang telah diolah *vessel* dengan tujuan air limbah yang telah diolah memenuhi tujuan operasi kerja alat, yaitu di bawah baku mutu yang ditetapkan ($<0,005 \text{ mg/L}$).
3. Mengevaluasi besaran *error* operasi alat yang telah dibuat dengan perhitungan *design* alat adsorpsi merkuri.

1.4 Batasan Masalah

1. Penelitian ini berfokus pada sistem kontrol adsorpsi logam berat merkuri (Hg) dari air kondensat yang terakumulasi di tangki kondensat PT X, tidak membahas secara spesifik dari segi *mechanical* dan segi *process*.
2. Unit yang dirancang menggunakan skala *pilot plant*.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber:
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3. Sistem yang dirancang berfokus pada tahap pengolahan kondensat, yaitu pengurangan kandungan logam berat merkuri (Hg) pada air, meliputi pengaturan *pressure*, *flow*, dan pergantian *vessel* serta implementasi *IoT*.
4. Mikrokontroler yang digunakan pada tugas akhir ini adalah ESP32 DEVKIT V1.
5. *Internet Of Things (IoT)* hanya digunakan sebagai *monitoring* penampilan *parameter pressure*, *flow*, dan notifikasi pergantian *vessel* secara *real time*.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini sebagai berikut:

1.5.1 Bagi Penulis

1. Meningkatkan pemahaman dalam perancangan sistem kontrol proses berbasis mikrokontroler dan *IoT* dalam industri pengolahan air limbah.
2. Memperdalam pemahaman kinerja adsorpsi merkuri (Hg) berdasarkan parameter operasi, seperti *pressure*, *flow*, dan pergantian *vessel*.
3. Meningkatkan kemampuan dalam merancang algoritma kontrol otomatis terhadap pergantian *vessel* secara otomatis berdasarkan waktu operasi dan indikasi kejenuhan.
4. Mengembangkan kemampuan dalam mengintegrasikan sistem instrumentasi berbasis ESP32 *Wifi* dan *Internet Of Things (IoT)*.

1.5.2 Bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta

1. Meningkatkan pemahaman dalam perancangan sistem kontrol proses berbasis mikrokontroler dan *IoT* dalam industri pengolahan air limbah.
2. Memperdalam pemahaman kinerja adsorpsi merkuri (Hg) berdasarkan parameter operasi, seperti *pressure*, *flow*, dan pergantian *vessel*.
3. Meningkatkan kemampuan dalam merancang algoritma kontrol otomatis terhadap pergantian *vessel* secara otomatis berdasarkan waktu operasi dan indikasi kejenuhan.
4. Mengembangkan kemampuan dalam mengintegrasikan sistem instrumentasi berbasis ESP32 *Wifi* dan *Internet Of Things (IoT)*.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.5.3 Bagi PT Badak LNG dan Dunia Industri

1. Sebagai media pembelajaran dan penelitian sistem kontrol adsorpsi logam berat merkuri (Hg) dari air kondensat yang terakumulasi di tangki kondensat PT X.
2. Sebagai referensi penelitian terapan pada bidang kontrol sistem proses dan pengolahan limbah industri.
3. Menjadi model prototipe pengembangan sistem otomasi pengolahan limbah yang berbasis mikrokontroler.

1.6 Lokasi Objek

Lokasi objek Tugas Akhir berada di *Workshop LNG Academy* dan bengkel induk PT Badak *NGL*.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan Tugas Akhir ini merujuk pada "Buku Pedoman Penulisan Tugas Akhir Tahun 2020" yang diterbitkan oleh Politeknik Negeri Jakarta.

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini, penyusun laporan menguraikan latar belakang pemilihan topik, tujuan umum dan khusus, ruang lingkup penelitian dan batasan masalah, manfaat yang akan didapat, metode penelitian, dan sistematika penulisan keseluruhan laporan tugas akhir.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Studi Pustaka/Tinjauan Pustaka berisi sumber bacaan atau literatur, memaparkan rangkuman kritis atas pustaka yang menunjang penyusunan atau penelitian, meliputi pembahasan tentang topik yang dikaji dalam tugas akhir.

BAB III METODE PELAKSANAAN

Penyusun laporan menguraikan tentang metodologi, yaitu metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah atau penelitian, meliputi prosedur, pengambilan sampel dan pengumpulan data, pengumpulan data, teknik analisis data atau teknis perancangan.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini, penyusun laporan memaparkan hasil pengujian komponen elektronik dan sistem kontrol yang digunakan pada sistem, kemudian hasil tersebut akan dibahas untuk mendapatkan kesimpulan kelayakan operasional.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini, penyusun laporan menyimpulkan hasil yang telah diperoleh pada BAB IV apakah tujuan umum dan tujuan khusus telah terpenuhi selama proses fabrikasi dan uji performansi alat.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari perancangan, implelementasi, dan pengujian pada sistem kontrol yang berbasis mikrokontroler EPS32 DEVKIT V1 untuk optimalisasi pengolahan air limbah merkuri, dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem kontrol sekuensial berbasis mikrokontroler ESP32 DEVKIT V1 tercatat memiliki stabilitas dan keandalan yang tinggi dengan tingkat keberhasilan 100% pada seluruh skenario pengujian proteksi kelistrikan, pengujian ini dibagi menjadi tiga skenario, yaitu pada fitur *force shutdown* sistem mampu memutus suplai daya aktuator pompa dan keempat *solenoid valve* sebagai *operating line*. Kemudian pada fitur *switching* sistem mampu mengubah *operating line* dari *vessel* yang jenuh menuju *vessel* yang tidak jenuh, serta pada fitur *pump trip system* berhasil mematikan suplai daya pompa saat pembacaan *flow meter* kosong. Ke tiga hal tersebut dapat dilakukan secara otomatis melalui pembacaan *flow* dan *pressure transmitter* serta intervensi *push button* saat ditekan oleh *operator*.
2. Sistem kontrol otomasi terbukti efektif dalam menjalankan proses pengolahan air limbah merkuri sehingga hasil olahan *vessel* memenuhi tujuan operasi yaitu air limbah dengan kandungan merkuri kurang dari 0,005 mg/L. Hal tersebut diperoleh melalui algoritma *state switching* yang mampu mengalihkan aliran antar *vessel* secara otomatis melalui jeda *interlock* tiga detik saat pembacaan *differential pressure* (ΔP) $> 0,1 \text{ kg/cm}^2$. Serta fitur *force shutdown* saat ditemukan keadaan kedua *vessel* telah jenuh.
3. Berdasarkan hasil pengujian pada sistem differential pressure (ΔP) dan spesifikasi desain teknis pabrikan alat, rentang *error* pembacaan *pressure transmitter* ada di range 1,17%-1,43%. Nilai tersebut berdasarkan acuan teknis pabrikan, yaitu $\pm 1,5\% \text{ Full Scale Output (FSO)}$ masih masuk ke dalam range toleransi.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kendala yang ditemukan, berikut adalah saran untuk pengembangan sistem:

1. Perbaikan pada penyambungan pin menuju ESP32 dapat menggunakan *expansion board*, hal tersebut dapat digunakan untuk mempermudah pemasangan kabel *jumper* dari sensor maupun perangkat elektronik lainnya, selain itu dengan menggunakan *expansion board* dapat menjaga estetika atau kerapian dari isi *panel box* dan mempermudah *troubleshooting* apabila ditemukan anomali pada sisi *wiring*.
2. Perbaikan pada sambungan kabel, untuk menyambungkan kabel sensor menuju ESP32 sebaiknya tidak menggunakan sambungan yang banyak tapi dengan menggunakan satu sambungan kabel yang panjang, hal tersebut dapat meningkatkan kualitas pembacaan sensor dan memangkas waktu kalibrasi sensor pada *line of code* Arduino Ide. Selain itu, dengan menggunakan hanya satu sambungan dapat menjaga keamanan kabel dari terputus atau kerusakan yang tidak diinginkan.
3. Penggunaan *breadboard* sebaiknya langsung menggunakan *breadboard* dengan 800 pin untuk menghindari pengambilan tempat yang berlebih dalam *panel box*, penggunaan *breadboard* dengan pin yang lebih banyak juga dapat menyiapkan sistem untuk peningkatan sistem di masa yang mendatang.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

DAFTAR PUSTAKA

- Berbasis, K. (2026). *Perancangan Sistem Kontrol Sequential Time*. 05(01), 11–17.
- Coello-Cabezas, J., Verdezoto Carvajal, M., Mejía Cabezas, N., Sánchez-Moreno, H., Basantes Basantes, E., Estrella Semblantes, M., Gavilanez Alvarez, I., & Ormaza Hugo, R. (2024). Organic coagulant combined with magnetite nanoparticles for the treatment of mercury-contaminated waters. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9(December 2023). <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2023.100579>
- Czupryński, P., Płotka, M., Glamowski, P., Żukowski, W., & Bajda, T. (2022). An assessment of an ion exchange resin system for the removal and recovery of Ni, Hg, and Cr from wet flue gas desulphurization wastewater—a pilot study. *RSC Advances*, 12(9), 5145–5156. <https://doi.org/10.1039/d1ra09426b>
- E-mail, P. A. (2025). IoT-Based Real-Time Monitoring and Control of Well Water Filtration. *Circuit: Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, 9(2), 179–187. <https://doi.org/10.22373/crc.v9i2.29894>
- Eder, J., Franceschetti, M., & Lubas, J. (2020). Conditional Schedules for Processes with Temporal Constraints. *SN Computer Science*, 1(4), 1–18. <https://doi.org/10.1007/s42979-020-00242-8>
- Enow, O. F., Ofoedu, A. T., Gbabo, E. Y., & Chima, P. E. (2023). The Role of Embedded Systems in Industrial Automation: A Review of Global Developments. *International Journal of Multidisciplinary Research and Growth Evaluation*, 4(2), 836–843. <https://doi.org/10.54660/ijmrge.2023.4.2.836-843>
- Guo, X., Li, M., Liu, A., Jiang, M., Niu, X., & Liu, X. (2020). Adsorption mechanisms and characteristics of Hg²⁺ removal by different fractions of biochar. *Water (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/W12082105>
- Hasibuan, D. K. A., Riani, E., & Anwar, S. (2021). Kontaminasi Merkuri (Hg) Pada Air Sungai, Air Sumur, Sedimen Dan Ikan Di Sungai Kuantan, Riau. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 10(4), 679–687. <https://doi.org/10.29244/jpsl.10.4.679-687>
- Kumar, S., Tiwari, P., & Zymbler, M. (2019). Internet of Things is a revolutionary approach for future technology enhancement: a review. *Journal of Big Data*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0268-2>
- Laksono, D. T., Artono, T., Fatma, M. W., Afrianti, R., Oriyasmi, F., Amir, F., Padang, P. N., Kampus, J., Manis, L., & Padang, K. (n.d.). *BERBASIS LIMIT SWITCH PADA MODUL PRAKTIKUM PLC OMRON CP1E UNTUK*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

PEMBELAJARAN OTOMASI. 14(1), 270–277.

- Li, J. C., Liu, M., Dang, S. W., Hu, L. C., Chen, G., Zhang, S. D., Kong, X. H., & Xu, H. (2024). Numerical Study on the Influence of Various Design Variables on the Behavior Characteristics of Oil and Gas in Internal Floating Roof Tanks. *Energies*, 17(17). <https://doi.org/10.3390/en17174336>
- Marzen, S. (2025). A Simple Open-Lup Control Method for Optimizing Manufacturing Control Knobs Using Artificial Intelligence. *Electronics (Switzerland)*, 14(13). <https://doi.org/10.3390/electronics14132676>
- Nurfahasdi, M., Husin, A., Nasution, Z. P., Rahayu, S. A., Tursunov, O., Nadhira, A. C., Putri, A. A., Sabrina, S., Begmatova, N., & Muzafarov, S. (2025). Response surface methodology application in optimizing mercury removal from leachate via electrocoagulation using an iron electrode. *Journal of Ecological Engineering*, 26(8), 318–326. <https://doi.org/10.12911/22998993/204101>
- Pasha, M. D., & Puspaningrum, D. K. (2021). Simulasi Otomasi Process Shut Down Deaerator pada Unit Boiler dengan Parameter Suhu dan Level Berbasis PLC Allen - Bradley. *Majalah Ilmiah Swara Patra*, 11(2), 51–61. <https://doi.org/10.37525/sp/2021-2/295>
- Prasetya, A., Prihutami, P., Warisaura, A. D., Fahrurrozi, M., & Murti Petrus, H. T. B. (2020). Characteristic of Hg removal using zeolite adsorption and Echinodorus palaefolius phytoremediation in subsurface flow constructed wetland (SSF-CW) model. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 8(3), 103781. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103781>
- Ryniecki, A. (2015). Basics of Process Control: the On-Off Control System. *Przemysł Spożywczy*, 1(11), 28–31. <https://doi.org/10.15199/65.2015.11.6>
- Safety, M. S.-J. of E. and, & 2019, undefined. (2019). Minamata convention on mercury-our challenges and its future. *Jstage.Jst.Go.Jp*, 10(2), 95–97. https://www.jstage.jst.go.jp/article/daikankyo/10/2/10_E19CM0802/_article/-char/ja/
- Takerhi, M. E. (2021). Separation of natural gas liquids and water from gas condensate. *Journal of Geotechnology and Energy*, 38(1), 11–25. <https://doi.org/10.7494/jge.2021.38.1.4331>



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Ubaidillah, M. F., Prasetya, S., & Reviansyah, A. F. (2025). *Otomasi Fotobioreaktor Mikroalga Berbasis Mikrokontroler Untuk Fiksasi Emisi CO₂ Vent Stack Amine Regenerator*. 649–657.

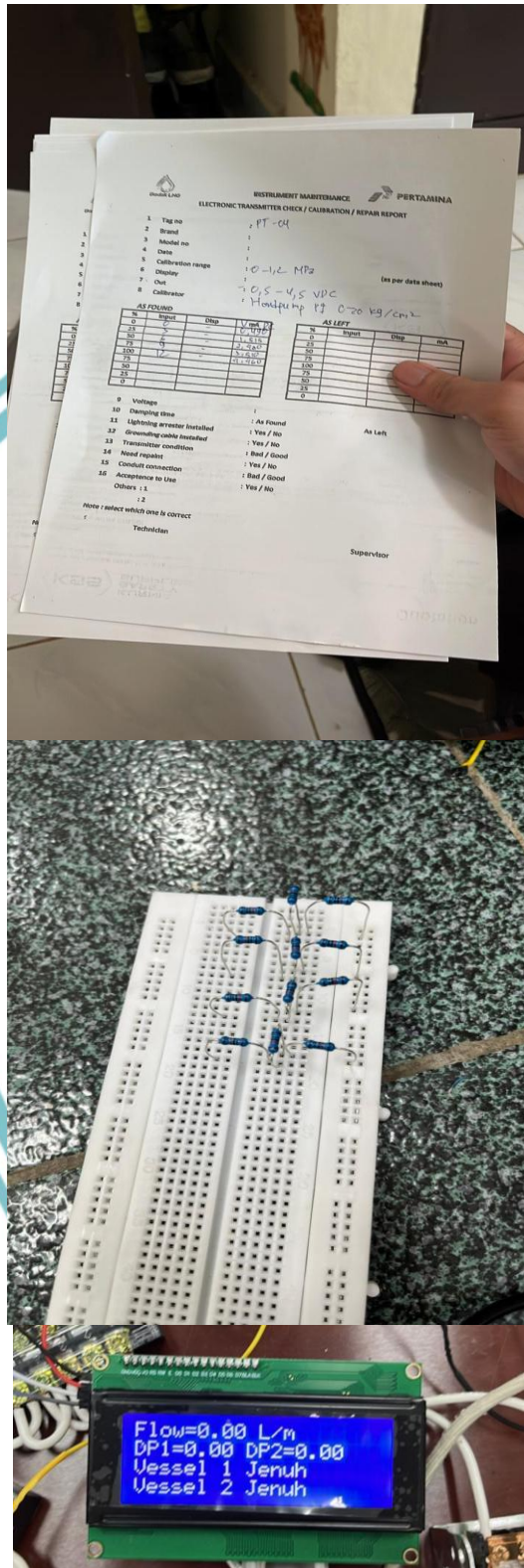
Vatandoost, M., Mohammadi, M. M. M., & Akhlaghian, F. (2024). Use of Fe-Mn magnetic adsorbent to remove mercury from wastewater. *Desalination and Water Treatment*, 318(January), 100359. <https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100359>

Wafiq, M., & Munfarida, I. (2023). Fitoremediasi Logam Berat Merkuri (Hg) Menggunakan Tanaman *Myriophyllum aquaticum* dengan Sistem Batch. *Jurnal Ilmiah Lingkungan Kebumihan*, 6(1), 51. <https://doi.org/10.31315/jilk.v6i1.10210>

Zunita, M. (2021). Graphene oxide-based nanofiltration for Hg removal from wastewater: A mini review. *Membranes*, 11(4). <https://doi.org/10.3390/membranes11040269>

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

LAMPIRAN



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpulkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

