



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



Badak LNG
LNG ACADEMY



Badak LNG

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL BERBASIS
MIKROKONTROLER PADA PROSES KARBONASI EMISI
GAS CO₂ DARI *ACID GAS REMOVAL UNIT* (AGRU)
MENGUNAKAN Na₂CO₃**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Oleh:

Natasya Putri Philadelphia | NIM. 2302319019

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN

LNG ACADEMY

KERJASAMA PNJ – BADAQ LNG

**JURUSAN TEKNIK MESIN, PROGRAM STUDI 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



“Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk seluruh pihak yang berperan dalam kehidupan perguruan tinggi saya, semoga senantiasa bermanfaat bagi nusa, bangsa, agama, almamater, dan perusahaan”.



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 SISTEM KONTROL BERBASIS
MIKROKONTROLER PADA PROSES KARBONASI CO₂ DARI *ACID*
GAS REMOVAL UNIT (AGRU) MENGGUNAKAN Na₂CO₃**

Oleh:

Natasya Putri Philadelphia

NIM 2302319019

Laporan Tugas Akhir telah disetujui oleh:

Pembimbing Tugas Akhir
Politeknik Negeri Jakarta

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

NIP. 197512222008121003

Pembimbing Tugas Akhir
Badak LNG

Ir. Rivon Tridesman, ST., IPM, ASEAN Eng

No. Badge : 134464

Ketua Program Studi D3 Teknik Mesin

Politeknik Negeri Jakarta

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

**LEMBAR PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL BERBASIS MIKROKONTROLER PADA
PROSES KARBONASI CO₂ DARI *ACID GAS REMOVAL UNIT* (AGRU) MENGGUNAKAN
Na₂CO₃**

Oleh:

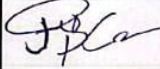
Natasya Putri Philadelphia

NIM 2302319019

Program Studi Diploma III Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang tugas akhir di hadapan Dewan Penguji pada 07 Juli 2026 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.	Ketua Penguji		07 Juli 2026
2.	Dr. Paulus Sukusno, S.T., M.T.	Penguji 1		07 Juli 2026
3.	Surya Ramadhan	Penguji 2		07 Juli 2026

Disahkan oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si.

NIP. 197602252000121002



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 : Natasya Putri Philadelphia

NIM : 2302319019

Program Studi : Diploma III 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, 30 Juni 2026



Natasya Putri Philadelphia

NIM. 2302319019



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 SISTEM KONTROL BERBASIS MIKROKONTROLER PADA PROSES KARBONASI EMISI GAS CO₂ DARI *ACID GAS REMOVAL UNIT* (AGRU) MENGUNAKAN Na₂CO₃

Natasya Putri Philadelphia^{1*}, Sonki Prasetya¹, Rivon Tridesman²

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

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

*Corresponding author *E-mail Adress*: ntsyp2605@gmail.com

ABSTRAK

Indonesia merupakan salah satu penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar di dunia sehingga diperlukan penerapan teknologi *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) untuk mendukung target *Net Zero Emission*. PT Badak NGL memiliki *Acid Gas Removal Unit* (AGRU) yang menghasilkan gas buang dengan kandungan CO₂ sekitar 93% dan berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan baku sintesis natrium bikarbonat (NaHCO₃). Penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan sistem kontrol pada *prototype* karbonasi CO₂ dan Na₂CO₃ berbasis mikrokontroler untuk menjaga kestabilan temperatur reaktor. Sistem yang diterapkan meliputi kontrol *ON/OFF* pada *mixing tank*, kontrol PID pada reaktor, dan kontrol sekuensial pada keseluruhan proses. Hasil *tuning* PID menghasilkan parameter K_p = 6,97, K_i = 2,2024, dan K_d = 1821,9. Pengujian menunjukkan *rise time* 130 detik, *peak time* 170 detik, *settling time* 300 detik, *overshoot* 0%, dan *steady-state error* 4,5%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem kontrol yang dirancang mampu menjaga temperatur reaktor mendekati *setpoint* secara stabil sehingga mendukung proses karbonasi CO₂ dan Na₂CO₃ menjadi NaHCO₃.

Kata Kunci: CCUS, NaHCO₃, *on/off*, PID, sekuensial, mikrokontroler, karbonasi CO₂.



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 SISTEM KONTROL BERBASIS MIKROKONTROLER PADA PROSES KARBONASI EMISI GAS CO₂ DARI *ACID GAS REMOVAL UNIT* (AGRU) MENGUNAKAN Na₂CO₃

Natasya Putri Philadelphia^{1*}, Sonki Prasetya¹, Rivon Tridesman²

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

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

*Corresponding author *E-mail Address*: ntsyph2605@gmail.com

ABSTRACT

Indonesia is one of the largest contributors to greenhouse gas emissions in the world, making the implementation of Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS) technology essential to support the Net Zero Emission target. PT Badak NGL operates an Acid Gas Removal Unit (AGRU) that produces an exhaust gas stream containing approximately 93% CO₂, which has the potential to be utilized as a feedstock for sodium bicarbonate (NaHCO₃) synthesis. This study aims to design and implement a microcontroller-based control system for a CO₂ and Na₂CO₃ carbonation prototype to maintain reactor temperature stability. The implemented control system consists of ON/OFF control for the mixing tank, PID control for the reactor, and sequential control for the overall process. PID tuning resulted in parameters of $K_p = 6.97$, $K_i = 2.2024$, and $K_d = 1821.9$. Experimental results showed a rise time of 130 seconds, peak time of 170 seconds, settling time of 300 seconds, 0% overshoot, and a steady-state error of 4.5%. These results indicate that the designed control system is capable of maintaining the reactor temperature close to the setpoint with a stable response, thereby supporting the carbonation process of CO₂ and Na₂CO₃ to produce NaHCO₃.

Keywords: CCUS, NaHCO₃, on/off, PID, sequential, microcontroller, CO₂ carbonation.



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 Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan kasih dan penyertaan-Nya sehingga Penulis dapat menyelesaikan rancang bangun dan penulisan laporan tugas akhir yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Kontrol Berbasis Mikrokontroler pada Proses Karbonasi CO₂ dari *Acid Gas Removal Unit* (AGRU) menggunakan Na₂CO₃”. 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. Fuad Zainuri, S.T., M.Si. 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.
6. Bapak Rivon Tridesman, selaku dosen pembimbing industri.
7. Bapak Sonki Prasetya, selaku dosen pembimbing akademik.
8. Bapak Surya Ramadhan, selaku dosen penguji industri.
9. Bapak Paulus Sukusno, selaku dosen penguji akademik.



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

10. Seluruh Pekerja *Workshop Electrical and Instrumentation* dan Bengkel Induk PT Badak NGL yang telah memberikan bantuan dalam pelaksanaan tugas akhir.
11. Teman-Teman LNG Academy angkatan 13 serta seluruh pihak yang telah mendukung dan memberikan bantuan dalam penulisan laporan ini.
12. Rekan sekelompok tugas akhir saya, Mukhammad Yusuf Iqbal, yang membersamai penyelesaian tugas akhir ini.
13. Saya sendiri yang sudah mau berusaha dan berproses dalam penyelesaian tugas akhir 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.

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Bontang, 06 Juli 2026

Natasya Putri Philadelphia



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

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	Error! Bookmark not defined.
LEMBAR PENGESAHAN LAPORAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Tugas Akhir	1
1.2 Tujuan Penelitian Tugas Akhir	2
1.3 Batasan Masalah Tugasakhir	3
1.4 Manfaat Tugas Akhir	3
1.5 Metode Penelitian Tugas Akhir	4
1.6 Sistematika Penelitian Tugas Akhir.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Tinjauan Teori.....	7
A. <i>Carbon Capture, Utilization, and Storage (CCUS)</i>	7
B. <i>Acid Gas Removal Unit (AGRU)</i>	7
C. Karbonasi CO ₂ dan Na ₂ CO ₃	8
D. Sistem Kontrol.....	8
2.2 Tinjauan Karya Ilmiah.....	14
2.3 Kajian Komponen	15
A. Komponen Kelistrikan	15
B. Komponen Instrumentasi.....	19
2.4 Kerangka Pemikiran.....	24



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 III METODOLOGI PENELITIAN TUGAS AKHIR.....	27
3.1 Diagram Alir Pengerjaan	27
3.2 Penjelasan Langkah Kerja	29
A. Perumusan Masalah	29
B. Studi Pustaka dan Diskusi	30
C. Perancangan Sistem Kontrol	32
D. Perancangan Sistem Kelistrikan	41
E. Perancangan Sistem Proteksi	42
F. Pengadaan Material	42
G. Pengujian dan Kalibrasi Komponen	46
H. Perakitan dan Instalasi Komponen	47
I. Pemrograman Sistem	49
J. Pengujian Sistem	50
K. Pemecahan Masalah	50
L. Analisis Data	51
M. Kesimpulan dan saran	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1.3 Perancangan Sistem Kontrol	53
4.1.1 Perancangan Sistem Kontrol <i>Mixing Tank</i> Na_2CO_3	53
4.1.2 Perancangan Sistem Kontrol Reaktor	55
4.1.3 Perancangan Sistem Kontrol Sekuensial	57
A. Hasil Analisis Parameter Respon Sistem Kontrol PID pada <i>Prototype</i> Karbonasi CO_2 dan Na_2CO_3	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	61
5.1. Kesimpulan	61
5.2. Saran	61
DAFTAR PUSTAKA	62
LAMPIRAN	67



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 3.2.....**Error! Bookmark not defined.**

Tabel 3.4.....**Error! Bookmark not defined.**





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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	10
Gambar 2.2	16
Gambar 2.3	17
Gambar 2.4	18
Gambar 2.5	19
Gambar 2.6	20
Gambar 2.7	21
Gambar 2.8	21
Gambar 2.9	22
Gambar 2.10	23
Gambar 2.11	24
Gambar 2.12	25
Gambar 3.1	28
Gambar 3.2	32
Gambar 3.3	36
Gambar 3.4	39
Gambar 3.5	39
Gambar 3.6	40
Gambar 3.7	42
Gambar 3.8	47
Gambar 3.9	48
Gambar 3.10	49
Gambar 3.11	50
Gambar 4.1	55
Gambar 4.2	57
Gambar 4.3	58
Gambar 4.4	60



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

Indonesia termasuk penyumbang emisi gas rumah kaca terbesar keenam di dunia dengan kenaikan hampir 5% pada periode 2023–2024 [1], sehingga pemerintah menargetkan penurunan emisi sebesar 43,2% pada 2030 dan pencapaian *Net Zero Emission* (NZE) pada 2060 [2]. Upaya ini memerlukan transformasi sektor energi dan industri melalui penerapan teknologi *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS). PT Badak NGL sebagai fasilitas LNG terbesar di Indonesia memiliki unit Acid Gas Removal Unit (AGRU) yang memisahkan CO₂ menggunakan amina, dengan gas buang mengandung sekitar 93% CO₂ pada suhu 40°C, tekanan atmosfer, dan laju alir ±40 kg/jam [3]. Konsentrasi CO₂ yang tinggi ini menjadikan aliran tersebut sangat potensial untuk penerapan CCUS, karena lebih ekonomis dibandingkan penangkapan CO₂ dari udara bebas (~410 ppm) atau gas buang pembangkit listrik (5-15% CO₂) [4].

Salah satu skema penerapan CCUS yang *feasible* adalah konversi CO₂ menjadi natrium karbonat (NaHCO₃). Indonesia masih bergantung 100% impor NaHCO₃ dengan volume sekitar 105.654 ton dengan biaya sekitar 32,28 juta USD [5]. NaHCO₃ adalah bahan baku dalam industri makanan, pengolahan air, industri kosmetik, farmasi, dan industri kertas. Pemanfaatan CO₂ dari AGRU untuk proses sintesis NaHCO₃ berpotensi untuk mengurangi emisi gas CO₂ serta mengurangi ketergantungan impor terhadap NaHCO₃.

Keberhasilan pemanfaatan CO₂ menjadi NaHCO₃ tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan CO₂ dan Na₂CO₃, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi operasi, yaitu temperatur di reaktor [6]. Pada penelitian sebelumnya, *yield* maksimal tercapai pada temperatur optimum 70°C dengan waktu reaksi 2,5 jam berbasis CO₂ murni dalam *batch bubble column* [7]. Pada temperatur 60°C menghasilkan konversi tertinggi 89% untuk pembentukan



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

Na_2CO_3 dari karbonasi $\text{NaOH}-\text{CO}_2$, lebih tinggi dibanding 82% pada 30-40°C [6]. Penelitian lainnya menemukan suhu optimal 40°C dengan konversi 98% untuk proses langsung Na_2CO_3 dengan CO_2 [8]. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pada kondisi operasi yang tepat, CO_2 dapat dimanfaatkan menjadi NaHCO_3 dengan efisiensi optimum. Oleh karena itu, sistem kontrol temperatur reaktor krusial untuk operasi untuk mendapatkan nilai optimum dan reaksi yang optimal.

Pengendalian temperatur secara manual memiliki keterbatasan dalam mempertahankan kondisi operasi yang stabil karena adanya gangguan, perubahan beban, serta keterlambatan respons operator [9]. Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem kontrol otomatis yang mampu mengendalikan sistem dan parameter proses temperatur secara *real-time*. Mikrokontroler digunakan sebagai pengendali dalam menjalankan pengendalian dan mengolah data temperatur. Jurnal penelitian Politeknik Negeri Jakarta pada Penerapan Sistem Kontrol Sekuensial Berbasis Mikrokontroler pada Level Tangki Filter dalam Sistem Pengolahan Air Sumur Bor di KOMPENI Bontang menjelaskan bahwa penggunaan mikrokontroler efektif dalam meningkatkan efisiensi sistem [10]. Dengan mengimplementasikan sistem kontrol, temperatur reaktor dapat dipertahankan sesuai dengan *setpoint*, sehingga efisiensi penyerapan CO_2 , kestabilan proses karbonasi, dan kualitas produk NaHCO_3 sesuai dengan kebutuhan proses.

Berdasarkan hal-hal tersebut, Penulis mengajukan tugas akhir yang berjudul “Rancang Bangun Sistem Kontrol Berbasis Mikrokontroler pada Proses Karbonasi CO_2 dari *Acid Gas Removal Unit* (AGRU) menggunakan Na_2CO_3 ”.

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:



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

A. Tujuan umum:

Tujuan umum dari Tugas Akhir adalah mengoptimalkan proses penyerapan CO₂ AGRU pada proses sintesis natrium karbonat menggunakan Na₂CO₃ menggunakan sistem kontrol berbasis mikrokontroler.

B. Tujuan khusus:

1. Merancang dan membangun sistem kontrol on/off, PID, dan sekuensial pada sistem karbonasi CO₂ AGRU menggunakan Na₂CO₃.
2. Menganalisis hasil parameter kontrol respon, yaitu *settling time*, *rise time*, *peak time*, *overshoot*, dan *steady state error* kontrol PID pada sistem kontrol temperatur karbonasi CO₂ AGRU menggunakan Na₂CO₃.

1.3 Batasan Masalah Tugaskhir

Batasan masalah dari proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada perancangan sistem kontrol pada unit proses karbonasi CO₂ AGRU menggunakan Na₂CO₃ menggunakan mikrokontroler.
2. Konsentrasi CO₂ *inlet* berasal dari gas buang AGRU PT Badak NGL.
3. Absorben yang digunakan adalah Na₂CO₃.
4. Penentuan perangkat yang digunakan dibatasi oleh kompatibilitas mikrokontroler Arduino Mega 2560, ketersediaan komponen, dan biaya.

1.4 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.



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

2. Menambah pengalaman dan keterampilan dalam merancang bangun sistem kontrol pada suatu alat industri atau lingkungan.
3. Dapat mengimplementasikan pengetahuan yang telah diperoleh selama masa perkuliahan dengan mempraktikkannya secara nyata.

B. Bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta:

Sebagai media pembelajaran dan penelitian tentang teknologi *Carbon Capture, Utilization, and Storage* (CCUS) pada unit karbonasi emisi gas CO₂ AGRU.

C. Bagi PT Badak NGL dan Dunia Industri

1. Berkontribusi pada program dekarbonisasi PT Badak NGL.
2. Memberikan alternatif pemanfaatan emisi AGRU dengan mengonversi CO₂ menjadi produk bernilai tambah (*baking soda* / NaHCO₃).
3. Mendukung pencapaian target *Net Zero Emissions* dan upaya dekarbonisasi industri minyak & gas nasional.

1.5 Metode Penelitian Tugas Akhir

Metode penelitian Tugas Akhir “Rancang Bangun Sistem Kontrol Berbasis Mikrokontroler pada Proses Karbonasi Emisi Gas CO₂ dari *Acid Gas Removal Unit* (AGRU) menggunakan Na₂CO₃ adalah sebagai berikut.

A. Sumber Data

Data yang digunakan pada laporan Tugas Akhir diperoleh dari beberapa sumber sebagai berikut.

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 *PID Cascade Control* dan *Sequence and Logic Control* beserta komponen penunjangnya.
2. Data primer yang diperoleh dari studi lapangan, meliputi hasil pengujian komponen, *troubleshooting*, analisis, serta pengaruh penggunaan sistem kontrol pada *prototype*.

B. Metode Pengumpulan Data



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

Metode pengumpulan data yang relevan sebagai dasar penyusunan laporan diperoleh dengan beberapa metode, yakni sebagai berikut.

1. Metode Percobaan, yaitu dengan melakukan percobaan terhadap cara kerja komponen dan alat untuk mencapai tujuan yang dirancang.
2. Metode Observasi, melakukan pengamatan secara langsung terhadap kondisi operasi selama proses sintesis natrium bikarbonat, meliputi perubahan temperatur.
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

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

A. Pendahuluan

Bab I menguraikan latar belakang pemilihan topik, perumusan masalah, tujuan (baik umum maupun khusus), ruang lingkup atau batasan masalah, manfaat yang diharapkan dari penelitian, serta gambaran sistematika penulisan yang mencakup keseluruhan isi proposal tugas akhir.

B. Tinjauan Pustaka

Bab II membahas studi pustaka atau tinjauan literatur yang relevan, memaparkan rangkuman kritis dari berbagai referensi yang mendukung penyusunan atau pelaksanaan penelitian, mencakup pembahasan lebih lanjut mengenai topik yang menjadi fokus utama 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.



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

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 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

**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 mengumunkan 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. Sistem kontrol yang diterapkan pada *prototype* karbonasi CO_2 dan Na_2CO_3 adalah *ON/OFF* pada subsistem *mixing tank* Na_2CO_3 , PID pada subsistem reaktor, dan sekuensial pada keseluruhan proses *prototype*.
- b. Sistem kontrol suhu PID reaktor memiliki $K_p = 6.97$, $K_i = 2.2024$, $K_d = 1821.9$ dengan *rise time* selama 130 detik, *peak time* selama 170 detik, *settling time* sebesar 300 detik, *overshoot* sebesar 0%, dan *steady-state error* sebesar 4,5%.

5.2. Saran

- c. Mengoptimalkan tuning PID mendekati *steady-state error* sebesar 0%.
- d. Kehilangan panas ke lingkungan menyebabkan temperatur aktual tidak mencapai *setpoint* yang ditentukan. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan material isolasi termal pada reaktor untuk mengurangi *heat loss* dan meningkatkan efisiensi pemanasan.
- e. Pengembangan sistem dapat dilakukan dengan menambahkan *data logger* atau *platform IoT*, sehingga data temperatur, *error*, dan output kontrol dapat direkam secara *real-time* dan dianalisis dengan lebih mudah.
- f. Penggunaan sensor dan *transmitter* dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dapat dipertimbangkan untuk mengurangi *error* pengukuran dan meningkatkan performa sistem kontrol temperatur secara keseluruhan.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] Becky Mckay, "Countries With The Highest Carbon Footprint 2026," *GreenMatch*, Aug. 2024. [Online]. Available: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/countries-with-the-highest-carbon-footprint>
- [2] UNFCC, "Enhanced Nationally Determined Contribution Republic of Indonesia".
- [3] B. I. Ardin Layana, Muhammad Prasha Risfi Silitonga, "Rancang Sistem Proses Fotobioreaktor Mikroalga untuk Fiksasi CO₂ dari Vent Stack Amine Regenerator Overhead Accumulator PT XYZ," *Pros. A Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta*, pp. 242–249, 2025.
- [4] Badak LNG, *Manual Book Plant-1 Gas Purification Unit*. Operations Department, PT Badak NGL, Bontang, 2024.
- [5] WITS, "Disodium carbonate exports to Indonesia in 2024," 2024.
- [6] A. S. Saputra, M. Adhil, S. Prof, and E. R. Desmiarti, "Studi Awal Pemanfaatan CO₂ Untuk Pembentukan Natrium Karbonat: Kajian Kinetika Reaksi," *J. Univ. Bung Hatta*, vol. 18, no. 4, p. 3, 2021.
- [7] Z. Adnan Abdel-Rahman, "Optimization of Sodium Bicarbonate Production Using Response Surface Methodology (RSM)," *Djes*, vol. 11, no. 3, pp. 22–28, 2018, doi: 10.24237/djes.2018.11304.
- [8] M. F. A. M. Michael Jordan Islami, Mohammad Nor and B. A. F. Istiqomah Rahmawati, "Prarancangan Pabrik Sodium Bikarbonat Menggunakan Metode Karbonasi dengan Kapasitas Produksi 2.700 Ton/ Tahun," vol. 7, no. 1, pp. 8–11, 2019.
- [9] N. W. S. Riny Yolandha Parapat, Aldi Muhamad Rizky, "Integrasi Pengendalian Proses Sebagai Upaya Pencegahan Risiko Keselamatan Kerja di Industri Kimia," *J. Ris. Multidisiplin Edukasi*, vol. 3, pp. 355–378, 2026.

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

- [10] S. P. Amanda Maria Caroline Stevanova Pakpahan, "Penerapan Sistem Kontrol Sekuensial Berbasis Mikrokontroler pada Level Tangki Filter dalam Sistem Pengolahan Air Sumur Bor di KOMPENI Bontang," *Pros. A Semin. Nas. Tek. Mesin Politek. Negeri Jakarta*, pp. 749–757, 2025.
- [11] E. Liu, X. Lu, and D. Wang, *A Systematic Review of Carbon Capture, Utilization and Storage: Status, Progress and Challenges*. 2023.
- [12] R. J. Wishnuwardana, M. B. Omar, H. B. Zabiri, M. Faqih, R. Ibrahim, and K. Bingi, "Absorption-Based Optimization Technologies for Acid Gas Removal Units: A Review of Recent Trends and Challenges," *Processes*, vol. 13, no. 6, pp. 1–29, 2025, doi: 10.3390/pr13061909.
- [13] Badak LNG, *Operational data and gas chromatography analysis of AGRU vent streams*. Bontang: PT Badak NGL, 2024.
- [14] USDA/OMRI, "Technical Report: Sodium Bicarbonate — Handling/Processing," pp. 1–33, 2025.
- [15] M. Porokhnia, M. Tseitlin, S. Bukhkalov, V. Panasenko, and T. Novozhylova, "Defining Features in the Kinetics of Sodium Carbonate-bicarbonate Solution Carbonization and the Quality of the Resulting Sodium Bicarbonate Crystals," *Eastern-European J. Enterp. Technol.*, vol. 4, no. 10–112, pp. 38–44, 2021, doi: 10.15587/1729-4061.2021.239157.
- [16] A. Adifani, "Rancang Bangun Sistem Otomasi pada Unit Pengolahan Limbah Minyak Jelantah menjadi Lilin Aromaterapi Berbasis Arduino," Politeknik Negeri Jakarta, 2023.
- [17] M. D. Pasha and D. K. Puspaningrum, "Simulasi Otomasi Process Shut Down Deaerator pada Unit Boiler dengan Parameter Suhu dan Level Berbasis PLC Allen - Bradley," *Maj. Ilm. Swara Patra*, vol. 11, no. 2, pp. 51–61, 2021, doi: 10.37525/sp/2021-2/295.
- [18] P. Nugroho, "Rancang Bangun Sistem Kontrol pada Low Pressure Reference Gas Blends Unit sebagai Penunjang Analisis LPG di



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

Laboratorium Badak LNG Berbasis Arduino,” Politeknik Negeri Jakarta, 2023.

- [19] K. Ogata, *Modern control engineering*. 2017. doi: 10.1201/9781315214573.
- [20] E. E. Winrostya, “Perancangan dan Implementasi Sistem Kontrol Berbasis Mikrokontroler pada Filtrasi Asap Emisi Peleburan Aluminium ‘Telihan Recycle,’” Politeknik Negeri Jakarta, 2025.
- [21] A. S. A. El-hamid, A. H. Eissa, and A. M. A. Fotouh, “Application of Feed-Forward Internal Model Control To Time Varying FOPDT Temperature Process,” vol. 10, no. 15, pp. 35914–35917, 2015.
- [22] V. Limanto and R. Biyanto, “Rancang Bangun Sistem Pengendalian Temperatur Menggunakan IMC-PID pada Shell and Tube Heat Exchanger Segmental Baffle,” vol. 10, no. 2, 2021.
- [23] H. Knuutila, E. T. Hessen, I. Kim, T. Haug-warberg, and H. F. S. Ã, “Vapor – liquid equilibrium in the sodium carbonate – sodium bicarbonate – water – CO₂ –system,” vol. 65, pp. 2218–2226, 2010, doi: 10.1016/j.ces.2009.12.024.
- [24] J. Shim, D. W. Lee, J. H. Lee, and N. Kwak, “Experimental study on capture of carbon dioxide and production of sodium bicarbonate from sodium hydroxide,” 2016.
- [25] K. J. Åström and T. Hägglund, “Advanced PID Control”.
- [26] L. Ljung, “System Identification: Theory for the User Second Edition”.
- [27] M. I. Annafi and A. Syakur, “PERANCANGAN KONTROL SUHU BERBASIS PID DENGAN METODE ZIEGLER NICHOLS 1 PADA OVEN LISTRIK,” vol. 12, no. 1, pp. 31–38, 2023.
- [28] S. C. J., “Electric Machinery Fundamentals Fifth Edition.”
- [29] Wiki, “8 Channel 5V Relay Module.”



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

- [30] A. Malvino and D. Bates, *Electronic Principles*.
- [31] AliExpress, "AC Light lamp dimming and motor Dimmer Module, 1 Channel, 3.3V/5V logic, AC 50/60hz, 220V/110V - 600V."
- [32] Amazon, "12V-40V 10A DC Motor Speed Controller PWM Variable Speed Regulator Governor Switch CCMHCN With Speed Control Knob."
- [33] A. F. Seymour, "BASIC ELECTRONIC COMPONENTS," *Elenc. Electron.*, pp. 1–27, 2016.
- [34] L. S. M. Teguh Arifianto, Sunaryo, Sunardi, Windi Nopriyanto, Tinesa Fara Prihandini, Naufal Jundi Abyan, "Aplikasi Perhitungan Resistansi Resistor Menggunakan Augmented Reality," *J. Ilm. Intech Inf. Technol. J. UMUS*, vol. 5, no. 2, pp. 130–142, 2023.
- [35] A. S. Pabla, *Electric Power Distribution Sixth Edition*.
- [36] G. Store, "SCHNEIDER MCB 1 Phase 2 Ampere DOMF01102."
- [37] A. M. C. S. Pakpahan, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Berbasis Mikrocontroller dan IoT pada Pengolahan Air di Perkebunan Kompeni Bontang," Politeknik Negeri Jakarta, 2025.
- [38] I. H. Center, "Arduino MEGA 2560 R3 ATmega2560."
- [39] Amazon, "SunFounder IIC/I2C/TWI LCD1602 Display Module Compatible with Arduino and Raspberry Pi."
- [40] J. P. Bentley, *Principles of Measurement Systems Fourth Edition*.
- [41] Bastor, "Thermocouple."
- [42] Blibli, "Home Home & Living Perkakas Rumah Tangga Perkakas Ukur PT100 Thermocouple Temperature Transmitter 0 ke 150 C 4-20mA PT100 Thermocouple Temperature Transmitter 0 ke 150 C 4-20mA."
- [43] theinlinaung2010, "Water Level Detector," Forum.Arduino.Cc.
- [44] Shopee, "Electric Solenoid Valve 1 " 2w-250-25 AC 220V stainless Coil



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

Tembaga.”

- [45] F. K. K. Zaid Adnan Abdel-Rahman, Hussein Habib Hamed, “Optimization of Sodium Bicarbonate Production Using Response Surface Methodology (RSM),” *Djes*, vol. 11, no. 3, pp. 22–28, 2018, doi: 10.24237/djes.2018.11304.





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

LAMPIRAN

Prototype karbonasi CO₂ dan Na₂CO₃



POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA