



© 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



**SOLUSI BANGUN
INDONESIA**

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA – PT SOLUSI BANGUN INDONESIA

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE PENANGKAP CO₂
BERBASIS Ca(OH)₂ UNTUK PRODUKSI CaCO₃
SEBAGAI ADITIF BETON**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Oleh:

KEVIN RAFAELINO BUDIYANTO

NIM. 2302315019

PROGRAM EVE

KERJASAMA PNJ – EVE PT SOLUSI BANGUN INDONESIA

JURUSAN TEKNIK MESIN, PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN

KONSENTRASI REKAYASA INDUSTRI

CILACAP, 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



**SOLUSI BANGUN
INDONESIA**

POLITEKNIK NEGERI JAKARTA – PT SOLUSI BANGUN INDONESIA

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE PENANGKAP CO₂
BERBASIS Ca(OH)₂ UNTUK PRODUKSI CaCO₃
SEBAGAI ADITIF BETON**

LAPORAN TUGAS AKHIR

Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan
Diploma III Program Studi Rekayasa Industri Semen, Jurusan Teknik Mesin

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

Oleh :

KEVIN RAFAELINO BUDIYANTO

NIM. 2302315019

PROGRAM EVE

**KERJASAMA PNJ – EVE PT SOLUSI BANGUN INDONESIA
JURUSAN TEKNIK MESIN, PROGRAM STUDI D3 TEKNIK MESIN**

KONSENTRASI REKAYASA INDUSTRI

CILACAP, 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

**HALAMAN PERSETUJUAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE PENANGKAP CO₂
BERBASIS Ca(OH)₂ UNTUK PRODUKSI CaCO₃ SEBAGAI
ADITIF BETON**

Oleh :

Kevin Rafaelino Budiyanto

NIM. 2302315019

Program Studi Diploma III Teknik Mesin Konsentrasi Rekayasa Industri Semen

Laporan Tugas Akhir telah Disetujui oleh pembimbing

Pembimbing 1

Dr. Gun Gun Ramdhan Gunadi, M.T.

NIP. 197111142006041001

Pembimbing 2

Noviandri Dian Nugroho

NIK. 62201117

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

**HALAMAN PENGESAHAN
LAPORAN TUGAS AKHIR**

**RANCANG BANGUN PROTOTIPE PENANGKAP CO₂
BERBASIS Ca(OH)₂ UNTUK PRODUKSI CaCO₃ SEBAGAI
ADITIF BETON**

Oleh :

Kevin Rafaelino Budiyanto
NIM. 2302315019

Program Studi Diploma III Teknik Mesin Konsentrasi Rekayasa Industri Semen

Telah berhasil dipertahankan dalam sidang Tugas Akhir dihadapan Dewan
Penguji pada tanggal 18 Juni 2026 dan diterima sebagai persyaratan untuk
memperoleh gelar Diploma III pada Program Studi Diploma III Teknik Mesin
Konsentrasi Rekayasa Industri Semen, Jurusan Teknik Mesin.

DEWAN PENGUJI

No	Nama	Posisi	Tanda Tangan	Tanggal
1	Dr. Gun Gun Ramdhan Gunadi, M.T. NIP. 197111142006041001	Penguji 1		18 Juni 2026
2	Cecep Slamet Abadi, S.T., M.T. NIP. 196605191990031002	Penguji 2		18 Juni 2026
3	Rinto Kurniawan NIK. 62500749	Penguji 3		18 Juni 2026

Cilacap, 18 Juni 2026

Disahkan Oleh:

Ketua Jurusan Teknik Mesin
Dr. Fuad Zainuri, S.T., M.Si
NIP. 197602252000121002

Manager Program EVE
Gammalia Permata Devi
NIK. 62501176



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 BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Kevin Rafaelino Budiyanto

NIM : 2302315019

Program Studi : Konsentrasi Rekayasa Industri

menyatakan bahwa yang dituliskan didalam Laporan Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri bukan hasil jiplakan (plagiasi) karya orang lain baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat, gagasan, atau temuan orang lain yang terdapat didalam Laporan Tugas Akhir telah saya rujuk sesuai dengan etika ilmiah.

Demikian Pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Cilacap, 18 Juni 2026



Kevin Rafaelino Budiyanto
NIM. 2302315019



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 PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai civitas akademika Diploma III Program EVE kerjasama Politeknik Negeri Jakarta – PT Solusi Bangun Indonesia Tbk, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Kevin Rafaelino Budiyo
NIM : 2302315019
Jurusan : Teknik Mesin
Program Studi : Konsentrasi Rekayasa Industri
Jenis Karya : Tugas Akhir

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada EVE, Program Kerjasama Politeknik Negeri Jakarta – PT Solusi Bangun Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalti-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

” RANCANG BANGUN PROTOTIPE PENANGKAP CO₂ BERBASIS Ca(OH)₂ UNTUK PRODUKSI CaCO₃ SEBAGAI ADITIF BETON”

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif, EVE, Program Kerjasama Politeknik Negeri Jakarta – PT Solusi Bangun Indonesia Tbk berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Cilacap, 18 Juni 2026
Yang menyatakan

Kevin Rafaelino Budiyo
NIM. 2302315019



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 PROTOTIPE PENANGKAP CO₂ BERBASIS Ca(OH)₂ UNTUK PRODUKSI CaCO₃ SEBAGAI ADITIF BETON

Kevin Rafaelino Budiyanto¹, Gun gun Ramdhan Gunadi², Noviandri Dian Nugroho³

¹Teknik Mesin, Rekayasa Industri, Politeknik Negeri Jakarta, kevinrafael.eve19@gmail.com

²Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, gungun.rg@mesin.pnj.ac.id

³Environment Officer, PT Solusi Bangun Indonesia, Noviandri.diann@sig.id

ABSTRAK

Industri semen merupakan salah satu sektor industri yang menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) dalam jumlah besar sehingga diperlukan upaya untuk mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun prototipe penangkap CO₂ berbasis kalsium hidroksida (Ca(OH)₂), menganalisis efektivitas penangkapan CO₂ pada variasi laju alir gas, serta mengkaji potensi pemanfaatan produk karbonasi yang dihasilkan. Prototipe dirancang menggunakan reaktor *bubble column* berbahan akrilik dengan kapasitas operasi 20 liter *slurry* Ca(OH)₂, sedangkan gas CO₂ diinjeksikan melalui *diffuser* pada bagian dasar reaktor selama 30 menit dengan variasi laju alir 3 L/min, 5 L/min, dan 7 L/min. Konsentrasi CO₂ pada aliran masuk dan keluar diukur menggunakan *gas analyzer* Testo 350 untuk menentukan efektivitas penangkapan CO₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototipe berhasil menangkap sebagian CO₂ dan menghasilkan endapan putih berupa kalsium karbonat (CaCO₃). Efektivitas penangkapan CO₂ pada laju alir 3 L/min, 5 L/min, dan 7 L/min berturut-turut sebesar 16,10%, 22,47%, dan 20,92%, dengan kondisi optimum pada laju alir 5 L/min. Produk karbonasi yang dihasilkan juga memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai bahan tambahan pada material berbasis semen sehingga mendukung konsep *Carbon Capture and Utilization* (CCU).

Kata Kunci: CO₂, karbonasi, Ca(OH)₂, CaCO₃, *bubble column reactor*, CCU.



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

DESIGN AND CONSTRUCTION OF A $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -BASED CO_2 CAPTURE PROTOTYPE FOR CaCO_3 PRODUCTION AS A CONCRETE ADDITIVE

Kevin Rafaelino Budiyanto¹, Gun gun Ramdhan Gunadi², Noviandri Dian Nugroho³

¹Mechanical Engineering, Industry Engineering, Politeknik Negeri Jakarta,

kevinrafael.eve19@gmail.com

²Mechanical Engineering, Politeknik Negeri Jakarta, gungun.rg@mesin.pnj.ac.id

³Environment Officer, PT Solusi Bangun Indonesia, Noviandri.diann@sig.id

ABSTRACT

The cement industry is one of the industrial sectors that generates significant carbon dioxide (CO_2) emissions, creating a need for technologies that can reduce its environmental impact. This study aimed to design and construct a CO_2 capture prototype based on calcium hydroxide ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), evaluate its CO_2 capture effectiveness under different gas flow rates, and assess the potential utilization of the carbonation product produced. The prototype was designed using an acrylic bubble column reactor with an operating capacity of 20 liters of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ slurry. CO_2 gas was injected through a diffuser located at the bottom of the reactor for 30 minutes at flow rates of 3 L/min, 5 L/min, and 7 L/min. The inlet and outlet CO_2 concentrations were measured using a Testo 350 gas analyzer to determine the CO_2 capture effectiveness. The results showed that the prototype was able to capture a portion of the injected CO_2 and produce a white precipitate identified as calcium carbonate (CaCO_3). The CO_2 capture effectiveness obtained at flow rates of 3 L/min, 5 L/min, and 7 L/min was 16.10%, 22.47%, and 20.92%, respectively, with the optimum performance achieved at 5 L/min. The carbonation product generated also demonstrates potential for use as an additive in cement-based materials, thereby supporting the concept of Carbon Capture and Utilization (CCU).

Keywords: CO_2 , carbonation, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, CaCO_3 , bubble column reactor, CCU.



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 syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“Rancang Bangun Prototipe Penangkap CO₂ Berbasis Ca(OH)₂ untuk Produksi CaCO₃ sebagai Aditif Beton”**. Tugas Akhir ini disusun memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan studi Dipoma III (Amd) Program Studi Konsentrasi Rekayasa Industri, Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta.

Penulisan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bantuan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Fuad Zainuri, S. T., M. Si, selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin.
2. Bapak Dr. Gun Gun Ramdhan Gunadi, M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
3. Ibu Nabila Yudisha, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Diploma Teknik Mesin yang telah memberikan bantuan dalam mengarahkan dalam pelaksanaan tugas akhir ini.
4. Bapak Noviandri Dian Nugroho selaku pembimbing lapangan yang memberikan waktu dan arahan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
5. Ibu Gammalia Permana Devi dan EVE *team* yang memfasilitasi dari awal mula perkuliahan hingga penyelesaian laporan Tugas Akhir ini.
6. Kepada ibu penulis, “Lindri Widi Astuti”, terima kasih atas setiap doa yang tidak pernah terlewat, atas dukungan yang selalu hadir bahkan di saat penulis sendiri meragukan langkahnya, dan atas kasih sayang yang tidak pernah berkurang sedikit pun. Terima kasih karena selalu percaya pada anakmu ini, bahkan ketika dunia terasa tidak pasti. Kepercayaan itu menjadi alasan bagi penulis untuk terus berdiri dan melangkah.



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

7. Kepada ayah penulis, “Soegijanto”, terima kasih atas kasih sayang yang mungkin tidak selalu terucap, namun selalu terasa dalam setiap bentuk perhatian dan pengorbanan. Terima kasih atas dukungan, baik secara moral maupun materi, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Terima kasih juga atas kepercayaan yang diberikan—kepercayaan yang menjadi tanggung jawab bagi penulis untuk tidak menyerah di tengah perjalanan.
8. Kepada saudara penulis, “Natasya Aurel Putri Sugiyanto”, terima kasih atas doa, dukungan, dan kasih sayang yang terus mengalir. Kehadiranmu menjadi pengingat bahwa penulis tidak pernah benar-benar sendiri. Dalam setiap tawa sederhana dan kebersamaan yang mungkin terlihat biasa, selalu ada sukacita yang menguatkan langkah penulis hingga sampai di titik ini.
9. Kepada teman-teman penulis, terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan yang penuh warna ini. Dari hari-hari penuh tekanan hingga momen tawa yang tidak terlupakan, kalian memberi cerita, pelajaran, dan kenangan yang akan selalu penulis bawa ke langkah berikutnya.
10. Terakhir, untuk diri sendiri. Terima kasih untuk tetap bertahan di setiap titik lelah dan tidak menyerah meskipun keadaan tidak selalu berpihak. Ini bukan akhir, melainkan sebuah awal. Tetaplah berpengharapan, karena masa depan sungguh ada. “Segala perkara dapat kutanggung di dalam Dia yang memberi kekuatan kepadaku.” (Filipi 4:13)

Penulis berharap semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi semua pihak.

Cilacap, 18 Juni 2026
Yang menyatakan

Kevin Rafaelino Budiyanto
NIM. 2302315019



Hak Cipta :

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

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
LEMBAR PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS.....	vi
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xviii
RINGKASAN	xix
BAB I	20
PENDAHULUAN	20
1.1 Latar Belakang	20
1.2 Rumusan Masalah.....	22
1.3 Batasan Masalah	22
1.4 Tujuan	23
1.4.1 Tujuan Utama.....	23
1.4.2 Tujuan Khusus	23
1.5 Manfaat	23
1.6 Sistematika Penulisan	23
1.7 Lokasi Tugas Akhir.....	24
BAB II.....	26



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

TINJAUAN PUSTAKA	26
2.1 Industri semen dan sumber emisi CO ₂	26
2.2 Teknologi Penangkapan Karbon (<i>Carbon Capture</i>).....	29
2.2.1 <i>Post-Combustion Capture</i>	30
2.2.2 <i>Pre-Combustion Capture</i>	31
2.2.3 <i>Oxy-Fuel Combustion Capture</i>	31
2.2.4 Posisi Teknologi <i>Carbon Capture</i> dalam Penelitian Ini	32
2.3 Teori Dasar Reaksi Ca(OH) ₂ – CO ₂	32
2.3.1 Karakteristik Kimia Ca(OH) ₂	33
2.3.2 Mekanisme Reaksi Penyerapan CO ₂	33
2.3.3 Faktor yang Mempengaruhi Laju dan Efektivitas Reaksi..	34
2.3.4 Reaksi Ca(OH) ₂ – CO ₂ dalam Konsep CCU.....	35
2.3.5 Relevansi Teori Reaksi terhadap Penelitian Ini	35
2.4 CaCO ₃ sebagai Produk CCU dan Potensi Pemanfaatannya.....	35
2.5 Reaktor Absorpsi	37
2.5.1 Karakteristik Material Akrilik.....	38
2.6 Penelitian Terdahulu	40
2.6.1 Penyerapan CO ₂ dengan Ca(OH) ₂ sebagai Absorben.....	40
2.6.2 Aplikasi Sistem Absorpsi pada Skala Laboratorium	40
2.6.3 Produksi CaCO ₃ sebagai Produk CCU	41
2.6.4 Posisi dan Kebaruan Penelitian.....	41
2.7 Perhitungan Dasar Perancangan dan Analisis Prototipe.....	42
2.7.1 Volume Tabung Silinder.....	42
2.7.2 Perhitungan Volume Gas Berdasarkan Debit dan Waktu..	42
2.7.3 Perhitungan Jumlah Mol Gas.....	43



Hak Cipta :

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

2.7.4 Perhitungan Massa Berdasarkan Jumlah Mol.....	43
2.7.5 Tekanan Hidrostatik.....	44
2.7.6 Waktu Tinggal Gas (<i>Gas Residence Time</i>).....	44
2.7.7 Neraca Massa Sistem	45
2.8 Dasar Teori Pengukuran Efektivitas Penyerapan CO ₂	47
2.8.1 Definisi Efektivitas Penyerapan CO ₂	47
2.8.2 Parameter yang Mempengaruhi Penyerapan CO ₂	48
2.8.3 Metode Pengukuran Konsentrasi CO ₂	48
2.8.4 Indikator Keberhasilan Penyerapan CO ₂	49
2.8.5 Batasan Pengukuran.....	49
BAB III	50
METODOLOGI Pengerjaan Tugas Akhir	50
3.1 Diagram Alir Pengerjaan	50
3.2 Penjelasan Langkah Kerja.....	50
3.2.1 Observasi dan Pengumpulan Data Awal.....	50
3.2.2 Studi Literatur	50
3.2.3 Perancangan Prototipe	51
3.2.4 Analisis Kebutuhan Alat dan Bahan	51
3.2.5 Fabrikasi dan Perakitan Prototipe	51
3.2.6 Pengujian Prototipe.....	51
3.2.7 Pengambilan dan Analisis Data	52
3.2.8 Penyusunan Laporan.....	53
3.3 Metode Pemecahan Masalah.....	53
BAB IV	55
PEMBAHASAN	55



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

4.1 Perancangan Prototipe Penangkap CO ₂ Berbasis Ca(OH) ₂	55
4.1.1 Konsep Dasar Prototipe Penangkap CO ₂	55
4.1.2 Perancangan Dimensi Reaktor dan Tinggi Cairan Operasional	57
4.1.3 Perhitungan Kebutuhan CO ₂	59
4.1.4 Perhitungan Kebutuhan Ca(OH) ₂	61
4.1.5 Perhitungan Waktu Tinggal Gas dalam Cairan	62
4.1.6 Analisis Tekanan Sistem	65
4.1.7 Pemilihan Material dan Komponen Prototipe	66
4.2 Analisis Efektivitas Prototipe dalam Menangkap CO ₂	67
4.2.1 Tahapan Proses Eksperimen	67
4.2.2 Hasil Pengamatan Selama Proses Karbonasi	68
4.2.3 Pengaruh Variasi Laju Alir CO ₂ terhadap Proses Karbonasi	71
4.2.4 Analisis Neraca Massa Sistem	73
4.2.5 Analisis Pembentukan Endapan Karbonasi	75
4.2.6 Analisis Kinerja Prototipe	76
4.2.7 Analisis Sumber Kesalahan Eksperimen	77
4.3 Potensi Implementasi Prototipe sebagai Model <i>Carbon Capture and Utilization</i> (CCU)	78
4.3.1 Potensi Penerapan pada Industri Semen	78
4.3.2 Potensi Pemanfaatan Produk Karbonasi sebagai Aditif Beton	79
4.3.3 Pengembangan Prototipe pada Skala yang Lebih Besar	80
BAB V	81
KESIMPULAN DAN SARAN	81



Hak Cipta :

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

5.1 Kesimpulan	81
5.2 Saran	81
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN	86





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 1.1 Data Emisi CO ₂ PT Solusi Bangun Indonesia plant Cilacap	20
Tabel 1.2 Data Flue Gas Selain CO ₂ PT SBI Cilacap dalam Rata-rata 1 jam	21
Tabel 2.1 Karakteristik Akrilik	39
Tabel 4.1 Kebutuhan CO ₂ Tiap Eksperimen	60
Tabel 4.2.5 Estimasi Diameter Gelembung CO ₂ Berdasarkan Pengamatan Visual	69
Tabel 4.3 Ringkasan Hasil Pengujian	72
Tabel 4.4 Neraca Massa Sistem	75



Hak Cipta :

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

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Carbon Dioxide Emissions from the Manufacture of Cement Worldwide.....	20
Gambar 2.12Proses Skematik Produksi Semen	27
Gambar 2.2 Klasifikasi Teknologi Carbon Capture.....	30
Gambar 2.34Skema Reaktor Penyerap CO ₂ Berbasis Ca(OH) ₂ pada Aliran Biogas.....	38
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan.....	50
Gambar 4.1 Skema Konsep Prototipe Penangkap CO ₂	57
Gambar 4.2 Desain Reaktor	59
Gambar 4.3 Pembentukan Gelembung Gas CO ₂ di dalam Reaktor.....	69
Gambar 4.4 Endapan Hasil Karbonasi	70
Gambar 4.5 Pengukuran Konsentrasi CO ₂ dengan Testo 350	71
Gambar 4.6 Grafik Efektivitas Penangkapan CO ₂	73

**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 LAMPIRAN

- LAMPIRAN 1 Data Emisi CO₂ PT Solusi Bangun Indonesia *plant* Cilacap
- LAMPIRAN 2 Data CEMS PT Solusi Bangun Indonesia *plant* Cilacap
- LAMPIRAN 3 *Diffuser*
- LAMPIRAN 4 Ca(OH)₂
- LAMPIRAN 5 Timbangan
- LAMPIRAN 6 Regulator CO₂
- LAMPIRAN 7 Prototipe
- LAMPIRAN 8 Hasil ukur pH *slurry* dengan pH *paper*
- LAMPIRAN 9 *Gas Analyzer* Testo 350

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Hak Cipta :

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

RINGKASAN

Penelitian ini mengusulkan perancangan dan pengujian prototipe penangkap CO₂ berbasis reaksi Ca(OH)₂-CO₂ untuk menghasilkan CaCO₃ yang berpotensi dimanfaatkan sebagai aditif beton. Tujuan jangka panjang dari penelitian ini adalah mengembangkan konsep teknologi penangkapan karbon skala kecil yang sederhana, ekonomis, dan dapat diadaptasikan pada industri manufaktur, khususnya industri semen.

Target khusus yang ingin dicapai meliputi:

1. Merancang dan membangun prototipe penangkap CO₂ skala laboratorium menggunakan Ca(OH)₂;
2. Menguji efektivitas penangkapan CO₂ melalui parameter jumlah CO₂ masuk-keluar, pH *slurry*, dan waktu kontak; serta
3. Menghasilkan CaCO₃ dari reaksi yang terjadi dan menjelaskan potensi pemanfaatannya sebagai aditif beton berdasarkan literatur ilmiah terbaru.

Metode yang digunakan mencakup studi literatur, perancangan dan konstruksi prototipe, persiapan *slurry* Ca(OH)₂, pengukuran kinerja penangkapan CO₂ menggunakan gas simulasi, serta evaluasi hasil berdasarkan data eksperimen dan rujukan pendukung. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan dasar konseptual bagi penerapan metode serupa dalam skala yang lebih besar dan mendukung upaya reduksi emisi di sektor industri.

Kata Kunci: CO₂, karbonasi, Ca(OH)₂, CaCO₃, *bubble column reactor*, CCU.

Hak Cipta :

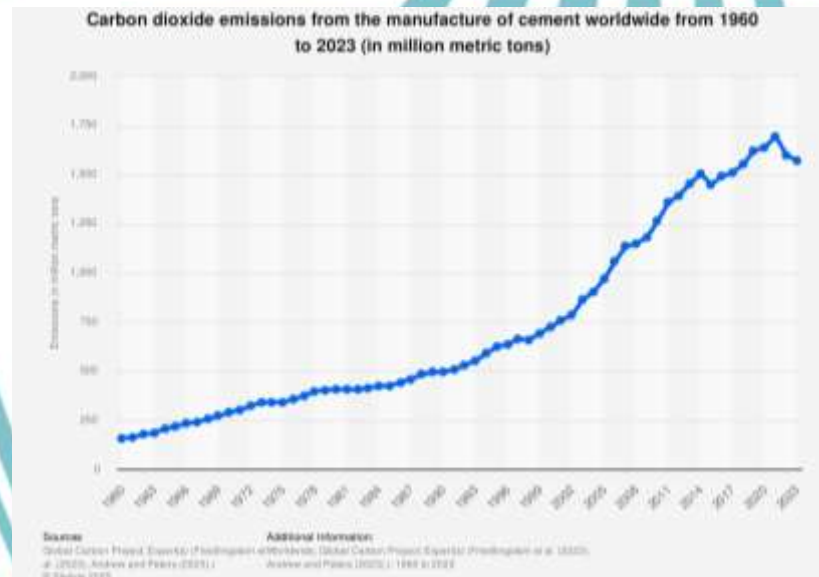
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Industri semen merupakan salah satu penyumbang emisi CO₂ terbesar secara global, dengan kontribusi mencapai 7% dari total emisi [1][2]. Emisi CO₂ pada industri ini terutama berasal dari proses kalsinasi batu kapur serta pembakaran bahan bakar pada *kiln* [3].



Gambar 1.1 Carbon Dioxide Emissions from the Manufacture of Cement Worldwide

Sumber: Statista

Kondisi ini juga terlihat pada PT Solusi Bangun Indonesia *plant* Cilacap, yang berdasarkan data operasional tahunan menghasilkan emisi CO₂ sebesar 1.615.732 ton di tahun 2025[4].

Tabel 1.1 Data Emisi CO₂ PT Solusi Bangun Indonesia plant Cilacap

Net CO ₂ Emissions = gross CO ₂ minus alternative fossil fuels CO ₂ , excluding CO ₂ from on-site power generation			YTD
71	Absolute net CO ₂	(t CO ₂ /yr)	1,615,732

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

Besarnya angka tersebut menunjukkan urgensi pengembangan teknologi mitigasi emisi yang dapat diterapkan pada berbagai skala, termasuk skala prototipe untuk kepentingan riset. Salah satu pendekatan yang relevan adalah teknologi penangkapan CO₂ (*carbon capture*) menggunakan larutan Ca(OH)₂. Teknologi tersebut dipilih karena sederhana, aman, dan menghasilkan produk CaCO₃ yang memiliki nilai tambah. Produk CaCO₃ ini menurut berbagai literatur dapat dimanfaatkan sebagai aditif beton, berfungsi sebagai *filler*, pengontrol mikrostruktural, dan akselerator hidrasi [5][6][7].

Tabel 1.2 Data Flue Gas Selain CO₂ PT SBI Cilacap dalam Rata-rata 1 jam

Data Flue Gas Selain CO ₂	Jumlah (mg/Nm ³)
SO ₂	12,9
NO _x	325,9
CO	1.091
HCL	3,97
HF	0,002
Partikulat	236,4

Meskipun demikian, *flue gas* dari proses produksi semen tidak dapat digunakan secara langsung dalam penelitian ini. Data pemantauan gas buang menunjukkan bahwa aliran *flue gas* mengandung berbagai kontaminan seperti SO₂, NO_x, CO, HCl, HF, dan partikulat. Kehadiran kontaminan tersebut berpotensi mengganggu reaksi utama antara Ca(OH)₂ dan CO₂, khususnya karena senyawa seperti SO₂ bereaksi lebih cepat dan mengonsumsi Ca(OH)₂ sebelum CO₂ terserap. Oleh sebab itu, penelitian ini tidak menggunakan *flue gas* langsung dari pabrik, melainkan menggunakan



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

CO₂ simulasi yang memungkinkan pengujian lebih terkontrol dan fokus pada mekanisme penyerapan CO₂ tanpa interferensi gas pengotor.

Dengan dasar tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan membangun prototipe penangkap CO₂ berbasis Ca(OH)₂, menguji efektivitas penyerapan CO₂, serta menghasilkan CaCO₃ yang kemudian dibandingkan dengan literatur terkait pemanfaatannya sebagai aditif beton.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, perumusan masalah dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan membangun prototipe penangkap CO₂ berbasis Ca(OH)₂ sehingga mampu menghasilkan CaCO₃ melalui proses karbonasi?
2. Seberapa efektif prototipe tersebut dalam mengurangi jumlah CO₂ pada aliran gas simulasi yang diinjeksikan ke dalam reaktor?
3. Seberapa besar potensi pemanfaatan teknologi ini sebagai model *Carbon Capture and Utilization* (CCU) sederhana yang relevan bagi industri semen, khususnya melalui konversi CO₂ menjadi CaCO₃?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini ditetapkan agar penelitian tetap terfokus pada rancang bangun dan evaluasi efektivitas proses penangkapan CO₂. Batasan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Penelitian dilakukan pada skala prototipe, tidak pada skala industri.
2. Penelitian menggunakan gas CO₂ simulasi dari tabung dan tidak menggunakan *flue gas* asli dari PT Solusi Bangun Indonesia *plant* Cilacap.
3. Produk hasil karbonasi berupa CaCO₃ tidak diuji secara mekanik atau mikrostruktur. Evaluasi pemanfaatannya dilakukan melalui kajian literatur, sebagai bagian dari analisis potensi teknologi ini sebagai model *Carbon Capture and Utilization* (CCU) sederhana.



Hak Cipta :

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

1.4 Tujuan

1.4.1 Tujuan Utama

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Diploma III Jurusan Teknik Mesin Program Studi Rekaya Industri Semen Politeknik Negeri Jakarta.

1.4.2 Tujuan Khusus

1. Merancang dan membangun prototipe penangkap CO₂ berbasis Ca(OH)₂ sehingga mampu menghasilkan CaCO₃ melalui proses karbonasi.
2. Mengukur efektivitas prototipe tersebut dalam mengurangi jumlah CO₂ pada aliran gas simulasi yang diinjeksikan ke dalam reaktor.
3. Menyusun evaluasi teknis awal terkait kelayakan teknologi ini sebagai sistem CCU sederhana yang relevan bagi industri semen, khususnya melalui konversi CO₂ menjadi CaCO₃

1.5 Manfaat

1. Menyediakan model prototipe penangkapan CO₂ yang sederhana dan dapat digunakan untuk pendidikan maupun penelitian lanjutan.
2. Memberikan pemahaman awal mengenai potensi pemanfaatan CaCO₃ bagi industri beton.
3. Memberikan alternatif metode penangkapan CO₂ yang murah dan mudah dioperasikan.
4. Menjadi dasar teknis bagi pengembangan desain reaktor penangkap CO₂ pada skala yang lebih besar.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Membahas latar belakang, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, sistematika penulisan, serta lokasi penelitian.



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 II TINJAUAN PUSTAKA

Memaparkan rangkuman kritis atau pustaka yang menunjang penyusunan/penelitian, meliputi pembahasan tentang topik yang akan dikaji lebih lanjut dalam penelitian.

BAB III METODOLOGI Pengerjaan Tugas Akhir

Menguraikan tentang metodologi, yaitu metode yang digunakan untuk menyelesaikan masalah / penelitian, meliputi prosedur, teknik analisis data atau teknis rancang bangun.

BAB IV PEMBAHASAN

Berisi pembahasan terkait dengan tujuan dari laporan tugas akhir. Pembahasan akan dibagi dalam beberapa sub bab yang masing-masing akan menjelaskan bagian-bagian tertentu dari tujuan penulisan laporan tugas akhir. Banyaknya sub bab dalam pembahasan mengikuti jumlah tujuan yang telah dinyatakan dalam Bab I.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyimpulkan hasil dari pembahasan yang telah dilakukan pada setiap sub bab dalam laporan tugas akhir, yang menjadi jawaban atas tujuan yang telah ditetapkan di Bab I. Selain itu, bab ini juga memberikan saran berupa penyelesaian masalah atau perbaikan kondisi yang dihasilkan dari kajian yang telah dilakukan dalam laporan tugas akhir.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

1.7 Lokasi Tugas Akhir

Seluruh kegiatan penelitian, mulai dari perakitan prototipe hingga pengujian penyerapan CO₂, dilakukan di *EVE Workshop*. Data karakteristik



© 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

gas buang industri semen digunakan sebagai referensi dan diperoleh dari PT Solusi Bangun Indonesia *plant* Cilacap, namun kegiatan pengujian tidak dilakukan di area pabrik.





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

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian, dan pembahasan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Prototipe penangkap CO₂ berbasis Ca(OH)₂ berhasil dirancang dan dibangun menggunakan reaktor *bubble column* vertikal berbahan akrilik dengan sistem injeksi gas melalui *diffuser* pada bagian dasar reaktor.
2. Prototipe mampu melakukan proses penangkapan CO₂ melalui reaksi karbonasi antara CO₂ dan *slurry* Ca(OH)₂ yang ditandai dengan penurunan konsentrasi CO₂ pada gas keluaran, penurunan pH *slurry*, serta terbentuknya endapan putih hasil karbonasi berupa CaCO₃.
3. Variasi laju alir CO₂ mempengaruhi kinerja penangkapan. Pada pengujian laju alir 3 L/min, 5 L/min, dan 7 L/min, diperoleh efektivitas penangkapan masing-masing sebesar 16,10%, 22,47%, dan 20,92%. Kondisi optimum pada penelitian ini terjadi pada laju alir 5 L/min.
4. Produk karbonasi yang dihasilkan menunjukkan potensi pemanfaatan sebagai bahan tambahan pada material berbasis semen, sehingga penelitian ini mendukung konsep *Carbon Capture and Utilization* (CCU) pada skala laboratorium.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh, saran untuk pengembangan selanjutnya 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 mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Perlu dilakukan optimasi desain *diffuser* dan sistem kontak gas–cair agar perpindahan massa CO₂ ke dalam *slurry* menjadi lebih efektif.
2. Perlu dilakukan pengujian dengan variasi parameter operasi yang lebih luas, seperti laju alir gas, volume *slurry*, dan tinggi cairan operasional, untuk memperoleh kondisi kerja yang lebih optimal.
3. Produk karbonasi hasil pengujian perlu dianalisis lebih lanjut, misalnya melalui uji kemurnian, ukuran partikel, atau karakterisasi mikrostruktur, agar potensi pemanfaatannya sebagai aditif beton dapat diketahui dengan lebih jelas.
4. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan gas buang yang lebih mendekati kondisi nyata industri semen setelah dilakukan pra-perlakuan yang sesuai, sehingga hasil pengujian lebih representatif terhadap aplikasi lapangan.
5. Perlu dilakukan pengulangan pengujian yang lebih banyak agar hasil data lebih kuat secara statistik dan dapat digunakan sebagai dasar pengembangan prototipe pada skala yang lebih besar.

**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 PUSTAKA

- [1] I. - International Energy Agency, "Technology Roadmap - Low-Carbon Transition in the Cement Industry." [Online]. Available: www.wbcsdcement.org.
- [2] M. B. Ali, R. Saidur, and M. S. Hossain, "A review on emission analysis in cement industries," Jun. 2011. doi: 10.1016/j.rser.2011.02.014.
- [3] E. Worrell, L. Price, N. Martin, C. Hendriks, and L. O. Meida, "CARBON DIOXIDE EMISSIONS FROM THE GLOBAL CEMENT INDUSTRY *," 2001. [Online]. Available: www.annualreviews.org
- [4] PT Solusi Bangun Indonesia Tbk, "Data Pemantauan Emisi Gas Buang Pabrik Cilacap," Cilacap, 2025.
- [5] B. Lothenbach, K. Scrivener, and R. D. Hooton, "Supplementary cementitious materials," Dec. 2011. doi: 10.1016/j.cemconres.2010.12.001.
- [6] D. Wang, C. Shi, N. Farzadnia, Z. Shi, H. Jia, and Z. Ou, "A Review on Use of Limestone Powder in Cement-Based Materials: Mechanism, Hydration and Microstructures," 2018.
- [7] Y. J. Kim, R. van Leeuwen, B. Y. Cho, V. Sriraman, and A. Torres, "Evaluation of the efficiency of limestone powder in concrete and the effects on the environment," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, no. 2, Feb. 2018, doi: 10.3390/su10020550.
- [8] A. Bosoaga, O. Masek, and J. E. Oakey, "CO₂ Capture Technologies for Cement Industry," in *Energy Procedia*, Feb. 2009, pp. 133–140. doi: 10.1016/j.egypro.2009.01.020.



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

- [9] “Laporan Pelaksanaan RKL dan RPL PT. Solusi Bangun Indonesia Tbk. Pabrik Cilacap Triwulan II tahun 2025 (April-Juni 2025) Rehabilitasi mangrove di lokasi wisata Makutatirta Kutawaru,” 2025.
- [10] A. Dubey and A. Arora, “Advancements in Carbon Capture Technologies: A review,” 2022.
- [11] S. J. Han, M. Yoo, D. W. Kim, and J. H. Wee, “Carbon dioxide capture using calcium hydroxide aqueous solution as the absorbent,” *Energy and Fuels*, vol. 25, no. 8, pp. 3825–3834, Aug. 2011, doi: 10.1021/ef200415p.
- [12] Q. Wehrung *et al.*, “Impact of Operational Parameters on the CO₂ Absorption Rate in Ca(OH)₂ Aqueous Carbonation—Implications for Process Efficiency,” *Energy and Fuels*, vol. 38, no. 17, pp. 16678–16691, Sep. 2024, doi: 10.1021/acs.energyfuels.4c02455.
- [13] R.-Y. Chan and Y.-Z. Zeng, “Experimental study of carbon dioxide capture and mineral carbonation using sodium hydroxide solution,” *Journal of Ecological Engineering*, 2025.
- [14] A. P. Masyhuri *et al.*, “Rancang Bangun Sistem Penyerap Karbon dioksida (CO₂) Pada Aliran Biogas Dengan Menggunakan Larutan Ca(OH)₂,” 2013.
- [15] E. Purba, C. N. Yogia, and P. D. R. Sari, “Biogas Purification by CO₂ Reduction in Bubble Column Using Ca(OH)₂ and NaOH,” 2021.
- [16] T. Z. Harmathy, “Velocity of large drops and bubbles in media of infinite or restricted extent,” *AIChE Journal*, vol. 6, no. 2, pp. 281–288, Jun. 1960, doi: 10.1002/aic.690060222.
- [17] F. Zhang *et al.*, “Experimental study and numerical simulation of aqueous mineral carbonation of Ca(OH)₂ in a bubble column,” *Chem. Eng. Sci.*, vol. 301, p. 120695, Jan. 2025, doi: 10.1016/J.CES.2024.120695.



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

- [18] W. G. Cochran, *Sampling Techniques*, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1977.
- [19] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2019.
- [20] S. Madhania, K. Kusdianto, and S. Machmudah, "Biogas quality upgrading by carbon mineralization with calcium hydroxide solution in continuous bubble column reactor," *AIP Conf. Proc.*, 2020.



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

LAMPIRAN 1 Data Emisi CO₂ PT Solusi Bangun Indonesia *plant* Cilacap

Generat Plant Information			YTD
PERFORMANCE INDICATORS			
Absolute Direct CO ₂ Emissions			YTD
59	Absolute gross CO ₂ including CO ₂ from on-site power generation	[t CO ₂ /yr]	1,651,854
Gross CO ₂ Emissions (=direct fossil CO ₂ excluding CO ₂ from on-site power generation)			YTD
59c	Absolute gross CO ₂	[t CO ₂ /yr]	1,651,854
59a	calcination component	[t CO ₂ /yr]	1,059,170
59b	fuel component	[t CO ₂ /yr]	592,684
Net CO ₂ Emissions (= gross CO ₂ minus alternative fossil fuels CO ₂ excluding CO ₂ from on-site power generation)			YTD
71	Absolute net CO ₂	[t CO ₂ /yr]	1,615,732

LAMPIRAN 2 Data CEMS PT Solusi Bangun Indonesia *plant* Cilacap



LAMPIRAN 3 Diffuser



LAMPIRAN 4 Ca(OH)₂

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



LAMPIRAN 5 Timbangan



LAMPIRAN 6 Regulator CO₂



LAMPIRAN 7 Prototipe

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 8 Hasil ukur pH *slurry* dengan pH *paper*



LAMPIRAN 9 Gas Analyzer Testo 350



© 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

