



© 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

**RANCANG SISTEM *AUTO-DOSING CHEMICAL*
UNTUK MITIGASI *OFF-SPEC* pH LIMBAH
REGENERASI RESIN BERBASIS KEPATUHAN
PERMEN LH NOMOR 5 TAHUN 2014**

LAPORAN TUGAS AKHIR

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh :

**Agung Subagyo
NIM. 2302319010**

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

JULI, 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

**RANCANG SISTEM *AUTO-DOSING CHEMICAL*
UNTUK MITIGASI *OFF-SPEC PH* LIMBAH
REGENERASI RESIN BERBASIS KEPATUHAN
PERMEN LH NOMOR 5 TAHUN 2014**

LAPORAN TUGAS AKHIR

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

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh :

Agung Subagyo

NIM. 2302319010

**PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI JAKARTA**

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

HALAMAN PERSETUJUAN

HALAMAN PERSETUJUAN

LAPORAN TUGAS AKHIR

RANCANG SISTEM *AUTO-DOSING CHEMICAL* UNTUK MITIGASI *OFF-SPEC PH* LIMBAH REGENERASI RESIN BERBASIS KEPATUHAN PERMEN LH NOMOR 5 TAHUN 2014

Oleh :

Agung Subagyo

NIM. 2302319010

Program Studi Diploma III Teknik Mesin

Laporan Tugas Akhir Telah Disetujui Oleh Pembimbing :

Pembimbing 1

Pembimbing 2

Dr. Isnanda Nuriskasari, S.Si., M.T

NIP : 199306062019032030

Okky William Lukman, S.T., M.B.A.

No. Badge : 132509

Ketua Program Studi 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

LEMBAR PENGESAHAN

LEMBAR PENGESAHAN

LAPORAN TUGAS AKHIR

RANCANG SISTEM *AUTO-DOSING CHEMICAL* UNTUK MITIGASI *OFF-SPEC PH* LIMBAH REGENERASI RESIN BERBASIS KEPATUHAN PERMEN LH NOMOR 5 TAHUN 2014

Oleh :

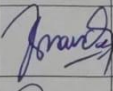
Agung Subagyo

NIM. 2302319010

Program Studi Diploma III Teknik Mesin

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang sarjana terapan di hadapan
Dewan Penguji pada tanggal 8 Juli 2025 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi D III Teknik Mesin
Jurusan Teknik Mesin

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi Penguji	Tanda Tangan	Tanggal
1.	Dr. Isnanda Nuriskasari, S.Si., M.T	Ketua Penguji		8 Juli 2026
2.	Muhammad Prasha Risfi Silitonga, S.Si., M.T.	Penguji 1		8 Juli 2026
3.	Rendra Prasetyo S.T.	Penguji 2		8 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 mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

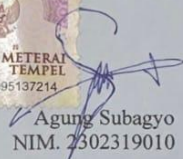
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Agung Subagyo
NIM : 2302319010
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, 12 Juni 2026


Agung Subagyo
NIM. 2302319010



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 SISTEM *AUTO-DOSING CHEMICAL* UNTUK MITIGASI *OFF-SPEC* PH LIMBAH REGENERASI RESIN BERBASIS KEPATUHAN PERMEN LH NOMOR 5 TAHUN 2014

Agung Subagyo¹⁾, Isnanda Nuriskasari¹⁾, Okky William Lukman²⁾

¹⁾ Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl.

Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²⁾ Program Studi Diploma 4 Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin,

Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³⁾ PT. Badak NGL, Bontang Kalimantan Timur, 75324

Email : agung.subagyo.id@gmail.com

ABSTRAK

Limbah regenerasi resin pada unit demineralisasi air menghasilkan kondisi pH ekstrem dan fluktuatif (asam 1-3, basa 11-13) yang berpotensi *off-spec* terhadap baku mutu pH 6,0-9,0 sesuai Permen LH No. 5 Tahun 2014, sementara netralisasi manual selama ini tidak presisi dan boros reagen. Penelitian ini bertujuan menganalisis konsentrasi, volume reagen, dan waktu pengadukan optimum pada variasi pH limbah skala laboratorium, serta menguji akurasi kinerja *prototype auto-dosing chemical*. Penelitian dilaksanakan secara eksperimental kuantitatif dalam dua tahap, pengujian skala laboratorium (100 mL) dan pengujian *prototype neutralizing pit* berbasis ESP32 (50 L). Hasil menunjukkan kebutuhan reagen aktual melebihi stoikiometri teoritis, dengan faktor *excess* NaOH 1 M sebesar 3,21-6,50 kali dan H₂SO₄ 0,1 M sebesar 4,01-7,27 kali, akibat kapasitas *buffer* fosfat, presipitasi Fe(OH)₃, dan TSS tinggi. Hubungan pH awal dan volume reagen dimodelkan melalui regresi eksponensial dengan R² 0,9983 (NaOH) dan 0,9837 (H₂SO₄). *Prototype* berhasil menstabilkan pH seluruh sampel uji ke rentang 6,0-9,0 dengan kepatuhan 100% dan waktu stabilisasi 4-6 menit, sekitar 49% lebih cepat dibanding skala laboratorium (10,95 menit). Akurasi eksekusi *dosing* menunjukkan kesesuaian sempurna terhadap model regresi, sedangkan akurasi capaian pH terhadap target berkisar 93,57-99,00% (rata-rata 95,89%). Hasil ini membuktikan bahwa sistem *auto-dosing* berbasis data empiris efektif memitigasi *off-spec* pH sesuai regulasi yang berlaku.

Kunci : netralisasi, limbah regenerasi resin, *auto-dosing*, demineralisasi, kontrol pH



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 SISTEM *AUTO-DOSING CHEMICAL* UNTUK MITIGASI *OFF-SPEC* PH LIMBAH REGENERASI RESIN BERBASIS KEPATUHAN PERMEN LH NOMOR 5 TAHUN 2014

Agung Subagyo¹⁾, Isnanda Nuriskasari¹⁾, Okky William Lukman²⁾

¹⁾ Program Studi Diploma III Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl.

Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

²⁾ Program Studi Diploma 4 Teknologi Rekayasa Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin,
Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

³⁾ PT. Badak NGL, Bontang Kalimantan Timur, 75324

Email : agung.subagyo.id@gmail.com

ABSTRACT

Resin regeneration wastewater from water demineralization units exhibits extreme, fluctuating pH (acidic 1-3, alkaline 11-13), risking off-spec discharge against the pH 6.0-9.0 standard under Ministerial Regulation No. 5/2014; manual neutralization remains imprecise and reagent-wasteful. This study analyzes the optimum reagent concentration, volume, and mixing time across varying initial pH at laboratory scale, and evaluates a prototype auto-dosing chemical system's accuracy. The research was conducted as a two-stage quantitative experiment laboratory-scale testing (100 mL) and ESP32-based prototype neutralizing-pit testing (50 L). Results show actual reagent demand exceeded theoretical stoichiometry, with excess factors of 3.21-6.50 times for 1 M NaOH and 4.01-7.27 times for 0.1 M H₂SO₄, attributed to phosphate buffer capacity, Fe(OH)₃ precipitation, and high TSS. Initial pH and reagent volume were related via exponential regression, yielding R² values of 0.9983 (NaOH) and 0.9837 (H₂SO₄). The prototype stabilized all tested samples within pH 6.0-9.0 with 100% compliance and a stabilization time of 4-6 minutes, about 49% faster than the laboratory-scale average (10.95 minutes). Dosing execution matched the regression model perfectly, while process accuracy relative to the pH target ranged 93.57-99.00% (average 95.89%). These findings confirm that the empirically based auto-dosing system effectively mitigates pH off-spec conditions in regulatory compliance.

Keywords : neutralization, resin regeneration wastewater, auto-dosing, demineralization, pH control



DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sitematika Penulisan	6
BAB II	8
TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Regulasi dan Standar Kualitas Limbah Cair	8
2.2 Sistem Demineralisasi Air dan Permasalahan Kualitas Air Industri	10
2.3 Proses Demineralisasi dengan Pertukaran Ion	11
2.4 Regenerasi Resin dan Karakteristik Limbah yang Dihasilkan	13
2.5 Teori Netralisasi Asam-Basa dan pH	14
2.6 Perhitungan Volume Reagen Teoritis Berdasarkan Nilai pH	19
2.7 Kapasitas Buffer dan Faktor yang Memengaruhi Konsumsi Reagen	20
2.8 Pengadukan pada Proses Netralisasi	23
2.9 Sistem Pengolahan Limbah dan Kontrol pH	24
2.10 Konsep Sistem <i>Auto-Dosing Chemical</i> Berbasis <i>Feedback</i> pH	25
2.11 Penelitian Terdahulu	26
BAB III	31
METODE PENELITIAN	31
3.1 Diagram Alir	31

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

3.2	Penjelasan Langkah Kerja	33
3.3	Metode Pemecahan Masalah	43
BAB IV PEMBAHASAN		53
4.1	Analisis Kondisi Operasi Optimum Sistem <i>Auto-Dosing</i> Skala Laboratorium pada Berbagai Variasi pH Limbah Regenerasi Resin	53
4.2	Hasil Akurasi Kinerja Sistem <i>Auto-Dosing</i> Skala <i>Prototype</i> dalam Proses Netralisasi Limbah Regenerasi Resin	69
BAB V PENUTUP		74
5.1	Kesimpulan	74
5.2	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA		77
LAMPIRAN		82
Biodata Mahasiswa		85

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Hasil Pemantauan pH Limbah Periode 18-22 Mei 2026	2
Gambar 2. 1 Ilustrasi Kurva Titration H_2SO_4 dengan NaOH (Netralisasi Limbah Asam) [Hasil simulasi Agung Subagyo]	18
Gambar 2. 2 Ilustrasi Kurva Titration NaOH dengan H_2SO_4 (Netralisasi Limbah Basa) [Hasil simulasi Agung Subagyo]	18
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	31
Gambar 3. 2 <i>Neutralizing pit</i> pengambilan sampel	35
Gambar 3. 3 PFD Sistem <i>Auto-Dosing Chemical</i> Netralisasi Limbah	51
Gambar 3. 4 P&ID Sistem <i>Auto-Dosing Chemical</i> Netralisasi Limbah	51
Gambar 3. 5 Rancangan 3D Sistem <i>Auto-Dosing Chemical</i> Netralisasi Limbah ..	52
Gambar 4. 1 Sampel Limbah <i>Neutralizing Pit</i>	53
Gambar 4. 2 Proses Penyaringan Sampel untuk Analisis TSS	55
Gambar 4. 3 Proses Netralisasi Limbah pada Skala Laboratorium	56
Gambar 4. 4 Kurva Regresi Eksponensial Kebutuhan Volume NaOH terhadap pH Awal Limbah Asam	69
Gambar 4. 5 Kurva Regresi Eksponensial Kebutuhan Volume H_2SO_4 terhadap pH Awal Limbah Basa	69

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

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Baku Mutu Air Limbah bagi Usaha dan/atau Kegiatan yang Belum Memiliki Baku Mutu Spesifik[Lampiran XLVII Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 5 Tahun 2014]	9
Tabel 2. 2 Sintesis Penelitian Terdahulu	28
Tabel 3. 1 Ringkasan Metode Analisis Parameter Kualitas Limbah	36
Tabel 4. 1 Hasil Monitoring pH Limbah Lapangan Regenerasi Resin Periode 18-22 Mei 2026.....	54
Tabel 4. 2 Aktivitas Regenerasi Resin Selama Periode Monitoring.....	54
Tabel 4. 3 Karakteristik Parameter Pendukung Limbah Regenerasi Resin	55
Tabel 4. 4Hasil Pengujian Konsentrasi NaOH 6 M pada Limbah Asam	57
Tabel 4. 5Hasil Pengujian Konsentrasi H ₂ SO ₄ 1 M pada Limbah Basa.....	58
Tabel 4. 6Hasil Pengujian Konsentrasi H ₂ SO ₄ 4 M pada Limbah Basa	59
Tabel 4. 7Hasil Pengujian Konsentrasi H ₂ SO ₄ 0,05 M pada Limbah Basa	60
Tabel 4. 8 Hasil Penentuan Kondisi Optimum pada Berbagai Variasi pH Limbah	61
Tabel 4. 9 Estimasi Massa Na ₂ SO ₄ Hasil Netralisasi Berdasarkan Data Tabel 4.8	67
Tabel 4. 10 Hasil Pengujian <i>Prototype</i> Sistem <i>Auto-Dosing Chemical</i>	71



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

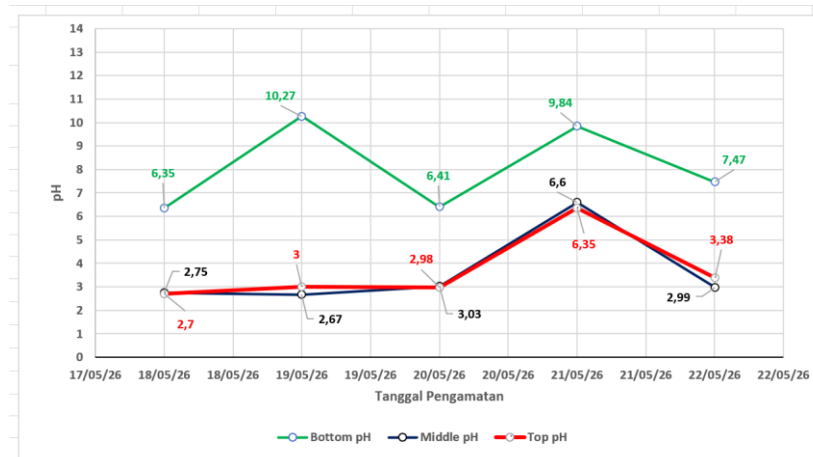
Air merupakan utilitas utama dalam operasional boiler, media pendingin, air proses, hingga kebutuhan sanitasi [1]. Air yang digunakan sebagai umpan boiler khususnya memerlukan tingkat kemurnian tinggi atau bebas dari kandungan mineral terlarut (air demineralized), mengingat kandungan mineral dalam air umpan boiler berpotensi membentuk kerak (*scale*) [2]. Oleh karena itu, air umpan boiler perlu diproses melalui unit demineralisasi dengan cara pertukaran ion (*ion exchange*), di mana resin kation menukar ion positif dengan ion H^+ dan resin anion menukar ion negatif dengan ion OH^- [3][4].

Seiring berjalannya waktu operasi, resin akan mengalami kejenuhan, sehingga perlu diregenerasi untuk mengembalikan kapasitas tukarnya menggunakan larutan asam (H_2SO_4) untuk resin kation dan larutan basa ($NaOH$) untuk resin anion [3][4]. Resin kation (*cation exchanger*) dan resin anion (*anion exchanger*) yang digunakan pada unit demineralisasi PT XYZ sama-sama merupakan produk Rohm & Haas, masing-masing berupa *Strong Acid Cation Resin (SACR)* tipe IR-120 dan *Strong Base Anion Resin (SBAR)* tipe IRA-400. Proses regenerasi ini menghasilkan limbah cair dengan pH yang beragam dari pH 2-11 [5], yang kemudian menuju *neutralizing pit* untuk dinetralkan sebelum dibuang ke lingkungan. Saat ini frekuensi regenerasi cenderung meningkat seiring menurunnya performa resin akibat usia pakai, sehingga resin lebih cepat jenuh dan regenerasi berlangsung lebih sering serta lebih lama. Kondisi ini membuat fluktuasi pH dan volume limbah semakin tinggi, sehingga karakteristik limbah menjadi dinamis dan sulit diprediksi tanpa pemantauan kontinu.



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



Gambar 1. 1 Hasil Pemantauan pH Limbah Periode 18-22 Mei 2026

Berdasarkan data pemantauan pH di dalam Neutralizing Pit 36Q-1 di PT XYZ selama periode 18-22 Mei 2026 (Gambar 1.1), nilai pH rata-rata bottom 8,07, middle 3,61, dan top 3,68. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi ini bukan anomali sesaat melainkan permasalahan yang berulang mengikuti siklus operasional harian regenerasi resin, sementara Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2014 mewajibkan limbah cair industri dikondisikan pada rentang pH 6,0-9,0[6][7], sehingga tahapan netralisasi pada limbah hasil regenerasi penting sebelum dilakukan pembuangan ke lingkungan [8][9].

Pada implementasinya di industri, proses netralisasi sering kali masih dioperasikan secara manual melalui pengaturan valve aliran asam atau basa [8]. Metode ini menyebabkan fluktuasi pH dan potensi kesalahan dalam penentuan dosis bahan kimia. Ketiadaan mekanisme kontrol yang presisi juga memicu pemborosan konsumsi reagen H_2SO_4 dan $NaOH$. Studi pada sistem pengolahan limbah laboratorium dengan netralisasi manual menunjukkan bahwa biaya pemeliharaan komponen akibat korosi asam selama kurun waktu 2 tahun mencapai Rp126.050.000. Nilai tersebut membengkak dua kali lipat dari target biaya pemeliharaan maksimal untuk periode yang sama, yaitu sebesar Rp63.025.000 [8]. Dengan demikian, kondisi *off-spec* yang terjadi terus-menerus berisiko memicu sanksi administratif akibat pelanggaran baku mutu sekaligus mempercepat depresiasi aset IPAL akibat korosi. Integrasi sistem *auto-dosing chemical* berbasis kontrol otomatis adalah solusi teknis untuk mengatasi kendala tersebut. Namun, perancangan sistem kontrol ini tidak sekadar mengacu pada



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

linearitas reaksi asam-basa kuat. Limbah regenerasi aktual memiliki kapasitas penyangga (*buffer*) [10].

Kondisi kompleks tersebut mendasari perlunya dilakukan pengujian pada skala laboratorium sebelum diimplementasikan pada skala industri. Melalui hal tersebut, penelitian ini diarahkan untuk merancang sistem netralisasi otomatis skala laboratorium dengan menganalisis pengaruh variasi pH limbah terhadap konsentrasi reagen, volume reagen, dan durasi pengadukan. Selain itu, dilakukan pula komparasi antara perhitungan teoritis dengan hasil pengujian aktual serta pengukuran akurasi prototipe *neutralizing pit* dalam memenuhi standar regulasi. Penelitian ini disusun dengan judul "Rancang Sistem *Auto-Dosing Chemical* untuk Mitigasi *Off-Spec* pH Limbah Regenerasi Resin Berbasis Kepatuhan Permen LH Nomor 5 Tahun 2014".

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi operasi optimum pada berbagai variasi pH limbah regenerasi resin skala laboratorium sehingga menghasilkan efluen yang memenuhi baku mutu lingkungan?
2. Bagaimana tingkat akurasi kinerja sistem *auto-dosing* skala *prototype* berdasarkan kondisi operasi optimum pengadukan yang telah ditentukan, sehingga menghasilkan efluen yang memenuhi baku mutu lingkungan?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan pada tugas akhir ini dibagi menjadi tujuan umum dan tujuan khusus sebagai berikut :

1.3.1 Tujuan Umum

1. Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Pengolahan Gas, Politeknik Negeri Jakarta.
2. Menerapkan ilmu pengetahuan di bidang pengolahan air limbah, sistem kontrol proses, dan otomasi industri melalui perancangan sistem *auto-dosing chemical*.



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

3. Memberikan alternatif solusi teknis untuk mitigasi kondisi *off-spec* pH pada limbah regenerasi resin yang efektif, efisien, dan sesuai dengan regulasi lingkungan yang berlaku.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Menganalisis kondisi operasi optimum pada berbagai variasi pH limbah regenerasi resin skala laboratorium untuk menghasilkan efluen yang memenuhi baku mutu lingkungan.
2. Menguji akurasi kinerja *prototype* sistem *auto-dosing* dalam proses netralisasi limbah regenerasi resin berdasarkan kondisi operasi optimum untuk Mitigasi *Off-Spec* pH Limbah Regenerasi Resin Berbasis Kepatuhan Permen LH Nomor 5 Tahun 2014.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1.4.1 Bagi Penulis

1. Memenuhi salah satu syarat penyusunan Tugas Akhir untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Pengolahan Gas, Politeknik Negeri Jakarta.
2. Menambah wawasan, pengalaman, dan keterampilan dalam merancang serta menganalisis sistem pengolahan limbah berbasis otomasi dan kontrol proses industri.
3. Mengimplementasikan ilmu pengetahuan yang telah diperoleh selama perkuliahan, khususnya di bidang pengolahan limbah, netralisasi asam-basa, stoikiometri reaksi, dan sistem kontrol proses, melalui penerapan secara langsung pada kondisi industri.

1.4.2 Bagi LNG Academy dan Politeknik Negeri Jakarta

1. Menjadi referensi akademis mengenai penerapan sistem *auto-dosing chemical* dan kontrol pH otomatis dalam pengolahan limbah regenerasi resin di lingkungan industri.



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. Memberikan kontribusi pengetahuan yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengembangan kurikulum, modul pembelajaran, serta referensi penelitian di bidang teknik kimia, sistem kontrol proses, dan pengolahan air limbah.
3. Mendukung peningkatan reputasi Politeknik Negeri Jakarta dalam pengembangan penelitian terapan di bidang pengolahan limbah industri yang berkelanjutan dan berbasis teknologi modern.

1.4.3 Bagi PT. Badak NGL dan Dunia Industri

1. Menyediakan referensi teknis dalam penentuan dosis H_2SO_4 dan $NaOH$ melalui perbandingan kebutuhan reagen teoritis dan aktual pada proses netralisasi limbah regenerasi resin.
2. Meningkatkan efisiensi pengolahan limbah melalui penerapan sistem *auto-dosing* yang mampu mengatur dosis reagen dan waktu pengadukan secara otomatis sesuai kebutuhan proses.
3. Mendukung pemenuhan baku mutu lingkungan dengan menjaga kestabilan pH efluen serta mengurangi potensi terjadinya limbah *off-spec*.
4. Menyediakan referensi pengembangan sistem netralisasi otomatis berbasis prototype *neutralizing pit* yang dapat diterapkan dan dikembangkan pada skala industri.

1.5 Batasan Masalah

Untuk menjaga agar penelitian ini terarah dan tidak melebar dari tujuan utama, maka perlu ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Parameter limbah yang dianalisis dibatasi pada pH sebagai parameter utama, serta TSS, kadar besi (Fe), fosfat, dan silika sebagai parameter pendukung yang memengaruhi kebutuhan reagen netralisasi. Parameter pencemar lain seperti COD, BOD, minyak dan lemak, atau logam berat selain Fe tidak menjadi cakupan penelitian ini.
2. Penelitian ini tidak menguji secara terpisah (terisolasi) korelasi kuantitatif antara masing-masing parameter pendukung (kapasitas *buffer* fosfat, presipitasi $Fe(OH)_3$, dan TSS) terhadap akurasi *dosing* reagen. Kontribusi ketiga faktor tersebut dianalisis secara kualitatif berdasarkan kajian



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

literatur dan hanya tercermin secara agregat melalui nilai faktor *excess* reagen, tanpa dilakukan pengujian eksperimental yang memvariasikan konsentrasi fosfat, Fe, atau TSS secara independen untuk mengukur kontribusi spesifik masing-masing parameter terhadap penyimpangan dosis.

3. Reagen netralisasi dibatasi pada H_2SO_4 dan $NaOH$, sesuai dengan reagen kimia yang telah digunakan pada proses regenerasi resin kation dan anion di lapangan. Reagen alternatif lain (seperti kapur/ $Ca(OH)_2$ atau soda abu/ Na_2CO_3) tidak diuji secara eksperimental dalam penelitian ini.
4. Penelitian dilaksanakan pada skala laboratorium (volume sampel 100 mL) dan skala *prototype* (volume tangki 50 L). Validasi pada skala industri (Neutralizing Pit 36Q-1 berkapasitas $\pm 255 m^3$) tidak menjadi bagian dari penelitian ini, mengingat *prototype* yang dibangun merupakan langkah awal yang masih memerlukan penyesuaian lebih lanjut sebelum diterapkan pada skala penuh.
5. Pengujian dilakukan pada kondisi *batch* (volume tetap tanpa aliran masuk dan keluar secara bersamaan), kondisi operasi dengan debit aliran kontinu tidak diuji dalam penelitian ini.
6. Penelitian ini tidak mencakup pengujian ketahanan dan reliabilitas jangka panjang komponen *prototype* (seperti potensi korosi pompa sirkulasi, umur pakai *check valve*, atau pergeseran kalibrasi sensor pH akibat paparan TSS tinggi secara terus-menerus), karena durasi pengujian yang dilakukan bersifat jangka pendek per percobaan.
7. Penanganan lumpur/endapan (seperti presipitasi $Fe(OH)_3$) yang terbentuk selama proses netralisasi tidak menjadi bagian dari cakupan penelitian ini.
8. Variabel lingkungan seperti suhu operasi tidak dikendalikan maupun dianalisis pengaruhnya terhadap kinerja sistem, seluruh pengujian diasumsikan berlangsung pada kondisi suhu ruang.

1.6 Sitematika Penulisan

Sistematika penulisan pada laporan tugas akhir ini membantu menjadikan laporan lebih fokus dan memperjelas pemahaman terhadap materi yang dijadikan pokok dan sesuai dengan “PANDUAN TUGAS AKHIR/SKRIPSI JURUSAN



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

TEKNIK MESIN 2020”. Sistematika penulisan terdiri dari Bab I Pendahuluan, Bab II Tinjauan Pustaka, Bab III Metode Penelitian, Bab IV Hasil Penelitian dan Pembahasan, dan Bab V Kesimpulan dan Saran.”

1. BAB I PENDAHULUAN

Menguraikan latar belakang permasalahan *off-spec* pH limbah regenerasi resin di *Neutralizing Pit* 36Q-1 PT XYZ, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Membahas teori yang mendukung penelitian, meliputi proses demineralisasi dan regenerasi resin, karakteristik limbah regenerasi resin, teori netralisasi asam-basa, perhitungan kebutuhan reagen, proses pengadukan, sistem *auto-dosing chemical*, serta regulasi baku mutu air limbah.

3. BAB III METODOLOGI

Menjelaskan metode penelitian yang meliputi pengujian skala laboratorium untuk menentukan kondisi operasi optimum, perancangan dan pembangunan *prototype* sistem *auto-dosing chemical*, prosedur pengujian, teknik analisis data, serta validasi kinerja *prototype*.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan hasil penentuan kondisi operasi optimum berupa konsentrasi reagen, kebutuhan volume reagen, dan waktu pengadukan pada berbagai variasi pH limbah regenerasi resin, serta hasil pengujian akurasi kinerja *prototype* sistem *auto-dosing chemical* dalam menghasilkan efluen yang memenuhi baku mutu lingkungan.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Memuat kesimpulan yang menjawab rumusan masalah berdasarkan hasil penentuan kondisi operasi optimum dan evaluasi akurasi *prototype* sistem *auto-dosing chemical*, serta saran untuk pengembangan dan penerapan pada skala industri

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 V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan pada BAB IV, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Kondisi operasi optimum untuk netralisasi limbah regenerasi resin skala laboratorium diperoleh menggunakan NaOH 1 M dan H₂SO₄ 0,1 M, dengan menggunakan *magnetic stirrer* kecepatan pengadukan 800 rpm dan rata-rata waktu stabilisasi 10,95 menit. Kebutuhan reagen aktual melebihi stoikiometri teoritis dengan faktor excess 3,21-6,50 kali (NaOH) dan 4,01-7,27 kali (H₂SO₄), akibat kapasitas buffer fosfat, presipitasi Fe(OH)₃, dan TSS tinggi. Parameter optimum ini terbukti mampu menetralkan seluruh sampel uji ke rentang baku mutu pH 6,0-9,0.
2. *Prototype* sistem *auto-dosing* yang diprogram menggunakan parameter hasil Tahap 1 berhasil menstabilkan pH kelima sampel limbah uji (pH awal 2,82; 3,66; 4,23; 9,89; dan 10,45) ke dalam rentang baku mutu 6,0-9,0, dengan tingkat kepatuhan 100% dan waktu stabilisasi 4-6 menit lebih cepat dibandingkan waktu stabilisasi rata-rata skala laboratorium (10,95 menit) maupun batas waktu retensi minimum yang direkomendasikan literatur (10-20 menit). Kinerja *prototype* dievaluasi melalui dua jenis akurasi. Pertama akurasi eksekusi *dosing*, yaitu kesesuaian volume reagen yang benar-benar diinjeksikan sistem terhadap volume hasil perhitungan model regresi Tahap 1, yang menunjukkan kesesuaian sempurna karena kontroler mengeksekusi nilai persamaan secara langsung. Kedua akurasi capaian proses, yaitu kedekatan pH akhir aktual terhadap pH target (7), yang berkisar 93,57%-99,00% dengan rata-rata 95,89%. Deviasi pada akurasi capaian proses ini disebabkan oleh dinamika reaksi netralisasi aktual (kapasitas *buffer* fosfat, presipitasi Fe(OH)₃, dan heterogenitas TSS) yang tidak sepenuhnya tercermin dalam model regresi statis. Hasil ini membuktikan bahwa meskipun eksekusi dosis oleh sistem *auto-dosing* berjalan presisi sesuai model, capaian pH terhadap target tetap menyisakan



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

deviasi kecil yang wajar, namun seluruhnya tetap berada dalam rentang baku mutu yang dipersyaratkan.

5.2 Saran

Berdasarkan keterbatasan penelitian yang telah dijabarkan pada Sub-bab 1.5 dan Sub-bab 3.3.6, disarankan beberapa hal berikut untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Kapasitas pompa *dosing chemical* pada pengembangan sistem selanjutnya sebaiknya disesuaikan dengan rentang volume reagen, mengingat kebutuhan volume injeksi bervariasi secara signifikan mengikuti hubungan eksponensial terhadap pH. Kebutuhan reagen meningkat puluhan kali lipat pada kondisi pH yang lebih ekstrem. Pemilihan pompa berkapasitas kecil berisiko menyebabkan waktu injeksi menjadi terlalu lama pada kondisi pH ekstrem, sedangkan pompa berkapasitas besar berisiko menimbulkan *overdosing* pada kondisi pH mendekati netral. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya perlu mempertimbangkan penggunaan pompa dengan *rangeability* tinggi atau konfigurasi multi-pompa agar akurasi dosis tetap terjaga di seluruh rentang pH operasional.
2. Perbedaan mekanisme pencampuran antara skala laboratorium (*magnetic stirrer* 800 rpm) dan prototipe (pompa sirkulasi 34 L/menit), yang selama ini hanya dijumpai secara fungsional melalui pendekatan bilangan Reynolds (314.000), perlu divalidasi lebih lanjut, misalnya melalui pengamatan pola aliran aktual untuk memastikan tidak terdapat *dead zone* yang signifikan di dalam tangki prototipe.
3. Kontribusi kapasitas *buffer* fosfat, presipitasi $\text{Fe}(\text{OH})_3$, dan TSS terhadap kebutuhan reagen pada penelitian ini baru dianalisis secara kualitatif dan tercermin secara agregat melalui nilai faktor *excess*, tanpa pengujian yang memvariasikan konsentrasi masing-masing parameter secara terisolasi. Penelitian lanjutan disarankan menguji kontribusi kuantitatif spesifik masing-masing faktor, sekaligus memperluas cakupan parameter pencemar lain seperti COD, BOD, minyak dan lemak, serta logam berat selain Fe, agar karakterisasi limbah regenerasi resin lebih komprehensif.



© 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. Reliabilitas dan ketahanan jangka panjang komponen prototipe (potensi korosi pompa sirkulasi, umur pakai *check valve*, serta pergeseran kalibrasi sensor pH akibat paparan *TSS* tinggi secara terus-menerus) belum diuji dalam penelitian ini, sehingga perlu dilakukan pengujian jangka panjang pada penelitian berikutnya.
5. Penanganan lumpur/endapan $\text{Fe}(\text{OH})_3$ yang terbentuk selama proses netralisasi belum menjadi bagian dari cakupan penelitian ini dan perlu dikaji lebih lanjut sebagai bagian dari perancangan sistem pengolahan limbah yang utuh.





DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Klistafani And R. Aarsal, "Rancang Bangun Sistem Pengolahan Air Umpan Boiler Untuk Pengembangan Praktikum Sistem Pembangkit Ii," Vol. 19, No. 1, Pp. 136–145, 2021.
- [2] Y. I. Klyukin, B. Mayer, And B. Tutolo, "Effect Of Boiler Feed Water Composition On Inorganic Scaling In Once-Through Steam Generators Estimated Using A Monte Carlo Modelling Approach," *Appl. Geochemistry*, Vol. 148, No. August 2022, P. 105510, 2023, Doi: 10.1016/J.Apgeochem.2022.105510.
- [3] E. H. Sutopo, P. Studi, T. Mesin, U. Pamulang, And T. Selatan, "Proses Demineralisasi Air Tanah Menjadi Air Tds 0 Ppm Menggunakan Metode Resin Penukar Ion Tunggal (Single Ionic Resin Exchange Method)," Vol. 1, No. 1, Pp. 44–50, 2019.
- [4] N. Nuryoto, R. Hartono, And R. Rahmayetty, "Pengolahan Air Menggunakan Proses Demineralisasi Dengan Memanfaatkan Resin Penukar Ion: Studi Pengaruh Laju Alir Dan Tinggi Resin," *J. Ilmu Lingkungan*, Vol. 22, No. 2, Pp. 393–400, 2024, Doi: 10.14710/Jil.22.2.393-400.
- [5] D. Sharma, A. V. Karre, K. T. Valsaraj, And S. Sharma, "Intensification Of A Neutralization Process For Waste Generated From Ion Exchange Regeneration For Expansion Of A Chemical Manufacturing Facility," *Processes*, Vol. 9, No. 8, 2021, Doi: 10.3390/Pr9081285.
- [6] Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, "Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 2014 Tentang Baku Mutu Air Limbah," Pp. 1–83, 2014, [Online]. Available: <https://jdih.maritim.go.id/en/peraturan-menteri-negara-lingkungan-hidup-no-5-tahun-2014>
- [7] Pemerintah Republik Indonesia, "Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup," No. 085459, P. Lembaran Negara Ri Tahun 2021 No. 32, Tambahan No., 2021.
- [8] R. Ardianto, G. Sihombing, And M. J. A. Lubis, "Perancangan Alat Penetrulan Keasaman Limbah Cair Otomatis Untuk Meningkatkan Efisiensi Pemeliharaan Pengolahan Limbah Laboratorium," *Imtechno J. ...*, Vol. 2, No. 2, Pp. 75–82, 2021, [Online]. Available: <http://103.75.24.116/Index.Php/Imtechno/Article/View/397>
- [9] R. Tutuka, R. A. Zulkipli, A. Iman, And R. I. Arvianto, "Effect Of Neutralizing Chemical Injection On Reject Water Ph In Petrochemical Rwt Facilities," Vol. 9, No. 2, Pp. 20–26, 2025.
- [10] M. M. Benjamin, *Water Chemistry*.
- [11] H. Pagoray, "Limbah Cair Industri Tahu Dan Dampaknya Terhadap Kualitas Air Dan Biota Perairan," Vol. 9, No. 1, Pp. 53–65, 2021.

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

- [12] Widiyanto, “Polusi Air Tanah Akibat Limbah Industri Dan Limbah Rumah Tangga,” Vol. 10, No. 2, Pp. 246–254, 2015.
- [13] L. Anaerob, D. Senyawa, I. Pendahuluan, And M. Grady, “Degradasi Bahan Organik Limbah Cair Industri Permen Dengan Variasi Waktu Tinggal,” Pp. 1–6.
- [14] M. D. A. N. Lingkungan, “Analisis Dan Prediksi Beban Pencemaran Limbah Cair Industri Kayulapis Pt. Jati Dharma Indah, Serta Dampaknya Terhadap Kualitas Perairan Laut,” Vol. 15, No. 2, Pp. 70–78, 2008.
- [15] M. A. Arif, “Manajemen Pengolahan Air Limbah Industri Di Kawasan Industri Medan,” Vol. 4, Pp. 468–477, 2021.
- [16] S. I. Mueller *Et Al.*, “Evaluation Of Various Pretreatments Of Surface Water For Ion Exchange Demineralization In Industrial Applications,” *J. Water Process Eng.*, Vol. 71, P. 107224, 2025, Doi: 10.1016/J.Jwpe.2025.107224.
- [17] I. Nuhardin, M. Septiani, R. Rivaldiansyah, S. Tinggi, And T. Industri, “Evaluasi Performance Regenerasi Mixed Bed Polisher Pada Unit Demineralisasi,” *Mecha J. Tek. Mesin*, Vol. 3, No. 2, Pp. 38–45, 2021, Doi: 10.35439/Mecha.V3i2.20.
- [18] A. Sharma *Et Al.*, *Cutting Edge Technology For Wastewater Treatment Using Smart Nanomaterials: Recent Trends And Futuristic Advancements*, Vol. 31, No. 48. Springer Berlin Heidelberg, 2024. Doi: 10.1007/S11356-024-34977-1.
- [19] M.-H. S. Wang And L. K. Wang, “Cooling Tower And Boiler Water Treatment Technologies,” *Ind. Water Waste Treat.*, Vol. 2022, No. 3, Pp. 349–375, 2025, Doi: 10.1201/9781003628170-14.
- [20] N. K. Khanzada *Et Al.*, “Removal Of Organic Micropollutants Using Advanced Membrane-Based Water And Wastewater Treatment: A Review,” *J. Memb. Sci.*, Vol. 598, No. November 2019, P. 117672, 2020, Doi: 10.1016/J.Memsci.2019.117672.
- [21] S. Simulator, L. Alir, And W. Induksi, “Pembentukan Kerak Caco₃ Pada Alat Simulator Pembentuk Kerak Dengan Konsentrasi Ca²⁺ 3000 Ppm Pada Laju Alir 30 Mlmenit Dan 40 Mlmenit,” Vol. 17, No. 1, Pp. 30–37, 2017.
- [22] R. Visca And B. Anggono, “Performansi Resin Penukar Ion Pada Sistem Mixed Bed Demineralisasi Di Industri Farmasi,” Vol. 6, No. 8, Pp. 3789–3797, 2025.
- [23] J. O. Odigure, A. S. Abdulkareem, And E. T. Asuquo, “Effect Of Water Quality On The Performance Of Boiler In Nigerian Petroleum Industry,” *Leonardo Electron. J. Pract. Technol.*, No. 7, Pp. 41–48, 2005.
- [24] S. Sharifian And N. L. Wang, “Resin-Based Approaches For Selective Extraction And Purification Of Rare Earth Elements: A Comprehensive Review,” *J. Environ. Chem. Eng.*, Vol. 12, No. 2, P. 112402, 2024, Doi: 10.1016/J.Jece.2024.112402.



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

- [25] X. Foster, W. A. Tarpeh, H. Dong, And C. Vaneeckhaute, “Enhancing The Regeneration Efficiency Of A Hybrid Anion Exchange Resin For Removal Of Phosphorus From Wastewater With A Lower Environmental Impact,” *J. Water Process Eng.*, Vol. 69, No. December 2024, 2025, Doi: 10.1016/J.Jwpe.2024.106851.
- [26] M. D. Víctor-Ortega, J. M. Ochando-Pulido, And A. Martínez-Ferez, “Impacts Of Main Parameters On The Regeneration Process Efficiency Of Several Ion Exchange Resins After Final Purification Of Olive Mill Effluent,” Vol. 173, Pp. 1–8, 2017, Doi: 10.1016/J.Seppur.2016.08.037.
- [27] T. Kameda And T. Yoshioka, “Treatment Of Sulfur And Nitrogen Oxides With Mg–Al Oxide Obtained By The Thermal Decomposition Of Mg–Al Layered Double Hydroxide,” No. X, 2015.
- [28] P. H. Suharti And K. Sa’diyah, “Aplikasi Tuning Metode Cohen-Coon Pada Pengendali Ph Di Tangki Netralisasi, Unit Pengolahan Limbah,” *Eksergi*, Vol. 16, No. 2, P. 35, 2019, Doi: 10.31315/E.V16i2.2993.
- [29] L. Snoeyink And D. Jenkins, “Jenkins - Water Chemistry.Pdf.”
- [30] Z. Hitit And I. Kocer, “Optimal Pid Control With Anti-Windup In Neutralization Process,” Vol. 07, No. 03, Pp. 138–145, 2023, Doi: 10.35860/Iarej.1256107.
- [31] I. Nurhayati, “Pengolahan Limbah Cair Laboratorium Dengan Adsorpsi Serta Pretreatment Netralisasi Dan Koagulasi,” Vol. 10, No. 2, Pp. 125–138, 2018.
- [32] N. S. Slamet, “Studi Pengolahan Air Limbah Laboratorium Kimia Melalui Metode Netralisasi , Multi Soil Layering Dan Ultrafiltrasi,” Vol. 21, No. 01, Pp. 54–62, 2026.
- [33] A. N. Aprivianti, M. S. Perdani, And A. R. Aeni, “Pengolahan Limbah Pickling Pt . X Dengan Metode Netralisasi Koh Dan Filtrasi Granular Untuk Menurunkan Kadar Fe^{2+} ,” Vol. 18, No. 1, Pp. 119–129, 2026.
- [34] H. Sudiana, “Analisis Perbandingan Pemberian Konsentrasi Tawas Terhadap Penurunan Konsentrasi Total Suspended Solid (Tss) Pada Proses Pengolahan Air Limbah Di Ipal Rsud 45 Kuningan,” Vol. 4, No. 6, Pp. 49–62, 2019.
- [35] W. Gusena, “Rancang Bangun Pengendalian Ph Pada Inline Flash Mixing Menggunakan Metode Neural Network Controller,” Vol. 2, No. 2, Pp. 177–181, 2013.
- [36] R. Nursani, F. Teknik, And U. Prabumulih, “Efektivitas Penggunaan Kapur Tohor Dalam Menetralisasi Air Asam Tambang Di Pt Bumi Merapi Energi,” Vol. 4, 2025.
- [37] Q. Ayun, “Pengaruh Ph Buffer Phosphate Terhadap Kestabilan Senyawa Antosianin Pada Ekstrak Kulit Buah Naga Merah (*Hylocereus Costaricensis*),” Vol. 4, No. 2, Pp. 44–49, 2022.
- [38] H. Effendi, “Telaah Kualitas Air Bagi Pengelolaan Sumber Daya Dan Lingkungan.Pdf.”



© 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

- [39] I. T. Fitri, G. Samudro, And S. Sumiyati, “Studi Penurunan Parameter Tss Dan Turbidity Dalam Air Limbah Domestik Artifisial Menggunakan Kombinasi Vertical Roughing,” Pp. 1–7, 1996.
- [40] G. Tchobanoglous *Et Al.*, *Wastewater Engineering: Treatment And Resource Recovery*.
- [41] D. Fitria, M. Fadila, A. Mustain, And B. F. Dandel, “Pengaruh Kecepatan Pengadukan Terhadap penyisihan Parameter Nilai Tss Dan turbidity Pada Proses Pengolahan Limbah Cair Industri Krimer,” Vol. 10, No. 9, Pp. 734–742, 2024.
- [42] D. Ashari And E. Anshari, “Presipitasi Besi Dari Larutan Hasil Pelindian Bijih Nikel Laterit,” Vol. 18, No. 3, Pp. 167–175, 2022, Doi: 10.30556/Jtmb.Vol18.No3.2022.1176.
- [43] A. Rahayu, M. Maryudi, F. F. Hanum, J. A. Fajri, W. D. Anggraini, And U. Khasanah, “Review : Pengolahan Limbah Cair Industri Dengan Menggunakan Silika A Review : Industrial Liquid Waste Treatment Using Silica,” Vol. 02, No. 01, Pp. 1–12, 2022.
- [44] L. Davis, *Water And Wastewater Engineering : Design Principles And Practice*.
- [45] B. Medi And A. Asadbeigi, “Heliyon Application Of A Ga-Optimized Nnarx Controller To Nonlinear Chemical And Biochemical Processes,” *Heliyon*, Vol. 7, No. 8, P. E07846, 2021, Doi: 10.1016/J.Heliyon.2021.E07846.
- [46] J. Pradipta And A. Engineering, “Model Reference Adaptive Control For Ph Neutralization In Batik Wastewater Treatment Kontrol Adaptif Referensi Model Untuk Netralisasi Ph Dalam Pengolahan Air Limbah Batik,” Vol. 18, No. 1, Pp. 39–57, 2026.
- [47] M. S. V. Ardiansyah And D. Andesta, “Evaluasi Kegagalan Proses Waste Water Treatment Dengan Menggunakan Metode Failure Mode And Effect Analysis (Fmea) Dan Root Cause Analysis (Rca) Di Industri Pupuk,” Vol. 5, No. 2, Pp. 1092–1099, 2026.
- [48] D. A. Puspanto, M. S. Zuhrie, F. Baskoro, I. G. Putu, And A. Buditjahyanto, “Simulasi Automation System Chemical Injection Untuk Efisiensi Pengolahan Limbah Batubara Berbasis Tia Portal V17,” Vol. 10, No. 492, Pp. 211–226, 2024.
- [49] E. Nuraini And I. Saukani, “Light Drop Resistor (Ldr) As Ph Sensor For Wastewater Treatment,” Vol. 14, No. 1, Pp. 18–21, 2022.
- [50] I. Ben Abdelwahed And K. Bouzrara, “Control Of Ph Neutralization Process Using Nmpc Based On Discrete Time Narx-Laguerre Model,” Vol. 189, No. August 2023, 2024.
- [51] R. Nordio *Et Al.*, “Influence Of Ph And Dissolved Oxygen Control Strategies On The Performance Of Pilot-Scale Microalgae Raceways Using Fertilizer Or Wastewater As The Nutrient Source,” *J. Environ. Manage.*, Vol. 345, No. August, 2023, Doi: 10.1016/J.Jenvman.2023.118899.



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

- [52] H. Ding, M. Tang, Q. Huang, P. Yang, Z. Liu, And X. Bi, “Soft Sensor Enabled Real-Time Chemical Dosing Control Systems For Wastewater Treatment: From Hybrid Model To Full-Scale Application,” *J. Water Process Eng.*, Vol. 63, No. January, P. 105431, 2024, Doi: 10.1016/J.Jwpe.2024.105431.
- [53] Y. Yu *Et Al.*, “Insights Into The Crucial Role Of Ph To Achieve The Dual Goals Of Efficient Fluoride Removal And Resource Recovery From The Photovoltaic Manufacturing Wastewater,” *Chem. Eng. J.*, Vol. 498, No. June, P. 155391, 2024, Doi: 10.1016/J.Cej.2024.155391.
- [54] Y. Xu, X. Zeng, S. Bernard, And Z. He, “Data-Driven Prediction Of Neutralizer Ph And Valve Position Towards Precise Control Of Chemical Dosage In A Wastewater Treatment Plant,” *J. Clean. Prod.*, Vol. 348, P. 131360, 2022, Doi: 10.1016/J.Jclepro.2022.131360.
- [55] J. Wu *Et Al.*, “An Innovative Ph Control Strategy For Alleviating Membrane Fouling In Bipolar Membrane Electrodialysis During Ultraviolet Stabilizer Production Wastewater Treatment,” *Sep. Purif. Technol.*, Vol. 362, No. P1, P. 131749, 2025, Doi: 10.1016/J.Seppur.2025.131749.
- [56] P. Limbah, C. Laboratorium, A. S. Sinaga, F. F. Gunawan, And N. Wulandari, “Penerapan Metode Gabungan Netralisasi, Koagulasi, Filtrasi Dan Adsorpsi Dalam Pengelolaan Limbah Cair Laboratorium,” Vol. 12, No. 1, Pp. 97–105, 2024.
- [57] D. Ariyanto, “Optimalisasi Produksi Mix Bed Dengan Penambahan Reamanning Di Pltgu Tambak Lorok Semarang,” Pp. 44–47, 2016.
- [58] A. Wahid And F. Abdillah, “Pengendalian Ph Limbah Cair Laboratorium Departemen Teknik Kimia Ui Menggunakan Pengendali Pid Linear Pada Mini Plant Wa921,” Pp. 85–91.
- [59] A. Tss *Et Al.*, “Analisis Tss, Bod, Cod, Dan Minyak Lemak Limbah Cair Pada Industri Susu,” Vol. 9, No. 9, Pp. 266–278, 2023.
- [60] O. D. Pratiwi And R. Munarto, “Perancangan Model Simulasi Sistem Kontrol Ph Pada Pengolahan Limbah Di Reject Treatment Plant Pt . Krakatau Steel Dengan Metode Fuzzy Logic,” Vol. 2, No. 1, 2013.
- [61] “Isa. (1979, R1993). Ansi/Isa-S51.1-1979 (R1993): Process Instrumentation Terminology. Instrument Society Of America.,” 2002.

LAMPIRAN

Lampiran 1

Kebutuhan Injeksi NaOH pada Prototipe Skala 50 L

Ph Awal	Kebutuhan Injeksi NaOH	
1,5	10997,44	[mL]
2	3071,49	[mL]
2,5	857,84	[mL]
3	239,59	[mL]
3,5	66,91	[mL]
4	18,69	[mL]
4,5	5,22	[mL]
5	1,46	[mL]
5,5	0,41	[mL]
6	0,11	[mL]
6,5	0,03	[mL]
7	0,01	[mL]

Lampiran 2

Kebutuhan Injeksi H₂SO₄ pada Prototipe Skala 50 L

Ph Awal	Kebutuhan Injeksi H ₂ SO ₄	
9	56,62902798	[mL]
9,5	129,2659249	[mL]
10	295,0726849	[mL]
10,5	673,5563876	[mL]
11	1537,513401	[mL]

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

11,5	3509,650418	[mL]
12	8011,407285	[mL]
12,5	18287,47568	[mL]
13	41744,44701	[mL]
13,5	95289,19607	[mL]
14	217514,7005	[mL]

Lampiran 3

Tahapan Pembuatan *Prototype Neutralizing Pit*





© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran 4

Prototype Neutralizing Pit



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



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Biodata Mahasiswa



Nama	: Agung Subagyo
Tempat, Tanggal Lahir	: Ponorogo, 11 Februari 2004
NIM	: 2302319010
Jurusan	: Teknik Mesin
Program Studi	: D3 Teknik Mesin
Konsentrasi	: Teknik Pengolahan Gas
Alamat	: PC 6C No. 15B, Kompleks PT Badak NGL, Bontang
E-mail	: agung.subagyo.id@gmail.com

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