



© 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

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL BERBASIS MIKROKONTROLER PADA FILTRASI ASAP EMISI PELEBURAN ALUMINIUM “*TELIHAN RECYCLE*”

LAPORAN TUGAS AKHIR

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

Oleh:

Ervina Ezha Winrostya
NIM. 2202319010

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

JULI 2025

“Tugas Akhir ini kupersembahkan untuk Ayah, Ibu, Uti, Adik, Bangsa dan Almameter”



© 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

**PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL BERBASIS
MIKROKONTROLER PADA FILTRASI ASAP EMISI PELEBURAN
ALUMINIUM "TELIHAN RECYCLE"**

Oleh:

Ervina Ezha Winrostya

NIM. 2202319010

Program Studi Diploma III Teknik Mesin

Laporan Tugas Akhir telah disetujui oleh pembimbing

Pembimbing Tugas Akhir
Politeknik Negeri Jakarta

Pembimbing Tugas Akhir
PT Badak NGL

Dr. Sonki Prasetya, S.T,M.Sc
NIP. 19752222008121003

Ir. Rivon Tridesman, S.T., IPM
Nomor Pekerja 134464

Kepala Program Studi Teknik Mesin
Politeknik Negeri Jakarta

Budi Yuwono, S.T
NIP. 196306191990031002



© 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 menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL BERBASIS MIKROKONTROLER PADA FILTRASI ASAP EMISI PELEBURAN ALUMINIUM "TELIHAN RECYCLE"

Oleh:

Ervina Ezha Winrostya

NIM. 2202319010

Program Studi Diploma III Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang tugas akhir di hadapan Dewan Penguji pada tanggal 16 Juli 2025 dan diterima sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Diploma III pada Program Studi Diploma III Teknik Mesin Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No.	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dr. Sonki Prasetya, S.T,M.Sc NIP. 19752222008121003	Ketua Penguji		16/07/2025
2.	Muhammad Prasha Risfi Silitonga, M.T. NIP. 199403192022031006	Penguji 1		16/07/2025
3.	Alumad Fadhil Reviansyah, S.T., IPM Nomor Pekerja 133196	Penguji 2		16/07/2025

Bontang, 16 Juli 2025

Disahkan Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Eng. Ir. Muslimin, S.T., M. T., IWE
NIP. 197707142008121005



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 : Ervina Ezha Winrostya

NIM : 2202319010

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, 16 Juli 2025

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Ervina Ezha Winrostya
NIM. 2202319010



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

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL BERBASIS MIKROKONTROLER PADA FILTRASI ASAP EMISI PELEBURAN ALUMINIUM “TELIHAN RECYCLE”

Ervina Ezha Winrostya

Program Studi D3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI
Depok, 16424

PT Badak NGL, Jalan Raya Kutai No.1 Bontang, Kalimantan Timur, 75324

Email: ervina.ezha.winrostya.tm22@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRAK

Program “Telihan *Recycle*” merupakan bagian dari *Corporate Social Responsibility* PT Badak NGL yang mengelola limbah aluminium dengan cara dilebur menjadi produk baling-baling kapal dan batangan ingot. Namun, peleburan aluminium menimbulkan pencemaran udara yang berdampak pada kesehatan jangka panjang dan keluhan dari masyarakat sekitar. Hal tersebut berpotensi menurunkan citra Telihan *Recycle* sebagai mitra binaan PT Badak NGL. Oleh karena itu, diperlukan solusi inovatif yang efektif dalam menekan emisi polutan, salah satunya penerapan filtrasi asap dengan metode *wet scrubber*. Meskipun metode ini efektif, terdapat kekurangan dalam efisiensi penggunaan air dan biaya operasional. Untuk mengatasi hal tersebut, diterapkan sistem kontrol yang dapat meningkatkan efisiensi pada metode *wet scrubber*. Sistem kontrol dapat menurunkan rata-rata persentase pengurangan kadar CO₂ sebesar 26% dan penggunaan air sebesar 55.5% dibandingkan metode manual sebelumnya menggunakan rancangan sistem *on/off control*. Adapun peralatan instrumentasi dan kelistrikan yang digunakan adalah Arduino Mega, NEMA 17 *Motor Stepper* sebagai penggerak *Globe Valve*, TB6600 *Driver Motor Stepper*, Sensor MQ-135, *Water Flow Sensor*, Termokopel, *Level Switch* dengan memanfaatkan konduktivitas air, *Solenoid Valve Normally-Closed*, *Power Supply Adaptor* 12V, *Mini Circuit Breaker* 6A, *Relay* 5V 4 Channel.

Kata Kunci: Peleburan Aluminium, Filtrasi Asap, CO₂, Efisiensi, Arduino, *On/off Control*.



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

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM KONTROL BERBASIS MIKROKONTROLER PADA FILTRASI ASAP EMISI PELEBURAN ALUMINIUM “TELIHAN RECYCLE”

Ervina Ezha Winrostya

Program Studi D3 Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Kampus UI
Depok, 16424

PT Badak NGL, Jalan Raya Kutai No.1 Bontang, Kalimantan Timur, 75324

Email: ervina.ezha.winrostya.tm22@mhs.wpnj.ac.id

ABSTRACT

The “Telihan Recycle” program is part of PT Badak NGL’s Corporate Social Responsibility, which manages aluminum waste by melting it into propellers and ingots. However, aluminum smelting causes air pollution that has long-term health impacts and complaints from the surrounding community. This has the potential to damage Telihan Recycle’s image as a partner of PT Badak NGL. Therefore, an innovative and effective solution is needed to reduce pollutant emissions, one of which is the application of smoke filtration with the wet scrubber method. Although this method is effective, there are shortcomings in the efficiency of air use and operational costs. To overcome this, a control system is implemented that can increase the efficiency of the wet scrubber method. The control system can reduce the average percentage of CO₂ levels by 26% and air use by 55.5% compared to the previous manual method using the on/off control system design. The instrumentation and electrical equipment used are Arduino Mega, NEMA 17 Stepper Motor as Globe Valve driver, TB6600 Stepper Motor Driver, MQ-135 Sensor, Water Flow Sensor, Thermocouple, Level Switch by utilizing air conductivity, Naturally-Closed Solenoid Valve, 12V Power Supply Adapter, 6A Mini Circuit Breaker, 5V 4 Channel Relay.

Keywords: Aluminum Smelting, Smoke Filtration, CO₂, Efficiency, Arduino, On/off Control.



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

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur Penulis ucapkan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala, yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan rancang bangun dan penulisan laporan tugas akhir yang berjudul “ **Perancangan dan Implementasi Sistem Kontrol Berbasis Mikrokontroler pada Filtrasi Asap Emisi Peleburan Aluminium “Telihan Recycle”** “.

Laporan tugas akhir disusun berdasarkan hasil rancang bangun yang telah dilaksanakan di Telihan Recycle. Penyusunan laporan ini merupakan bagian dari kurikulum LNG Academy yang menjadi salah satu syarat wajib yang harus dipenuhi untuk kelulusan mahasiswa dalam Program Studi Teknik Mesin dengan Peminatan Listrik Instrumentasi. Selain untuk memenuhi program studi yang Penulis tempuh, tugas akhir dilaksanakan dengan tujuan untuk memperoleh pengalaman rancang bangun dan pengetahuan yang lebih luas dalam penerapan teori yang diperoleh pada saat kuliah dengan masyarakat sekitar maupun dunia industri.

Selama pengerjaan rancang bangun dan penyusunan laporan, Penulis mendapat bimbingan dan bantuan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Muslimin, S.T., M.T., IWE. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.
2. Bapak Anas Malik Abdillah, selaku Direktur LNG Academy.
3. Pengurus LNG Academy yang telah memberikan fasilitas agar Penulis dapat melaksanakan tugas akhir.
4. Bapak Eko Wahyu Susilo, selaku Kepala Jurusan Listrik & Instrumentasi LNG Academy.
5. Bapak Chandra Irawan, selaku bagian Administrasi LNG Academy yang telah membantu dalam pengurusan surat-surat yang dibutuhkan untuk tugas akhir.



© 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

6. Bapak Restra Sewakotama, selaku bagian *Corporate Social Responsibility* PT Badak NGL atas bantuannya untuk melakukan tugas akhir di Telihan Recycle.
7. Bapak Rivon Tridesman, selaku dosen pembimbing industri.
8. Bapak Sonki Prasetya, selaku dosen pembimbing akademik.
9. Bapak Ahmad Fadhil Reviansyah, selaku dosen penguji industri.
10. Bapak Muhammad Prasha Risfi Silitonga, selaku dosen penguji akademik.
11. Seluruh Pekerja *Workshop Electrical and Instrumentation* dan Bengkel Induk PT Badak NGL yang telah memberikan bantuan dalam pelaksanaan tugas akhir.
12. Teman-Teman LNG Academy angkatan 12 serta seluruh pihak yang telah mendukung dan memberikan bantuan dalam penulisan laporan ini.

Isi dari laporan kerja praktik diharapkan dapat menambah pengetahuan dan wawasan bagi pembacanya, laporan ini telah disiapkan sedemikian rupa berdasarkan pengalaman dan pengetahuan yang dimiliki.

Bontang, 16 Juli 2025

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

Ervina Ezha Winrostya



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

DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Tugas Akhir.....	1
1.2. Tujuan Penelitian Tugas Akhir	3
1.3. Manfaat Tugas Akhir	3
A. Bagi Penulis	3
B. Bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta	3
C. Bagi Badak LNG.....	4
D. Bagi Program Salin Swara Telihan <i>Recycle</i>	4
1.4 Batasan Masalah Tugas Akhir.....	4
1.5 Metode Penelitian Tugas Akhir	4
A. Sumber Data	4
B. Metode Pengumpulan Data	5
1.6 Sistematika Penelitian Tugas Akhir	5
A. Pendahuluan	5
B. Tinjauan Pustaka.....	5
C. Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir	5
D. Pembahasan	5
E. Kesimpulan dan Saran	5
F. Daftar Pustaka	6
G. Lampiran.....	6
H. Biodata Mahasiswa.....	6
BAB II	7
TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Tinjauan Teori.....	7
A. Sistem Instrumentasi.....	7
B. Sistem Kontrol	8



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

C.	Matriks Perbandingan Berbobot	15
2.2.	Tinjauan Karya Ilmiah	16
2.3.	Kajian Komponen	17
A.	Komponen Kelistrikan	17
B.	Komponen Instrumentasi	20
2.4.	Kerangka Pemikiran	29
2.5.	Hipotesis	31
BAB III.		32
METODOLOGI Pengerjaan Tugas Akhir		32
3.1	Diagram Alir Pengerjaan	32
3.2	Penjelasan Langkah Kerja	32
A.	Studi Literatur	32
B.	Perancangan Sistem Kontrol	32
C.	Perancangan Sistem Kelistrikan	41
D.	Perancangan Sistem Proteksi	43
E.	Pengadaan Material	43
F.	Pengujian Komponen	48
G.	Perakitan dan Instalasi Sistem	48
H.	Pemecahan Masalah	49
I.	Analisa Data	49
BAB IV.		51
HASIL DAN PEMBAHASAN		51
4.1	Sub-plant CO ₂ Reduction	51
4.2	Sub-plant Water Circulation.	55
BAB V.		60
KESIMPULAN DAN SARAN		60
5.1	Kesimpulan	60
5.2	Saran	60
Daftar Pustaka		61
LAMPIRAN		64



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 <i>Tuning PID Ziegler-Nichols First Order</i>	11
Tabel 3. 1 Perbandingan <i>motor stepper</i> berdasarkan rancangan rangkaian kontrol.....	43
Tabel 3. 2 Perbandingan <i>motor stepper</i> berdasarkan klasifikasinya	44
Tabel 3. 3 Perbandingan NEMA <i>Stepper Motor</i>	44
Tabel 3. 4 Konsumsi Daya	45
Tabel 3. 5 Hasil Matriks Perbandingan Berbobot	48
Tabel 4. 1 <i>Bill of Material</i>	58





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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Desain tungku peleburan sebelum rancang bangun	2
Gambar 2. 1. Skema Sistem Instrumentasi	7
Gambar 2. 2. Sistem Kontrol Kalang Tertutup	8
Gambar 2. 3. <i>Summing Point</i>	10
Gambar 2. 4. <i>Block diagram which consist of an automatic controller, an actuator, a plant, and a sensor</i>	10
Gambar 2. 5. <i>Ratio Control</i>	13
Gambar 2. 6 <i>Cascade Control Block Diagram</i>	14
Gambar 2. 7 <i>Process of filling the water tank</i>	15
Gambar 2. 8. Motor Stepper	18
Gambar 2. 9 Motor Driver TB6600	19
Gambar 2. 10 <i>Relay</i>	19
Gambar 2. 11 <i>Microcontroller</i>	20
Gambar 2. 12 <i>Solenoid Valve</i>	21
Gambar 2. 13 <i>Globe Valve</i>	22
Gambar 2. 14 Grafik Karakteristik Sensitivitas MQ-135	24
Gambar 2. 15 Temperature Transmitter	25
Gambar 2. 16 Water Flow Sensor	27
Gambar 2. 17 <i>Water Level Detector Design</i>	28
Gambar 2. 18 Tampilan ArduinoIDE	28
Gambar 2. 19 <i>LCD</i>	29
Gambar 2. 20 MP1584	29
Gambar 2. 21 Kerangka Pemikiran	30
Gambar 3. 1 <i>Sub-plant Process Flow Diagram</i>	33
Gambar 3. 2 <i>Flowchart Sequential Control at Water Circulation Sub-Plant</i>	35
Gambar 3. 3 P&ID Ratio Control	36
Gambar 3. 4 <i>Cascade Control System</i>	37
Gambar 3. 5 Respon Flowrate air terhadap valve opening	38
Gambar 3. 6 Manipulasi Blok <i>Unity Feedback</i>	39
Gambar 3. 7 Grafik Respon Sistem terhadap Input Step	40
Gambar 3. 8 <i>Wiring Diagram</i>	42
Gambar 3. 9 Desain Panel Box	42
Gambar 4. 3 <i>Motorized Valve</i>	52
Gambar 4. 4 <i>TB6600 Driver Motor Stepper</i>	52
Gambar 4. 5 Sensor MQ-135	53
Gambar 4. 6 <i>Heat Exchanger</i>	53
Gambar 4. 7 Arduino Mega	53
Gambar 4. 8 Water Flow Sensor YF-S201	54
Gambar 4. 9 Grafik <i>CO2 Reduction Control System</i>	54
Gambar 4. 10 Grafik Matriks Perbandingan Berbobot	56
Gambar 4. 11 <i>Level Switch dan Termokopel</i>	57
Gambar 4. 12 <i>Solenoid Valve</i>	57



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 Tugas Akhir

Salin Swara (Sampah Keliling Swadaya Masyarakat) merupakan salah satu program pemberdayaan masyarakat dari *Corporate Social Responsibility* (CSR) Badak LNG yang berfokus pada pengelolaan sampah melalui kegiatan bank sampah. Program ini menghasilkan program baru yang dinamakan *Telihan Recycle*. Sejak tahun 2022, PT Badak NGL turut serta memberikan dukungan berupa limbah aluminium bekas dari penggunaan *insulation* yang tidak terpakai milik PT Badak NGL. Limbah aluminium tersebut dilebur lalu dibentuk menjadi baling-baling kapal atau menjadi batangan ingot dengan kemurnian hingga 98%. *Telihan Recycle* dapat menghasilkan ratusan baling-baling kapal dan telah terjual dengan harga yang murah (Yurika, 2022).

Proses peleburan limbah aluminium ini menggunakan bahan bakar berupa oli bekas yang diperoleh dari bengkel-bengkel sekitar. Dalam proses peleburannya, aluminium akan melebur pada suhu 660°C hingga suhu 900°C. Semakin tinggi suhunya, kualitas dari hasil peleburan aluminium (*ingot*) yang diperoleh juga semakin baik (Kurniawan Nst et al., 2016). Akan tetapi, tingginya suhu menyebabkan semakin banyak asap hitam yang dihasilkan dan mengandung senyawa berbahaya yang dapat mengakibatkan iritasi pernapasan seperti CO₂ dan Al₂O₃ (Halodoc, 2023).

Pencemaran udara tersebut sering kali memicu protes dari masyarakat sekitar dikarenakan kekhawatiran akan dampak kesehatan jangka panjang akibat paparan polutan tersebut, keluhan tersebut dapat mengakibatkan reputasi buruk bagi *Telihan Recycle* sebagai mitra binaan Badak LNG. Pelaksanaan peleburan yang dilakukan hanya seminggu atau dua minggu sekali menjadi solusi yang diterapkan untuk mengatasi masalah tersebut. Tetapi, solusi ini hanya bersifat sementara dan tidak mengurangi jumlah asap hitam yang dihasilkan selama proses peleburan. Berdasarkan PP Nomor 41 Tahun 1999 Pasal 25 Ayat 1 Tentang Pengendalian

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

Pencemaran Udara, setiap orang atau penanggungjawab usaha dan/atau kegiatan yang menyebabkan terjadinya pencemaran udara dan/atau gangguan wajib melakukan upaya penanggulangan dan pemulihannya (Presiden Republik Indonesia, 1999). Barangsiapa melanggar ketentuan tersebut, diancam dengan pidana sebagaimana diatur dalam pasal Pasal 41, Pasal 42, Pasal 43, Pasal 44, Pasal 45, Pasal 46 dan Pasal 47 Undang-undang Nomor 23 Tahun 1997 tentang Pengolahan Lingkungan Hidup (Presiden Republik Indonesia, 1997). Dari permasalahan tersebut, diperlukan sebuah inovasi yang lebih efektif untuk mengurangi emisi polutan (Cooper & Alley, 2011). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah emisi tersebut adalah filtrasi asap menggunakan *wet scrubber* (Cooper & Alley, 2011). Meskipun metode ini efektif dalam mengurangi emisi, terdapat kekurangan dalam hal efisiensi penggunaan air dan biaya operasi (CECO Environmental, 2023). Untuk mengatasi kekurangan tersebut, diterapkan sistem kontrol untuk efisiensi penggunaan air sehingga meminimalkan pemborosan sumber daya air dan menghemat biaya operasi. Berdasarkan analisis di atas, diperlukan sistem kontrol berbasis mikrokontroler untuk mengoptimalkan filtrasi asap dengan metode *wet scrubber*. Gambar 1.1 merupakan kondisi tungku peleburan aluminium sebelum dilakukannya rancang bangun



Gambar 1. 1 Desain tungku peleburan sebelum rancang bangun
Sumber: telihanrecycle_ on Instagram



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

1.2.Tujuan Penelitian Tugas Akhir

Tujuan penelitian adalah pernyataan mengenai apa yang ingin dicapai dari penelitian yang dilakukan. Adapun tujuan umum dan tujuan khusus Tugas Akhir adalah sebagai berikut:

A. Tujuan Umum

Tujuan umum dari Tugas Akhir adalah mengoptimalkan filtrasi asap pada *Telihan Recycle* dengan metode *wet scrubber* menggunakan sistem kontrol berbasis mikrokontroler.

B. Tujuan Khusus

1. Merancang dan menerapkan desain sistem kontrol yang efisien dalam penggunaan air untuk mengurangi kandungan emisi CO₂ hasil peleburan aluminium.
2. Menentukan kebutuhan peralatan instrumentasi dan komponen-komponen kelistrikan yang sesuai dan hemat biaya pada sistem filtrasi asap dengan teknologi *wet scrubber*.

1.3.Manfaat Tugas Akhir

Manfaat Tugas Akhir merupakan dampak dari pencapaian tujuan. Adapun manfaat Tugas akhir adalah sebagai berikut:

A. Bagi Penulis

1. Sebagai syarat untuk memenuhi penyusunan Tugas Akhir guna mendapatkan gelar Diploma III dari Program Studi Teknik Mesin di Politeknik Negeri Jakarta.
2. Menambah pengalaman dan keterampilan dalam merancang bangun suatu alat industri.
3. Dapat mengimplementasikan pengetahuan yang telah diperoleh selama masa perkuliahan dengan mempraktikkannya secara nyata.

B. Bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta

1. Sebagai media pembelajaran dan penelitian sistem pembersih asap *wet scrubber* pada unit peleburan limbah aluminium.



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

C. Bagi Badak LNG

1. Berkontribusi dalam menyediakan alat pembuatan sistem filtrasi wet scrubber asap peleburan limbah aluminium Telihan Recycle dengan sistem otomatisasi.

D. Bagi Program Salin Suara Telihan *Recycle*

1. Menangani permasalahan asap hasil peleburan limbah aluminium menjadi baling-baling untuk menunjang program Salin Suara (Sampah Keliling Swadaya Masyarakat).
2. Mendukung upaya PT Badak NGL untuk memenuhi aspek inovasi sosial dalam PROPER Emas ke-12.

1.4 Batasan Masalah Tugas Akhir

1. Penentuan perangkat yang digunakan bergantung pada kompatibilitas dari *microcontroller*, ketersediaan komponen, dan *cost*.
2. Rancang bangun dilaksanakan di Telihan Recycle dengan filtrasi asap pada emisi CO₂.

1.5 Metode Penelitian Tugas Akhir

Metode penelitian Tugas Akhir Perancangan Dan Implementasi Sistem Kontrol Berbasis Mikrokontroler Pada Filtrasi Asap Emisi Peleburan Limbah Aluminium “*Telihan Recycle*” dapat terwujud dengan menggunakan metode sebagai berikut:

A. Sumber Data

Data yang digunakan pada laporan Tugas Akhir diperoleh dari beberapa sumber antara lain:

1. Data sekunder yang diperoleh dari studi literatur meliputi buku, jurnal, karya ilmiah, dan situs *web* terkait dengan konsep sistem kontrol sekuensial dan sistem kontrol menggunakan *Ratio Control*, *PID Cascade Control*, *Sequence and Logic Control* beserta komponen penunjangnya.
2. Data primer yang diperoleh dari studi lapangan meliputi hasil pengujian komponen, *troubleshooting*, dan pengaruh penggunaan sistem kontrol pada *wet scrubber*.



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

B. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data yang relevan sebagai dasar penyusunan laporan diperoleh dengan beberapa metode, yaitu:

1. Metode Percobaan, yaitu dengan melakukan percobaan terhadap cara kerja komponen dan alat untuk mencapai tujuan yang dirancang.
2. Metode Observasi, yaitu dengan pengamatan objek secara langsung berkaitan dengan hasil nilai komposisi peleburan aluminium dan karakteristik emisi peleburan.
3. Metode Dokumentasi, yaitu dengan mengumpulkan sumber data yang dapat melengkapi hasil penelitian berupa pencatatan data dan pengambilan gambar.

1.6 Sistematika Penelitian Tugas Akhir

A. Pendahuluan

BAB I menguraikan latar belakang mengenai pemilihan topik, perumusan masalah, tujuan umum dan khusus, manfaat yang didapat, ruang lingkup dari penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan keseluruhan proposal tugas akhir.

B. Tinjauan Pustaka

BAB II menguraikan studi pustaka atau literatur, memaparkan rangkuman kritis atas pustaka yang menunjang proses penelitian, meliputi pembahasan terkait topik yang akan dikaji lebih lanjut dalam tugas akhir.

C. Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

BAB III menguraikan metode yang akan digunakan untuk penyelesaian masalah atau penelitian, yang meliputi prosedur, pengambilan sampel, pengumpulan data, teknik analisis data atau teknik perancangan.

D. Pembahasan

BAB IV berisi hasil dan analisis data, perhitungan-perhitungan perancangan atau analisis, serta interpretasi dan pembahasan hasil perhitungan.

E. Kesimpulan dan Saran

Bab V berisi kesimpulan dari seluruh analisis data dan pembahasan hasil perhitungan/penelitian. Isi kesimpulan akan menjawab permasalahan dan



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

tujuan yang telah ditetapkan dalam tugas akhir disertai saran-saran atau opini yang berkaitan dengan tugas akhir.

F. Daftar Pustaka

Daftar pustaka menguraikan asal literatur yang dipakai oleh penulis untuk penelitian. Isinya berupa nama penulis, judul tulisan, penerbit, identitas penerbit, dan tahun terbit.

G. Lampiran

Lampiran merupakan dokumen tambahan yang ditambahkan ke dalam dokumen utama. Lampiran surat dapat berupa teks, seperti dokumen pendukung.

H. Biodata Mahasiswa



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

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

A. Perancangan sistem kontrol dilakukan dengan pengujian *PID Cascade Control* dan didapatkan rata-rata hasil pengurangan kadar CO₂ sebesar 26% (target tercapai), dimana target pengurangan yang ingin dicapai sebesar 30% ($\pm 5\%$). Namun, dari kondisi ini terlihat bahwa kapabilitas *control valve* mampu mencapai *set point* tersebut dalam kondisi yang sudah *full open*, sehingga sistem kontrol ini cukup dirancang dengan menggunakan *on/off control (full open / full closed valve)* yang dapat mengurangi penggunaan air sebesar 55.5%. Lampiran 4 dan Lampiran 5 merupakan hasil penerapan rancangan sistem.

B. Pemilihan peralatan instrumentasi dan kelistrikan untuk mendukung kerja rancangan sistem kontrol, yaitu: *Arduino Mega, NEMA 17 Motor Stepper sebagai penggerak Globe Valve, TB6600 Driver Motor Stepper, Sensor MQ-135, Water Flow Sensor, Termokopel, Level Switch dengan memanfaatkan konduktivitas air, Solenoid Valve Normally-Closed, Power Supply Adaptor 12V, MCB 6A, Relay 5V 4 Channel.*

5.2 Saran

- A. Untuk membuat rancangan dengan skala yang lebih besar, dapat menggunakan komponen-komponen yang lebih *compatible*.
- B. Untuk membuat filtrasi pada komponen emisi lain, dapat menambahkan sistem lain sesuai kebutuhan emisi yang akan di filter.



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

Daftar Pustaka

- Adifani, A. (2023). *Rancang Bangun Sistem Otomasi Pada Unit Pengolahan Limbah Minyak Jelantah Menjadi Lilin Aromaterapi Berbasis Arduino*.
- Akbar, M. F. (2021). *PEMANFAATAN SENSOR MQ-135 SEBAGAI MONITORING KUALITAS UDARA PADA AULA GEDUNG FASILKOM*.
- Anaheim Automation. (2023). *Stepper Motor Guide*. Anaheimautomation.Com.
- Andreansyah, M. (2019). *RANCANG BANGUN MONITORING EGT WARNING SYSTEM MENGGUNAKAN MODUL RTC BERBASIS ARDUINO*.
- Badak LNG Module. (2022). *Instrument Module # 13 : Control Valve*.
- By ALLDATASHEET.COM, P. (2011). *MP1584 3A, 1.5MHz, 28V Step-Down Converter The Future of Analog IC Technology DESCRIPTION*. www.MonolithicPower.com
- CECO Environmental. (2023, July 12). *Wet Vs. Dry Scrubbers: Choosing The Right Solution For Ypur Environmental Needs*. CECO Environmental.
- Chin, T., Tam, I., & Yin, C. Y. (2023). Wet scrubbing process with oxidation and reduction in series for removal of SO₂ and NO from marine diesel engine exhaust. *Chemical Engineering Journal*, 464. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2023.142299>
- Cooper, C. D., & Alley, F. C. (2011). *Air_Pollution_Control_A_Design_Approach*.
- Drajat, M. S. (2019). *Sistem Kabel Suspensi Untuk Pergerakan Objek Pada Ruang 3 Dimensi*.
- Farhan, J., Rivon Tridesman, dan, Studi Teknik Konversi Energi, P., Teknik Mesin, J., Negeri Jakarta, P., & A Siwabessy, J. G. (2022). Rancang Bangun Kontrol Pada Pembangkit Listrik Bertenaga Uap dari Panas Buang Incenerator Sampah Berbasis PID dengan Menggunakan Stepper Motor. In *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*. <http://prosiding.pnj.ac.id>
- Halodoc. (2023, November 15). *Ini 7 Bahaya Paparan Karbon Dioksida Berlebih bagi Kesehatan Tubuh*. Halodoc.
- INSTIPER Robotics Academy. (2021). *Mekanik dasar : Stepper Motor*. Robotics.Instiperjogja.Ac.Id.
- Jerry. (2022). *The Difference Between Single Seated & Double Seated Control Valves - Zeco Valve*. Zecovalve.Com.
- Kadu, C. B., & Patil, C. Y. (2016). Design and Implementation of Stable PID Controller for Interacting Level Control System. *Procedia Computer Science*, 79, 737–746. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.03.097>
- khafdzni, L. (2018). *Pengontrolan Rasio Udara dan Bahan Bakar pada Boiler PPSDM Migas Menggunakan DCS*.



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

- Kurniawan Nst, F. A., Isranuri, I., Kunci, K., Alloy, A.-M., Tarik, K., & Elastisitas, M. (2016). PENYELIDIKAN KARAKTERISTIK MEKANIK TARIK PADUAN ALUMINIUM MAGNESIUM (AL-MG) DENGAN METODE PENGECORAN KONVENSIONAL. In *Jurnal Inotera* (Vol. 1, Issue 1).
- Mahanin Tyas, U., Apri Buckhari, A., Studi Pendidikan Teknologi Informasi, P., & Studi Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, P. (2023). *IMPLEMENTASI APLIKASI ARDUINO IDE PADA MATA KULIAH SISTEM DIGITAL* (Vol. 1, Issue 1).
- Munthe, V. J. H., & Hutabarat, M. (2023). *RANCANG BANGUN ALAT UKUR KECEPATAN ALIRAN AIR MENGGUNAKAN WATER FLOW SENSOR BERBASIS ARDUINO UNO*.
- Nugroho, P. (2022). *TINJAUAN PUSTAKA 2.1 Reference Gas*.
- Ogata, Katsuhiko. (2022). *Modern control engineering*. Prentice Hall.
- Pambudi, G. W. (2020). *Cara Kontrol Motor Stepper Dengan Driver TB6600/TB6500 Arduino*. Cronyos.Com.
- Presiden Republik Indonesia. (1997). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 1997 Tentang Pengelolaan Lingkungan Hidup*. www.bphn.go.id
- Presiden Republik Indonesia. (1999). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 Tentang Pengendalian Pencemaran Udara*.
- PT. Global Intan Tekindo. (2024). *Kalibrasi Temperature Transmitter: Proses, Manfaat, dan Aplikasinya*. Giteknindo.Id.
- Risal, A., Djawad, Y. A., Sabran, & Suhaeb, S. (2017). *MIKROKONTROLER DAN INTERACE*.
- Romano, M., Bucklin, M., Gritton, H., Mehrotra, D., Kessel, R., & Han, X. (2019). A Teensy microcontroller-based interface for optical imaging camera control during behavioral experiments. *Journal of Neuroscience Methods*, 320, 107–115. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2019.03.019>
- Safa Tika. (2012). *Jenis Jenis Valve*. *Scribd*.
- Santosa, S. P., & Nugroho, R. M. W. (2021). *RANCANG BANGUN ALAT PINTU GESER OTOMATIS MENGGUNAKAN MOTOR DC 24 V*.
- Seborg, D. E., Edgar, T. F., Mellichamp, D. A., & Doyle III, F. J. (2017). *Process Dynamics and Control Fourth Edition*.
- Skogestad, S. (2025). *Ratio control: Theoretical basis and practical implementation*. <https://ssrn.com/abstract=5265180>
- Syahrul. (2016). *Motor Stepper: Teknologi, Metoda dan Rangkaian Kontrol*.
- theinlinaung2010. (2013). *Water Level Detector*. Forum.Arduino.Cc.
- ToughWare. (2023). *Menampilkan "Hello World" pada LCD 16x2 I2C dengan Arduino*. ToughWare.



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

Vargas, L., & L.Saaty, T. (2012). *The Analytic Hierarchy Process*.
<http://www.springer.com/series/6161>

Visioli, A., & Hägglund, T. (2020). Minimum-time feedforward control in ratio control systems. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 11818–11823.
<https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.692>

Wiki, F. (2014). *G1" Water Flow Sensor*. <http://www.seeedstudio.com/depot/g34-water-flow-sensor-p-1083.html?>

William, & Bolton. (2015). *Sistem Instrumentasi dan Kontrol (Edisi Kedua)*. ScienceDirect.

Yurika. (2022). *Mitra Binaan Badak LNG Kembangkan Limbah Polyurethane dan Aluminium jadi Produk Bernilai*. Dunia-Energi.Com.

