



© 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



**ANALISIS PERBANDINGAN EFEKTIVITAS ALAT PURIFIKASI UDARA
KONVENSIONAL BERBASIS KARBON AKTIF DAN FOTOKATALISIS
OKSIDASI UNTUK PENGGUNAAN DI RUANG MEROKOK**

TESIS

**POLITEKNIK
NEGERI
KRISNA CHANDRA WIJAYA
2309521004
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN REKAYASA TEKNOLOGI
MANUFAKTUR**

PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA

DEPOK

JULI 2025



© 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



**ANALISIS PERBANDINGAN EFEKTIVITAS ALAT PURIFIKASI UDARA
KONVENSIONAL BERBASIS KARBON AKTIF DAN FOTOKATALISIS
OKSIDASI UNTUK PENGGUNAAN DI RUANG MEROKOK**

TESIS

Diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
mencapai derajat Magister Terapan dalam Rekayasa Teknologi dan Sistem
Manufaktur

KRISNA CHANDRA WIJAYA
2309521004

**PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN REKAYASA TEKNOLOGI
MANUFAKTUR
PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DEPOK
JULI 2025**



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 PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis ini saya susun tanpa tindakan plagiarisme sesuai dengan peraturan yang berlaku di Politeknik Negeri Jakarta.

Jika di kemudian hari ternyata saya melakukan tindakan plagiarisme, saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diajukan oleh Politeknik Negeri Jakarta kepada saya.

Depok, 15 Juli 2025


**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

KRISNA CHANDRA WIJAYA
2309521004



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 PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa
tesis yang saya susun ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Krisna Chandra Wijaya
NIM : 2309521004
Tanda Tangan : 
Tanggal : 15 Juli 2025

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

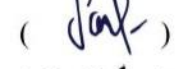
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan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

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini yang diajukan oleh:

Nama : Krisna Chandra Wijaya
NIM : 2309521004
Program : Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur
Studi : Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta
Judul : “Analisis Perbandingan Efektivitas Alat Purifikasi Udara Konvensional Berbasis Karbon Aktif Dan Fotokatalisis Oksidasi Untuk Penggunaan Di Ruang Merokok”

Telah diuji oleh Tim Penguji dalam Sidang Tesis pada hari Selasa tanggal 15 Juli tahun 2025 dan dinyatakan LULUS untuk memperoleh derajat gelar Magister Terapan pada Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur Politeknik Negeri Jakarta.

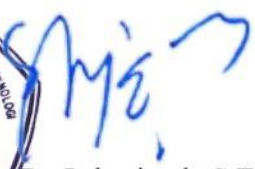
Pembimbing I : Dr. Eng. Pribadi Mumpuni Adhi, S.Si, ()
M.Eng.
Pembimbing II : Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc. ()
Penguji I : Dr. Dianta Mustofa Kamal, S.T., M.T. ()
Penguji II : Dr. Gun Gun Ramdhan Gunadi, S.T., M.T. ()
Penguji III : Dr. Candra Damis Widiawaty, S.T.P., M.T. ()

Depok, 15 Juli 2025

Disahkan oleh

Ketua Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta




Dr. Isdawimah, S.T., M.T.

NIP. 196305051988112001



Hak Cipta :

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

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “Analisis Perbandingan Efektivitas Alat Purifikasi Udara Konvensional Berbasis Karbon Aktif dan Fotokatalisis Oksidasi untuk Penggunaan di Ruang Merokok” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Terapan pada Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur, Program Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta.

Tesis ini disusun dengan tujuan untuk mengkaji efektivitas dua teknologi purifikasi udara dalam konteks penggunaannya di ruang merokok, sebagai kontribusi ilmiah dalam bidang rekayasa lingkungan dan teknologi manufaktur.

Dalam proses penyusunan tesis ini, penulis menerima banyak dukungan, bimbingan, serta doa yang sangat berarti. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang mendalam kepada:

1. Dr. Syamsurizal, S.E., M.M., selaku Direktur Politeknik Negeri Jakarta.
2. Dr. Isdawimah, S.T., M.T., selaku Ketua Program Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta.
3. Dr. Tatun Hayatun, S.T., M.Si., selaku Kepala Program Studi Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur.
4. Dr. Eng. Pribadi Mumpuni Adhi, S.Si, M.Eng., selaku pembimbing pertama, atas bimbingan, arahan, dan masukan yang sangat berarti dalam proses penelitian ini.
5. Dr. Sonki Prasetya, S.T., M.Sc., selaku pembimbing kedua, atas saran dan pendampingan yang sangat membantu selama penyusunan tesis.
6. Seluruh dosen dan staf Program Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta, atas ilmu, dukungan, dan layanan akademik yang sangat mendukung proses studi penulis.

Secara khusus, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada Mama dan Papa tercinta, atas segala cinta, doa, semangat, dan pengorbanan yang



© 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

tak ternilai. Tanpa restu dan dukungan dari Mama dan Papa, perjalanan ini tidak akan pernah sampai pada titik ini.

Tidak lupa penulis juga mengucapkan terima kasih kepada rekan pascasarjana dan rekan MT Lion Group Batch 1 yang telah memberikan semangat dan kebersamaan selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk penyempurnaan di masa mendatang. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan penerapannya di bidang teknologi purifikasi udara.





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 PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK**

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Krisna Chandra Wijaya
NIM : 2309521004
Program Studi : Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur
Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta
Jenis Karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

“Analisis Perbandingan Efektivitas Alat Purifikasi Udara Konvensional Berbasis Karbon Aktif dan Fotokatalisis Oksidasi untuk Penggunaan di Ruang Merokok”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan)*. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalihmediakan/mengalihformatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 15 Juli 2025
Yang menyatakan

KRISNA CHANDRA WIJAYA
2309521004



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

ABSTRAK

Nama : Krisna Chandra Wijaya
Program Studi : Magister Terapan Rekayasa Teknologi Manufaktur
Judul Tesis : Analisis Perbandingan Efektivitas Alat Purifikasi Udara Konvensional Berbasis Karbon Aktif dan Fotokatalisis Oksidasi untuk Penggunaan di Ruang Merokok

Ruang merokok menghasilkan berbagai polutan udara seperti partikel halus (PM2.5 dan PM10), senyawa organik volatil (TVOC), dan formaldehida (HCHO) yang dapat membahayakan kesehatan manusia. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan efektivitas dua jenis alat purifikasi udara, yaitu alat konvensional berbasis karbon aktif dan alat berbasis teknologi fotokatalisis oksidasi (*Photocatalytic Oxidation/PCO*), dalam menurunkan konsentrasi polutan di ruang merokok. Pengujian dilakukan di ruang tertutup menggunakan dua prototipe air purifier. Untuk memantau kualitas udara secara *real-time*, digunakan sensor digital multifungsi yang mampu mendeteksi empat parameter utama: PM2.5, PM10, TVOC, dan HCHO. Sensor dikalibrasi terlebih dahulu dan diletakkan pada ketinggian ± 1 meter dari lantai untuk mewakili zona pernapasan manusia dalam posisi duduk. Data konsentrasi polutan direkam setiap menit selama pengujian berlangsung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat purifikasi berbasis fotokatalisis oksidasi memiliki efektivitas lebih tinggi dibandingkan alat berbasis karbon aktif, terutama dalam menurunkan konsentrasi TVOC dan HCHO. Sementara itu, penurunan konsentrasi PM2.5 dan PM10 pada kedua alat relatif serupa. Dapat disimpulkan bahwa teknologi fotokatalisis oksidasi lebih unggul dalam mengurangi kandungan polutan berbahaya di ruang merokok, dan pemanfaatan sensor digital berperan penting dalam mendukung akurasi pemantauan kualitas udara..

Kata Kunci: ruang merokok, purifikasi udara, karbon aktif, fotokatalisis oksidasi, sensor digital.



Hak Cipta :

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

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	12
1.1 Latar Belakang	12
1.2 Rumusan Masalah	15
1.3 Tujuan Penelitian.....	15
1.4 Batasan Penelitian	16
1.5 Manfaat Penelitian.....	17
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	18
2.1 Kualitas Udara dalam Ruang Merokok.....	18
2.1.1 Karakteristik Polutan di Ruang Merokok	19
2.1.2 Dampak Kesehatan Paparan Polutan	21
2.2 Teknologi Purifikasi Udara Konvensional	25
2.2.1 Prinsip Kerja HEPA Filter dan <i>Carbon activated</i>	25
2.2.2 Kelebihan <i>Purifier</i> Konvensional	26
2.2.3 Keterbatasan <i>Purifier</i> Konvensional.....	27
2.3 Teknologi Fotokatalisis Oksidasi (PCO).....	27
2.4 Fotokatalis TiO ₂	30
2.4.1 Sifat dan Karakteristik.....	30
2.4.2 Kelebihan dan Kekurangan.....	30
2.5 Aplikasi Fotokatalitik Oksidasi	31
2.5.1 Pengolahan Air	31
2.5.2 Pemurnian Udara.....	32
2.5.3 Pengendalian Limbah.....	32



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

2.6	Analisis Biaya Siklus Hidup (LCC)	33
2.6.1	Konsep dan Komponen LCC	33
2.6.2	Rumus <i>Life Cycle Cost</i>	35
2.7	Analisis Kinerja Energi <i>Purifier</i> Udara	35
2.7.1	Analisis Efektivitas Penurunan Polutan	36
2.7.2	Variabel yang Diambil.....	36
2.8	State of The Art.....	37
2.8.1	Penelitian Terdahulu.....	37
2.8.2.	Keterbatasan Studi Terdahulu	38
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		40
3.1	Ruang Lingkup Penelitian	40
3.2	Rancangan Penelitian	42
3.2.1	Rancangan Pengujian	43
3.2.2	Rancangan Analisis <i>Life Cycle Cost</i> (LCC).....	46
3.2.3	Tahapan Penelitian	50
3.2.4	Rancang Bangun Alat Purifikasi PCO	51
3.3	Variabel Penelitian.....	56
3.4	Metode Pengumpulan Data	60
3.5	Instrumen dan Bahan Penelitian.....	62
3.6	Analisis Data	63
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		65
4.1.	Gambaran Umum Proses Pengujian.....	65
4.2.	Standar Pengujian Kualitas Udara.....	66
4.3.	Hasil Pengujian Kualitas Udara.....	66
4.4.	Perbandingan dengan Teknologi Konvensional	74
4.4.	Analisis <i>Life Cycle Cost</i> (LCC).....	79
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		84
5.1	KESIMPULAN	84
DAFTAR PUSTAKA		87
LAMPIRAN.....		98

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

Kualitas udara dalam ruangan (*Indoor Air Quality* - IAQ) telah menjadi isu yang semakin mendesak dan relevan dalam kehidupan modern [1][2]. Dengan semakin banyaknya waktu yang dihabiskan manusia di dalam gedung diperkirakan sekitar 80-90% kualitas udara yang dihirup di dalam ruangan menjadi faktor kunci yang memengaruhi kesehatan dan kesejahteraan individu [3]. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa polusi udara dalam ruangan sering kali lebih parah dibandingkan dengan udara luar, dengan konsentrasi polutan tertentu dapat mencapai 2-5 kali lebih tinggi [4]. Hal ini menimbulkan kekhawatiran yang serius, terutama mengingat dampak jangka panjang yang dapat ditimbulkan akibat paparan terhadap polutan tersebut.

Polutan udara dalam ruangan mencakup berbagai jenis kontaminan, termasuk debu, partikel halus (PM_{2.5} dan PM₁₀), senyawa organik volatil (*Volatile Organic Compounds* - VOC), gas berbahaya (seperti karbon monoksida, nitrogen dioksida, dan sulfur dioksida), serta mikroorganisme patogen [5]. Sumber-sumber polutan ini dapat bervariasi dan sering kali terintegrasi dalam aktivitas sehari-hari. VOC dapat berasal dari cat, pelarut, produk pembersih, dan bahan bangunan, sedangkan debu dan partikel halus dapat terakumulasi dari aktivitas penghuni dan pergerakan kendaraan di sekitar gedung [6]. Paparan jangka panjang terhadap polutan ini dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan, termasuk iritasi pada saluran pernapasan, reaksi alergi, dan bahkan gangguan kesehatan sistemik yang lebih serius, seperti penyakit pernapasan kronis, gangguan kardiovaskular, dan penurunan fungsi kognitif [7][8].

Dalam upaya untuk meningkatkan kualitas udara dalam ruangan, teknologi purifikasi udara memainkan peran yang sangat penting. Salah satu teknologi yang menjanjikan adalah sistem purifikasi udara berbasis fotokatalisis oksidasi (*Photocatalytic Oxidation* - PCO) [9]. Teknologi ini memanfaatkan semikonduktor titanium dioksida (TiO₂) yang memiliki kemampuan untuk

Hak Cipta :

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

mengoksidasi dan mendegradasi berbagai polutan udara, baik organik maupun anorganik, ketika terpapar cahaya, terutama cahaya ultraviolet (UV) [10]. Proses ini tidak hanya menghilangkan polutan, tetapi juga dapat menghasilkan produk akhir yang tidak berbahaya, menjadikannya metode yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Namun, efektivitas PCO dalam aplikasi nyata khususnya di ruang merokok dengan konsentrasi polutan tinggi belum banyak dikaji, terutama dari aspek biaya siklus hidup (LCC) dan efisiensi energi.

Permasalahan kualitas udara dalam ruang merokok menjadi salah satu tantangan lingkungan dalam ruang yang sangat kompleks[11]. Ruang merokok merupakan lingkungan tertutup dengan konsentrasi tinggi berbagai polutan seperti PM2.5, senyawa organik volatil (VOC), karbon monoksida (CO), serta formaldehida (HCHO)[12]. Penelitian Cunniffe et al. dan Batterman et al. menunjukkan bahwa upaya purifikasi udara di ruang semacam ini memerlukan teknologi yang lebih dari sekadar sistem filtrasi konvensional seperti HEPA dan karbon aktif, karena keterbatasannya dalam menyerap polutan gas dan kinerjanya yang cenderung menurun seiring waktu[13][14].

Purifier konvensional berbasis HEPA dan karbon aktif telah banyak digunakan dalam skala komersial dan domestik[15]. HEPA terbukti sangat efektif untuk mengeliminasi partikulat seperti PM2.5 dan debu, sedangkan karbon aktif digunakan untuk menyerap bau dan gas tertentu[16]. Namun, efektivitas keduanya dalam menangani polutan gas berbahaya seperti CO dan VOC sangat terbatas. Selain itu, teknologi ini memiliki siklus penggantian filter yang relatif cepat dan konsumsi daya kipas yang tidak efisien dalam jangka panjang, sehingga menghasilkan biaya siklus hidup (LCC) yang cukup tinggi.

Sebagai alternatif, teknologi fotokatalitik oksidasi (*Photocatalytic Oxidation*, PCO) mulai mendapat perhatian karena kemampuannya untuk menguraikan berbagai polutan organik dan gas berbahaya menjadi senyawa yang lebih aman seperti CO₂ dan H₂O[17]. PCO umumnya memanfaatkan semikonduktor seperti titanium dioksida (TiO₂) yang diaktifkan oleh cahaya ultraviolet untuk menghasilkan spesies reaktif seperti radikal hidroksil (OH)

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

dan superoksida (O_2^-). Spesies ini berperan dalam proses oksidasi senyawa berbahaya[18].

Meskipun hasil eksperimen laboratorium menunjukkan bahwa teknologi PCO mampu menghilangkan VOC dan CO secara signifikan, sebagian besar studi masih terbatas pada pengujian dalam skenario yang tidak merepresentasikan kondisi ruang merokok secara nyata. Di sisi lain, aspek keekonomian dan efisiensi energi dari teknologi PCO juga belum banyak dibahas secara kuantitatif dalam konteks ruang dengan beban polutan tinggi[19].

Berbeda dengan pendekatan tersebut, penelitian ini menggunakan ruang merokok sebenarnya (bukan simulasi laboratorium) dengan kondisi polutan yang riil akibat aktivitas merokok, serta membandingkan secara langsung performa teknologi PCO dengan air purifier konvensional berbasis HEPA dan karbon aktif. Pendekatan ini memberikan gambaran yang lebih aplikatif dan representatif terhadap efektivitas sistem purifikasi udara dalam lingkungan dengan beban pencemar tinggi.

Sejauh ini, belum ada kajian komprehensif yang membandingkan efektivitas langsung, biaya siklus hidup (LCC), serta efisiensi energi antara *purifier* berbasis PCO dan *purifier* konvensional dalam ruang merokok yang dikontrol secara ketat. Padahal, informasi ini sangat dibutuhkan oleh pengelola fasilitas publik, gedung, dan industri HVAC untuk menentukan teknologi mana yang paling layak secara teknis dan ekonomis.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas teknologi PCO dan *purifier* konvensional dalam menurunkan konsentrasi polutan di ruang merokok, dengan mempertimbangkan aspek efisiensi energi dan biaya siklus hidup (LCC). Penelitian ini hadir untuk menjembatani kesenjangan tersebut dengan mengadopsi pendekatan uji lapangan berbasis prototipe dan pengukuran parameter aktual di ruang merokok. Studi ini dirancang untuk:

Hak Cipta :

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

1. Menganalisis efektivitas teknologi PCO dalam mengurangi konsentrasi PM_{2.5}, VOC, CO, dan HCHO dibandingkan dengan *purifier* konvensional.
2. Membandingkan biaya siklus hidup (LCC) dari kedua sistem selama periode 5 tahun termasuk komponen produksi, energi, dan perawatan.
3. Mengevaluasi efisiensi energi dengan pendekatan rasio konsumsi daya terhadap volume udara bersih (*Clean Air Delivery Rate/CADR*).

Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi teoritis terhadap pengembangan teknologi pemurnian udara, tetapi juga menghadirkan nilai praktis yang aplikatif bagi industri, pemangku kepentingan, dan masyarakat umum yang berkepentingan terhadap peningkatan kualitas udara dalam ruang tertutup berisiko tinggi.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, terdapat beberapa permasalahan utama dalam penggunaan dan evaluasi air purifier, yaitu:

1. Seberapa besar penurunan konsentrasi PM_{2.5}, PM₁₀, VOC (*Total Volatile Organic Compounds*), dan HCHO yang dapat dicapai oleh *purifier* PCO dibandingkan *purifier* konvensional merek AZKO Kris mini yang menggunakan kombinasi antara HEPA dan *carbon filter* dalam ruang merokok selama waktu operasional 1 jam?
2. Berapa perbedaan biaya siklus hidup (LCC) antara *purifier* PCO dan *purifier* konvensional merek AZKO Kris mini yang menggunakan kombinasi antara HEPA dan *carbon filter* selama periode 5 tahun, serta komponen biaya apa yang paling dominan?
3. Berapa efisiensi energi (dalam kWh/m³ udara bersih) *purifier* PCO dibandingkan *purifier* konvensional merek AZKO Kris mini yang menggunakan kombinasi antara HEPA dan *carbon filter* untuk mencapai penurunan polutan PM_{2.5} dan VOC sebesar 80% di ruang merokok?

1.3 Tujuan 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

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diidentifikasi, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis efektivitas *purifier* PCO dalam menurunkan konsentrasi PM_{2.5}, PM₁₀, VOC (*Total Volatile Organic Compounds*), dan HCHO di ruang merokok dibandingkan *purifier* konvensional yang menggunakan kombinasi antara HEPA dan *carbon filter*
2. Menghitung perbedaan biaya siklus hidup (LCC) kedua teknologi selama periode 5 tahun
3. Mengevaluasi efisiensi energi berdasarkan konsumsi daya per volume udara bersih

1.4 Batasan Penelitian

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa batasan yang perlu diperhatikan agar fokus dan ruang lingkup penelitian tetap terjaga. Batasan-batasan tersebut meliputi:

1. Penelitian hanya berfokus pada polutan PM_{2.5}, PM₁₀, VOC (*Total Volatile Organic Compounds*), dan HCHO sebagai parameter utama. Polutan lain seperti bakteri, virus, atau NO_x tidak diukur karena keterbatasan sensor.
2. Studi ini membandingkan secara langsung kinerja antara sistem *purifier* berbasis PCO dan sistem konvensional, keduanya menggunakan kombinasi HEPA dan karbon, namun dengan atau tanpa aktivasi fotokatalitik (UV/katalis).
3. Eksperimen dilakukan di ruang merokok dengan volume tetap (72 m³) dan aliran udara terkontrol namun dengan massflow kipas yang berbeda.
4. Kinerja *purifier* diuji selama 1 jam untuk efektivitas jangka pendek dan 100 jam untuk analisis degradasi kinerja.
5. Perhitungan LCC hanya mencakup biaya produksi prototipe, listrik, dan penggantian komponen selama 5 tahun. Biaya tidak langsung (*downtime*, dampak lingkungan dari pembuangan komponen) tidak dihitung.



Hak Cipta :

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

6. Biaya produksi PCO menggunakan prototipe 3D printing, sehingga estimasi biaya skala industri mungkin lebih rendah.
7. Studi hanya mengukur parameter kualitas udara (PM2.5, VOC, CO, HCHO), bukan dampak kesehatan langsung pada manusia akibat paparan polutan atau produk sampingan.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Manfaat Teoretis

Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam bentuk data empiris yang membandingkan efektivitas, efisiensi energi, dan biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost*) antara teknologi *purifier* berbasis *Photocatalytic Oxidation* (PCO) dan *purifier* konvensional. Temuan ini memperkaya kajian teoretis terkait performa teknologi pemurni udara di lingkungan ekstrem seperti ruang merokok, serta membuka peluang penelitian lanjutan dalam optimasi sistem purifikasi udara berbasis fotokatalitik.

2. Manfaat Praktis

Penelitian ini dapat dimanfaatkan oleh pengelola gedung, restoran, dan fasilitas publik untuk menentukan jenis *purifier* yang paling sesuai digunakan dalam ruang merokok, berdasarkan pertimbangan efektivitas penghilangan polutan, efisiensi energi, dan biaya operasional. Selain itu, hasil analisis biaya juga dapat digunakan oleh industri sebagai dasar dalam pengembangan desain *purifier* yang hemat energi dan terjangkau, serta membantu pengguna akhir dalam memilih teknologi yang sesuai dengan kebutuhan dan kemampuan finansial.

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 pengujian eksperimental dan analisis kuantitatif terhadap efektivitas, efisiensi energi, serta biaya siklus hidup (*Life Cycle Cost – LCC*) dari dua sistem pemurnian udara yang diuji yakni *air purifier* berbasis *Photocatalytic Oxidation* (PCO) dengan kombinasi HEPA dan karbon aktif yang dibandingkan dengan sistem konvensional (HEPA dan karbon aktif) maka dapat disimpulkan hal-hal berikut:

- a. Efektivitas Penurunan Konsentrasi Polutan PM_{2.5}, VOC, CO, dan HCHO

Sistem *air purifier* berbasis PCO terbukti secara konsisten lebih efektif dibandingkan sistem konvensional (HEPA + karbon aktif) dalam menurunkan konsentrasi berbagai polutan utama di ruang merokok, yakni PM_{2.5}, PM₁₀, TVOC, dan HCHO. Kedua sistem memang mampu menurunkan partikulat padat secara signifikan melalui filtrasi fisik oleh filter HEPA, namun sistem PCO menunjukkan laju penurunan yang lebih cepat dan stabil disebabkan oleh kapasitas kipas yang lebih besar (195 CMH) dan desain casing vertikal yang menghasilkan sirkulasi udara lebih merata di seluruh ruang. Perbedaan performa semakin jelas pada penanganan polutan gas. Sistem konvensional hanya mengandalkan adsorpsi pasif oleh karbon aktif, yang terbukti kurang efektif terutama terhadap gas ringan dan stabil seperti formaldehida. Sebaliknya, sistem PCO menggunakan teknologi fotokatalitik yang aktif secara kimiawi, memecah molekul senyawa organik volatil (VOC) menjadi senyawa tidak berbahaya dengan bantuan lapisan TiO₂ dan paparan sinar UV. Hasilnya, sistem PCO mampu menurunkan kadar formaldehida (HCHO) hingga sekitar 89% dalam 30 menit, jauh melampaui efektivitas sistem konvensional yang hanya mencapai sekitar 36%. Temuan ini menegaskan

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

bahwa sistem PCO tidak hanya unggul dalam performa partikulat, tetapi juga sangat andal dalam mengatasi polutan gas berbahaya di lingkungan tertutup.

b. Perbedaan Biaya Siklus Hidup (LCC) Selama 5 Tahun

Total biaya siklus hidup (LCC) sistem PCO selama lima tahun tercatat sebesar $\pm$ Rp3.508.686,00, sedangkan sistem konvensional hanya $\pm$ Rp2.728.708.

Meskipun biaya awal pembuatan prototipe PCO lebih tinggi (karena penggunaan komponen seperti UV LED, pelapis TiO_2 , dan 3D print), nilai ini sebanding dengan peningkatan performa pemurnian udara terutama untuk polutan gas. Biaya listrik sistem PCO lebih tinggi karena konsumsi daya 20 watt non-stop selama 5 tahun, tetapi masih berada dalam batas wajar. Komponen biaya paling dominan pada kedua sistem berasal dari penggantian filter HEPA dan karbon aktif yang harus dilakukan berkala (setiap $\pm$ 5 bulan atau 3.500 jam).

c. Evaluasi Efisiensi Energi

Sistem PCO menunjukkan rasio efisiensi energi lebih baik dalam konteks lingkungan tinggi polutan gas karena:

1. Daya listriknya (20 W) mampu mengedarkan udara hingga 195 m^3/jam secara merata.
2. Sementara sistem konvensional hanya 15 W dengan aliran 120 m^3/jam , namun dengan penurunan polutan gas yang jauh lebih lambat dan terbatas.

Oleh karena itu, meskipun konsumsi energi PCO sedikit lebih tinggi, pemanfaatan energi per unit efektivitasnya lebih unggul karena hasil akhir yang dicapai lebih bersih dan menyeluruh.

5.2 SARAN



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

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang masih terdapat pada kualitas hasil pengujian pada air purifer, beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya dapat dipertimbangkan sebagai berikut:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk membuat casing dengan metode molding untuk menekan biaya produksi dan menciptakan casing yang lebih kokoh
2. Integrasi Sensor Kualitas Udara Otomatis Perlu ditambahkan sistem kendali otomatis berbasis sensor (misalnya PM2.5/TVOC/HCHO) untuk menyesuaikan kerja kipas dan lampu UV sesuai kondisi polutan aktual. Karena hal ini dapat meningkatkan efisiensi energi dan memperpanjang umur pakai komponen.





Hak Cipta :

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

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Camelia, "Sick Building Syndrome dan Indoor Air Quality," *J. Ilmu Kesehat. Masy.*, vol. 2, no. 2, pp. 79–84, 2011.
- [2] P. Carrer and P. Wolkoff, "Assessment of indoor air quality problems in office-like environments: Role of occupational health services," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 4, 2018, doi: 10.3390/ijerph15040741.
- [3] A. D. Ramadhani, N. Ningsih, A. Nurcahya, and N. Azizah, "Klasifikasi dan Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan menggunakan Thingspeak," *J. Tek. Elektro dan Komput. TRIAC*, vol. 10, no. 1, pp. 1–5, 2023, doi: 10.21107/triac.v10i1.17501.
- [4] I. Q. A'yun and R. Umaroh, "Polusi Udara dalam Ruangan dan Kondisi Kesehatan: Analisis Rumah Tangga Indonesia," *J. Ekon. dan Pembang. Indones.*, vol. 23, no. 1, pp. 16–26, 2023, doi: 10.21002/jepi.2022.02.
- [5] V. Van Tran, D. Park, and Y. C. Lee, "Indoor air pollution, related human diseases, and recent trends in the control and improvement of indoor air quality," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 8, 2020, doi: 10.3390/ijerph17082927.
- [6] S. Vardoulakis *et al.*, "Indoor exposure to selected air pollutants in the home environment: A systematic review," *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 17, no. 23, pp. 1–24, 2020, doi: 10.3390/ijerph17238972.
- [7] A. A. Anandari, A. F. Wadjdi, and G. Harsono, "Dampak Polusi Udara terhadap Kesehatan dan Kesiapan Pertahanan Negara di Provinsi DKI Jakarta," *J. Educ.*, vol. 6, no. 2, pp. 10868–10884, 2024, doi: 10.31004/joe.v6i2.4880.
- [8] G. D. Albano, A. M. Montalbano, R. Gagliardo, G. Anzalone, and M. Profita, "Impact of Air Pollution in Airway Diseases: Role of the Epithelial Cells (Cell Models and Biomarkers)," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 23, no. 5, 2022, doi:



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

- 10.3390/ijms23052799.
- [9] S. Escobedo and H. de Lasa, "Photocatalysis for air treatment processes: Current technologies and future applications for the removal of organic pollutants and viruses," *Catalysts*, vol. 10, no. 9, 2020, doi: 10.3390/catal10090966.
- [10] A. I. Gopalan *et al.*, "Recent progress in the abatement of hazardous pollutants using photocatalytic TiO₂-based building materials," *Nanomaterials*, vol. 10, no. 9, pp. 1–50, 2020, doi: 10.3390/nano10091854.
- [11] Y. Wicaksana, Y. Winarto, and S. Yuliani, "Indoor Air Quality inside Smoking Rooms with Air Conditioning. Case study: smoking rooms in public areas," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1361, no. 1, 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1361/1/012017.
- [12] E. Höllbacher, T. Ters, C. Rieder-Gradinger, and E. Srebotnik, "Emissions of indoor air pollutants from six user scenarios in a model room," *Atmos. Environ.*, vol. 150, pp. 389–394, 2017, doi: 10.1016/j.atmosenv.2016.11.033.
- [13] G. Cuniffe, J. Whelan, A. Byrne, J. Ryan, K. Lestage, and J. McKeon, "a Breath of Fresh Information on Air Cleaning Technology," *Ann. Allergy, Asthma Immunol.*, vol. 131, no. 5, p. S24, 2023, doi: 10.1016/j.anai.2023.08.082.
- [14] S. Batterman, C. Godwin, and C. Jia, "Long duration tests of room air filters in cigarette smokers' homes," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 39, no. 18, pp. 7260–7268, 2005, doi: 10.1021/es048951q.
- [15] M. Chattopadhyay, N. Surbhi, J. Rawal, S. Khursheed, S. Agarwal, and S. Francis, "Green energy based low cost smart indoor air quality monitoring and purifying system," *Lect. Notes Civ. Eng.*, vol. 93, pp. 121–127, 2021, doi: 10.1007/978-981-15-6887-9_14.
- [16] C. F. Chen, C. H. Hsu, Y. J. Chang, C. H. Lee, and D. L. Lee, "Efficacy of



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

HEPA Air Cleaner on Improving Indoor Particulate Matter 2.5 Concentration,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 19, no. 18, 2022, doi: 10.3390/ijerph191811517.

- [17] Q. L. Yu and H. J. H. Brouwers, “Indoor air purification using heterogeneous photocatalytic oxidation. Part I: Experimental study,” *Appl. Catal. B Environ.*, vol. 92, no. 3–4, pp. 454–461, 2009, doi: 10.1016/j.apcatb.2009.09.004.
- [18] H. Shibata, Y. Ogura, Y. Sawa, and Y. Kono, “Hydroxyl radical generation depending on O₂ or H₂O by a photocatalyzed reaction in an aqueous suspension of titanium dioxide,” *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, vol. 62, no. 12, pp. 2306–2311, 1998, doi: 10.1271/bbb.62.2306.
- [19] L. V. Bayless, “Photocatalytic oxidation of volatile organic compounds for indoor air applications,” vol. 49, no. 1, 2009, [Online]. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17376530>
- [20] J. Lal, “Indoor Air Pollution by Tobacco Smoke and Study on Tobacco Use among School and College Students in India,” *Univers. J. Public Heal.*, vol. 1, no. 4, pp. 172–176, 2013, doi: 10.13189/ujph.2013.010403.
- [21] K. Takahashi, S. Muramatsu, T. Muramatsu, and A. Ito, “A Study on Indoor Air Pollution due to Tobacco Smoke —Measuring the Carbon Monoxide Concentration (Report 2)—,” vol. 33, pp. 117–129, 1984, [Online]. Available: <https://consensus.app/papers/a-study-on-indoor-air-pollution-due-to-tobacco-smoke-takahashi-muramatsu/373e061e702e5c80ad02d23523df2092/>
- [22] C. Protano and M. Vitali, “The new danger of thirdhand smoke: Why passive smoking does not stop at secondhand smoke,” *Environ. Health Perspect.*, vol. 119, no. 10, p. 422, 2011, doi: 10.1289/ehp.1103956.
- [23] H. Arfaeinia, M. Ghaemi, A. Jahantigh, F. Soleimani, and H. Hashemi, “Secondhand and thirdhand smoke: a review on chemical contents, exposure



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

routes, and protective strategies,” *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 30, no. 32, pp. 78017–78029, 2023, doi: 10.1007/s11356-023-28128-1.

- [24] G. E. Matt *et al.*, “Thirdhand tobacco smoke: Emerging evidence and arguments for a multidisciplinary research agenda,” *Environ. Health Perspect.*, vol. 119, no. 9, pp. 1218–1226, 2011, doi: 10.1289/ehp.1103500.
- [25] M. Sleiman, J. M. Logue, W. Luo, J. F. Pankow, L. A. Gundel, and H. Destailats, “Inhalable constituents of thirdhand tobacco smoke: Chemical characterization and health impact considerations,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 48, no. 22, pp. 13093–13101, 2014, doi: 10.1021/es5036333.
- [26] H. C. Lin, J. Y. Park, and D. C. Seo, “Comprehensive US statewide smoke-free indoor air legislation and secondhand smoke exposure, asthma prevalence, and related doctor visits: 2007-2011,” *Am. J. Public Health*, vol. 105, no. 8, pp. 1617–1622, 2015, doi: 10.2105/AJPH.2015.302596.
- [27] P. Ni, Z. Zhang, H. Xu, and X. Zhang, “Emission Characteristics of Formaldehyde and Particulate Matter in Side-Stream Smoke Emitted from Cigarettes in an Environmental Chamber,” *Polish J. Environ. Stud.*, vol. 31, no. 2, pp. 1247–1256, 2022, doi: 10.15244/pjoes/141804.
- [28] N. P. Cheah, J. L. A. Pennings, J. P. Vermeulen, F. J. Van Schooten, and A. Opperhuizen, “In vitro effects of aldehydes present in tobacco smoke on gene expression in human lung alveolar epithelial cells,” *Toxicol. Vitro.*, vol. 27, no. 3, pp. 1072–1081, 2013, doi: 10.1016/j.tiv.2013.02.003.
- [29] S. Y. Kim, “Secondhand Smoke Exposure, Depression Symptoms, and Suicidal Ideation in Adults,” *Korean J. Fam. Med.*, vol. 37, no. 2, p. 77, 2016, doi: 10.4082/kjfm.2016.37.2.77.
- [30] K. Altell *et al.*, “Secondhand Smoke Exposure and Smoking Attitudes and Behaviors Among Adolescents in the Gaza Strip: Findings From the 2019 Global Youth Tobacco Survey,” *Tob. Use Insights*, vol. 18, 2025, doi: 10.1177/1179173x251314649.



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

- [31] R. Reis, K. Kolci, E. N. Yedikardes, G. P. Coskun, and Y. Uzuner, "Dermal thirdhand smoke exposure induced epidermal alterations in human keratinocyte cells through oxidative damage and MMP-1 expression," *Exp. Dermatol.*, vol. 33, no. 2, 2024, doi: 10.1111/exd.15020.
- [32] E. M. Mahabee-Gittens, A. L. Merianos, R. A. Jandarov, P. J. E. Quintana, E. Hoh, and G. E. Matt, "Differential associations of hand nicotine and urinary cotinine with children's exposure to tobacco smoke and clinical outcomes," *Environ. Res.*, vol. 202, p. 111722, 2021, doi: 10.1016/j.envres.2021.111722.
- [33] A. Whitlatch and S. Schick, "Thirdhand Smoke at Philip Morris," *Nicotine Tob. Res.*, vol. 21, no. 12, pp. 1680–1688, 2019, doi: 10.1093/ntr/nty153.
- [34] J. Peesing, N. Charoenca, A. Tipayarom, N. Kungskulniti, S. L. Hamann, and S. Pitayarangsarit, "Tobacco Smoke Pollution from Designated Smoking Rooms in Bangkok's Major International Airport," *Environ. Nat. Resour. J.*, vol. 13, pp. 26–32, 2015, [Online]. Available: <http://www.popsugar.com/fitness/Smoking-Room-Washington-Dulles-Airport-37289979>
- [35] P. Barn *et al.*, "The effect of portable HEPA filter air cleaners on indoor PM2.5 concentrations and second hand tobacco smoke exposure among pregnant women in Ulaanbaatar, Mongolia: The UGAAR randomized controlled trial," 2018. doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.09.291.
- [36] T. Oni, E. Floyd, and C. Cai, "Efficacy of Acid-Treated HEPA Filters for Dual Sequestration of Nicotine and Particulate Matter," *Air*, 2025, doi: 10.3390/air3010008.
- [37] S. Jia *et al.*, "Disinfection characteristics of *Pseudomonas peli*, a chlorine-resistant bacterium isolated from a water supply network," *Environ. Res.*, vol. 185, p. 109417, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109417>.



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

- [38] J. Wang *et al.*, “Effects of ammonium-based nitrogen addition on soil nitrification and nitrogen gas emissions depend on fertilizer-induced changes in pH in a tea plantation soil,” *Sci. Total Environ.*, vol. 747, p. 141340, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141340.
- [39] M. Yekrangnia and P. G. Asteris, “Multi-strut macro-model for masonry infilled frames with openings,” *J. Build. Eng.*, vol. 32, p. 101683, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101683>.
- [40] Z.-F. Zhang, X. Zhang, X. Zhang, L.-Y. Liu, Y.-F. Li, and W. Sun, “Indoor occurrence and health risk of formaldehyde, toluene, xylene and total volatile organic compounds derived from an extensive monitoring campaign in Harbin, a megacity of China,” *Chemosphere*, vol. 250, p. 126324, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126324>.
- [41] M. Fazlzadeh, R. Rostami, S. Hazrati, and A. Rastgu, “Concentrations of carbon monoxide in indoor and outdoor air of Ghalyun cafes,” *Atmos. Pollut. Res.*, vol. 6, no. 4, pp. 550–555, 2015, doi: 10.5094/APR.2015.061.
- [42] J. Wiater and K. Gładyszewska-Fiedoruk, “Indoor Air Quality with Particular Reference to Carbon Monoxide in the Room - A Pilot Study,” *J. Ecol. Eng.*, vol. 23, no. 6, pp. 286–293, 2022, doi: 10.12911/22998993/149284.
- [43] S. D. Lowther *et al.*, “Low level carbon dioxide indoors—a pollution indicator or a pollutant? A health-based perspective,” *Environ. - MDPI*, vol. 8, no. 11, pp. 1–25, 2021, doi: 10.3390/environments8110125.
- [44] E. Eltzov, A. L. De Cesarea, Y. K. A. Low, and R. S. Marks, “Indoor air pollution and the contribution of biosensors,” *Eurobiotech J.*, vol. 3, no. 1, pp. 19–31, 2019, doi: 10.2478/ebtj-2019-0003.
- [45] A. Strzelak, A. Ratajczak, A. Adamiec, and W. Feleszko, “Tobacco smoke induces and alters immune responses in the lung triggering inflammation, allergy, asthma and other lung diseases: A mechanistic review,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 5, 2018, doi:



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

10.3390/ijerph15051033.

- [46] M. U. Ali *et al.*, “Pollution characteristics, mechanism of toxicity and health effects of the ultrafine particles in the indoor environment: Current status and future perspectives,” *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 52, no. 3, pp. 436–473, Feb. 2022, doi: 10.1080/10643389.2020.1831359.
- [47] A. K. Shukla, K. Koul, and B. Babu, “Study of Modern Air Purification and Sterilization Techniques,” *Environ. Earth Sci. Res. J.*, vol. 9, no. 3, pp. 79–89, Sep. 2022, doi: 10.18280/eesrj.090301.
- [48] Y. Zhang *et al.*, “Photocatalytic Oxidation for Volatile Organic Compounds Elimination: From Fundamental Research to Practical Applications,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 56, no. 23, pp. 16582–16601, Dec. 2022, doi: 10.1021/acs.est.2c05444.
- [49] S. G. Kumar and L. G. Devi, “Review on modified TiO₂ photocatalysis under UV/visible light: Selected results and related mechanisms on interfacial charge carrier transfer dynamics,” *J. Phys. Chem. A*, vol. 115, no. 46, pp. 13211–13241, Nov. 2011, doi: 10.1021/jp204364a.
- [50] M. Sakar, R. Mithun Prakash, and D. Trong-On, “Insights into the tio₂-based photocatalytic systems and their mechanisms,” *Catalysts*, vol. 9, no. 8, 2019, doi: 10.3390/catal9080680.
- [51] R. W. Melse and M. A. Hilhorst, “Photocatalytic oxidation on TiO₂ of methane from exhaust air of animal houses and liquid manure storages,” *Agrotechnology food Innov.*, p. 40, Jan. 2003.
- [52] D. Indriani, H. D. Fahyuan, and N. Ngatijo, “UJI UV-VIS LAPISAN TiO₂/N₂ UNTUK MENENTUKAN BAND GAP ENERGY,” *J. Online Phys.*, vol. 3, no. 2, pp. 6–10, 2018, doi: 10.22437/jop.v3i2.5142.
- [53] S. Tak, Sanjeet Grewal, Shreya, Peeyush Phogat, Manisha, Ranjana Jha, Sukhvir Singh, “Mechanistic Insights and Emerging Trends in Photocatalytic Dye Degradation for Wastewater Treatment,” *Chem. Eng.*



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

- Technol.*, vol. 47, no. 11, 2024, doi: <https://doi.org/10.1002/ceat.202400142>.
- [54] S. J. Armaković, M. M. Savanović, and S. Armaković, "Titanium Dioxide as the Most Used Photocatalyst for Water Purification: An Overview," *Catalysts*, vol. 13, no. 1, 2023, doi: 10.3390/catal13010026.
- [55] D. Y. Rahman and Rita Sulistyowati, "Aplikasi Fotokatalis TiO₂ Dan Alternatifnya Untuk Degradasi Pewarna Sintesis Dalam Limbah Cair," *Environ. Sci. J. J. Ilmu Lingkung.*, vol. 1, no. 2, pp. 89–105, 2023, doi: 10.31851/esjo.v1i2.12023.
- [56] C. B. Anucha, I. Altin, E. Bacaksiz, and V. N. Stathopoulos, "Titanium dioxide (TiO₂)-based photocatalyst materials activity enhancement for contaminants of emerging concern (CECs) degradation: In the light of modification strategies," *Chem. Eng. J. Adv.*, vol. 10, no. September 2021, p. 100262, 2022, doi: 10.1016/j.ceja.2022.100262.
- [57] G. Ren *et al.*, "Recent Advances of Photocatalytic Application in Water Treatment: A Review," *Nanomaterials*, vol. 11, no. 7, 2021.
- [58] P. Ahuja, S. K. Ujjain, R. Kanojia, and P. Attri, "Transition metal oxides and their composites for photocatalytic dye degradation," *J. Compos. Sci.*, vol. 5, no. 3, pp. 1–27, 2021, doi: 10.3390/jcs5030082.
- [59] W. Mohammed, M. Matalkeh, R. M. Al Soubaihi, A. Elzatahry, and K. M. Saoud, "Visible Light Photocatalytic Degradation of Methylene Blue Dye and Pharmaceutical Wastes over Ternary NiO/Ag/TiO₂ Heterojunction," *ACS Omega*, vol. 8, no. 43, pp. 40063–40077, 2023, doi: 10.1021/acsomega.3c01766.
- [60] Y. Huang *et al.*, "Removal of indoor volatile organic compounds via photocatalytic oxidation: A short review and prospect," *Molecules*, vol. 21, no. 1, 2016, doi: 10.3390/molecules21010056.
- [61] V. Binas, D. Venieri, D. Kotzias, and G. Kiriakidis, "Modified TiO₂ based photocatalysts for improved air and health quality," *J. Mater.*, vol. 3, no. 1,



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

pp. 3–16, 2017, doi: 10.1016/j.jmat.2016.11.002.

- [62] J. Mei, Ximei Gao, Jun Zou, Fei Pang, “Research on Photocatalytic Wastewater Treatment Reactors Design, Optimization, and Evaluation Criteria,” *Catalysts*, vol. 13, no. 6, p. 974, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/catal13060974>.
- [63] J. Rizkiana, H. Devianto, and T. H. Soerawidjaja, “Karakterisasi Fotokatalis Untuk Fotoreduksi Karbon Dioksida Menjadi Asam Format Dalam Fasa Akuatik,” *Indones. J. Chem. Res.*, vol. 8, no. 1, pp. 35–42, 2020, doi: 10.30598/ijcr.2020.8-jen.
- [64] M. A. Hassaan, M. A. El-Nemr, M. R. Elkatory, S. Ragab, V. C. Niculescu, and A. El Nemr, *Principles of Photocatalysts and Their Different Applications: A Review*, vol. 381, no. 6. Springer International Publishing, 2023. doi: 10.1007/s41061-023-00444-7.
- [65] “Penggantian Filter HEPA: Kapan dan Bagaimana Melakukannya.” [Online]. Available: <https://youthfilter.com/id/news/hepa-filter-replacement-when-and-how-to-do-it/>
- [66] R. A. H. F. Buyung, P. A. K. Pratasis, and G. Y. Malingkas, “Life Cycle Cost (LCC) pada Proyek Pembangunan Gedung Akuntansi Universitas Negeri Manado (Unima) di Tondano,” *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 11, pp. 1527–1536, 2019.
- [67] U. Mahanta, A. S. Deshpande, and M. Khandelwal, “TiO₂ Decorated SiO₂ Nanoparticles as Efficient Antibacterial Materials: Enhanced Activity under Low Power UV Light,” *ChemistrySelect*, vol. 8, no. 4, 2023, doi: 10.1002/slct.202203724.
- [68] T. M. Mata *et al.*, “Indoor Air Quality: A Review of Cleaning Technologies,” *Environ. - MDPI*, vol. 9, no. 9, 2022, doi: 10.3390/environments9090118.
- [69] J. Riffat and J. Riffat, “Experimental Investigation of an Indoor Air Purification System using an Innovative Photocatalytic Mop,” no. August,



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

2023.

- [70] A. Kausar, I. Ahmad, T. Zhu, H. Shahzad, and M. H. Eisa, "Exigency for the Control and Upgradation of Indoor Air Quality—Forefront Advancements Using Nanomaterials," *Pollutants*, vol. 3, no. 1, pp. 123–149, 2023, doi: 10.3390/pollutants3010011.
- [71] D. Wood, S. Shaw, T. Cawte, E. Shanen, and B. Van Heyst, "An overview of photocatalyst immobilization methods for air pollution remediation," *Chem. Eng. J.*, vol. 391, p. 123490, 2020, doi: 10.1016/j.cej.2019.123490.
- [72] D. Gazioğlu Rüzgar and Ş. Altun, "Improving Indoor Air Quality with Textile Materials," *Tekst. ve Muhendis.*, vol. 23, no. 104, pp. 288–296, 2016, [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/advice/1/what-role-do-sustainable-materials-play-improving-sdxzf>
- [73] P. A. Abue, "Efficiency of Photocatalytic Oxidation Air Purifiers in Removing Single and Multi-Component Volatile Organic Compounds and Disinfection Byproducts From Indoor Environments Approved By Supervising Committee," 2021.
- [74] H. Abdullah, *Photocatalytic Activities for Environmental Remediation and Energy Conversion*, no. October. 2022. doi: 10.1007/978-981-19-6748-1.
- [75] P. Kumar, K. Arora, I. Chanana, S. Kulshreshtha, V. Thakur, and K. Y. Choi, "Comparative study on conventional and microalgae-based air purifiers: Paving the way for sustainable green spaces," *J. Environ. Chem. Eng.*, vol. 11, no. 6, p. 111046, 2023, doi: 10.1016/j.jece.2023.111046.
- [76] X. Wu, Y. Zhang, F. Hou, H. Wang, J. Zhou, and W. Yu, "The energy and time saving coordinated control methods of CO₂, VOCs, and PM_{2.5} in office buildings," *PLoS One*, vol. 17, no. 9 September, pp. 1–19, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0275157.
- [77] H. Rafeeq, M. A. Zia, A. Hussain, M. Bilal, and H. M. N. Iqbal, "Chapter 10 - Indoor air pollution and treatment strategies—Hybrid catalysis and



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

biological processes to treat volatile organic compounds,” A. Assadi, A. Amrane, and T. A. B. T.-H. and C. P. for A. P. C. Nguyen, Eds., Elsevier, 2022, pp. 257–283. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88449-5.00003-6>.

- [78] K. Teichman, C. Howard-Reed, A. Persily, and S. Emmerich, “Characterizing Indoor Air Quality Performance Using a Graphical Approach,” pp. 1–25, 2016, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.6028/NIST.TN.1868%0Ahttps://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/TechnicalNotes/NIST.TN.1868.pdf>
- [79] R. Dewi, P. M. Adhi, T. H. Nufus, and M. Kamal, “J-TETA : Jurnal Teknik Terapan Optimalisasi Desain Reaktor Fotokatalitik untuk Degradasi Formaldehida Menggunakan Substrat Stainless Steel Mesh,” vol. 4, no. 1, pp. 50–56, 2025.
- [80] S. E. Kim, J. C. Park, and Y. W. Song, “Indoor Pollutant Reduction Performance of Different Mechanical Ventilation Filters in Apartment Buildings,” *Indoor Air*, vol. 2023, 2023, doi: 10.1155/2023/8867880.

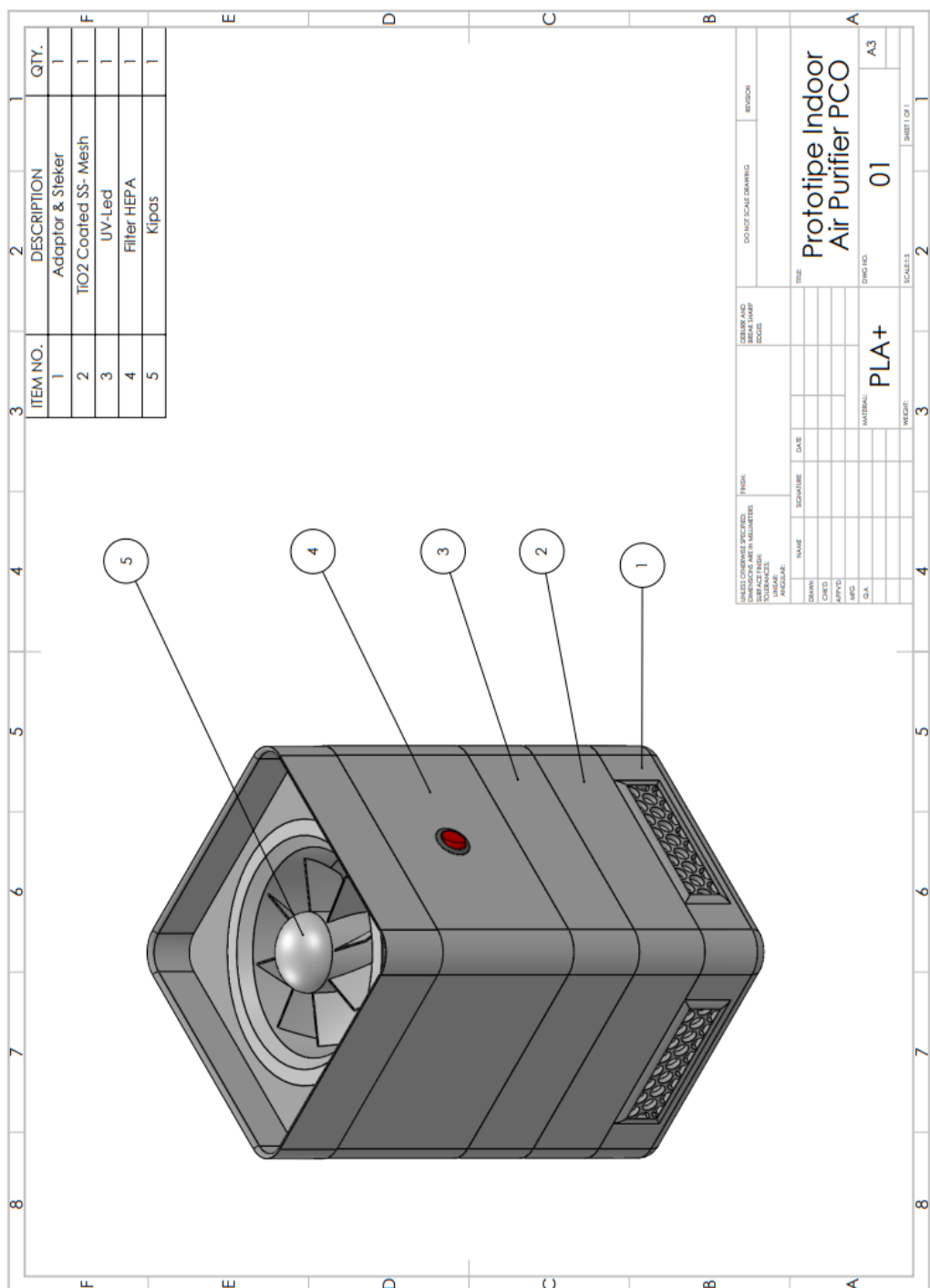
POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA

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

LAMPIRAN

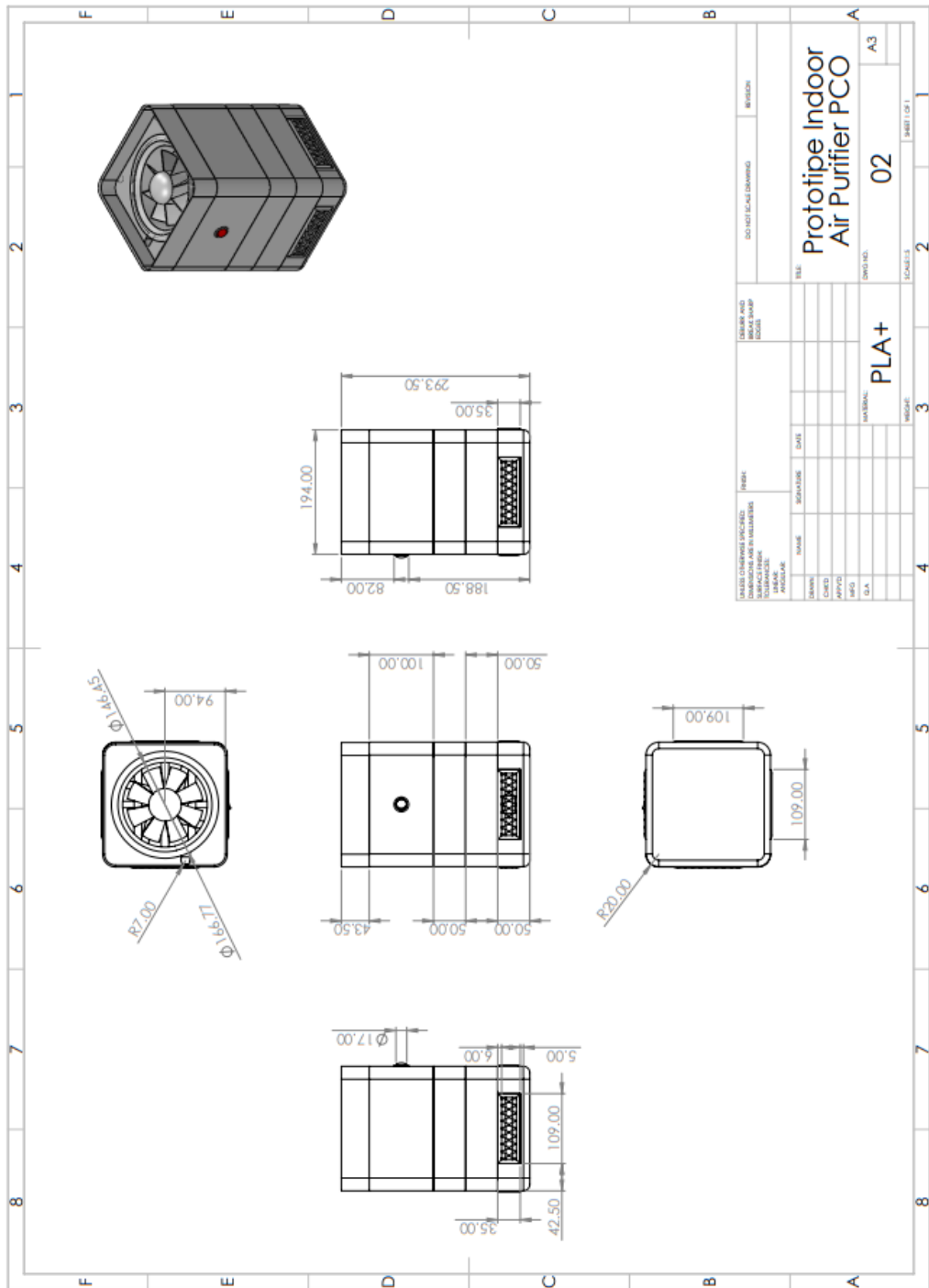
Lampiran Gambar A 1. Tampilan 3D Prototipe Air purifier PCO



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 Gambar A 2. Gambar Teknik Dimensi Lengkap Prototipe Air purifier PCO





© 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

Lampiran Gambar A 3. Bukti Sertifikat Pemakalah SNIV 2025



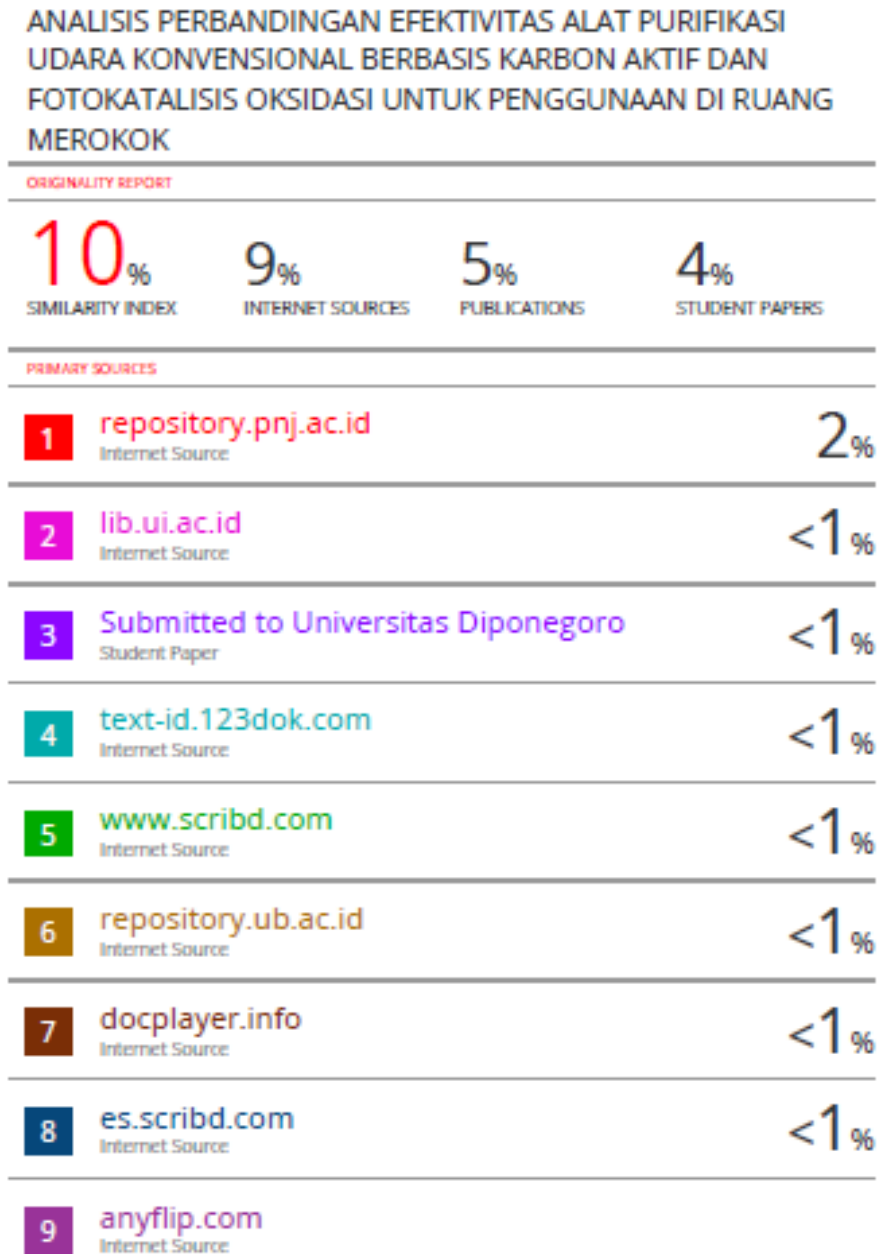


© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

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

Lampiran Gambar A 4. Bukti Hasil Pengecekan Similarity Turnitin





© 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

Lampiran Gambar A 5. Bukti Submit Jurnal SINTA 3 di JTM Universitas Kristen Petra

