

TUGAS AKHIR - CL234801

EVALUASI KINERJA SISTEM *DUST COLLECTOR* PADA INDUSTRI KERAMIK PT XYZ

HANA DEA PUSPITA

NRP 5014211056

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., M.EPM

NIP 19820119 200501 1 001

Program Studi Teknik Lingkungan

Departemen Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



TUGAS AKHIR - CL234801

**EVALUASI KINERJA SISTEM *DUST COLLECTOR* PADA
INDUSTRI KERAMIK PT XYZ**

HANA DEA PUSPITA

NRP 5014211056

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., M.EPM.

NIP 19820119 200501 1 001

Program Studi Teknik Lingkungan

Departemen Teknik Lingkungan

Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



FINAL PROJECT - CL234801

**PERFORMANCE EVALUATION DUST COLLECTOR
SYSTEM OF CERAMIC INDUSTRY PT XYZ**

HANA DEA PUSPITA

NRP 5014211056

Advisor

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., M.EPM

NIP 19820119 200501 1 001

Study Program Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Civil Engineering, Planning and Geo Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

LEMBAR PENGESAHAN

EVALUASI KINERJA SISTEM *DUST COLLECTOR* PADA INDUSTRI KERAMIK PT XYZ

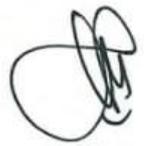
TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Lingkungan
Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil Perencanaan dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh : **HANA DEA PUSPITA**

NRP. 5014211056

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | | |
|--|------------|---|
| 1. Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., M.EPM | Pembimbing |  |
| 2. Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T. | Penguji |  |
| 3. Arry Febrianto, S.Si., M.T. | Penguji |  |
| 4. Prof. IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., Ph.D. | Penguji |  |



“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Hana Dea Puspita / 501421056
Program studi : S-1 Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing / NIP : Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., M.EPM.
/ 19820119 200501 1 001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “EVALUASI KINERJA SISTEM *DUST COLLECTOR* PADA INDUSTRI KERAMIK PT XYZ” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, Juli 2025

Mengetahui
Dosen Pembimbing



Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., M.EPM
NIP. 19820119 200501 1 001

Mahasiswa



Hana Dea Puspita
NRP. 5014211056

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

ABSTRAK

EVALUASI KINERJA SISTEM *DUST COLLECTOR* PADA INDUSTRI KERAMIK PT XYZ

Nama Mahasiswa / NRP : Hana Dea Puspita / 5014211056
Departemen : Teknik Lingkungan FTSPK - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T. M.EPM.

Abstrak

PT XYZ adalah salah satu industri yang bergerak dalam bidang manufaktur keramik ubin dengan kapasitas produksi 80.000 m²/hari. Keramik diproduksi melalui berbagai proses yang dapat menghasilkan bahan pencemar, terutama partikulat yang terdispersi dalam udara. Salah satu proses yang menghasilkan partikulat di PT XYZ adalah proses *squaring*. Penanganan partikulat dari proses *squaring* di PT XYZ dilakukan melalui instalasi peralatan paket *bag filter* sebagai *dust collector*. Namun, karena kurangnya pertimbangan teknis dan manajemen secara spesifik, sistem *dust collector* dan perangkat pendukung dari proses *squaring* keramik ini perlu dilakukan evaluasi kinerja.

Penelitian dilakukan dengan mengumpulkan data sekunder yang diperoleh dari perusahaan, meliputi spesifikasi teknis alat dan *layout* gambar serta dilakukan pula pengukuran dimensi melalui pengukuran secara langsung. Selain itu, dilakukan pula wawancara pada perwakilan perusahaan untuk mengetahui sistem manajemen *dust collector* yang sudah dilakukan. Pengolahan data dilakukan dengan melakukan analisis perhitungan berdasarkan standar *US Environmental Protection Agency* (USEPA) dan literatur terkait. Berdasarkan data eksisting, dilakukan evaluasi dengan metode *Root Cause Analysis* (RCA) melalui proses identifikasi dan analisis masalah potensial, identifikasi akar masalah melalui *fishbone diagram* serta perumusan rekomendasi.

Hasil validasi teknis menunjukkan ketidaksesuaian pada parameter kecepatan tangkap tudung isap sebesar 457,015 fpm, kecepatan transpor dalam sistem saluran udara secara berurutan sebesar 3086,164 fpm; 1826,133 fpm; 1543,084 fpm; 1693,369 fpm; 1468,728 fpm, A/C_{net} sebesar 4,799 CFM/ft² waktu operasional *pulse jet bag filter* selama 4 detik, kapasitas *fans* sebesar 41526-71726 m³/jam dan 4729-3316 Pa, kecepatan keluar cerobong sebesar 1246,063 fpm dan ketinggian cerobong yakni 1 m. Selanjutnya, dilakukan evaluasi menggunakan metode *Root Cause Analysis* melalui *fishbone diagram*. Berdasarkan hasil identifikasi akar-akar masalah dirumuskan rekomendasi berupa modifikasi teknis pada sistem *bag filter* dan perangkat pendukungnya, standardisasi cerobong, instalasi alat pengukuran/pengujian, penerapan Sistem Operasional Prosedur (SOP), standardisasi manajemen dokumen spesifikasi teknis dan peningkatan kompetensi pekerja.

Kata kunci: *Dust collector*, Evaluasi, Keramik, Partikulat, *Root Cause Analysis*

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

ABSTRACT

PERFORMANCE EVALUATION DUST COLLECTOR SYSTEM OF CERAMIC INDUSTRY PT XYZ

Student Name / NRP : Hana Dea Puspita / 5014211056
Department : Environmental Engineering FTSPK - ITS
Advisor : Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T. M.EPM.

Abstract

PT XYZ is one of the industries engaged in the manufacturing of tile ceramics with a production capacity of 80,000 m²/day. Ceramics are produced through a variety of processes that can produce pollutants, especially particulate matter that is dispersed in the air. One of the processes that produces particulates at PT XYZ is *the squaring process*. The handling of particulates from the *squaring process* at PT XYZ is carried out through the installation of bag filter package equipment as a *dust collector*. However, due to the lack of specific technical and management considerations, the *dust collector* system and supporting devices of the ceramic *squaring* process need to be evaluated for performance.

The research was carried out by collecting secondary data obtained from the company, including the technical specifications of the tool and *image layout* and also carrying out dimensional measurements through direct measurements. In addition, interviews were also conducted with company representatives to find out about the *dust collector management system* that had been carried out. Data processing is carried out by conducting calculation analysis based on US Environmental Protection Agency (USEPA) standards and related literature. Based on existing data, evaluation is carried out using *the Root Cause Analysis* (RCA) method, which involves identifying and analysing potential problems, determining the root cause through fishbone diagrams, and formulating recommendations.

The results of the technical validation showed a discrepancy in the parameters of the intake hood catch speed of 457,015 fpm, the transport speed in the air duct system was sequentially 3086,164 fpm; 1826,133 fpm; 1543,084 fpm; 1693,369 fpm; 1468.728 fpm, A/C_{net} was 4.799 CFM/ft², *pulse jet bag filter* operating time for 4 seconds, *fan* capacity was 41526-71726 m³/h and 4729-3316 Pa. The stack exit velocity is 1246,063 fpm and the height of the stack is 1 m. Furthermore, an evaluation was conducted using the Root Cause Analysis method using *fishbone diagrams*. Based on the results of the identification of the root of the problem, recommendations were formulated in the form of technical modifications to the bag filter system and its supporting devices, chimney standardization, installation of measurement/testing equipment, implementation of Operational Procedure System (SOP), standardization of technical specification document management and improvement of worker competence.

Keywords: Ceramic, Dust collector, Evaluation, Particulate, Root Cause Analysis

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT karena berkat, rahmat, dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir yang berjudul “EVALUASI KINERJA SISTEM *DUST COLLECTOR* PADA INDUSTRI KERAMIK PT XYZ” tepat pada waktunya. Penyusunan penelitian Tugas Akhir ini tidak terlepas dari partisipasi dan bimbingan dari semua pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu kelancaran penyusunan penelitian Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Bapak Arie Dipareza Syafei, S.T., M.EPM. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk memberikan ilmu, bimbingan dan arahan sehingga Tugas Akhir ini dapat terlaksana dengan baik.
2. Bapak Prof. Ir. Joni Hermana, MSc.ES., PhD., Bapak Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si., M.T., serta Bapak Arry Febrianto, S.Si., M.T., selaku dosen dari Laboratorium Pengendalian Pencemaran Udara dan Perubahan Iklim Departemen Teknik Lingkungan ITS yang telah memberi bimbingan dan saran dalam penyusunan dan penyempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Ipung Fitri Purwanti, S.T., M.T., PhD. selaku dosen wali yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama 4 tahun masa perkuliahan di Departemen Teknik Lingkungan ITS.
4. Keluarga, ayah, kakak, adik dan utamanya ibu yang tiada henti mendoakan, memberikan semangat, dukungan, dan doa sehingga penulis dapat selalu termotivasi untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Teman-teman yang selalu memberikan semangat dan dukungan sehingga penulis memiliki ambisi agar dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. PT XYZ yang telah memberikan ruang pada penulis untuk melakukan penelitian dan pengumpulan data perusahaan sehingga penulis dapat melaksanakan dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Dalam penyusunan penelitian Tugas Akhir ini, penulis telah berusaha semaksimal mungkin. Akan tetapi, tentunya masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis berharap adanya kritik dan saran yang membangun. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi pembaca maupun penulis.

Surabaya, 23 Juli 2025

Penulis

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Manfaat.....	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Dasar Teori	5
2.1.1 Industri Keramik PT XYZ	5
2.1.2 Sumber Pencemaran Udara.....	6
2.1.3 Partikulat.....	7
2.1.4 Pengendalian Pencemaran Udara	8
2.1.5 Desain <i>Bag Filter</i>	10
2.1.6 Perangkat Pendukung Sistem <i>Dust Collector</i>	17
2.1.7 <i>Root Cause Analysis</i>	21
2.2 Hasil Penelitian Terdahulu	22
BAB 3 METODOLOGI	25
3.1 Kerangka Penelitian.....	25
3.2 Tahapan Penelitian	27
3.2.1 Ide Penelitian	27
3.2.2 Studi Literatur.....	27
3.2.3 Tahap Persiapan.....	27
3.2.4 Tahap Pengumpulan Data.....	27
3.2.5 Tahap Analisis Data dan Pembahasan.....	29
3.2.6 Kesimpulan dan Saran	34

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	35
4.1 Identifikasi dan Analisis Penyebab Masalah Teknis	35
4.1.1 Penentuan Kapasitas Udara	36
4.1.2 Analisis Teknis Tudung Isap	38
4.1.3 Analisis Teknis Sistem Saluran Udara	40
4.1.4 Analisis Sistem <i>Bag Filter</i>	48
4.1.5 Analisis Sistem <i>Fans</i>	52
4.1.6 Analisis Sistem Cerobong	53
4.2 Validasi Permasalahan Teknis	54
4.3 Analisis Aspek Manajemen	56
4.4 Validasi Permasalahan Aspek Manajemen	58
4.5 Identifikasi Akar Permasalahan	59
4.6 Rekomendasi	62
4.6.1 Modifikasi teknis pada sistem bag filter dan perangkat pendukungnya	62
4.6.2 Standardisasi cerobong	63
4.6.3 Instalasi alat pengukuran/pengujian	64
4.6.4 Penerapan Sistem Operasional Prosedur (SOP)	65
4.6.5 Standardisasi proses manajemen seluruh dokumen spesifikasi teknis	68
4.6.6 Penyediaan sarana peningkatan kompetensi bagi departemen terkait	69
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN A	77
Lampiran A. 1 Formulir Wawancara Sistem <i>Dust Collector</i> Eksisting	77
Lampiran A.2 Standar Operasional Prosedur (SOP) Pemantauan Sistem <i>Dust Collector</i> sesuai ISO 9001:2015	79
Lampiran A.3 Gambar-gambar	83
LAMPIRAN B Lembar Asistensi	93
LAMPIRAN C Berita Acara Dosen Pembimbing dan Dosen Pengarah pada Seminar Kemajuan	95
LAMPIRAN D Berita Acara Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji pada Seminar Hasil dan Sidang Akhir	99
BIODATA PENULIS	103

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1	Diagram alir proses produksi keramik di PT XYZ	5
Gambar 2. 2	Sumber pencemaran udara dari proses produksi industri keramik	6
Gambar 2. 3	Hubungan pressure drop dengan kecepatan filtrasi berdasarkan jenis material filter	16
Gambar 2. 4	Bagian-bagian pulse jet bag filter	17
Gambar 2. 5	Kombinasi sistem dust collector dan perangkat pendukung	17
Gambar 2. 6	Ilustrasi peletakan tudung yang berdiri bebas	18
Gambar 3. 1	Alur Pelaksanaan Penelitian	26
Gambar 4. 1	<i>Layout</i> eksisting sistem <i>dust collector</i> di area <i>squaring</i> PT XYZ	36
Gambar 4. 2	Detail tudung isap eksisting	38
Gambar 4. 3	Pembagian sistem saluran udara area <i>squaring</i> PT XYZ	40
Gambar 4. 4	Pembagian sistem inlet bag filter	48
Gambar 4. 5	Denah tube sheet eksisting pada sistem bag filter area <i>squaring</i> PT XYZ	51
Gambar 4. 6	Cerobong eksisting area <i>squaring</i> PT XYZ	53
Gambar 4. 7	Struktur pembagian peran dan tanggung jawab di PT XYZ	57
Gambar 4. 8	Hasil analisis fishbone diagram permasalahan pertama	60
Gambar 4. 9	Hasil analisis <i>fishbone diagram</i> permasalahan kedua	61
Gambar 4. 10	Diagram alir SOP pemantauan sistem dust collector	66

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar baku mutu sumber tidak bergerak bagi usaha dan/atau kegiatan industri keramik	7
Tabel 2. 2 Karakteristik bahan filter	11
Tabel 2. 3 Nilai material factor	12
Tabel 2. 4 Nilai application factor	12
Tabel 2. 5 A/C ratio sesuai jenis industri dan mekanisme pembersihan sistem	13
Tabel 2. 6 Kriteria desain kecepatan aliran udara setiap jenis hood dan prosesnya	19
Tabel 2. 7 Kecepatan transpor minimal	19
Tabel 2. 8 Rekomendasi kecepatan aliran dalam sistem saluran udara untuk jenis material spesifik.....	20
Tabel 2. 9 <i>State of The Art</i>	22
Tabel 3. 1 Pengumpulan data.....	28
Tabel 3. 2 Koefisien <i>Friction hood</i>	30
Tabel 3. 3 Faktor dari radius kelengkungan	31
Tabel 4. 1 Hasil perhitungan total tekanan seluruh sistem sesuai rencana pengembangan.....	47
Tabel 4. 2 Ketidakesesuaian teknis pada sistem eksisting.....	54

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan sektor industri diiringi dengan kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi menjadi faktor penting peningkatan perekonomian masyarakat. Proses industri tidak lepas dari bahan baku serta produk dan limbah sebagai hasil. Dalam penanganannya, limbah industri perlu menjadi perhatian khusus karena berpotensi mengandung bahan berbahaya dan beracun (B3) yang dapat membahayakan makhluk hidup, termasuk manusia dan juga lingkungan (Nursabrina dkk., 2021). Selain menghasilkan limbah padat dan cair, industri juga memiliki kontribusi yang cukup tinggi dalam menghasilkan emisi ke udara bebas. Pencemaran udara oleh industri dapat bersumber dari *stationary source* (sumber tidak bergerak) yang berasal dari cerobong maupun *mobile source* (sumber bergerak) yang berasal dari kendaraan. Oleh sebab itu, diperlukan pengendalian pencemaran udara melalui upaya pencegahan, penanggulangan dan pemulihan dampak pencemaran udara sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Salah satu industri yang memiliki peran dalam menghasilkan emisi ke udara adalah industri keramik. Produk keramik memiliki nilai estetika maupun fungsional yang kerap dimanfaatkan sebagai pilihan bahan baku untuk pelengkap bangunan, bahan pembuatan perabotan rumah tangga hingga dalam bidang otomotif. Setiap tahunnya, produksi keramik nasional menunjukkan tren positif melalui kontribusinya pada pasar dalam maupun luar negeri (Wati dkk., 2019). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 17 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Keramik, setiap industri keramik wajib melakukan pemantauan, pelaporan dan pengendalian setiap udara emisi yang dikeluarkannya sehingga tidak melebihi baku mutu yang telah ditetapkan.

PT XYZ adalah salah satu industri yang bergerak dalam bidang manufaktur keramik ubin dengan kapasitas produksi mencapai 80.000 m² keramik/hari. Tingginya kapasitas produksi sebanding dengan udara emisi yang dihasilkan PT XYZ. Dalam prosesnya, keramik yang diproduksi di PT XYZ akan melalui beberapa proses, termasuk *crushing, milling, spray drying, pressing, horizontal spray dryer, glaze preparation and application*, pembakaran dengan kiln, *squaring* hingga *sorting and packing*. Hampir seluruh proses tersebut menghasilkan emisi partikulat, termasuk proses *squaring*. Proses *squaring* atau *cutting* pada tepian produk keramik akan menghasilkan emisi berupa partikulat dengan ukuran yang sangat halus (Ebrahimi dkk., 2023). Pencemaran udara akibat partikulat dapat membahayakan kesehatan pekerja di dalam lokasi yang berpotensi menimbulkan gangguan kardiovaskular, gangguan fungsi pembuluh darah, peningkatan tekanan darah, perubahan irama jantung, gangguan pembekuan darah, penyakit arteri koroner hingga stroke (Miller, 2022). Oleh karena itu, pengendalian pencemaran udara, terutama untuk parameter partikulat, menjadi perhatian khusus dari PT XYZ.

PT XYZ telah melakukan upaya pengendalian pencemaran partikulat dari proses *squaring* dengan melengkapi proses pengolahan udara proses yang dihasilkan dengan sistem *dust collector* berupa *bag filter*. Namun, berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan pihak perusahaan, proses instalasi *bag filter* pada proses *squaring* menggunakan peralatan paket yang tidak didesain secara spesifik sesuai kondisi eksisting di PT XYZ. Selain itu, instalasi

cerobong eksisting terletak di area kerja dengan tinggi 1 meter. Pihak perusahaan mengungkapkan kondisi tersebut kurang ideal karena dapat mengganggu produktivitas karyawan di area kerja. Hal ini juga diperkuat dari data rata-rata hasil pengujian udara ambien pada parameter PM_{2,5} di sekitar area keluaran cerobong proses *squaring* yang dilakukan saat penelitian berlangsung, yakni sebesar 263,3 µg/m³. Jika merujuk Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup, nilai ini melebihi standar baku mutu yang ditetapkan. Meskipun masih sesuai dengan Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Lingkungan Kerja, hasil pengujian udara ambien tersebut, menunjukkan potensi pencemaran udara yang perlu dilakukan tindak lanjut, terutama apabila terdapat tenaga kerja yang termasuk dalam kelompok rentan. Oleh sebab itu, diperlukan adanya evaluasi kinerja sistem *dust collector* pada proses *squaring* di PT XYZ. Proses evaluasi dapat dilakukan melalui metode *Root Cause Analysis* (RCA) yang secara spesifik dilakukan menggunakan *fishbone diagram*. Metode ini dipilih karena dapat menggambarkan akar-akar permasalahan berdasarkan beberapa aspek secara komprehensif (Susendi dkk., 2021). Selain itu, memiliki metode yang sederhana sehingga dapat diterapkan oleh perusahaan secara mandiri. Hasil evaluasi yang diperoleh akan menghasilkan rekomendasi baru bagi perusahaan yang dapat digunakan untuk memaksimalkan proses pengendalian pencemaran udara proses industrinya, terutama untuk meningkatkan efektivitas sistem *bag filter* yang sudah dipasang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, dapat disusun rumusan masalah dalam penelitian Tugas Akhir sebagai berikut.

1. Bagaimana kondisi eksisting sistem *dust collector* di PT XYZ?
2. Bagaimana rekomendasi yang dapat diberikan untuk perusahaan berdasarkan hasil evaluasi sistem *dust collector* di PT XYZ?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, adapun tujuan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan hasil evaluasi kondisi eksisting sistem *dust collector* di PT XYZ.
2. Menentukan rekomendasi yang dapat diberikan untuk perusahaan berdasarkan hasil evaluasi sistem *dust collector* di PT XYZ.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam pelaksanaan dan proses analisis pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Periode penelitian dan pengambilan data dimulai dari bulan Februari hingga Mei 2025 di industri keramik PT XYZ yang terletak di Kabupaten Mojokerto.
2. Objek dalam penelitian ini adalah sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya (tudung isap, *ductwork*, *fans* dan cerobong) dari proses *squaring* keramik.
3. Proses evaluasi dilakukan pada peralatan tanpa dilakukan evaluasi dan analisis pengaruh dari aktivitas proses *squaring*.

4. Proses evaluasi dilakukan pada lingkup desain teknis dan manajemen disesuaikan dengan relevansi data saat dilakukan penelitian.
5. Capaian kinerja pada aspek teknis untuk menentukan hasil evaluasi sistem *dust collector* didasarkan dari kriteria desain teknis sistem *dust collector* mengacu pada standar *US Environmental Protection Agency (USEPA)*.

1.5 Manfaat

Adapun manfaat dari penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

- 1) Sebagai sarana pengembangan diri bagi mahasiswa dalam melakukan proses penelitian sehingga diharapkan dapat meningkatkan pengetahuan mahasiswa.
- 2) Sebagai sarana kontribusi perusahaan pada bidang akademik untuk menghasilkan generasi berkualitas terutama dalam sektor pengembangan industri.
- 3) Sebagai dasar pengembangan penelitian, terutama dalam bidang pengendalian pencemaran udara di sektor industri.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

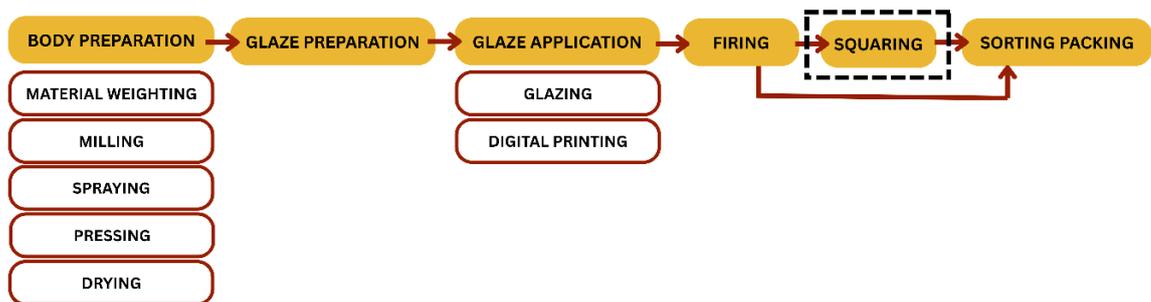
BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Dasar Teori

2.1.1 Industri Keramik PT XYZ

PT XYZ merupakan salah satu industri manufaktur keramik ubin yang dibangun sejak tahun 2013. Selama lebih dari 1 dekade, PT XYZ meningkatkan kuantitas dan kualitas produknya sehingga dapat menjangkau target pasar untuk lebih dari 50 negara. Hingga saat ini, kapasitas produksi PT XYZ telah mencapai 80.000 m² keramik/hari. Dalam operasionalnya, PT XYZ menempati lahan dengan luasan hampir 10 hektar di wilayah yang secara administratif terletak di Kabupaten Mojokerto, Jawa Timur. Berdasarkan dokumen perusahaan, PT XYZ melakukan produksi keramik melalui beberapa tahapan proses, seperti *body preparation*, *press*, *drying*, *glaze preparation and application*, pembakaran, *cutting* atau *squaring* hingga *sorting and packing*. Proses tersebut dapat ditunjukkan pada alur produksi sesuai **Gambar 2.1**



Gambar 2. 1 Diagram alir proses produksi keramik di PT XYZ
(Dokumen Perusahaan, 2024)

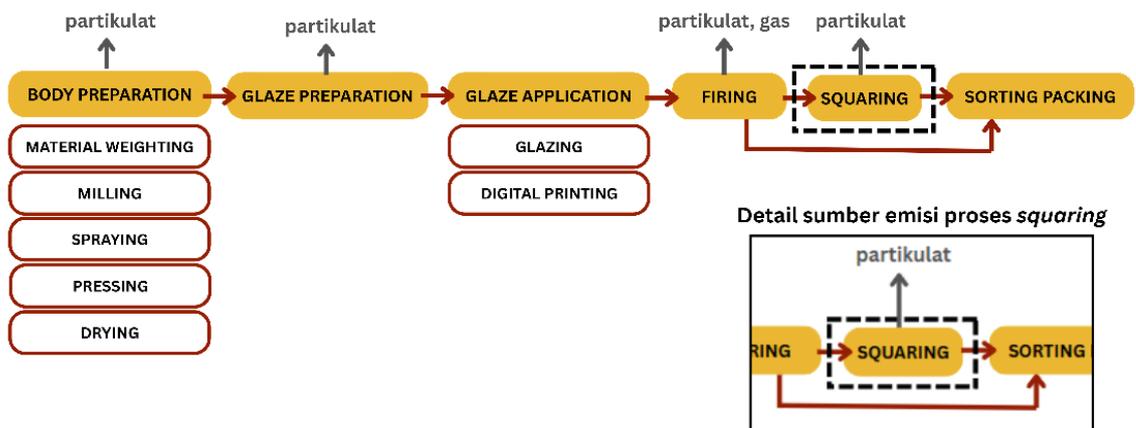
Pada dasarnya, produk keramik terbuat dari bahan baku utama berupa *clay*, *feldspar*, *dolomite* dan *water glass*. Dalam proses produksinya, terbagi menjadi 2 proses utama, yakni pembuatan *body* keramik dan pembuatan *glaze*. Tahap awal pembuatan *body* keramik dilakukan melalui penyiapan *raw material* melalui tahapan *crushing* serta penimbangan dan pencampuran bahan baku sesuai komposisi yang dibutuhkan. Selanjutnya, dilakukan *milling* menggunakan unit *ball mill*. Setelah itu, *powder* yang telah memiliki karakteristik yang sesuai dapat diangkut menuju mesin *press* melalui *conveyor*. Proses *pressing* dilakukan dengan tekanan tinggi sehingga didapatkan bentuk *body* keramik sesuai dimensi yang telah diatur. Selanjutnya, dilakukan proses pengeringan menggunakan *horizontal spray dryer* pada suhu 120-160°C sehingga *body* keramik memiliki tekstur biskuit.

Pada tahap selanjutnya, dilakukan pembuatan *glaze* sebagai salah satu proses utama dalam pembuatan produk keramik. Proses ini dilakukan melalui pencampuran bahan *glaze* dan *engobe* yang sesuai komposisi untuk pengglasuran (*glaze application*) sehingga dapat digunakan untuk memberi warna dasar pada *body* keramik. Sementara itu, motif pada keramik akan tercetak pada proses *digital printing*. Setelah seluruh proses pembentukan *body* keramik dan pelapisan *glaze* dilakukan, proses produksi dilanjutkan dengan pembakaran keramik dengan kiln yang bersuhu maksimal 1200°C. Sebelum dilakukan

sorting and packing, sebagian produk keramik di PT XYZ akan melewati proses *squaring* yang digunakan untuk memotong sudut tepian keramik menggunakan metode *dry cutting*. Proses ini dilakukan sebagai bentuk proses *finishing* sehingga penggunaan dan pemasangan produk keramik lebih aman digunakan. Setelah seluruh proses produksi telah dilakukan, dapat dilakukan *sorting* secara manual untuk menjaga kualitas produk yang sudah dihasilkan, sedangkan *packing* dilakukan dengan bantuan mesin. Setelah seluruh proses telah dilakukan, produk keramik dapat didistribusikan kepada pelanggan.

2.1.2 Sumber Pencemaran Udara

Kegiatan industri dapat menghasilkan emisi dari sumber bergerak maupun tidak bergerak. Sumber bergerak dapat berasal dari kendaraan yang dimiliki secara langsung maupun tidak langsung oleh perusahaan. Sementara itu, emisi dari sumber tidak bergerak, berasal dari emisi cerobong proses milik perusahaan. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi jenis polutan yang diemisikan dari setiap cerobong proses industri, meliputi: jenis proses produksi, bahan baku produksi dan sumber energi produksi yang spesifik digunakan dalam perusahaan. Sebagai salah satu industri produk keramik, PT XYZ juga mengemisikan beberapa jenis polutan dari proses produksinya. Menurut Luchmanandri & Hendrasarie (2023), proses pembakaran pada kiln di industri keramik dapat menghasilkan beberapa zat berbahaya, seperti Carbon Dioksida (CO₂), Hidrogen Fluorida (HF), Nitrogen Dioksida (NO₂), *Particulate Matter* (PM) dan Sulfur Dioksida (SO₂). Partikulat menjadi salah satu sumber emisi utama dalam industri keramik karena proses produksinya menghasilkan bubuk secara masif, seperti pada tahap *milling*, *spray drying*, *pressing* hingga pembakaran (Boschi dkk., 2020). Selain dari proses tersebut, proses *squaring* atau *cutting* pada produk keramik juga menghasilkan partikulat dengan ukuran yang sangat halus (Ebrahimi dkk., 2023). Sumber pencemaran udara dari setiap proses di industri keramik dapat ditunjukkan melalui **Gambar 2.2**.



Gambar 2. 2 Sumber pencemaran udara dari proses produksi industri keramik

Sebagai salah satu industri yang bergerak dalam bidang manufaktur keramik, PT XYZ memiliki kewajiban untuk mengolah polutan yang diemisikan sehingga tidak melebihi standar baku mutu yang telah ditetapkan. Ketentuan ini telah diatur secara tertulis pada Lampiran Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 17 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Keramik yang dapat ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2. 1 Standar baku mutu sumber tidak bergerak bagi usaha dan/atau kegiatan industri keramik

No.	Sumber	Parameter	Kadar/Beban Emisi Maksimum	Satuan
1.	Kiln	Sulfur Dioksida (SO ₂)	400	mg/Nm ³
		Nitrogen Oksida (NO _x)	600	mg/Nm ³
		Total Partikulat	150	mg/Nm ³
		Hidrogen Fluorida (HF)	10	mg/Nm ³
2.	Semua sumber selain kiln dan utilitas (<i>crushing, grinding, finishing, dan drying</i>)	Total Partikulat	150	mg/Nm ³
3.	Semua sumber	Opasitas	20	%

(Lampiran Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 17 Tahun 2008)

2.1.3 Partikulat

Pencemaran udara dapat bersumber dari proses biogenik maupun kegiatan antropogenik, seperti aktivitas transportasi, konstruksi, pertambangan hingga kegiatan industri (Dwicahya & Cahyonugroho, 2024). Kegiatan industri menghasilkan emisi yang mengandung berbagai jenis polutan, termasuk total partikulat. USEPA (2024) mendefinisikan total partikulat sebagai campuran partikel padat dan tetesan cairan yang terdapat di dalam udara dan diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yakni PM₁₀ yang merupakan partikulat pada udara dengan diameter 10 µm dan lebih kecil, serta PM_{2,5}, partikel halus yang dapat terhirup dengan diameter 2,5 µm dan lebih kecil. Sifat parameter tersebut mudah dihirup dan masuk ke tubuh manusia sehingga dapat mempengaruhi kesehatan. Paparan PM₁₀ berpotensi menyebabkan peradangan paru-paru dan peradangan sistemik, yang mendorong timbulnya disfungsi endotel vaskular sehingga dapat menyebabkan aterosklerosis dengan risiko terburuk adalah kematian (Sintorini, 2018). Selain itu, terdapat partikulat dengan jenis PM₁ yang memiliki ukuran diameter yang lebih kecil daripada PM₁₀ maupun PM_{2,5} (berukuran 1 mikrometer dan lebih kecil) sehingga memiliki potensi lebih besar untuk mencapai lobus bawah paru-paru dan mempengaruhi sistem pernapasan (Wang dkk., 2021).

Pada industri keramik, total partikulat menjadi salah satu parameter udara emisi yang wajib dilakukan pemantauan dan pengendalian. Total partikulat di industri keramik umumnya dihasilkan dari emisi fugitif yang berasal dari penyimpanan dan penanganan bahan bubuk di udara terbuka serta emisi yang dihasilkan dari tahap-tahap proses utama dalam produksi keramik (Minguillon dkk., 2009). Industri keramik dapat menghasilkan partikulat dengan distribusi ukuran yang berbeda, mulai dari yang kasar (*coarse*), halus (*fine*), hingga sangat halus (*ultrafine*). Sebanyak 20% partikulat yang dihasilkan dari proses *cutting* keramik ubin dengan metode *rotary dry cutting* adalah partikulat dengan ukuran lebih kecil dari 100 nm (*ultrafine*) (Moreno-Martin dkk., 2025). Oleh sebab itu, kualitas udara baik di area kerja maupun di area sekitar industri keramik perlu menjadi perhatian utama. Industri

keramik harus secara aktif melakukan pengendalian pencemaran udara, baik melalui instalasi alat pengendalian pencemaran udara maupun dengan melakukan pengujian kualitas udara secara rutin. Pengujian kualitas udara dapat dilakukan melalui analisis terhadap konsentrasi udara emisi dan udara ambien. Dalam melakukan pengujian udara emisi untuk parameter partikulat, perlu dilakukan pada kondisi isokinetik sesuai SNI 7117-21:2021. Sementara itu, dalam pengukuran udara ambien dapat dilakukan dengan metode *High Volume Air Sampler* sesuai SNI 19-7119.3-2005.

2.1.4 Pengendalian Pencemaran Udara

Proses industri yang melibatkan bahan baku dan metode produksi yang kompleks merupakan penyebab eksistensi polutan pada udara emisi. Apabila udara dari proses diemisikan langsung tanpa melalui tahap pengendalian, dapat mempengaruhi kualitas udara lingkungan. Oleh sebab itu, selain berupaya melalui penguatan standar, regulasi dan penegakan hukum, dalam melakukan pengendalian pencemaran udara diperlukan pula peran ilmu pengetahuan dan teknologi. Setiap industri telah disyaratkan memiliki teknologi pengendali pencemaran udara sebelum udara proses dapat diemisikan melalui cerobong. Selayaknya industri lain, PT XYZ juga perlu melakukan instalasi teknologi pengendalian pencemaran udara, terutama untuk parameter partikulat, sebagai polutan utama prosesnya. Theodore (2008) menyebutkan, mekanisme pengumpulan partikulat akan bekerja sesuai prinsip dasar, termasuk pengendapan gravitasi, prinsip sentrifugal, impaksi inersia dan intersepsi, daya tarik elektrostatis, *thermophoresis* dan *diffusiophoresis* dan gerak *Brown*. Beberapa teknologi yang menerapkan prinsip tersebut, meliputi *gravity separator*, *cyclone separator*, *bag filter*, *electrostatic separator* dan *scrubber*.

2.1.4.1 Gravity Separator

Gravity separator memanfaatkan prinsip gravitasi dengan penyediaan *chamber* yang didesain sehingga dapat mengubah kecepatan aliran udara yang masuk serta mengubah arahnya sehingga partikulat dapat bergerak vertikal ke bawah dan dapat dipisahkan dengan aliran udara (Cecala dkk., 2019). Meskipun sistem pengoperasian dan pemeliharaannya sederhana dan lebih mudah, penggunaan peralatan ini hanya efektif untuk penyisihan partikulat berukuran lebih besar dari 50 μm . Oleh sebab itu, dalam penerapannya sebagai salah satu alternatif teknologi pengendalian partikulat, sistem *gravity separator* berperan sebagai pengolahan sekunder. Penggunaan teknologi ini perlu dikombinasikan dengan teknologi eksisting lainnya sehingga proses penyisihan partikulat lebih efektif (Tan, 2014). Berdasarkan aspek perencanaan desain, kecepatan aliran rata-rata aliran udara yang masuk dalam sistem *gravity separator* menjadi parameter yang perlu diperhatikan. Hal ini diperlukan sehingga kecepatan aliran udara tidak melebihi *pickup velocity* spesifik material yang telah tersisihkan dan mengendap pada bagian *chamber*.

2.1.4.2 Cyclone Separator

Cyclone separator merupakan teknologi pengendalian partikulat yang memanfaatkan prinsip gaya sentrifugal untuk menyisihkan partikulat dari aliran udara yang masuk dalam sistem. Proses penyisihan partikulat terjadi saat aliran udara kotor masuk dalam sistem sehingga gaya inersia aliran partikel menjadi gaya sentrifugal. Hal ini dapat terjadi karena didukung desain pada alat *cyclone separator* yang mengerucut sampai area bawah sehingga memungkinkan pembentukan siklon pusaran luar yang

untuk memisahkan partikel dari aliran udara. Saat aliran udara membentuk pusaran, partikulat akan bergerak menabrak dinding alat dan jatuh terkumpul pada bagian *chamber*. Sementara itu, udara bersih akan dikeluarkan melalui bagian atas bangunan melalui aliran *inner vortex*. Dalam penerapannya, *cyclone separator* digunakan untuk menyisahkan partikulat kering yang berukuran lebih dari 10 μm dengan laju aliran udara 50 hingga 5000 m^3/jam yang secara proses dapat divariasikan dengan meletakkan paralel *cyclone separator* apabila laju alir lebih dari 20000 m^3/jam untuk menghindari kerak pada peralatan (Wang dkk., 2004). Menurut Bashir (2015), terdapat beberapa kelebihan yang membuat *cyclone separator* menjadi salah satu alat pengendali partikulat yang dipilih oleh perusahaan, yakni biaya operasional cenderung rendah serta proses pemeliharaan yang lebih mudah.

2.1.4.3 Electrostatic Precipitator (EP)

Teknologi pengendalian pencemaran udara untuk menyisahkan partikulat pada aliran udara proses dapat menerapkan prinsip daya tarik elektrostatik melalui teknologi *Electrostatic Precipitator* (EP). Berdasarkan Sutrisno & Meilasari (2024), Proses yang terjadi pada teknologi EP dimulai saat aliran udara proses yang membawa partikulat memasuki sistem. Dalam sistem, aliran udara diberi muatan listrik searah (DC) dengan tegangan tinggi yang terdapat pada elektroda bermuatan negatif (anoda). Hal ini menyebabkan partikulat pada aliran udara memiliki muatan negatif. Setelah itu, partikulat bermuatan dalam aliran udara dapat ditarik dan terikat pada plat-plat bermuatan positif yang telah tersedia dalam sistem. Semakin besar ukuran partikulat akan menyebabkan ionisasi material akan semakin besar sehingga menyebabkan potensi penyisihan partikulat pada udara juga semakin tinggi. Melalui prinsip daya tarik elektrostatik yang diterapkan, partikulat dari aliran udara proses dapat disisahkan sehingga konsentrasi partikulat pada udara yang diemisikan melalui cerobong proses dapat menurun. Teknologi ini memiliki beberapa kelebihan karena memiliki efisiensi penyisihan partikulat hingga lebih dari 90% (Fathony, 2023).

2.1.4.4 Scrubber

Teknologi *scrubber* adalah salah satu inovasi teknologi pengendalian pencemaran udara yang dapat melakukan penyisihan gas dan partikulat dalam aliran udara pada saat yang sama (Heriantini dkk., 2019). Berdasarkan prinsip kerjanya, jenis *scrubber* digolongkan menjadi 2, yakni *dry scrubber* dan *wet scrubber*. Menurut Baloyi dkk (2024), *wet scrubber* menggunakan pelarut berfasa cair untuk menghilangkan polutan pada aliran udara dengan efisiensi penyisihan polutan lebih tinggi dibanding *dry scrubber*. *Dry scrubber* diterapkan hanya dengan memanfaatkan *solid material* (bubuk) untuk memisahkan kontaminan pada aliran gas buang industri, tanpa adanya penjejukan kontaminan. Sementara itu, *wet scrubber* menerapkan pengaplikasian pelarut yang disemprotkan melalui *shower* saat aliran udara masuk ke dalam venturi secara sentrifugal sehingga menyebabkan polutan dalam udara dan pelarut (air) akan jatuh ke bawah dan membentuk *sludge* yang nantinya melalui proses filtrasi sehingga cairan yang dihasilkan dapat digunakan kembali sebagai *shower* (Rahmawati, 2020).

2.1.4.5 Bag Filter

Teknologi *bag filter* digunakan untuk menyisahkan partikulat kering yang tersuspensi dalam udara proses dengan memanfaatkan sifat partikulat, yakni impaksi

inersia dan intersepsi. Prinsip ini menyebabkan partikulat tertahan dan menyangkut pada serat-serat filter saat udara proses melewati kantong filter. Hal tersebut menyebabkan dapat diperoleh aliran udara yang lebih bersih. Pada tahap selanjutnya, dilakukan pembersihan pada partikulat yang tertahan pada kantong filter menggunakan beberapa metode tertentu. Melalui pembersihan ini, partikulat akan jatuh dan terakumulasi pada bagian *hopper* sistem *bag filter* untuk selanjutnya dapat dikeluarkan dan dibuang. Proses penyisihan partikulat dari aliran udara dalam *bag filter* dimulai saat udara kotor yang berasal dari buangan industri masuk melewati kantong filter, nantinya partikulat yang tertahan akan jatuh dalam *hopper* (Firdaus dkk., 2023). Teknologi ini telah secara masif digunakan di berbagai industri sebagai alat pengendali pencemaran udara akibat partikulat karena pengoperasiannya mudah dengan efisiensi penyisihan tinggi mencapai 99% (Pence, 2012).

2.1.5 Desain Bag Filter

Bag filter atau *bag house* atau *fabric filter* adalah alat pengendali partikulat dengan efisiensi tinggi dalam penyisihan partikulat yang memanfaatkan prinsip impaksi dan intersepsi inersia (Theodore, 2008). Terdapat beberapa aspek yang mempengaruhi proses desain alat pengendali pencemaran udara, termasuk *bag filter*, yang meliputi aspek lingkungan, teknis dan biaya. Kegiatan industri, terutama industri keramik yang emisi utamanya adalah partikulat, membutuhkan alat pengendali pencemaran udara seperti *bag filter* yang dapat bekerja secara efektif. Oleh sebab itu, diperlukan proses desain spesifik pada *bag filter* yang akan digunakan untuk suatu proses industri. Menurut Schnelle & Brown (2002), terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan saat merencanakan *bag filter*, sebagai berikut.

a) Mekanisme pembersihan

Sistem *bag filter* mengalami perkembangan dan modifikasi dari masa ke masa. Hingga saat ini, terdapat beberapa mekanisme pembersihan yang telah banyak diterapkan, meliputi:

- *mechanical shaker*, menggunakan prinsip pembersihan dengan menghentikan aliran gas dalam sistem, lalu filter akan digoyangkan untuk membuang debu yang menempel dengan durasi pembersihan 30 detik hingga beberapa menit.
- *reverse air*, pembersihan dilakukan selama beberapa menit dengan cara menarik sebagian gas yang telah dibersihkan dari manifold sisi bersih menggunakan kipas sehingga gas bersih bertekanan rendah dapat dihembuskan secara perlahan sehingga dapat digunakan untuk pembersihan filter,
- *pulse jet*, dengan sistem pembersihan bertekanan tinggi dengan semburan udara bertekanan yang sangat singkat (7-14 psi, beberapa jenis *bag filter pulse jet* lainnya memiliki tekanan udara mencapai 40 psi) untuk melepaskan debu pada filter dengan durasi sekitar 100 hingga 200 msc secara *online* maupun *offline*

b) Bahan media filter

Bahan media filter berpengaruh terhadap karakteristik filter termasuk toleransi suhu, resistansi kimia, berat dan kekuatan. Hal ini akan berdampak pada efisiensi dan ketahanan sistem *bag filter*. Beberapa sifat bahan media filter dapat ditunjukkan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2. 2 Karakteristik bahan filter

Bahan	Direkomendasikan Maks		Resistansi Kimia		Resistansi Abrasi	Biaya (per 8-ft bag)
	Suhu operasi (°F)	Perubahan suhu (°F)	Asam	Basa		
Kapas	180	200	Buruk	Baik	Baik	\$8
Wol	200	230	Baik	Buruk	Cukup	
Nilon	200	250	Buruk	Baik	Sangat baik	
<i>Polypropylene</i>	200	200	Sangat baik	Sangat baik	Sangat baik	\$8
<i>Polyester</i>	275	300	Baik	Cukup	Sangat baik	\$9
Akrilik	260	285	Baik	Cukup	Baik	\$13
<i>Nomex@</i>	375	400	Cukup	Baik	Sangat baik	\$22
<i>Ryton@</i>	375	400	Sangat baik	Sangat baik	Sangat baik	
<i>Teflon</i>	450	500	Sangat baik	Sangat baik	Cukup	\$26
<i>Fiberglass</i>	500	550	Baik	Baik	Cukup	\$24
Terlapisi silika kemurnian tinggi	900	1050	Baik	Baik	Cukup	\$150
<i>Ceramic candle</i>	1650	1830				\$1000

(Schnelle & Brown, 2002)

c) Ukuran bag filter

Ukuran bag filter akan dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain:

- *Air-to-Cloth Ratio (A/C)*, pada dasarnya merupakan *air flowrate* dibagi dengan luasan filter yang bersinggungan dengan udara kotor yang nilainya akan berbanding terbalik dengan dimensi kerangka bag filter. Umumnya, bag filter dengan jenis *pulse jet* memiliki *A/C ratio* lebih besar daripada jenis *shaker* maupun *reverse air*. Penentuan *Air-to-Cloth Ratio (A/C)* dapat dilakukan secara empiris sesuai Turner dkk (1998), melalui persamaan berikut.

$$V = 2,878 \times A \times B \times T^{-0.2335} \times L^{-0.06021} (0,7471 + 0.0853 \ln D) \quad (2.1)$$

Di mana

V = A/C ratio (fpm)

A = material factor, nilainya dapat disesuaikan dengan jenis material yang diolah pada sumber emisi sesuai pada Tabel 2.3 sebagai berikut.

Tabel 2. 3 Nilai *material factor*

15	12	10	9	6
<i>Cake mix</i>	Asbes	Alumina	Pupuk amonium fosfat	Karbon aktif
Debu karton	<i>Buffing dust</i>	Aspirin	<i>Cake</i>	Karbon hitam (molekuler)
Kakao	Bahan <i>fibrous</i> dan selulustik	Karbon hitam	Tanah diatom	Deterjen
<i>Feeds</i>	Pengocok pengecoran	Semen	Petrokimia kering	Asap dan produk terdispersi lainnya langsung dari reaksi
Tepung	<i>Gypsum</i>	Pigmen keramik	Pewarna	Susu bubuk
<i>Grain</i>	Jeruk nipis (terhidrasi)	Debu tanah liat dan bata	Abu terbang	Sabun
<i>Leather dust</i>	Perlit	Batu bara	Serbuk logam	
Debu gergaji	Bahan kimia karet	<i>Fluorspar</i>	Oksida logam	
Tembakau	Garam	<i>Gum, natural</i>	Pigmen metalik dan sintetis	
	<i>Sandblast dust</i>	Kaolin	Plastik	
	<i>Soda ash</i>	Batu kapur	Resin	
	<i>Tale</i>	Perklorat	Silikat	
		Debu batu, bijih dan mineral	Pati	
		Silika	Stearat	
		Asam sorbat	Asam tanat	
		Gula		

(Turner dkk., 1998)

B = *application factor*, nilainya dapat disesuaikan dengan jenis aktivitas industri yang dilakukan oleh sumber emisi yang dapat disesuaikan pada **Tabel 2.4**

Tabel 2. 4 Nilai *application factor*

Nuisance Venting	
Bantuan titik transfer, konveyor, stasiun pengepakan, dan lain sebagainya	1

Product Collection	
Ventilasi penyaluran udara, penggilingan, pengeringan kilat, <i>classifier</i> , dan lain sebagainya	0,9
Process Gas Filtration	
<i>Spray driers, kilns</i> , reaktor, dan lain sebagainya	0,8

(Turner dkk., 1998)

T = suhu (°F)

L = *dust loading* inlet (grain/ft³)

D = rata rata diameter partikulat (μm)

Secara matematis, A/C ratio juga dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$A/C_{gross} = \frac{Q}{Atc_{gross}} \quad (2.2)$$

A/C_{gross} tersebut digunakan dengan mempertimbangkan total luasan area filter yang ada dalam sistem *bag filter*. Sementara itu, tidak semua permukaan filter bersinggungan langsung dengan udara kotor. Dengan demikian, diperlukan untuk menentukan A/C_{net} yang berhubungan dengan area filter yang berkenaan langsung dengan udara kotor (A_{net}). Sesuai Neundorfer (2016), A/C_{net} ditentukan melalui persamaan sebagai berikut.

$$A/C_{net} = \frac{Q}{Atc_{gross} \times \left(\frac{\text{jumlah kompartemen} - 1}{\text{jumlah kompartemen}} \right)} \quad (2.3)$$

Di mana

Q = laju alir udara (CFM)

Atc_{gross} = total luasan area filter *gross* (ft²)

Rentang nilai A/C *ratio* yang umum untuk setiap industri ditunjukkan pada **Tabel 2.5** sebagai berikut.

Tabel 2.5 A/C ratio sesuai jenis industri dan mekanisme pembersihan sistem

Jenis industri	A/C ratio (CFM/ft ²)		
	<i>Reverse air</i>	<i>Pulse jet</i>	<i>Mechanical shaker</i>
<i>Basic oxygen furnaces</i>	1.5-2	6-8	2.5-3
<i>Brick manufacturing</i>	1.5-2	9-10	2.5-3.2
<i>Castable refractory</i>	1.5-2	8-10	2.5-3
<i>Clay refractorys</i>	1.5-2	8-10	2.5-3.2
<i>Coal-fired boilers</i>	1-1.5	3-5	-
<i>Detergent manufacturing</i>	1.2-1.5	5-6	2-2.5
<i>Electric arc furnaces</i>	1.5-2	6-8	2.5-3
<i>Feed mills</i>	-	10-15	3.5-5
<i>Ferroalloy plants</i>	2	9	2

Jenis industri	A/C ratio (CFM/ft ²)		
	Reverse air	Pulse jet	Mechanical shaker
Glass manufacturing	1.5	-	-
Grey iron fouryiries	1.5-2	7-8	2.5-3
Iron and steel (sintering)	1.5-2	7-8	2.5-3
Lime kilns	1.5-2	8-9	2.5-3
Municipal incinerators and medical waste	1-2	2.5-4	-
Petroleum catalytic cracking	-	-	-
Phosphate fertilizer	1.8-2	8-9	3-3.5
Phosphate rock crushing	-	5-10	3-3.5
Polyvinyl chloride production	-	7	-
Portland cement	1.2-1.5	7-10	2-3
Pulp and paper (fluidized bed reactor)	-	-	-
Secondary aluminum smelters	-	6-8	2
Secordary copper smelters	-	6-8	-

(Kinkley & Neveril, 1976)

- *Can velocity*, merupakan kecepatan aliran udara saat menuju area filter. Hal ini penting untuk diperhitungkan karena saat partikulat yang menempel dibersihkan dari kantong, partikulat akan jatuh ke *hopper*. Namun, saat debu dalam proses mengendap, terdapat aliran gas dari inlet yang mengalir ke atas. Oleh sebab itu, nilai *can velocity* harus dibatasi agar partikulat tidak dapat mengendap. Berdasarkan Bhatia (2021), nilai *can velocity* dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$Can\ velocity = \frac{Q}{Total\ luasan\ area\ filter} \quad (2.4)$$

Selain *can velocity*, terdapat *interstitial velocity* yang nilainya juga perlu dibatasi. *Interstitial velocity* merupakan kecepatan aliran udara saat melalui sela-sela filter yang umumnya, nilai *interstitial velocity* akan lebih besar daripada *can velocity* karena aliran udara melalui penampang yang lebih kecil yang nilainya dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut.

$$Interstitial\ velocity = \frac{Q}{Total\ luasan\ celah\ antar\ filter} \quad (2.5)$$

- *Pressure drop*, yakni perbedaan tekanan aliran udara antara ruang udara kotor dan ruang udara bersih yang umumnya diukur menggunakan *pressure gauge* saat sebelum dan sesudah proses filter udara. Penentuan nilai *pressure drop* memperhitungkan *pressure* yang terjadi akibat struktur, *pressure* akibat filter dalam *bag house* dan *dust cake* yang terakumulasi pada pori-pori filter atau sesuai dengan persamaan berikut.

$$\Delta P = \Delta P_s + \Delta P_f + \Delta P_p \quad (2.6)$$

Di mana,

$\Delta P_s = \text{pressure drop}$ akibat struktur bag house, nilainya kecil sehingga dapat diabaikan ($\Delta P_s = 0$)

$\Delta P_f = \text{pressure drop}$ akibat filter

$\Delta P_p = \text{pressure drop}$ akibat lapisan *dust cake* pada filter

Setiap *pressure drop* tersebut, ditentukan nilainya melalui persamaan Darcy, sebagai berikut.

$$\Delta P_f = \frac{D_f \times \mu \times V}{60 \times K_f} \quad (2.7)$$

serta

$$\Delta P_p = \frac{D_p \times \mu \times V}{60 \times K_p} \quad (2.8)$$

dengan asumsi bahwa that D_p akan meningkat secara linear dengan waktu pada A/C *ratio* (V) dan *dust loading* yang konstan, maka nilai ΔP dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$\frac{\Delta P}{V} = \left(\frac{D_f \times \mu \times V}{60 \times K_f} \right) + \left(\frac{\mu}{60 \times K_p \times \rho_{BL}} \right) LVt \quad (2.9)$$

Di mana,

$\Delta P = \text{pressure drop}$ (N/m²)

$D_f, D_p =$ kedalaman atau ketebalan filter dan layer *dust cake* (m)

$\mu =$ viskositas udara (kg/m^{-s})

$V =$ A/C *ratio* (m/s)

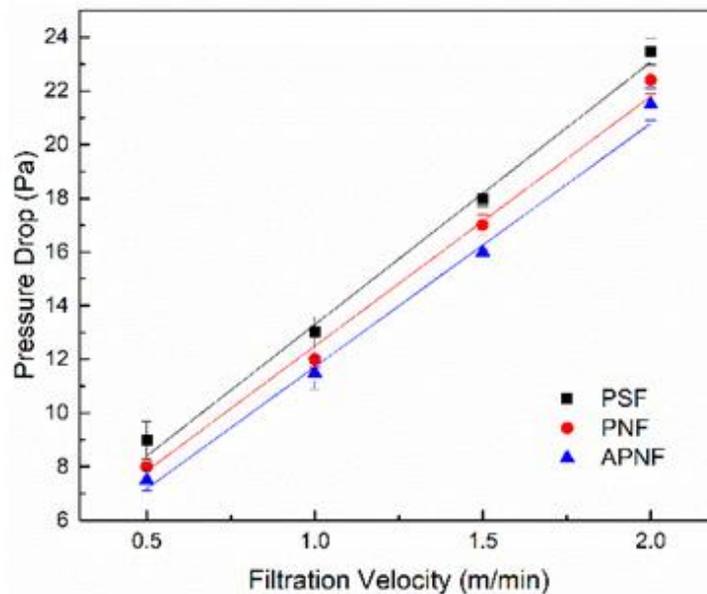
$K_f, K_p =$ permeabilitas intrinsik filter dan layer *dust cake* (m²)

$\rho_{BL} = \text{bulk density}$ layer *dust cake* (kg/m³)

$L = \text{dust loading}$ (kg/m³)

$t =$ waktu satu kali siklus (menit)

Liu dkk (2019) merumuskan hubungan *pressure drop* dengan nilai kecepatan filtrasi (A/C *ratio*) melalui *pilot project* untuk mempelajari pengaruh jenis material yang digunakan untuk proses penyaringan udara produksi dengan konsentrasi emisi yang rendah. Penelitian ini menunjukkan nilai *pressure drop* dan kecepatan filtrasi dapat ditunjukkan melalui **Gambar 2.3** sebagai berikut.



Gambar 2. 3 Hubungan *pressure drop* dengan kecepatan filtrasi berdasarkan jenis material filter
(Liu dkk., 2019)

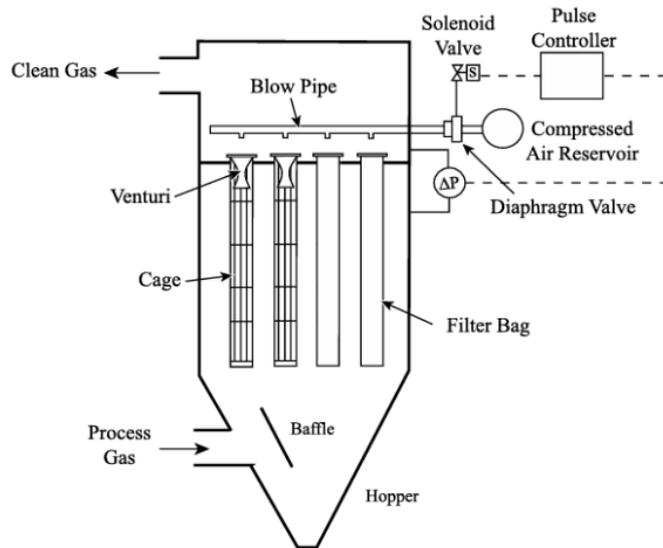
d) Umur Sistem

Pada umumnya, umur sistem *bag filter* adalah 2-5 tahun dan dapat bervariasi, dipengaruhi oleh berbagai hal, termasuk adanya kegagalan teknis dalam sistem dan desain inlet. Kegagalan teknis, meliputi berbagai masalah seperti penyumbatan akibat partikulat yang mengisi serat-serat dalam kain, lubang akibat abrasi, lubang akibat serat melemah karena sifat-sifat kimiawi aliran udara yang melewati filter dan suhu tinggi serta jahitan material filter yang rusak

Dalam menunjang kinerjanya, Widcahyono (2022) dan Gea dkk (2023) mengungkapkan beberapa bagian penyusun *bag filter*, yakni antara lain:

- a) *bag house* merupakan kotak tempat filter yang terbagi atas plenum (ruang udara bersih) dan ruang udara kotor sebagai tempat pemasangan filter,
- b) *hopper*, sebagai tempat pengendapan dan dikumpulkannya partikulat debu yang telah dibersihkan dari kantong penyaring (filter),
- c) *filter* atau *cloth*, sebagai material penangkap polutan yang menahan partikulat debu yang masuk ke dalam sistem *bag filter*
- d) *filter cage* sebagai kerangka filter (kantong) yang berfungsi untuk menunjang struktur kantong penyaring (filter),
- e) *venturi*, berfungsi untuk mengarahkan tekanan udara *pulse jet* untuk membersihkan filter sehingga dapat meningkatkan efektifitas pembersihan filter,
- f) *tube sheet* merupakan lembaran plat dengan beberapa lubang yang berfungsi untuk memisahkan antara ruang plenum dengan ruang udara kotor dan juga berfungsi sebagai tempat untuk memasang filter,
- g) *solenoid valve* merupakan katup yang digunakan untuk membuka aliran tekanan udara sehingga dapat dilakukan pembersihan filter,

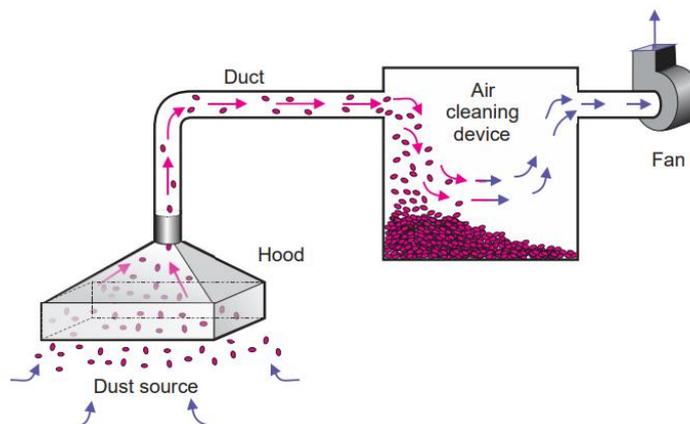
- h) *nozzle*, berfungsi untuk menyembrotkan udara bertekanan ke filter,
- i) *rotary air lock*, berada di bagian bawah *hopper* yang digunakan untuk mengeluarkan debu yang sudah terkumpul dalam *hopper* sehingga dapat dibersihkan,
- j) *differential pressure control*, yang digunakan untuk mengukur tekanan diferensial antara sisi masuk dan keluar *bag filter*.
- k) *air inlet*, merupakan bagian masuknya udara kotor yang akan disaring pada sistem *bag filter*,
- l) *clean air outlet*, sebagai tempat keluarnya udara bersih yang telah melalui proses penyaringan.



Gambar 2. 4 *Bagian-bagian pulse jet bag filter*
(Schnelle & Brown., 2002)

2.1.6 Perangkat Pendukung Sistem *Dust Collector*

Dalam menunjang penggunaan teknologi pengendali pencemaran udara, diperlukan beberapa perangkat pendukung untuk meningkatkan efisiensi sistem *dust collector*, seperti tudung isap (*hood*), sistem saluran udara (*ductwork*), kipas (*fans*) hingga cerobong (*stack*). Mekanisme aliran udara dari proses hingga diemisikan cerobong dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2. 5 *Kombinasi sistem dust collector dan perangkat pendukung*
(Sumber: Cecala dkk., 2019)

2.1.6.1 Tudung Isap (*Hood*)

Peralatan tudung isap adalah salah satu peralatan penting yang diperlukan dalam instalasi *dust collector*. Perangkat ini memiliki fungsi untuk menangkap partikulat yang bersinggungan langsung dengan sumber penghasil pencemar udara. Efektivitas tudung isap dapat diperkirakan berdasarkan kemampuannya dalam mendorong pola aliran udara masuk untuk udara sehingga tudung isap dapat menciptakan laju aliran dan pola aliran udara yang efektif untuk menangkap debu (Cecala dkk., 2019).

Berdasarkan Vataavuk (1995), terdapat 4 jenis desain dalam perencanaan tudung isap, meliputi *enclosures*, *booths*, *capture hood*, dan *receptor hoods*. *Enclosure hoods* dirancang secara tertutup keseluruhan (untuk material radioaktif) maupun memiliki bukaan kecil, sebesar 5% atau kurang, pada *input/output*. Selanjutnya, terdapat *booths* yang dirancang mengelilingi sumber emisi, kecuali dindingnya yang dihilangkan untuk akses operator dan peralatan, sehingga dapat mencegah partikulat mengenai dinding bagian dalam. Sementara itu, *capture hoods* memiliki karakteristik desain yang tidak tertutup pada sumber, terletak pada jarak dekat dari sumber, sedangkan *receptor hoods* dapat terletak di atas ataupun di samping sumber yang merupakan pengumpul pasif yang menangkap emisi melalui pergerakan alami aliran udara. Setiap jenis tudung isap memiliki persamaan penentuan desain yang berbeda-beda yang tergantung dengan jenis tudung isap. Rencana pengadaan tudung isap untuk tudung yang berdiri bebas menggunakan persamaan Dalla Valle dapat ditunjukkan pada **Gambar 2.6**.

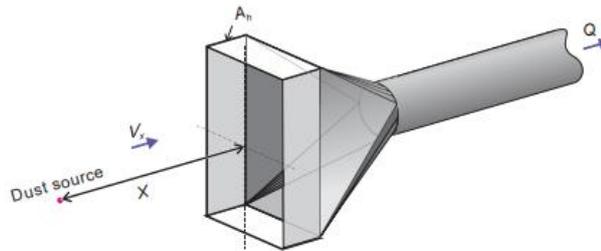
$$Q = V_x \times (10X^2 + A_h) \quad (2.10)$$

Di mana

Q = laju alir udara (CFM)

X = jarak antara muka tudung dengan sumber emisi (ft²)

A_h = luas area bukaan tudung (ft²)



Gambar 2. 6 Ilustrasi peletakan tudung yang berdiri bebas
(Cecala dkk., 2019)

Apabila tudung diletakkan di atas sumber emisi, maka laju alir yang diperlukan adalah sebagai berikut.

$$Q = V_x(5X^2 + A_h) \quad (2.11)$$

Apabila tudung memiliki *flange* di sekitar bukaannya, maka persamaan tersebut menjadi:

$$Q = 0,75 \times V_x(10X^2 + A_h) \quad (2.12)$$

Di mana

Q = laju alir yang diperlukan (CFM)

V_x = kecepatan penangkapan (ft/min)

X = jarak antara muka tudung dengan sumber (ft)

A_h = luas bukaan tudung (ft²)

Dalam perencanaan desain tudung isap, perlu diperhatikan pula kecepatan aliran udara yang melalui tudung isap. Kriteria kecepatan aliran udara untuk setiap jenis tudung isap dapat ditunjukkan sesuai dengan **Tabel 2.6**.

Tabel 2. 6 Kriteria desain kecepatan aliran udara setiap jenis *hood* dan prosesnya

Jenis tudung isap/proses	Kecepatan	Rentang Kecepatan (ft/min)
<i>Tanks</i>	<i>Capture</i>	50-100
<i>Drying oven</i>	<i>Face</i>	75-125
<i>Spray booth</i>	<i>Capture</i>	100-200
<i>Canopy hood</i>	<i>Capture</i>	200-500
<i>Grinding, abrasive blasting</i>	<i>Capture</i>	500-2000
<i>Slot hood</i>	<i>Slot</i>	2000

(Vatavuk, 1995)

2.1.6.2 Sistem Saluran Udara (*Ductwork*)

Setelah udara emisi ditangkap oleh tudung isap, aliran udara akan mengalir menuju peralatan pengendali pencemaran udara melalui sistem saluran udara (*ductwork*). Sistem saluran udara terbuat dari logam atau plastik yang disesuaikan dengan karakteristik aliran gas buang, pertimbangan struktural, biaya pembelian dan pemasangan, estetika, serta faktor-faktor lainnya dengan beberapa komponen sistem saluran udara yang meliputi *straight duct, fittings, flow control devices* dan sebagainya (Vatavuk, 1995). Sistem yang digunakan dalam mendesain sistem saluran udara juga perlu diperhatikan karena akan mempengaruhi pergerakan aliran udara di dalamnya.

Cecala dkk (2019) menyebutkan terdapat 3 macam sistem yang dapat diterapkan, yakni *high-velocity, low-velocity* dan *modified low-velocity* yang mana pemilihan sistem tersebut berdasarkan sumber partikulat dan kegunaan sistem saluran udara. Sistem *high-velocity* banyak digunakan untuk industri dengan kecepatan aliran udara mencapai 3000-4500 fpm, sedangkan sistem *low-velocity* memiliki kecepatan aliran kurang dari 1800 fpm. Dalam segi desain, yang membedakan kedua sistem saluran udara tersebut adalah *slope* yang ditambahkan pada sistem *low velocity* sehingga partikulat *non-respirable* dapat dihilangkan. Kriteria kecepatan transpor untuk menentukan desain sistem saluran udara dapat ditunjukkan pada **Tabel 2.7**.

Tabel 2. 7 Kecepatan transpor minimal

Material yang dibawa	Kecepatan transpor minimal (V_t , ft/min)
Gas	2000
Debu kering dan bubuk	3000
Debu industri secara umum	3500
Debu kasar	4000-4500
Debu basah dan berat	≥ 4500

(Vatavuk, 1995)

Sementara itu, **Tabel 2.8** menunjukkan kecepatan aliran dalam sistem saluran udara yang direkomendasikan untuk jenis debu secara spesifik.

Tabel 2. 8 Rekomendasi kecepatan aliran dalam sistem saluran udara untuk jenis material spesifik

Material	Kecepatan transpor minimum (ft/min)
Debu aluminium (kasar)	4000
Putaran kuningan	4000
Debu besi cor	4000
Debu tanah liat	3500
Debu batubara (bubuk)	4000
Debu kakao	3000
Debu tepung	3000-5000
Debu biji-bijian	2500-3000
Debu timbal	4000
Debu batu kapur	3500
Debu magnesium (kasar)	3000
<i>Metal tumings</i>	4000-5000
Debu plastik (<i>buffing</i>)	3000
Debu karet	2500 (halus)-4000 (kasar)
Debu silika	3500-4500
<i>Soap dust</i>	3000
<i>Soapstone dust</i>	3000
Cat semprot	2000
Debu pati	3000
Debu batu	3500
Debu tembakau	3500

(Vatavuk, 1995)

2.1.6.3 Kipas (*Fans*)

Kipas merupakan peralatan dalam sistem *dust collector* yang membantu untuk mendorong aliran udara. Jenis peralatan kipas terbagi menjadi *axial flow fans* yang umumnya dipasang pada dinding bangunan untuk mengeluarkan udara panas serta *centrifugal fans* yang dipasang untuk mengalirkan udara ke lokasi yang dituju (Cecala dkk., 2019). Dalam menentukan peralatan kipas yang sesuai dengan kegunaan, diperlukan spesifikasi seperti total tekanan statis (in WC) dan total laju aliran udara (CFM) yang dibutuhkan sesuai hasil desain dari tudung isap hingga aliran udara *dust collector*. Hasil tersebut nantinya akan disesuaikan dengan tabel spesifikasi *fans* oleh setiap manufaktur.

2.1.6.4 Cerobong (*Stack*)

Bangunan terakhir yang mengemisikan udara langsung ke atmosfer adalah cerobong. Umumnya, permukaan cerobong akan berbentuk lingkaran maupun segiempat. Pada cerobong ini juga, setiap industri wajib melakukan pemantauan udara yang diemisikan. Beberapa industri bahkan wajib melakukan pelaporan udara emisi yang dikeluarkan menggunakan peralatan pemantauan kontinyu yang diinstal pada cerobong.

Berdasarkan Vatauvuk (1995), beberapa parameter penting dalam desain cerobong meliputi diameter, ketinggian serta peningkatan tekanan statis pada cerobong yang dihasilkan dari perbedaan suhu antara aliran gas dalam cerobong dan udara ambien. Dalam melaksanakan desain cerobong, USEPA dalam 40 CFR 51.100 (ii) telah menjelaskan beberapa standar mengenai ketinggian cerobong. Berdasarkan peraturan tersebut, untuk mencapai *Good Engineering Practice* (GEP) dalam menentukan ketinggian cerobong, dapat melalui beberapa pendekatan, termasuk antara lain:

- a) ketinggian cerobong GEP lebih besar dari 65 meter, diukur dari elevasi level tanah,
- b) apabila cerobong dibuat setelah 12 Januari 1979, maka berlaku persamaan berikut:

$$H_g = 2,5 \times H \quad (2.13)$$

dan untuk seluruh cerobong lainnya, berlaku persamaan berikut:

$$H_s = H_b + (1,5 \times L) \quad (2.14)$$

dengan mempertimbangkan area pengaruh terhadap bangunan dengan radius 5L dari area cerobong berada, yang mana

H_g = GEP ketinggian cerobong, diukur dari elevasi tanah

H_s = ketinggian struktur bangunan terdekat dengan cerobong, diukur dari elevasi tanah

L = dimensi paling pendek, ketinggian atau lebar proyeksi terhadap struktur bangunan terdekat

Sementara itu, berdasarkan Lampiran III Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. Kep-205/Bapedal/07/1996 Tentang Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Tidak Bergerak, perencanaan cerobong secara umum memiliki standar ketinggian 2-2,5 kali tinggi bangunan sekitarnya dengan kecepatan aliran udara saat keluar cerobong lebih besar dari 20 m/detik. Hal ini sejalan dengan Vatauvuk (1995), yang menyarankan kecepatan udara saat keluar cerobong berada pada rentang 3000-4000 fpm atau setara dengan 15,42 hingga 20,32 fpm.

2.1.7 Root Cause Analysis

Root Cause Analysis (RCA) adalah suatu metode terstruktur yang digunakan melalui proses identifikasi akar penyebab suatu permasalahan akibat adanya kegagalan sistem yang diterapkan dengan tujuan untuk meningkatkan keandalan sistem tersebut (Fajrin & Wiwik, 2018). Dalam penerapannya, evaluasi menggunakan metode RCA ini dilakukan melalui tahapan umum, yakni mendefinisikan masalah, mengumpulkan data, mengidentifikasi penyebab yang mungkin terjadi, mengidentifikasikan akar masalah, dan mengajukan dan mengimplementasikan solusi (Haq & Purba, 2020). Metode ini dirancang untuk berfokus pada identifikasi dan analisis akar permasalahan sehingga diharapkan menghasilkan rekomendasi dengan target pencegahan jangka panjang terhadap kendala pada sistem. Susendi dkk (2021) menyebutkan beberapa jenis pendekatan metode RCA untuk melakukan analisis akar permasalahan, yakni sebagai berikut.

- a) *Failure Mode Effect Analysis* (FMEA)

Metode ini banyak digunakan untuk melakukan analisis terhadap proses menggunakan probabilitas tingkat keparahan sehingga dapat dilakukan penilaian masalah dan pengambilan keputusan yang didasari oleh pengembangan *Risk Priority Number* (RPN).

Namun, penilaian faktor risiko ini juga dapat menjadi tantangan karena akan dipengaruhi oleh kombinasi dari parameter-parameter analisis yang berbeda

b) *Six Sigma*

Metode ini diterapkan berdasarkan data statistik dan prospektif sesuai model *Define, Measure, Analyze, Improve* dan *Control* (DMAIC) yang cenderung dilakukan untuk mencegah suatu permasalahan sehingga pelaksanaannya memerlukan waktu yang panjang dan lebih rumit.

c) *Pareto Analysis*

Metode yang digunakan untuk mengidentifikasi dan menganalisis tingkat kecacatan dari suatu proses secara kualitatif untuk dapat diterjemahkan dalam histogram sehingga dapat diketahui prioritas penyelesaian masalah. Meskipun begitu, penggunaan metode ini tidak dapat membantu proses identifikasi akar masalah dengan baik.

d) *Brainstorming*

Metode ini dilakukan dalam kelompok sehingga diperoleh banyak ide yang dapat menjadi pertimbangan atas masalah yang ada.

e) *5Whys*

Metode ini merupakan metode sederhana yang banyak digunakan dalam penyelesaian masalah melalui 5 pertanyaan “mengapa” untuk menggali akar penyebab permasalahan yang dianalisis.

f) *Fishbone Diagram (Ishikawa Diagram)*

Metode ini membantu proses identifikasi akar permasalahan melalui 5 kategori yang dikenal sebagai 5M, yakni *Man, Methods, Machine, Materials* dan *Milieu* melalui kerangka teoritis berbentuk tulang ikan. Namun, metode ini tidak dapat digunakan untuk menentukan hubungan antar setiap akar permasalahan.

2.2 Hasil Penelitian Terdahulu

Adapun beberapa hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem *dust collector* dan proses evaluasinya dapat ditunjukkan pada **Tabel 2.9**. Penelitian terdahulu yang telah dihimpun dapat berperan sebagai dasar ilmiah yang digunakan untuk mempertimbangkan arah dan penerapan metode penelitian yang akan dilakukan.

Tabel 2. 9 *State of The Art*

Minguillon dkk (2009)	Monfort dkk (2014)	Boschi dkk (2020)
Penelitian ini dilakukan di wilayah Spanyol Timur yang memiliki berbagai industri keramik. Penelitian ini menguji kemampuan <i>bag filter</i> dan <i>wet system</i> untuk mengurangi debu yang dihasilkan oleh setiap proses produksi keramik. Hasilnya, kedua teknologi memiliki efisiensi <i>removal</i> yang sama, yang mana efisiensi terendah pada proses <i>pressing</i> yakni	Pada penelitian ini menunjukkan beberapa teknologi yang dapat digunakan dalam pengendalian emisi partikulat pada industri keramik. <i>Bag filter</i> dapar digunakan dengan efisiensi mencapai 98-99% tergantung ukuran partikulat. Ditunjukkan pula efisiensi <i>removal</i> PM ₁₀ dan PM _{2,5} setiap proses menggunakan <i>bag filter</i> . Sementara itu,	Penelitian ini dilakukan di industri keramik di Italia yang menggunakan prinsip pengolahan fisik dengan <i>bag filter</i> untuk mengurangi konsentrasi partikulat yang diemisikan. Selain itu, pada prosesnya, ditambahkan kalsium hidroksida (Ca(OH) ₂) di dalam filter untuk menangkap komponen asam, terutama HF yang

Minguillon dkk (2009)	Monfort dkk (2014)	Boschi dkk (2020)
30% dan efisiensi <i>removal</i> tertinggi pada proses <i>spray drying</i> .	penelitian ini juga mengungkapkan <i>venturi scrubber</i> paling sering diterapkan untuk pengendalian partikulat di industri keramik.	terkadang muncul pada pembakaran akibat penggunaan bahan tanah liat.
Zakaria (2014)	Khusna dkk (2019)	Nurlita dkk (2019)
Penelitian ini dilakukan untuk melakukan evaluasi mesin digester dan <i>press</i> pada industri pengolahan kelapa sawit berdasarkan konsep <i>Plan-Do-Check-Act</i> (PDCA) akibat kehilangan jumlah minyak (<i>oil losses</i>). Konsep PDCA dilakukan melalui analisis kondisi aktual dan penetapan target berdasarkan keadaan standar. Selanjutnya, untuk mengetahui asal masalah, dilakukan analisis kondisi mesin dari data yang diperoleh melalui diagram <i>fishbone</i> untuk mendapatkan rencana perbaikan. Selain itu, penelitian ini juga menghasilkan bentuk standardisasi yang dapat dilakukan perusahaan berkaitan dengan perawatan mesin.	Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi sistem bag filter pada perusahaan semen karena secara visual, area kerja berdebu. Pengolahan data dilakukan melalui metode <i>Root Cause Analysis</i> (RCA) untuk meningkatkan performa <i>bag filter</i> melalui perbandingan parameter <i>actual flow</i> dengan <i>standard flow</i> . Modifikasi dilakukan pada perubahan ukuran pipa sehingga <i>flow</i> akan sesuai standar. Berdasarkan hasil penelitian, dilakukan perbaikan pada diameter pipa sehingga kepulan debu yang berada di area <i>packing</i> semen menjadi berkurang.	Penelitian ini dilakukan untuk merancang alat bantu sistem <i>dust collector</i> sehingga dapat meningkatkan kinerja mesin <i>dust collector</i> pada industri bahan baku pakan ternak. Proses penelitian dilakukan melalui <i>Performance Specification Model</i> , <i>Quality Function Development</i> (QFD) dan melakukan evaluasi dengan metode <i>Morphological Chart</i> untuk memilih alternatif paling baik. Berdasarkan hasil penelitian, ditemukan bahwasannya blower yang tersedia kurang mampu dalam mengisap sehingga diperlukan adanya alternatif lain dalam perancangan ulang.

LINGKUP PENELITIAN

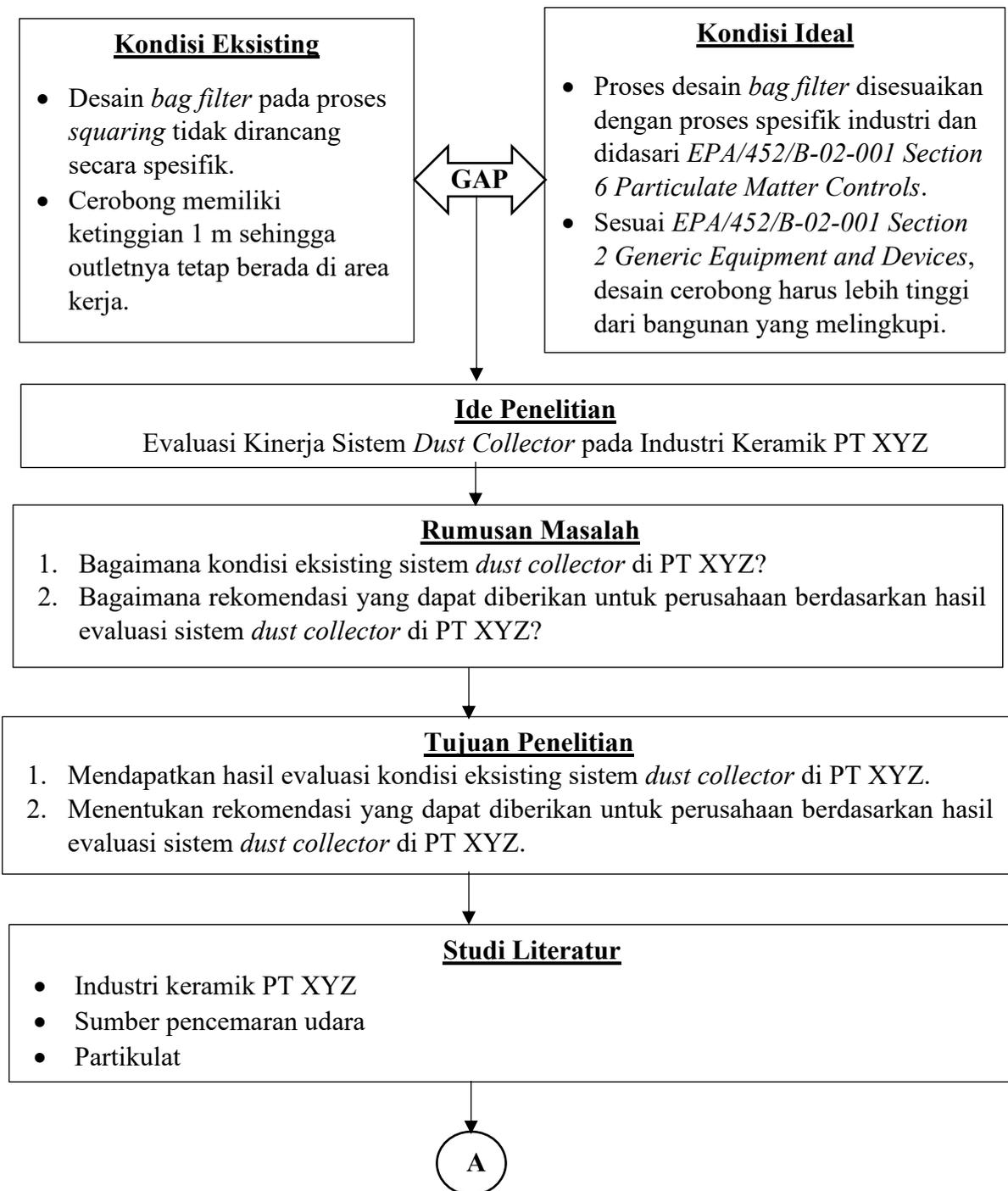
Penelitian Evaluasi Kinerja Sistem *Dust Collector* pada Industri Keramik PT XYZ ini dilakukan untuk mengetahui optimasi sistem *dust collector* eksisting menggunakan pendekatan Metode *Root Cause Analysis* (RCA). Penelitian ini dilakukan pada sistem *dust collector* berupa *bag filter* dari proses *squaring* produk keramik di PT XYZ. Metode RCA digunakan untuk menentukan akar permasalahan melalui *fishbone diagram* hingga perumusan tindak lanjut melalui perbandingan kondisi aktual berdasarkan data yang diperoleh di lapangan dengan desain ideal sesuai kriteria desain dan standar yang ada. Selanjutnya, dilakukan perumusan rekomendasi dari permasalahan yang telah dievaluasi sehingga dapat digunakan sebagai pertimbangan untuk perusahaan.

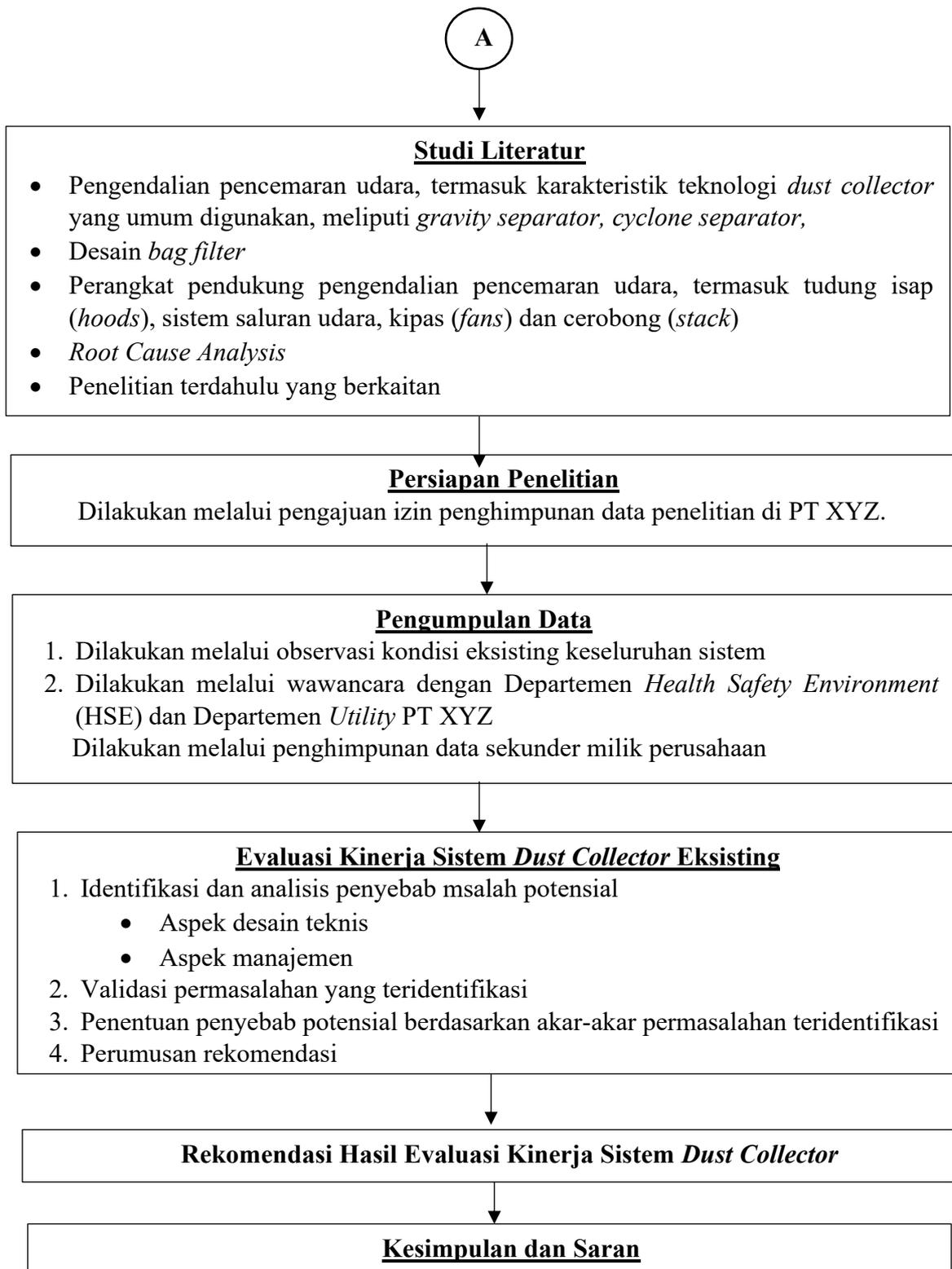
“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 3 METODOLOGI

3.1 Kerangka Penelitian

Adapun proses pelaksanaan penelitian dapat ditunjukkan melalui diagram alir sebagai berikut.





Gambar 3. 1 Alur Pelaksanaan Penelitian

3.2 Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan sesuai dengan tahapan pada kerangka penelitian. Secara detail, tahapan penelitian dijelaskan sebagai berikut.

3.2.1 Ide Penelitian

Ide penelitian dirumuskan melalui metode analisis gap permasalahan antara kondisi eksisting dan kondisi ideal. Kondisi eksisting diperoleh berdasarkan laporan dan permintaan perusahaan serta kegiatan observasi yang telah dilakukan. Sementara itu, kondisi ideal dirumuskan berdasarkan referensi, standar dan aturan yang berlaku dengan mempertimbangkan data aktual yang diperoleh berdasarkan permasalahan eksisting di lapangan. Analisis yang telah dilakukan tersebut mendorong munculnya ide penelitian untuk melakukan evaluasi kinerja sistem *dust collector* yang berada di area *squaring* PT XYZ. Berdasarkan kondisi eksisting di lapangan, sistem *dust collector* berupa *bag filter* di area *squaring* ini memiliki peran yang penting dalam mengendalikan pencemaran udara. Selain itu, sistem perangkat penunjang lainnya juga memiliki peran masing-masing dalam membantu menurunkan konsentrasi partikulat pada aliran udara proses *squaring*.

Meskipun begitu, berdasarkan hasil observasi, kondisi ideal yang diharapkan belum dapat tercapai. Hal ini tercermin dari kondisi area kerja yang secara visual dapat terlihat bahwasannya udara di area kerja mengandung debu yang cukup jenuh. Selain itu, berdasarkan pengujian udara ambien yang dilakukan penulis secara mandiri saat proses penelitian ini berlangsung, kondisi udara area kerja mencapai konsentrasi $263,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ parameter $\text{PM}_{2,5}$. Kondisi ini berbahaya untuk para pekerja, terutama untuk pekerja yang belum menggunakan masker secara tepat maupun pekerja yang secara kondisi fisik dan usia termasuk golongan rentan. Dengan demikian, penelitian ini dilaksanakan sehingga dapat diketahui apabila terdapat kegagalan sistem. Selain itu, melalui penelitian ini, perusahaan dapat menggali alternatif rekomendasi peningkatan kualitas udara di area *squaring* ini.

3.2.2 Studi Literatur

Penelitian ini dilaksanakan dengan mempertimbangkan berbagai literatur, termasuk *textbook*, artikel ilmiah dan dokumen pendukung lainnya yang relevan dengan topik penelitian sebagai dasar pengembangan ilmiah dan pertimbangan pengambilan keputusan. Beberapa topik yang menjadi dasar dalam proses dilaksanakannya penelitian ini, antara lain: alur proses produksi industri keramik PT XYZ, sumber pencemaran udara, terutama di area produksi PT XYZ, partikulat yang merupakan parameter utama zat pencemar dalam penelitian ini, teknologi pengendalian pencemaran udara, terutama untuk pengendalian parameter partikulat, desain *bag filter*, perangkat pendukung sistem *dust collector* yang mencakup tudung isap, sistem saluran udara, sistem *fans* dan cerobong, metode Root Cause Analysis dan penelitian-penelitian terdahulu yang mendukung arah dan dasar penelitian.

3.2.3 Tahap Persiapan

Dilakukan pengajuan izin penelitian di PT XYZ yang terletak di Kabupaten Mojokerto melalui diskusi awal dengan pihak perusahaan dan pengiriman proposal penelitian.

3.2.4 Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap awal, dilakukan orientasi dan observasi awal pada seluruh kegiatan produksi di PT XYZ. Kegiatan ini dilakukan sehingga dapat diketahui gambaran awal terhadap seluruh proses produksi yang terjadi di PT XYZ. Melalui kegiatan ini juga dapat

diketahui permasalahan yang dimiliki PT XYZ secara nyata sesuai topik yang telah diajukan sebelumnya. Dengan demikian, pada tahap selanjutnya dapat dilakukan pengumpulan data secara primer yang didampingi langsung oleh pihak perusahaan serta secara sekunder yakni pengumpulan data yang berasal dari data perusahaan. Rincian data yang diperlukan untuk penelitian ini adalah sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Pengumpulan data

No.	Data	Periode	Metode
1	Data produksi maksimum	2024	Data perusahaan
2	Data produksi rata-rata	2024	Data perusahaan
3	Data produksi hari tertentu	12 Maret 2025	Data perusahaan
5	Kecepatan udara ke tudung isap (vertikal)	2025	Data perusahaan
6	Panjang muka tudung isap	2025	Pengukuran langsung dan data perusahaan
7	Lebar muka tudung isap	2025	Pengukuran langsung dan data perusahaan
8	Jarak sumber emisi (alat <i>grinding</i>) dengan muka tudung	2025	Pengukuran langsung dan data perusahaan
9	Jumlah tudung isap	2025	Pengukuran langsung
10	Dimensi <i>ducting</i>	2025	Pengukuran langsung dan data perusahaan
11	Mekanisme pembersihan <i>bag filter</i>	2025	Data perusahaan
12	Dimensi <i>bag filter</i>	2025	Pengukuran langsung dan data perusahaan
13	Dimensi filter	2025	Pengukuran langsung dan data perusahaan
14	Jumlah filter	2025	Data perusahaan
15	Dimensi hopper	2025	Pengukuran langsung dan data perusahaan
16	<i>Runtime</i>	2025	Observasi langsung
17	<i>Cleaning time</i>	2025	Observasi langsung
18	Jenis <i>fans</i>	2025	Observasi langsung
19	<i>Airflow</i> total	2025	Data perusahaan
20	<i>Pressure</i> total	2025	Data perusahaan
21	Dimensi cerobong	2025	Pengukuran langsung dan data perusahaan
22	Dimensi ruangan	2025	Data perusahaan
23	Suhu ambien	2025	Pengukuran langsung dan data perusahaan
24	Kecepatan angin	2025	Pengukuran langsung dan data perusahaan
25	Gambar <i>layout</i> eksisting	2025	Data perusahaan
26	Kendala operasional	2025	Wawancara dengan Departemen HSE dan Departemen Utility

3.2.5 Tahap Analisis Data dan Pembahasan

Proses analisis data dan pembahasan dapat dilakukan setelah seluruh data yang diperlukan sudah dikumpulkan. Pada tahap awal, proses analisis data dilakukan dengan melakukan identifikasi dan analisis masalah melalui perhitungan teknis kondisi eksisting dari sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya. Selanjutnya, dapat dilakukan proses validasi permasalahan dan analisis akar-akar masalah. Validasi permasalahan diperlukan untuk proses evaluasi sehingga diketahui ketidaksesuaian yang teridentifikasi dari kondisi eksisting dibandingkan dengan standar. Sementara itu, analisis akar-akar masalah dilakukan sehingga dapat diketahui alasan suatu permasalahan yang teridentifikasi dapat terjadi. Hal ini juga menjadi dasar pada tahapan selanjutnya, yakni proses perumusan rekomendasi. Secara detail, tahap analisis dan pembahasan penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.2.5.1 Identifikasi dan Analisis Penyebab Masalah Potensial

Secara detail, metode dalam melakukan analisis untuk setiap peralatan dapat ditunjukkan sebagai berikut.

a. Tudung isap (*hoods*)

Analisis teknis perhitungan berdasarkan *EPA/452/B-02-001 Section 2 Generic Equipment and Devices* dan beberapa *textbook* pendukung lainnya.

- Laju alir udara yang diperlukan (Q)

Laju alir udara ditentukan melalui laju alir udara maksimum yang masuk ke dalam tudung isap sebagai perangkat pendukung pertama yang menerima udara emisi dari sumber. Sesuai *American Conference of Governmental Industrial, ACGIH, (1998)*, jenis tudung isap yang sesuai dengan kondisi eksisting adalah *downdraft hood* yang dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut.

$$Q = (10 \times X^2 + A) \times v \quad (3.1)$$

Di mana

Q = laju alir yang diperlukan (CFM)

V = kecepatan penangkapan (ft/min)

X = jarak antara muka tudung dengan sumber (ft)

A = luas bukaan tudung (ft²)

- Tekanan statis tudung isap (SP_h)

Berdasarkan Bhatia (2021), tekanan statis tudung isap adalah tekanan yang terjadi pada saluran udara yang terletak pada hilir tudung isap. Dengan demikian, tekanan statis tudung isap dapat ditentukan sesuai persamaan sebagai berikut.

$$SP_h = -(VP + HE) \quad (3.2)$$

Di mana,

SP_h = tekanan statis pada tudung isap (in WC)

Selanjutnya, dapat ditentukan nilai *Velocity Pressure* (VP) yang merupakan tekanan yang dihasilkan aliran udara saat mengalir dalam tudung isap. Nilai *Velocity Pressure* dapat ditentukan melalui persamaan sebagai berikut.

$$VP = \left(\frac{V_f}{4005} \right)^2 \quad (3.3)$$

Di mana,

$v_f =$ *face velocity*

Setelah itu, dapat ditentukan pula nilai *Hood Entry* (HE) yang digunakan untuk memprediksi tekanan yang terjadi saat aliran udara masuk ke dalam tudung isap. Nilai *Hood Entry* dapat ditentukan sesuai persamaan sebagai berikut.

$$HE = F_h \times VP \quad (3.4)$$

Di mana,

$F_h =$ *friction hood*, yang mana nilainya disesuaikan oleh jenis bukaan ujung pada tudung isap yang digunakan dalam proses. Nilai *Friction hood* (F_h) dapat disesuaikan untuk masing-masing jenis bukaan tudung isap, dapat ditunjukkan melalui **Tabel 3.2** sebagai berikut.

Tabel 3.2 Koefisien *Friction hood*

Jenis bukaan hood	F_h
<i>Plain hood</i>	0,93
<i>Flanged hood opening</i>	0,49
<i>Tapered hood opening</i>	0,25
<i>Bell mouth inlet opening</i>	0,04

(Bhatia, 2021)

b. Sistem saluran udara (*ductwork*)

Parameter yang mempengaruhi kinerja sistem saluran udara dapat dianalisis berdasarkan *EPA/452/B-02-001 Section 2 Generic Equipment and Devices EPA* dan acuan teknis dari *textbook*.

- Dimensi sistem saluran udara
Ditentukan melalui persamaan sebagai berikut

$$A = \frac{Q}{V_t} \quad (3.5)$$

Di mana,

A = luas permukaan sistem saluran udara (ft²)

Q = laju aliran udara (CFM)

$V_t =$ kecepatan transpor pada sistem saluran udara (ft/min)

Selanjutnya, diameter atau panjang-lebar sistem saluran udara dapat ditentukan

- Total kehilangan tekanan pada sistem saluran udara
Total kehilangan tekanan pada sistem saluran udara ditentukan berdasarkan tekanan statis dan tekanan akibat pergerakan aliran udara. Tekanan statis yang terjadi pada sistem saluran udara dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$F_d = 0,136 \times \left(\frac{1}{D_d} \right)^{1,18} \times \left(\frac{V_t}{1000} \right)^{1,8} \times \left(\frac{Ld}{1000} \right) \quad (3.6)$$

Di mana

F_d = tekanan statis pada sistem saluran udara (in WC)

D_d = diameter sistem saluran udara (ft)

L_d = panjang sistem saluran udara (ft)

Sementara itu, terdapat kehilangan tekanan akibat pergerakan aliran udara dalam sistem saluran udara yang dipengaruhi oleh aksesoris, sambungan, belokan yang digunakan pada sistem saluran udara (F_c). Nilai kehilangan tekanan ini mempertimbangkan radius kelengkungan dari saluran udara saat mengalami belokan. Faktor kehilangan tekanan berdasarkan radius kelengkungan sistem saluran udara dapat ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3. 3 Faktor dari radius kelengkungan

Radius kelengkungan	Friction Loss factor
0,50	0,8
1,00	0,35
1,25	0,30-0,55
1,50	0,27-0,39
2,00	0,24-0,27
2,50	0,22-0,24

(Vatavuk, 1995)

Dengan demikian, diperoleh total kehilangan tekanan yang terjadi pada sistem saluran udara adalah sebagai berikut.

$$F = F_d + F_c \text{ total} \quad (3. 7)$$

c. *Bag filter*

Proses analisis pada sistem *dust collector* eksisting, yakni sistem *bag filter* mencakup dimensi dan kehilangan tekanan. Parameter-parameter tersebut dapat dihitung secara spesifik berdasarkan standar *EPA/452/B-02-001 Section 6 Particulate Matter Controls* dan *textbook* pendukung lainnya. Berikut merupakan detail parameter yang perlu dihitung untuk sistem *bag filter* dalam penelitian ini.

- Penentuan *A/C ratio*

Nilai *A/C ratio* ditentukan melalui persamaan empiris dan matematis yang sesuai dengan **persamaan 2.2**, dan **persamaan 2.3** sehingga dapat diketahui nilai *A/C ratio*. Masing-masing persamaan tersebut digunakan sehingga dapat ditentukan nilai *gross* dan *net*.

- Penentuan total area filter *gross*

Nilai Atc_{gross} ditentukan melalui persamaan sebagai berikut.

$$Atc_{gross} = N \times Ac \quad (3. 8)$$

Di mana,

$$Ac = \pi \times d \times h \quad (3. 9)$$

Keterangan:

Atc_{gross} = total area filter yang dihitung secara keseluruhan (ft²)

N = jumlah filter (pcs)

Ac = luas filter (ft²)

d = diameter filter (ft)

h = tinggi filter (ft)

- Penentuan total area filter *net*
Nilai Atc_{net} ditentukan melalui persamaan sebagai berikut.

$$Atc_{net} = \frac{Q}{A/C_{net}} \quad (3.10)$$

- Penentuan nilai *pressure drop* (ΔP)
Setelah dilakukan penentuan dimensi pada filter bag, maka dapat dilakukan penentuan *pressure drop* (ΔP) yang terjadi di dalam *bag filter*. Oleh karena ketidaktersediaan alat pengukur perbedaan tekanan yang terjadi dalam sistem *bag filter* eksisting serta ketidaktersediaan data variabel spesifik yang digunakan untuk menghitung nilai *pressure drop* secara matematis, maka nilai *pressure drop* dapat didekati melalui hubungan antara kecepatan filtrasi dengan *pressure drop* sesuai grafik pada **Gambar 2.3**

d. Analisis teknis *fans*

Berdasarkan Bhatia (2021), perhitungan teknis untuk sistem *fans* dilakukan melalui mekanisme perhitungan sebagai berikut.

- Total laju alir ($\sum Q$)
Ditentukan dengan menjumlahkan seluruh perhitungan laju alir dalam sistem (tudung isap hingga *dust collector*).

$$\sum Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n \quad (3.11)$$

- Total kehilangan tekanan ($\sum F$)
Ditentukan dengan menjumlahkan seluruh kehilangan tekanan yang terjadi dalam sistem (tudung isap hingga *dust collector*). Apabila sistem yang digunakan menggunakan percabangan, maka tekanan yang dipilih adalah tekanan paling besar pada percabangan tersebut

$$\sum F = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n \quad (3.12)$$

Setelah itu, data total laju alir dan total kehilangan tekanan dalam sistem dapat menjadi *input* untuk manufaktur sehingga dapat ditentukan jenis dan spesifikasi *fans* yang tepat.

e. Analisis teknis cerobong (*stack*)

Ditentukan berdasarkan *EPA/452/B-02-001 Section 2 Generic Equipment and Devices*.

- Diameter cerobong
Diameter cerobong sesuai standar ditentukan melalui persamaan sebagai berikut.

$$D_s = 1,1288 \times \left(\frac{Q_c}{V_c} \right) \quad (3.13)$$

Di mana,

D_s = diameter cerobong (ft)

Q_c = Laju alir udara saat keluar dari cerobong (CFM)

V_c = Kecepatan udara saat keluar dari cerobong (fpm)

Apabila cerobong berbentuk segiempat, maka nilai diameter cerobong ekuivalen dapat didekati melalui persamaan sebagai berikut.

$$D_{eq} = \frac{2 \times L \times W}{L + W} \quad (3.14)$$

Di mana,

D_{eq} = diameter ekuivalen (ft)

L = panjang penampang cerobong (ft)

W = lebar penampang cerobong (ft)

- Tinggi cerobong

Selanjutnya, tinggi *stack* dapat ditentukan sesuai dengan **persamaan 2.13** atau **persamaan 2.14** dengan memperhatikan ketentuan-ketentuan yang ada.

Selain pada aspek teknis, proses analisis penyebab masalah potensial juga dilakukan pada aspek manajemen. Dalam penelitian ini, lingkup aspek manajemen terdapat pada bagaimana perusahaan melakukan manajemen kualitas udara di area *squaring*, terutama untuk pemantauan sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya. Data yang diperoleh dari hasil observasi lapangan dan wawancara pada Departemen *Health, Safety Environment* dan Departemen *Utility* menjadi dasar dalam analisis ketidaksesuaian aspek manajemen. Formulir wawancara dapat ditunjukkan pada **Lampiran A.1**. Proses analisis dapat dilakukan melalui pembagian peran dan tanggung jawab tenaga kerja dalam manajemen sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya hingga pada regulasi internal yang berlaku di perusahaan terhadap kegiatan ini.

3.2.5.2 Validasi Permasalahan dan Identifikasi Akar-Akar Masalah

Berdasarkan hasil perhitungan kondisi eksisting yang telah teridentifikasi sebagai masalah potensial pada tahap sebelumnya, dapat dianalisis lebih mendalam melalui proses validasi permasalahan. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan teknis dari beberapa parameter pada kondisi eksisting sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya dengan kondisi sesuai standar. Pada penelitian ini, untuk standar teknis yang digunakan adalah standar USEPA. Sementara itu, untuk aspek manajemen, digunakan standar nasional maupun internasional yang mengatur mengenai manajemen prosedur internal, hingga pada sistem manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3) para tenaga kerja. Dengan demikian, dapat diperoleh beberapa parameter yang berpotensi menyebabkan kegagalan sistem.

Mengacu pada hasil validasi permasalahan terhadap kondisi eksisting yang telah dianalisis sebelumnya, dapat diidentifikasi apabila terdapat ketidaksesuaian dengan standar. Ketidaksesuaian ini menjadi dasar permasalahan yang dapat dirincikan dan dianalisis kembali penyebab permasalahan tersebut dapat terjadi. Proses ini disebut sebagai proses identifikasi akar-akar permasalahan. Pada penelitian ini, untuk menganalisis akar permasalahan dilakukan melalui Metode *Root Cause Analysis* dengan *fishbone diagram* sebagai instrumen yang membantu proses analisis. Metode ini dipilih karena dapat membantu proses analisis permasalahan secara komprehensif dengan kerangka teoritis melalui analisis terhadap beberapa aspek yang berkaitan pada proses eksisting (Susendi dkk., 2021).

3.2.5.3 Rekomendasi Hasil Evaluasi

Berdasarkan hasil analisis terhadap masalah potensial dan proses identifikasi akar-akar permasalahan, baik untuk aspek teknis maupun manajemen, maka dapat dilakukan

perumusan rekomendasi. Perumusan rekomendasi dilakukan berdasarkan akar-akar permasalahan yang telah diidentifikasi mempertimbangkan kondisi eksisting sistem yang telah ada saat ini. Melalui hasil perumusan rekomendasi ini, diharapkan dapat dipertimbangkan oleh perusahaan sehingga perusahaan memiliki alternatif strategi yang dapat diterapkan untuk mencapai keidealan.

3.2.6 Kesimpulan dan Saran

Setelah seluruh hasil penelitian diperoleh melalui analisis yang mendalam, dirumuskan kesimpulan sesuai tujuan pada penelitian ini. Secara garis besar, kesimpulan akan menjawab kondisi eksisting sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya di PT XYZ serta menjawab rekomendasi yang dapat diberikan untuk PT XYZ untuk meningkatkan kapasitasnya sebagai perusahaan yang terus berkembang untuk mencapai keidealan.

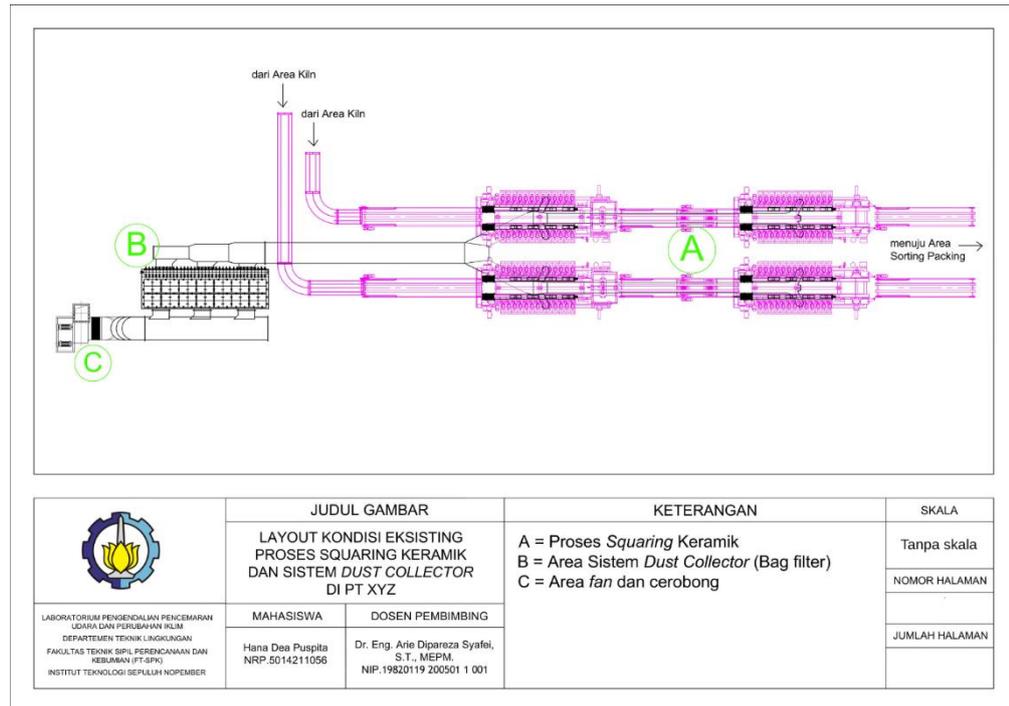
BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Identifikasi dan Analisis Penyebab Masalah Teknis

Proses *squaring* atau *cutting* keramik di PT XYZ digunakan pada sebagian produk akhir keramik yang telah melalui rangkaian proses pengolahan. Proses ini dilakukan dengan memotong bagian tepi keramik dengan menggunakan metode *grinding* kering. PT XYZ memiliki dua *line* alat *squaring* yang terdiri atas dua alat setiap *line*. Hal ini diperlukan sehingga keempat sisi keramik dapat dipotong dengan perbandingan yang setara. Pada dasarnya, proses *squaring* diperlukan sebagai bagian dari *finishing* produk keramik sehingga dapat meningkatkan keamanan produk saat digunakan konsumen, terutama saat pemasangan produk karena tepian keramik yang tidak tajam. Selain itu, penerapan proses ini pada produk keramik juga dapat meningkatkan tingkat mutu dan kualitas produk akhir yang didistribusikan ke masyarakat. Pada saat penelitian dilakukan, hanya sekitar 27% produk keramik yang dapat melalui proses *squaring*. Namun, berdasarkan rencana pengembangan dari perusahaan, kondisi ini akan ditingkatkan secara bertahap sehingga seluruh produk keramik akan masuk ke dalam proses *squaring* sebelum dilakukan proses *sorting and packing*.

Oleh karena metode yang digunakan dalam proses *squaring* adalah metode *grinding* kering, terdapat potensi tinggi proses ini menghasilkan polutan berupa partikulat pada aliran udara prosesnya. Dengan demikian, diperlukan adanya sistem pengendalian partikulat untuk menangani potensi pencemaran udara yang dapat terjadi. Sesuai kondisi eksisting di lapangan, PT XYZ telah melakukan instalasi peralatan pengendalian partikulat berupa *bag filter* yang memiliki 3 kompartemen sekaligus perangkat pendukungnya, seperti tudung isap, sistem saluran udara hingga sistem *fans* dan cerobong. Namun, berdasarkan hasil wawancara dengan pihak perusahaan, keberadaan sistem *dust collector* di area *squaring* ini merupakan peralatan yang didesain secara paket oleh perusahaan manufaktur sebagai kebutuhan tambahan pembelian alat *squaring* karena dampak timbulan emisi partikulat yang dihasilkan oleh proses *squaring*. *Layout* eksisting alat *squaring*, sistem *bag filter* serta perangkat pendukungnya dapat ditunjukkan melalui **Gambar 4.1**.



Gambar 4. 1 *Layout* eksisting sistem *dust collector* di area *squaring* PT XYZ

Pada dasarnya, dari berbagai jenis sistem *dust collector* yang dapat menjadi alternatif, sistem *bag filter* yang dipilih telah sesuai dengan kondisi eksisting proses yang dilakukan di area *squaring*. Proses *squaring* keramik ubin dapat menghasilkan partikulat dengan ukuran beragam dari ukuran yang kasar hingga sangat halus. Proses *cutting* keramik ubin dengan metode *rotary dry cutting* dapat menghasilkan 20% partikulat dengan ukuran lebih kecil dari 100 nm (Moreno-Martin, 2025). Partikulat dengan ukuran sangat halus ini kerap menjadi tantangan karena proses penyisihannya akan lebih sulit. Namun demikian, beberapa penelitian menyebutkan bahwasannya sistem *bag filter* telah terbukti mampu menyisihkan partikulat dengan ukuran yang beragam. *Bag filter* memiliki efisiensi yang tinggi untuk menyisihkan partikulat dengan ukuran yang beragam. *Bag filter* memiliki efisiensi yang tinggi untuk menyisihkan partikulat dengan ukuran 0,1 μm dan dapat menyisihkan sebagian besar partikulat dengan ukuran hingga 0,01 μm (Theodore, 2008). Selain itu, proses *squaring* menghasilkan partikulat kering tanpa jenis gas tertentu yang perlu disisihkan dengan suhu proses yang relatif tidak terlalu ekstrem sehingga penggunaan sistem *bag filter* dapat menjadi pilihan utama. Dengan demikian, mempertimbangkan kesesuaian antara karakteristik proses *squaring* dengan kemampuan sistem *bag filter*, pemilihan sistem ini sudah tepat.

4.1.1 Penentuan Kapasitas Udara

Laju aliran udara yang masuk ke dalam sistem merupakan parameter penting agar dapat menentukan kapasitas desain efektif. Parameter ini ditentukan melalui pengukuran kecepatan transpor pada sistem saluran udara mempertimbangkan luasan penampang saluran udara yang sesuai dengan persamaan dasar mengenai aliran fluida yang ditunjukkan pada **persamaan 3.5**. Dalam menentukan parameter ini, dilakukan pengukuran *face velocity* atau kecepatan transpor dalam sistem saluran udara dan juga luas area permukaan sistem saluran udara. Proses pengambilan data, dilakukan pada sistem saluran udara yang berhubungan langsung dengan tudung isap (*flexible duct*). Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan bersama pihak perusahaan, diperoleh data kecepatan transpor dalam saluran

flexible duct adalah 808 fpm. Dengan demikian, laju aliran udara (Q) dapat ditentukan sebagai berikut.

Diketahui:

- kecepatan transpor dalam sistem saluran udara (v_t) = 808 fpm = 4,104 m/s
- diameter sistem saluran udara (d) = 0,127 m

Maka, luasan area permukaan sistem saluran udara tersebut dapat diketahui melalui persamaan untuk menentukan luas lingkaran karena penampang sistem saluran udara berbentuk lingkaran, yakni sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Luas area (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 0,013 \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

Setelah luas area sistem saluran udara diketahui, maka dapat ditentukan laju aliran udara yang melewati sistem saluran udara tersebut, yakni melalui **persamaan 3.5** yang diturunkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan transpor (v}_t\text{)} &= \frac{Q}{A} \\ \text{Laju aliran udara (Q)} &= v_t \times A \\ &= 4,104 \text{ m/s} \times 0,013 \text{ m}^2 \\ &= 0,052 \quad \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Besaran laju aliran udara tersebut terjadi saat kapasitas produksi menunjukkan hasil *output* sebesar 19774 m² per hari dilaksanakannya pengukuran *face velocity* pada *flexible duct* (12 Maret 2025). Selain itu, kapasitas tersebut dihitung berdasarkan kondisi eksisting saat penelitian dilakukan. Sesuai kondisi eksisting, PT XYZ hanya menggunakan alat *squaring* untuk produk keramik yang berasal dari 1 *line* kiln. Namun demikian, sesuai rencana pengembangan perusahaan, akan terdapat peningkatan produksi pada area *squaring* yakni menjadi 3 *line* kiln. Hal ini tentunya berdampak pada penyesuaian laju aliran udara yang akan diolah dalam sistem *dust collector*. Dengan mempertimbangkan kinerja aktual alat *squaring* selama periode operasional, alat *squaring* menunjukkan kinerja stabil tanpa indikasi beban berlebih serta proses yang cepat untuk setiap 4 pasangan keramik (<1 menit) sehingga dapat diperkirakan bahwasannya alat *squaring* eksisting memiliki kemampuan maksimum dalam mengakomodasi kapasitas produksi sesuai rencana pengembangan. Dengan demikian, dapat diperoleh kapasitas maksimum proses *squaring* melalui pendekatan total produksi sesuai rencana pengembangan, yakni sebagai berikut.

Diketahui:

- Total produksi pada 12 Maret 2025 = 19774 m²/hari
- Total produksi maksimum sesuai rencana pengembangan = 75527 m²/hari
- Total laju aliran udara 12 Maret 2025 = 0,052 m³/s

Dengan demikian, jumlah alat *squaring* sesuai rencana pengembangan dengan pendekatan total produksi adalah sebagai berikut.

$$\frac{\text{Produksi eksisting}}{\text{Produksi rencana}} = \frac{\text{Laju aliran udara eksisting}}{\text{Laju aliran udara rencana}}$$

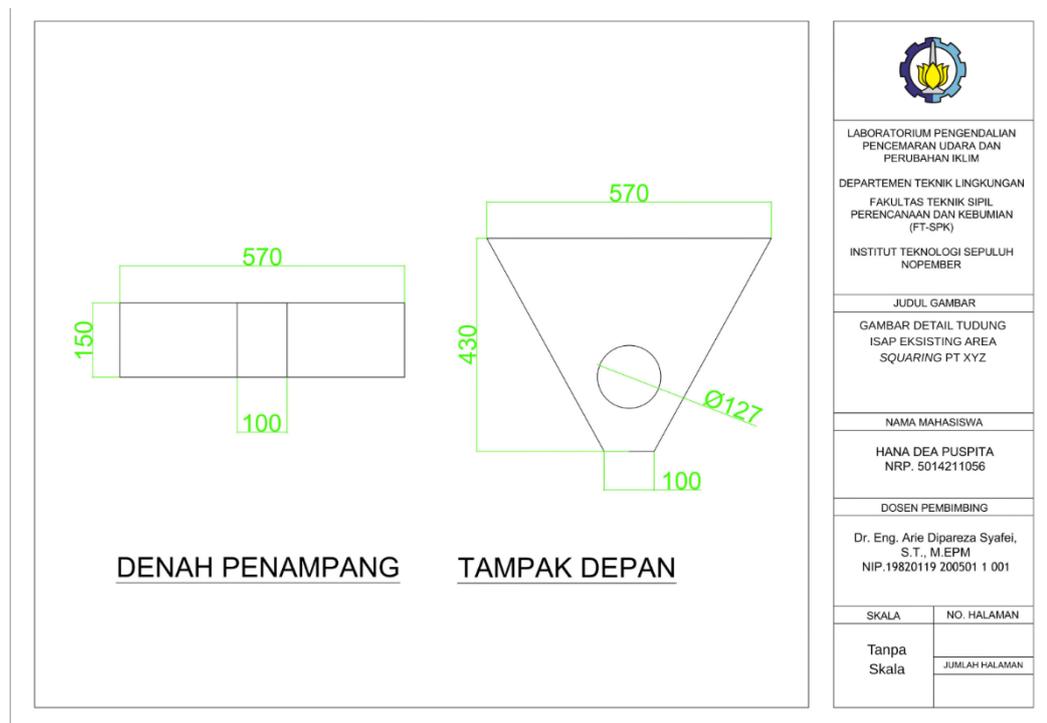
$$\frac{19774 \text{ m}^2/\text{hari}}{75527 \text{ m}^2/\text{hari}} = \frac{0,052 \text{ m}^3/\text{s}}{\text{Total laju aliran udara rencana}}$$

$$\text{Total kapasitas maksimum} = 0,198 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dengan demikian, perhitungan seluruh sistem akan berdasarkan total kapasitas maksimum se sesuai rencana pengembangan, yakni 0,198 m³/s.

4.1.2 Analisis Teknis Tudung Isap

Bagian pertama yang menerima langsung aliran udara dari sumber emisi adalah tudung isap. Jenis tudung isap yang digunakan akan mempengaruhi jumlah udara yang masuk ke dalam sistem. Pada kondisi eksisting, jenis tudung isap yang digunakan adalah *downdraft hood* yang didesain tertutup di bagian atas dan memiliki bagian terbuka di area permukaan bawah. Pemilihan desain tudung isap pada proses *squaring* ini sesuai dengan sifat partikulat yang dihasilkan dari proses yang cenderung jatuh ke bawah. Detail gambar *downdraft hoods* pada peralatan *squaring* adalah sebagai berikut.



Gambar 4. 2 Detail tudung isap eksisting

Dalam menentukan dan mengevaluasi desain tudung isap, maka perlu dilakukan pengukuran dimensi tudung isap dan pengambilan data sekunder melalui gambar teknik peralatan *squaring* sehingga diperoleh data sebagai berikut.

Direncanakan:

- Panjang permukaan tudung isap = 0,57 m
- Lebar permukaan tudung isap = 0,15 m
- Jarak sumber emisi hingga permukaan tudung isap = 0 m
- Laju alir udara penangkapan = laju alir udara = 0,199 m³/s

Tudung isap memiliki penampang segiempat sehingga diperoleh nilai luas area permukaan tudung isap (A) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Luas area permukaan tudung isap (A)} &= \text{panjang} \times \text{lebar} \\ &= 0,57 \text{ m} \times 0,15 \text{ m} \\ &= 0,086 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Oleh karena jenis tudung isap adalah *downdraft hoods*, maka dapat digunakan **persamaan 3.1** untuk menentukan kecepatan tangkap (v), yakni sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran udara (Q)} &= (10 \times X^2 + A) \times v \\ \text{Kecepatan tangkap (v)} &= \frac{Q}{(10 \times X^2 + A)} \\ &= \frac{0,198}{(10 \times 0^2 + 0,086)} \\ &= 2,322 \text{ m/s} \\ &= 457,015 \text{ fpm} \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh kecepatan tangkap yang **belum memenuhi** standar USEPA untuk proses *grinding and abrasive blasting* yakni sebesar 500-2000 fpm. Selanjutnya, dapat ditentukan kehilangan tekanan akibat tekanan statis aliran udara yang masuk ke dalam tudung isap yang dihitung sesuai **persamaan 3.2** sebagai berikut.

Diketahui:

- Laju aliran udara pada tudung isap (Q) = 0,199 m³/s = 420,597 CFM
- Luas permukaan sistem saluran udara (A) = 0,013 m² = 0,136 ft²

Dengan demikian, dapat ditentukan *Velocity Pressure* (VP) sesuai **persamaan 3.3** sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan transpor masuk sistem} \\ \text{saluran udara (v}_f\text{)} &= \frac{Q}{A} \\ &= 3086,172 \text{ fpm} \\ \text{Velocity Pressure (VP)} &= \left(\frac{v_f}{4005} \right)^2 \\ &= 0,385 \text{ in. WC} \end{aligned}$$

Setelah itu, dapat ditentukan kehilangan tekanan yang terjadi saat aliran udara memasuki tudung isap (*Hood Entry*). Jenis bukaan tudung isap yang digunakan dalam proses adalah

plain, tanpa *flanged* sehingga nilai *Friction hood* (F_h) yang digunakan adalah 0,93. Dengan demikian, *hood entry* dapat ditentukan sesuai dengan **persamaan 3.4** yakni sebagai berikut.

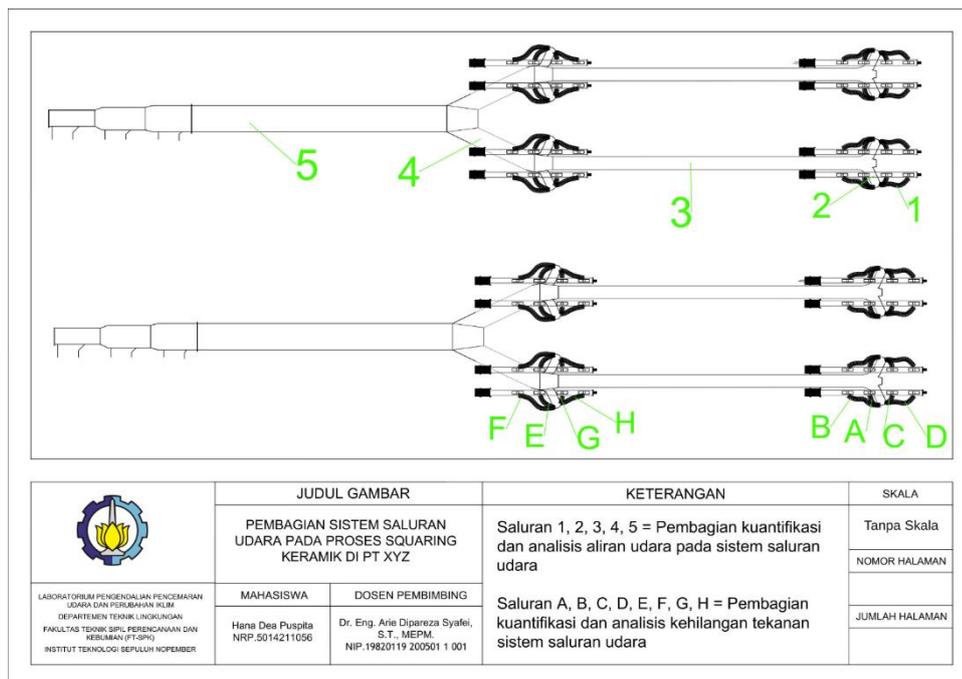
$$\begin{aligned} \text{Hood entry (HE)} &= F_h \times VP \\ &= 0,358 \quad \text{in. WC} \end{aligned}$$

Oleh karena nilai *velocity pressure* (VP) dan *hood entry* (HE) telah diketahui, maka dapat ditentukan tekanan statis aliran udara pada tudung isap, yakni sesuai **persamaan 3.2** sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Tekanan statis tudung isap (SP}_h\text{)} &= -(VP + HE) \\ &= -0,744 \quad \text{in. WC} \end{aligned}$$

4.1.3 Analisis Teknis Sistem Saluran Udara

Sistem saluran udara (*ductwork*) memiliki standar kecepatan transpor minimum sesuai **Tabel 2.7** dan **Tabel 2.8**. Perencanaan sistem saluran udara dihitung sesuai dengan **persamaan 3.5**. Dalam hal menentukan kecepatan transpor sesuai dengan kondisi eksisting, dilakukan pembagian sistem aliran sesuai **Gambar 4.3**.



Gambar 4. 3 Pembagian sistem saluran udara area *squaring* PT XYZ

Sistem saluran udara alur pertama yang memiliki material berupa *flexible duct* dapat ditunjukkan sebagai berikut.

Direncanakan:

- Laju alir udara volumetrik (Q) = 0,198 m³/s
- Diameter saluran udara eksisting (d) = 0,127 m

Selanjutnya, perlu dihitung luas penampang saluran udara yang berbentuk lingkaran sesuai persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Luas area transpor (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 0,013 \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

Dengan demikian, dapat dihitung pula kecepatan transpor eksisting yang terjadi pada sistem saluran udara tersebut sesuai **persamaan 3.5** sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan transpor (v)} &= \frac{Q}{A} \\ &= 15,678 \quad \text{m/s} \\ &= 3086,164 \quad \text{fpm} \end{aligned}$$

Selanjutnya, dilakukan pula perhitungan pada sistem saluran udara alur kedua. Pada sistem ini mulai terdapat perubahan material saluran udara yang digunakan. Pada sistem ini, saluran udara diinstalasi menggunakan material *galvanized iron*. Sistem pada alur kedua ini dapat dianalisis kecepatan aliran udaranya sebagai berikut.

Direncanakan:

- Diameter saluran udara eksisting (d) = 0,330 m

Selanjutnya, untuk menentukan laju alir udara volumetrik pada saluran udara alur kedua ini, berlaku metode sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Laju alir udara alur kedua total (Q)} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 \\ &= 4 \times Q_{alur\ 1} \\ &= 0,794 \quad \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Selanjutnya, dapat dilakukan perhitungan pada luas penampang saluran udara yang berbentuk lingkaran sesuai persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Luas area transpor (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 0,086 \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

Dengan demikian, dapat dihitung pula kecepatan transpor eksisting yang terjadi pada sistem saluran udara tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan transpor (v)} &= \frac{Q}{A} \\ &= 9,277 \quad \text{m/s} \\ &= 1826,133 \quad \text{fpm} \end{aligned}$$

Selanjutnya, alur ketiga pada sistem saluran udara memiliki material berupa *galvanized iron* dapat dihitung sesuai cara sebagai berikut.

Direncanakan:

- Diameter saluran udara eksisting (d) = 0,508 m

Selanjutnya, untuk menentukan laju alir udara volumetrik pada saluran udara alur ketiga ini, yakni sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Laju alir udara alur ketiga total (Q)} &= Q_1 + Q_2 \\ &= 2 \times Q_{alir\ 2} \\ &= 1,588 \quad \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Selanjutnya, dapat ditentukan luas penampang saluran udara yang berbentuk lingkaran sesuai persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Luas area transpor (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 0,203 \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

Dengan demikian, dapat dihitung pula kecepatan transpor eksisting yang terjadi pada sistem saluran udara tersebut.

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan transpor (v)} &= \frac{Q}{A} \\ &= 7,839 \quad \text{m/s} \\ &= 1543,084 \quad \text{fpm} \end{aligned}$$

Sistem saluran udara keempat memiliki material berupa *galvanized iron* dapat dihitung sesuai cara sebagai berikut.

Direncanakan:

- Diameter saluran udara eksisting (d) = 0,686 m

Selanjutnya, untuk menentukan laju alir udara volumetrik pada saluran udara alur keempat ini, yakni sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Laju alir udara alur keempat total (Q)} &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ &= 2 \times Q_{alir\ 2} + Q_{alir\ 3} \\ &= 3,176 \quad \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Selanjutnya, dapat ditentukan luas penampang saluran udara yang berbentuk lingkaran sesuai persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Luas area transpor (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\ &= 0,369 \quad \text{m}^2 \end{aligned}$$

Dengan demikian, dapat dihitung pula kecepatan transpor eksisting yang terjadi pada sistem saluran udara tersebut.

$$\begin{aligned}
\text{Kecepatan transpor (v)} &= \frac{Q}{A} \\
&= 8,602 && \text{m/s} \\
&= 1693,369 && \text{fpm}
\end{aligned}$$

Sistem saluran udara kelima yang memiliki material berupa *galvanized iron*, sesuai cara sebagai berikut.

Direncanakan:

- Diameter saluran udara eksisting (d) = 1,041 m

Selanjutnya, untuk menentukan laju alir udara volumetrik pada saluran udara alur ketiga ini, yakni sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\text{Laju alir udara alur kelima total (Q)} &= Q_1 + Q_2 \\
&= 2 \times Q_{\text{alur 4}} \\
&= 6,352 && \text{m}^3/\text{s}
\end{aligned}$$

Selanjutnya, dapat ditentukan luas penampang saluran udara yang berbentuk lingkaran sesuai persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
\text{Luas area transpor (A)} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
&= 0,851 && \text{m}^2
\end{aligned}$$

Dengan demikian, dapat dihitung pula kecepatan transpor eksisting yang terjadi pada sistem saluran udara tersebut.

$$\begin{aligned}
\text{Kecepatan transpor (v)} &= \frac{Q}{A} \\
&= 7,461 && \text{m/s} \\
&= 1468,728 && \text{fpm}
\end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dan dimensi sistem saluran udara yang sudah disesuaikan, kecepatan transpor sistem saluran udara **belum memenuhi** standar kecepatan transpor minimum standar USEPA, yakni minimal berada di angka 3500 fpm untuk debu industri secara umum maupun untuk debu yang berasal dari produk tanah liat.

Pada tahap berikutnya, ditentukan kehilangan tekanan yang terjadi di setiap sistem saluran udara yang terbagi menjadi 8 sistem utama sesuai pembagian **Gambar 4.3**. Berdasarkan pembagian pada gambar tersebut, maka untuk menentukan kehilangan tekanan yang terjadi pada setiap sistem saluran udara dapat melalui **persamaan 3.6** dan **persamaan 3.7**. Dengan demikian, maka kehilangan tekanan total yang berlaku pada setiap sistem dapat dihitung dengan cara yang ditunjukkan sebagai berikut.

• Saluran udara 1

Diketahui :

- Panjang saluran (L_d) = 1,800 m = 5,906 ft
- Diameter saluran (D_d) = 0,127 m = 0,417 ft
- Kecepatan transpor (V_t) = 3086,164 fpm
- Sudut aliran (θ) = 120°
- Radius kelengkungan = 1,000

Maka, dapat ditentukan tekanan statis pada saluran 1 tersebut, adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Duct static pressure (Fd)} &= 0,136 \times \left(\frac{1}{D_d}\right)^{1,18} \times \left(\frac{V_t}{1000}\right)^{1,8} \times \left(\frac{L_d}{1000}\right) \\ &= 0,172 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

Selanjutnya, ditentukan *velocity pressure* (VP) melalui persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Velocity Pressure (VP)} &= \left(\frac{V_t}{4016}\right)^2 \\ &= 0,591 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

Selanjutnya, ditentukan pula kehilangan tekanan akibat adanya gesekan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Friction (Fc)} &= \frac{\theta}{90^\circ} \times \text{faktor radius kelengkungan} \times VP \\ &= 0,276 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

Dengan demikian, dapat ditentukan nilai total kehilangan tekanan dalam saluran udara 1 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Friction Loss total (F)} &= Fd + Fc \\ &= 0,447 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

• Saluran udara 2

Diketahui:

- Panjang saluran (L_d) = 2,500 m = 8,202 ft
- Diameter saluran (D_d) = 0,330 m = 1,083 ft
- Kecepatan transpor (V_t) = 1826,133 fpm
- Sudut aliran (θ) = 90°
- Radius kelengkungan = 1,000

Maka, dapat ditentukan tekanan statis pada sistem 2 tersebut, adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Duct static pressure (Fd)} &= 0,136 \times \left(\frac{1}{D_d}\right)^{1,18} \times \left(\frac{V_t}{1000}\right)^{1,8} \times \left(\frac{L_d}{1000}\right) \\ &= 0,030 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

Selanjutnya, ditentukan *velocity pressure* (VP) melalui persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Velocity Pressure (VP)} &= \left(\frac{V_t}{4016} \right)^2 \\ &= 0,207 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

Selanjutnya, ditentukan pula kehilangan tekanan akibat adanya gesekan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Friction (Fc)} &= \frac{\theta}{90^\circ} \times \text{faktor radius kelengkungan} \\ &\quad \times VP \\ &= 0,072 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

Dengan demikian, dapat ditentukan nilai total kehilangan tekanan dalam saluran udara 2 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Friction Loss total (F)} &= Fd + Fc \\ &= 0,102 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

• Saluran udara 3

Diketahui:

- Panjang saluran (L_d) = 12,600 m = 41,3399 ft
- Diameter saluran (D_d) = 0,508 m = 1,667 ft
- Kecepatan transpor (V_t) = 1543,084 fpm
- Sudut aliran (θ) = 120°
- Radius kelengkungan = 1,000

Maka, dapat ditentukan tekanan statis pada saluran 3 tersebut, adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Duct static pressure (Fd)} &= 0,136 \times \left(\frac{1}{D_d} \right)^{1,18} \times \left(\frac{V_t}{1000} \right)^{1,8} \times \left(\frac{L_d}{1000} \right) \\ &= 0,067 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

Selanjutnya, ditentukan *velocity pressure* (VP) melalui persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Velocity Pressure (VP)} &= \left(\frac{V_t}{4016} \right)^2 \\ &= 0,148 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

Ditentukan pula kehilangan tekanan akibat adanya gesekan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Friction (Fc)} &= \frac{\theta}{90^\circ} \times \text{faktor radius kelengkungan} \times VP \\ &= 0,069 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

Dengan demikian, dapat ditentukan nilai total kehilangan tekanan dalam saluran udara 3 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Friction Loss total (F)} &= Fd + Fc \\ &= 0,136 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

• **Saluran udara 4**

Diketahui:

- Panjang saluran (L_d) = 3,100 m = 10,171 ft
- Diameter saluran (D_d) = 0,685 m = 2,250 ft
- Kecepatan transpor (V_t) = 1693,369 fpm
- Sudut aliran (θ) = 120°
- Radius kelengkungan = 1,000

Maka, dapat ditentukan tekanan statis pada saluran udara 4 tersebut, adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Duct static pressure (Fd)} &= 0,136 \times \left(\frac{1}{D_d}\right)^{1,18} \times \left(\frac{V_t}{1000}\right)^{1,8} \times \left(\frac{L_d}{1000}\right) \\ &= 0,014 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

Selanjutnya, ditentukan *velocity pressure* (VP) melalui persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \text{Velocity Pressure (VP)} &= \left(\frac{V_t}{4016}\right)^2 \\ &= 0,178 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

Selanjutnya, ditentukan pula kehilangan tekanan akibat adanya gesekan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Friction (Fc)} &= \frac{\theta}{90^\circ} \times \text{faktor radius kelengkungan} \times VP \\ &= 0,083 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

Dengan demikian, dapat ditentukan nilai total tekanan dalam saluran udara 4 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Friction Loss total (F)} &= Fd + Fc \\ &= 0,097 \quad \text{in WC} \end{aligned}$$

• **Saluran udara 5**

Diketahui:

- Panjang saluran (L_d) = 11,200 m = 36,745 ft
- Diameter saluran (D_d) = 1041,4 m = 3,417 ft
- Kecepatan transpor (V_t) = 1468,728 fpm
- Sudut aliran (θ) = 120°
- Radius kelengkungan = 1,00

Maka, dapat ditentukan tekanan statis pada saluran udara 5 tersebut, adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Duct static pressure (Fd)} &= 0,136 \times \left(\frac{1}{D_d}\right)^{1,18} \times \left(\frac{V_t}{1000}\right)^{1,8} \times \left(\frac{L_d}{1000}\right) \\
 &= 0,023 \quad \text{in WC}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, ditentukan *velocity pressure* (VP) melalui persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Velocity Pressure (VP)} &= \left(\frac{V_t}{4016}\right)^2 \\
 &= 0,134 \quad \text{in WC}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, ditentukan pula tekanan akibat adanya gesekan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Friction (Fc)} &= \frac{\theta}{90^\circ} \times \text{faktor radius kelengkungan} \times VP \\
 &= 0,062 \quad \text{in WC}
 \end{aligned}$$

Dengan demikian, dapat ditentukan nilai total tekanan dalam sistem saluran udara 5 adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Friction Loss total (F)} &= Fd + Fc \\
 &= 0,086 \quad \text{in WC}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dapat ditentukan total tekanan yang mempengaruhi keseluruhan sistem pertama ini yakni sebesar 0,868 in WC. Total tekanan ini dapat mewakili sistem A dan sistem C. Penentuan total tekanan pada sistem lainnya dapat ditentukan melalui cara yang sama sesuai karakteristik sistem saluran udara yang dilalui. Berikut merupakan total tekanan yang berlaku untuk seluruh sistem sesuai pembagian yang telah dilakukan sebelumnya.

Tabel 4. 1 Hasil perhitungan total tekanan seluruh sistem sesuai rencana pengembangan

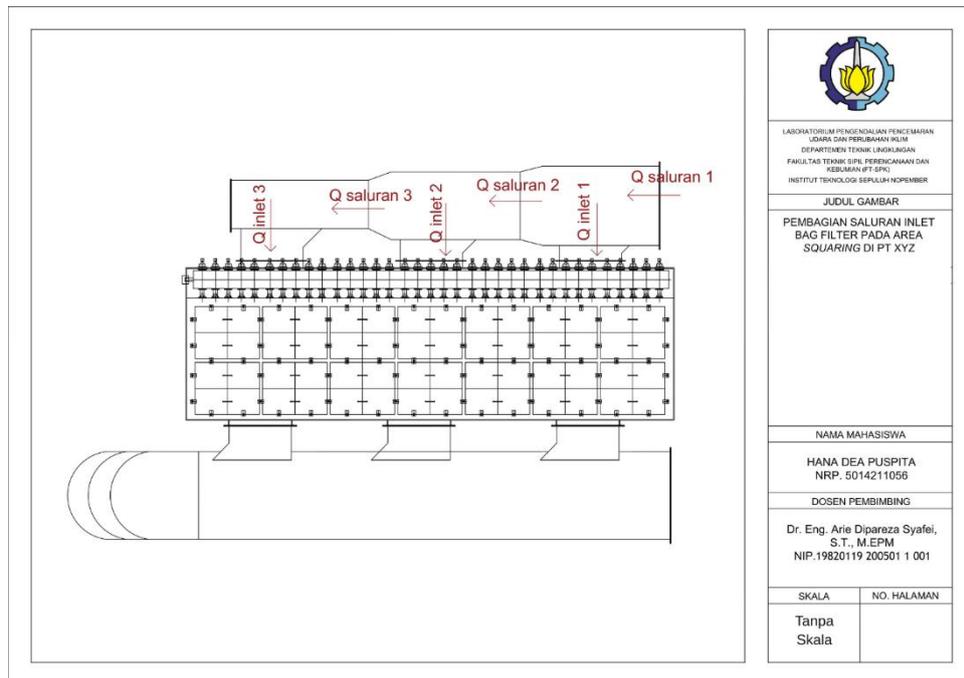
Sistem	Total Tekanan
Sistem B dan sistem D	<ul style="list-style-type: none"> - Saluran udara 1 = 0,573 in WC - Saluran udara 2 = 0,102 in WC - Saluran udara 3 = 0,136 in WC - Saluran udara 4 = 0,097 in WC - Saluran udara 5 = 0,086 in WC - Total kehilangan tekanan = 0,994 in WC
Sistem E dan sistem G	<ul style="list-style-type: none"> - Saluran udara 1 = 0,591 in WC - Saluran udara 2 = 0,102 in WC - Saluran udara 3 = 0,079 in WC - Saluran udara 4 = 0,097 in WC - Saluran udara 5 = 0,086 in WC - Total kehilangan tekanan = 0,811 in WC
Sistem F dan sistem H	<ul style="list-style-type: none"> - Saluran udara 1 = 0,573 in WC - Saluran udara 2 = 0,102 in WC - Saluran udara 3 = 0,079 in WC - Saluran udara 4 = 0,097 in WC

Sistem	Total Tekanan
	- Saluran udara 5 = 0,086 in WC - Total kehilangan tekanan = 0,937 in WC

Sistem saluran yang tidak dilakukan identifikasi, memiliki total tekanan yang sama dengan sistem yang berhadapan langsung dengan saluran teridentifikasi

4.1.4 Analisis Sistem *Bag Filter*

Pada tahap selanjutnya, dilakukan identifikasi sistem *dust collector* berupa *bag filter*. Oleh karena terdapat peningkatan kapasitas udara yang akan diolah, maka dapat dilakukan perhitungan mengenai inlet udara menuju sistem *bag filter*. Sistem saluran inlet di *bag filter* eksisting dapat ditunjukkan melalui gambar sebagai berikut.



Gambar 4. 4 Pembagian sistem inlet *bag filter*

Laju aliran udara volumetrik yang masuk ke dalam sistem *bag filter* dari masing-masing saluran inlet dapat dihitung melalui cara sebagai berikut.

Diketahui:

- $Q_{\text{masuk}} = Q_{S1} = 6,352 \text{ m}^3/\text{s}$
- Diameter saluran 1 (d_{S1}) = 1,041 m
- Diameter saluran 2 (d_{S2}) = 0,889 m
- Diameter saluran 3 (d_{S3}) = 0,635 m
- Kecepatan transpor pada saluran = 7,461 m/s

Laju aliran udara volumetrik pada saluran 2 (Q_{S2}) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 Q_{S2} &= V \times A \\
 &= V \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \right)
 \end{aligned}$$

$$= 4,629 \quad \text{m}^3/\text{s}$$

Dengan demikian, dapat diketahui laju aliran udara volumetrik pada inlet 1 (Q_{I1}) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_{\text{masuk}} &= Q_{\text{keluar}} \\ Q_{S1} &= Q_{S2} + Q_{I1} \\ Q_{I1} &= Q_{S1} - Q_{S2} \\ &= 1,723 \quad \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Laju aliran udara volumetrik pada saluran 3 (Q_{S3}) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_{S3} &= V \times A \\ &= V \times \left(\frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \right) \\ &= 2,362 \quad \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Selanjutnya, dapat diketahui laju aliran udara volumetrik pada inlet 2 (Q_{I2}) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_{\text{masuk}} &= Q_{\text{keluar}} \\ Q_{S2} &= Q_{S3} + Q_{I2} \\ Q_{I2} &= Q_{S2} - Q_{S3} \\ &= 2,267 \quad \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Selanjutnya, dapat diketahui laju aliran udara volumetrik pada inlet 3 (Q_{I3}) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_{I3} &= Q_{S3} \\ &= 2,362 \quad \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Dengan demikian, telah diketahui komposisi laju aliran udara volumetrik (Q) yang masuk ke sistem bag filter dari setiap *air inlet* dengan total laju aliran udara volumetrik keluar dari inlet (Q_{keluar}) adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Q_{\text{masuk sistem bag filter}} &= Q_{I1} + Q_{I2} + Q_{I3} \\ &= 1,732 + 2,267 + 2,362 \\ &= 6,352 \quad \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Setelah diketahui total laju aliran udara volumetrik yang masuk dalam sistem *bag filter*, maka dapat diperhitungkan beberapa komponen yang mempengaruhi kapasitas dan ukuran *bag filter*, termasuk nilai *A/C ratio*. Parameter ini dapat ditentukan melalui **persamaan 2.2** dan **persamaan 2.3** yang dihitung secara matematis sehingga diperoleh nilai A/C_{net} sebagai berikut.

Dikethau:

- Total laju aliran udara = $6,352 \text{ m}^3/\text{s} = 13459,126 \text{ CFM}$
- Jumlah filter pada sistem (N) = 245 pcs
- Diameter bag (D) = $0,127 \text{ m} = 0,417 \text{ ft}$
- Tinggi filter (H) = $4 \text{ m} = 13,123 \text{ ft}$
- Jumlah kompartemen = 3 kompartemen

Sehingga sesuai dengan **persamaan 3.9**, nilai luasan area untuk 1 *cloth* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Cloth area (Ac)} &= \pi \times D \times H \\ &= 17,170 \quad \text{ft}^2 \end{aligned}$$

Selanjutnya, dapat ditentukan Atc_{gross} melalui **persamaan 3.8** sebagai berikut.

$$\begin{aligned} Atc_{\text{gross}} &= N \times Ac \\ &= 4206,584 \quad \text{ft}^2 \end{aligned}$$

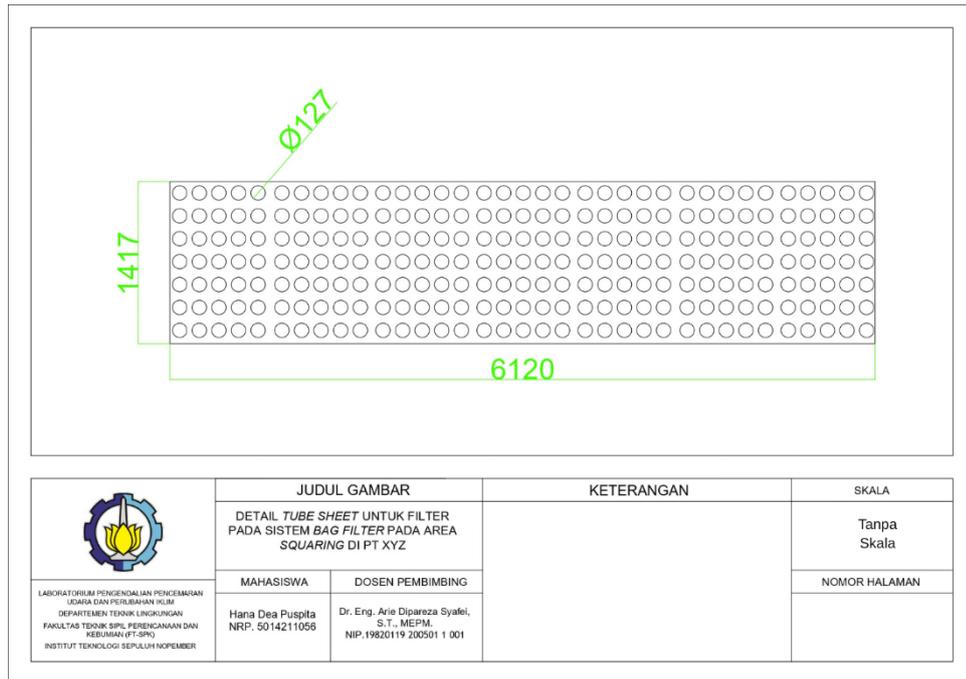
Maka, sesuai dengan **persamaan 2.2** dan **persamaan 2.3** dapat ditentukan A/C_{gross} dan A/C_{net} sebagai berikut.

$$\begin{aligned} A/C_{\text{gross}} (\text{V}) &= \frac{Q}{Atc_{\text{gross}}} \\ &= 3,200 \quad \text{CFM/ft}^2 \\ A/C_{\text{net}} &= \frac{Q}{Atc \times \left(\frac{2}{3}\right)} \\ &= 4,799 \quad \text{CFM/ft}^2 \end{aligned}$$

Dengan demikian, *total net cloth area* (Atc_{net}) dapat ditentukan melalui **persamaan 3.10** sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Total cloth area (Atc}_{\text{net}}) &= \frac{Q}{A/C_{\text{net}}} \\ &= 2804,389 \quad \text{ft}^2 \end{aligned}$$

Selanjutnya, dapat ditentukan nilai *can velocity* dan *interstitial velocity* yang ditentukan dari denah filter pada sistem *bag filter*. Denah *tube sheet* eksisting pada sistem *bag filter* area *squaring* adalah sebagai berikut.



Gambar 4. 5 Denah *tube sheet* eksisting pada sistem *bag filter* area *squaring* PT XYZ

Nilai *can velocity* dan *interstitial velocity* dapat ditentukan melalui **persamaan 2.4** dan **persamaan 2.5** sebagai berikut.

Diketahui:

- Panjang area filter (L) = 6,120 m
- Lebar area filter (W) = 1,417 m

Maka, nilai *can velocity* adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Area } (A_f) &= L \times W \\
 &= 8,672 \quad \text{m}^2 \\
 &= 93,345 \quad \text{ft}^2 \\
 \text{Can velocity} &= \frac{Q}{A_f} \\
 &= 144,187 \quad \text{fpm}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, nilai *interstitial velocity* dapat ditentukan melalui cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Area bawah filter total } (A_{bf}) &= N \times \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \\
 &= 33,390 \quad \text{ft}^2 \\
 \text{Interstitial area } (A_I) &= A_f - A_{bf} \\
 &= 59,955 \quad \text{ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Interstitial velocity} &= \frac{Q}{A_I} \\
 &= 224,486 \quad \text{fpm}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, nilai *pressure drop* yang mempengaruhi desain yang direncanakan dapat ditentukan sesuai **Gambar 2.3**. Dengan nilai *filtration velocity* adalah 4,799 CFM/ft² atau sama dengan 1,463 m/menit, maka nilai *pressure drop* dapat ditentukan melalui perhitungan sebagai berikut.

Diketahui:

$$x_1 = 0,5$$

$$y_1 = 9$$

$$x_2 = 1$$

$$y_2 = 13$$

$$x = 1,463$$

Di mana, nilai *filtration velocity* (m/menit) diwakili oleh variabel x dan nilai *pressure drop* diwakili oleh variabel y. Dengan demikian, untuk menentukan nilai y melalui cara sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} &= \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \\
 \frac{y - 9}{4} &= \frac{0,963}{0,5} \\
 y &= 16,704
 \end{aligned}$$

Berdasarkan pendekatan hubungan linear antara *filtration velocity* dan *pressure drop*, maka dapat diperoleh nilai *pressure drop* saat *filtration velocity* 1,463 m/menit adalah 16,704 Pascal.

4.1.5 Analisis Sistem Fans

Pada tahap selanjutnya, ditentukan total laju aliran udara sesuai kondisi eksisting dapat dihitung melalui **persamaan 3.11** sebagai berikut.

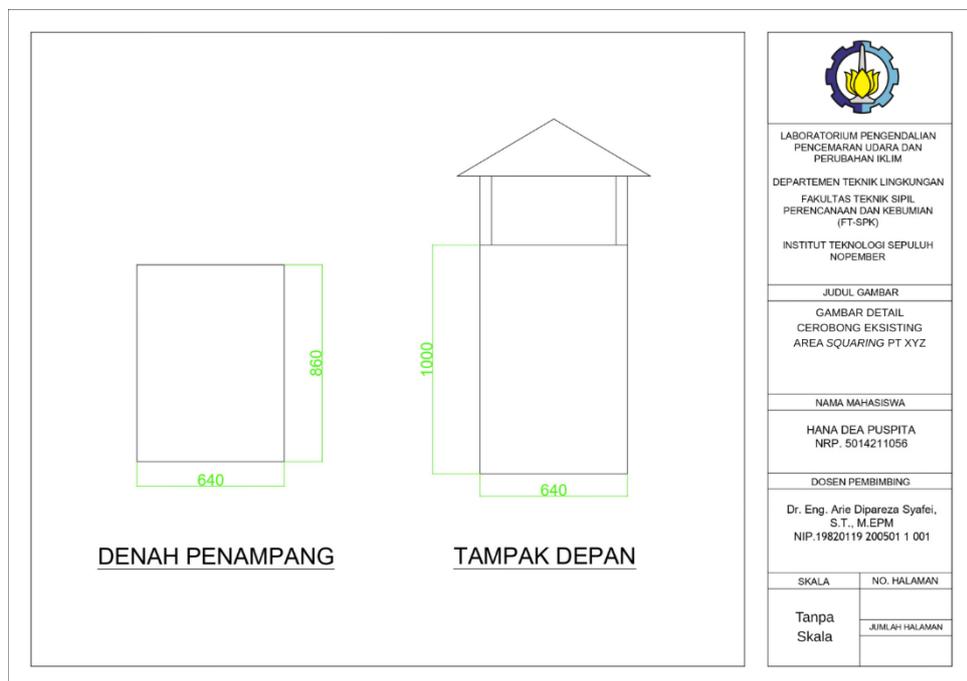
$$\begin{aligned}
 \sum Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 \\
 &= 6,352 \quad \text{m}^3/\text{s} \\
 &= 22867,167 \quad \text{m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, dapat ditentukan pula total kehilangan tekanan dalam sistem dengan menentukan keehilangan tekanan paling besar untuk area percabangan saluran udara. Nilai terbesar pada saluran udara ditunjukkan sebesar 0,994 in WC. Dengan demikian, total tekanan yang dibutuhkan untuk spesifikasi *fans* yang sesuai dengan kinerja sistem dapat ditentukan melalui **persamaan 3.12** yakni sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\sum F &= F_{tudung} + F_{cabang} + F_{bag} \\
&= 1,805 && \text{in WC} \\
&= 449,056 && \text{Pa}
\end{aligned}$$

4.1.6 Analisis Sistem Cerobong

Cerobong (*stack*) adalah struktur bangunan yang digunakan untuk mengeluarkan udara hasil pengolahan *dust collector* menuju atmosfer. Udara yang dibuang, harus memenuhi standar peraturan baku mutu emisi untuk setiap jenis proses yang berbeda. Kondisi eksisting PT XYZ menunjukkan bahwasannya cerobong di area *squaring* ini memiliki penampang segiempat dengan ukuran cerobong tidak besar dengan outlet cerobong yang masih terletak di area kerja. Detail kondisi eksisting cerobong dapat ditunjukkan pada gambar berikut.



Gambar 4. 6 Cerobong eksisting area *squaring* PT XYZ

Berdasarkan gambar tersebut, maka cerobong area *squaring* di PT XYZ dapat dilakukan analisis secara teknis. Ketinggian cerobong eksisting adalah 1 m sehingga hal tersebut tidak sesuai dengan standar yang berlaku. Selain itu, dilakukan pula perhitungan kecepatan udara saat keluar dari cerobong (V_c) yang memiliki nilai 1,5 kali dari kecepatan angin di area sekitar, sebagai berikut.

Diketahui:

Kecepatan angin area sekitar (V_a) = 830,709 fpm

Selanjutnya, nilai V_c dapat dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\text{Kecepatan udara saat keluar dari cerobong} & \\
(V_c) &= 1,5 \times V_a \\
&= 1246,063 && \text{fpm}
\end{aligned}$$

4.2 Validasi Permasalahan Teknis

Kondisi eksisting yang telah dilakukan analisis secara detail pada bagian sebelumnya, menunjukkan adanya ketidaksesuaian teknis pada beberapa detail perhitungan perangkat sistem tersebut. Ketidaksesuaian ini membandingkan kondisi eksisting dengan kriteria desain sesuai standar. Pada penelitian ini, acuan dasar yang digunakan untuk membandingkan kondisi eksisting adalah standar USEPA. Beberapa ketidaksesuaian yang ditemukan dari proses analisis sebelumnya, dapat ditunjukkan melalui tabel sebagai berikut.

Tabel 4. 2 Ketidaksesuaian teknis pada sistem eksisting

No.	Parameter	Nilai Eksisting	Kriteria Desain	Sumber
1.	Kecepatan tangkap tudung isap	457,015 fpm	Untuk proses <i>grinding & abrasive blasting</i> , 500-2000 fpm	EPA/452/B-02-001
2.	Kecepatan transpor pada seluruh sistem saluran udara	3086,164 fpm; 1826,133 fpm; 1543,084 fpm; 1693,369 fpm; 1468,728 fpm	Untuk debu industri secara umum ataupun <i>clay dust</i> , minimal 3500 fpm	EPA/452/B-02-001
3.	A/C _{net}	4,799 CFM/ft ²	Untuk jenis industri <i>clay refractory</i> s yang menggunakan <i>pulse jet bag filter</i> , 8-10 CFM/ft ²	EPA-450/3-76-014
4.	Waktu pembersihan <i>bag filter</i>	4 detik	0,03-0,1 detik	EPA-68-D-98-026
5.	Kapasitas <i>fan</i>	Q = 41526-71726 m ³ /jam F = 4729-3316 Pa	Sesuai perhitungan, Q total = 22867,166 m ³ /jam F total = 449,056 Pa	EPA/452/B-02-001
6.	Kecepatan keluar cerobong	1246,063 fpm	3000-4000 fpm	EPA/452/B-02-001
7.	Tinggi cerobong	1 m	Dihitung berdasarkan 2,5 kali tinggi bangunan atau <i>Tinggi bangunan</i> + 1,5 × <i>Lebar bangunan</i>	USEPA 40 CFR 51.100 (ii)

Berdasarkan tabel tersebut, beberapa parameter menyebabkan penyesuaian desain pada keseluruhan sistem karena perangkat satu akan berkaitan dengan perangkat lainnya. Pada bagian perangkat tudung isap, ketidaksesuaian ditemukan pada kecepatan tangkapnya. Kondisi eksisting menunjukkan kecepatan tangkap yang dihitung berdasarkan persamaan untuk jenis tudung isap berupa *downdraft hood* dan laju alir untuk setiap tudung isap, menunjukkan angka 457,015 fpm. Sementara itu, berdasarkan EPA/452/B-02-001, pada proses *grinding* dan *abrasive blasting* jenis tudung isap yang digunakan harus memiliki kecepatan tangkap sebesar 500-2000 fpm. Pemilihan kriteria desain ini juga didasarkan oleh proses yang dilakukan pada area *squaring* adalah proses *grinding* keramik. Kecepatan tangkap eksisting memiliki nilai yang

tidak terpaut jauh dengan standar teknis yang ada sehingga penyesuaian yang dapat dilakukan adalah penyesuaian debit. Ketidaksesuaian desain kecepatan tangkap dapat menyebabkan partikulat yang terdispersi dalam udara yang dihasilkan oleh sumber emisi tidak dapat ditangkap dengan baik oleh tudung isap dan cenderung lepas ke ambien.

Adanya ketidaksesuaian juga teridentifikasi pada kecepatan transpor yang terjadi pada seluruh sistem saluran udara. Berdasarkan EPA/452/B-02-001, debu industri secara umum memiliki kecepatan transpor minimal 3500 fpm. Hal ini ditekankan pula pada standar EPA yang menyebutkan untuk kecepatan transpor *clay dust* pada sistem saluran udara adalah 3500 fpm. Namun, kondisi eksisting menunjukkan nilai kecepatan transpor pada sistem saluran udara eksisting, berurutan dari saluran udara pertama hingga terakhir yakni sebesar 3086,164 fpm; 1826,133 fpm; 1543,084 fpm; 1693,369 fpm; 1468,728 fpm. Kondisi tersebut memungkinkan partikulat akan mengendap dan menyebabkan penyumbatan pada saluran udara. Dengan demikian, perlu adanya penyesuaian dimensi pada sistem saluran udara.

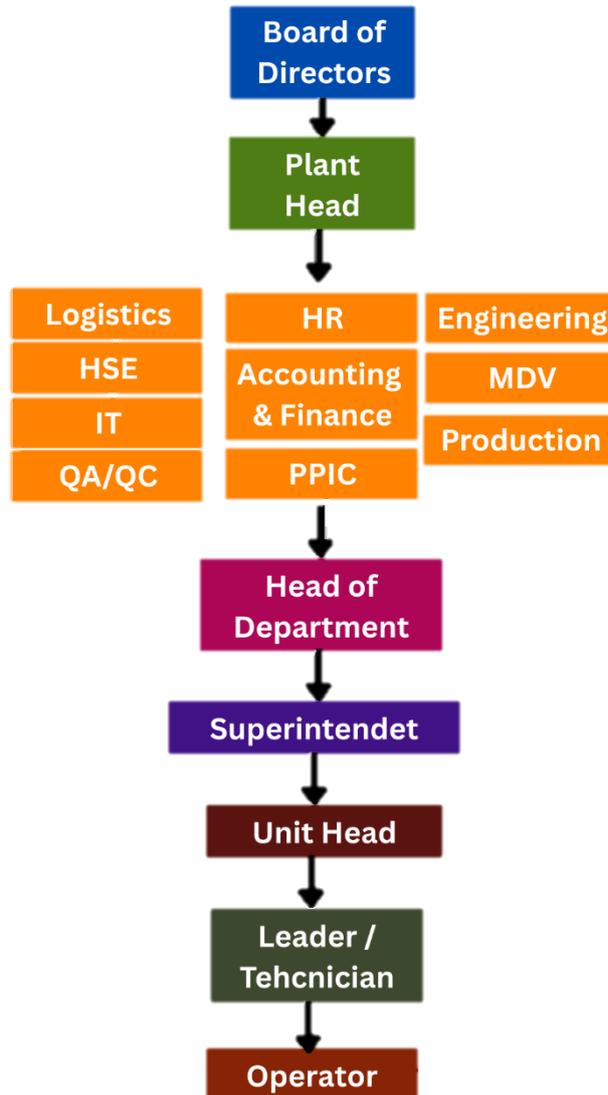
Selain pada sistem tudung isap dan sistem saluran udara, ketidaksesuaian juga ditemukan pada proses analisis teknis beberapa parameter sistem *bag filter*. Parameter pertama dan akan sangat mempengaruhi ukuran *bag filter* adalah *A/C ratio* yang pada analisis ini berfokus pada A/C_{net} karena menunjukkan kondisi saat proses filtrasi terjadi. Nilai A/C_{net} sesuai kondisi eksisting dengan jumlah filter sebanyak 245 pcs adalah 4,800 CFM/ft². Kondisi ini tidak sesuai dengan kriteria desain untuk *pulse jet bag filter* dengan jenis industri *clay refractory's*. Sesuai EPA-450/3-76-014, standar *A/C ratio* yang diperkenankan adalah 8-10 CFM/ft² karena *bag filter* dengan mekanisme pembersihan *pulse jet* membutuhkan kecepatan filtrasi yang lebih tinggi daripada jenis *bag filter* lainnya. Nilai A/C_{net} yang lebih rendah menyebabkan dimensi struktur *bag filter* akan lebih besar. Oleh sebab itu, diperlukan adanya penyesuaian desain pada sistem *bag filter* karena A/C_{net} memiliki peran penting dalam menentukan efektivitas kerja sistem *bag filter*. Selanjutnya, mengenai waktu pembersihan filter dalam sistem *bag filter*. Kondisi eksisting menunjukkan setiap siklus sistem *bag filter* dilakukan secara *on-line* selama 14 detik dengan 10 detik waktu filtrasi dan 4 detik waktu pembersihan filter. Waktu yang dibutuhkan untuk membersihkan filter tersebut tidak sesuai dengan EPA-68-D-98-026 yang mengisyaratkan waktu pembersihan hanya sekitar 0,03-0,1 detik dengan tekanan tinggi. Waktu yang lebih panjang ini, dapat disebabkan oleh ketidaksesuaian tekanan *pulse jet* yang diberikan saat melakukan pembersihan filter. Sesuai EPA-68-D-98-026, tekanan yang dapat diberikan seharusnya adalah sebesar 90-100 psig.

Identifikasi ketidaksesuaian juga ditemukan pula pada spesifikasi *fan* yang digunakan. Parameter laju alir udara volumetrik dan tekanan pada spesifikasi *fan* eksisting terlalu besar sehingga kurang efektif. Pemilihan spesifikasi *fan* yang tepat dapat mengurangi kebutuhan daya untuk menjalankan keseluruhan sistem sehingga dari sisi energi yang digunakan, akan lebih hemat. Selain itu, PT XYZ juga perlu memperhatikan bentuk cerobong yang dipasang untuk mengeluarkan udara emisi dari proses *squaring* ini. Sesuai perhitungan yang dilakukan berdasarkan EPA/452/B-02-001, kecepatan udara saat keluar dari cerobong tidak memenuhi standar pada angka 3000-4000 fpm. Standar ini juga diperkuat oleh standar nasional yang tertera pada Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor 205 Tahun 1996 tentang Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Tidak Bergerak yang mengatur kecepatan udara saat keluar dari cerobong ditetapkan lebih besar dari 20 m/s. Selain itu, dari proses observasi bentuk fisik cerobong, juga dapat diidentifikasi bahwasannya tinggi

cerobong tidak sesuai dengan standar yang ada. Saat ini, cerobong pada kondisi eksisting hanya memiliki ketinggian 1 m di atas belokan setelah *fan* dan outletnya tetap berada di area kerja. Berdasarkan USEPA 40 CFR 51.100 (ii), perhitungan tinggi cerobong yang mempertimbangkan *Good Engineering Practice* (GEP), menunjukkan bahwasannya tinggi cerobong ekuivalen dengan tinggi bangunan ditambah 1,5 kali lebar bangunan. Selain itu, Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor 205 Tahun 1996 juga menetapkan bahwasannya tinggi cerobong harus berukuran 2 hingga 2,5 kali tinggi bangunan di sekitarnya.

4.3 Analisis Aspek Manajemen

PT XYZ beroperasi sebagai salah satu *plant* dari induk perusahaannya sehingga dalam sistem manajemen masih bergantung dengan induk perusahaan. PT XYZ beroperasi bersama 829 tenaga kerja yang dipimpin oleh seorang *plant head*. *Plant head* bertanggung jawab atas seluruh kegiatan di *plant* tersebut. Selain itu, karena operasinya di bawah induk perusahaan, *plant head* juga memiliki tanggung jawab untuk memberikan laporan kepada direktur di induk perusahaan. Di bawah *plant head* terdapat 10 departemen yang secara spesifik mengatur beberapa bagian produksi hingga distribusi produk keramik di PT XYZ. Secara tugas dan tanggung jawab, peran dari masing-masing bagian di PT XYZ dapat ditunjukkan melalui organigram sebagai berikut.



Gambar 4. 7 Struktur pembagian peran dan tanggung jawab di PT XYZ
(Dokumen Perusahaan, 2025)

Operasional sistem *dust collector* erat kaitan pengaruhnya dengan aspek teknis. Dalam aspek ini, keterkaitan utama terletak pada Departemen *Engineering-Utility*. Departemen ini memiliki peran penting dalam operasional dan perawatan seluruh sistem *dust collector*, termasuk sistem *dust collector* yang terletak di area *squaring*. Selama ini, penanggung jawab utama mengenai pemantauan dan perawatan sistem *dust collector* dari bagian Departemen *Utility* ini terletak pada 1 orang. Berdasarkan hasil wawancara, dalam hal pemantauan teknis dan perawatan sistem *dust collector*, belum ada Standar Operasional Prosedur (SOP) tertulis dari perusahaan. Perawatan yang dilakukan pada sistem *dust collector* di area *squaring* ini terbatas pada penggantian filter. Kurangnya perawatan dan pemantauan teknis ini juga ditunjukkan dari alat pemantauan tekanan *pulse*, yang digunakan untuk pembersihan, tidak beroperasi. Padahal adanya alat ini penting untuk mengetahui apakah tekanan untuk pembersihan sudah sesuai standar mengingat proses utama pembersihan peralatan eksisting membutuhkan tekanan yang sangat tinggi. Selain itu, dalam sistem *bag filter* juga belum ditemukan peralatan pemantauan suhu maupun *pressure drop* yang terjadi. Pemantauan ini

perlu dilakukan sebagai bagian dari pemantauan teknis dan operasional sistem *bag filter* sebagai bentuk upaya preventif sehingga kegagalan sistem dapat dideteksi sejak awal.

Selain aspek teknis, perlu dilakukan kolaborasi pula pada aspek manajemen kualitas lingkungan termasuk untuk emisi udara. Dalam rangka mendorong aspek ini, peran utama terletak di bagian *Health, Safety and Environment* (HSE). Pada kondisi eksisting, PT XYZ memiliki 1 orang yang bertanggung jawab sebagai *Supervisor* HSE dan wajib melaporkan pada *Head of Department* HSE yang berada di induk perusahaan. Upaya yang saat ini telah dilakukan oleh HSE dalam pengelolaan emisi udara di PT XYZ adalah melalui usaha pemantauan kualitas udara emisi dan udara ambien setiap 6 bulan sekali dan melakukan pelaporan kegiatan pemantauan yang telah dilakukan terhadap internal perusahaan maupun pertanggung jawaban terhadap regulasi yang berlaku melalui pelaporan terhadap Dinas Lingkungan Hidup setempat dalam bentuk Dokumen UKL-UPL. Namun, hingga saat ini, upaya ini belum dilakukan untuk cerobong proses *squaring*. Peran serta dari *top management* juga diperlukan karena segala komitmen perusahaan terletak pada keputusan dan kebijakan *top management*. Perusahaan perlu dan wajib melakukan pemantauan udara ambien di sekitar sistem *squaring* dan pemantauan terhadap udara emisi di cerobong proses *squaring* sehingga perusahaan dapat mengetahui seberapa masif dampak lingkungan dan dampaknya terhadap kesehatan pekerja yang dapat ditimbulkan oleh proses *squaring*. Perusahaan juga dapat mengukur keberhasilan sistem *dust collector* yang telah ada saat ini secara kuantitatif dengan menentukan efisiensi prosesnya dalam mengurangi partikulat pada udara yang dibawa.

4.4 Validasi Permasalahan Aspek Manajemen

Kegagalan sistem dapat disebabkan beberapa hal, termasuk aspek regulasi dan manajemen internal yang kurang memperhatikan keidealan berjalannya suatu sistem. Berdasarkan hasil observasi dan wawancara, PT XYZ belum melakukan upaya pemantauan dan pengawasan yang terstruktur untuk sistem *dust collector* area *squaring*. Hal ini berpotensi menimbulkan *overlapping* maupun kekosongan pekerjaan yang harusnya menjadi tanggung jawab dari departemen tertentu. Dalam mengatasi permasalahan ini, perusahaan dapat merumuskan suatu standar internal yang berlandaskan pada ISO 9001:2015 mengenai Sistem Manajemen Mutu. Penerapan ISO 9001:2005 Sistem Manajemen Mutu belum melingkupi seluruh aspek di perusahaan. Dalam hal penerapannya, ISO 9001:2015 Sistem Manajemen Mutu memberikan keutamaan pada beberapa aspek yang berkaitan, yaitu fokus pelanggan, kepemimpinan, keterlibatan orang, pendekatan proses, *improvement*, pengambilan keputusan berdasarkan bukti, dan manajemen hubungan yang tercantum dalam klausul-klausulnya. Melalui penerapan standar ini, perusahaan berkomitmen menjamin seluruh proses pekerjaan yang dilakukan di dalamnya sudah memenuhi standar mutu yang ditetapkan.

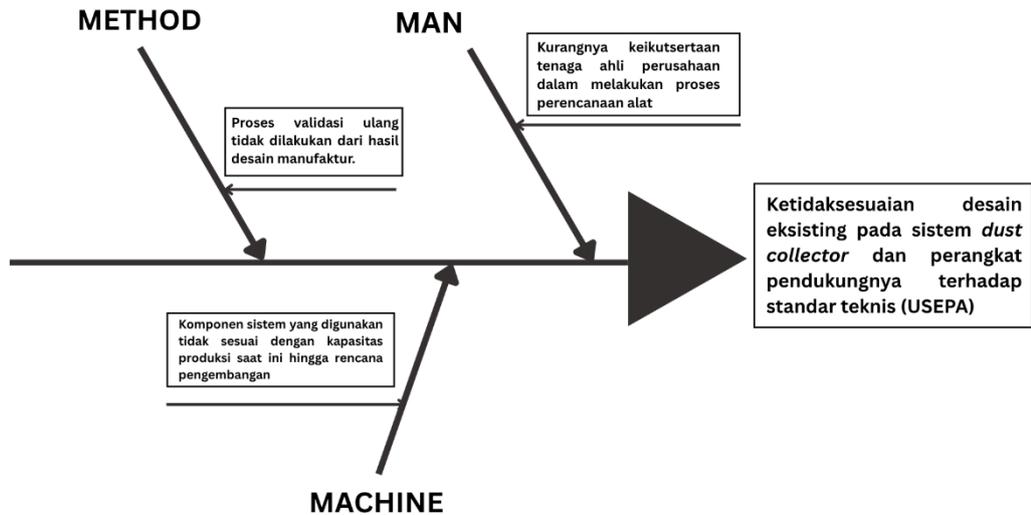
Sementara itu, berdasarkan hasil observasi juga ketidaksesuaian dalam pemenuhan kewajiban pengelolaan lingkungan hidup di perusahaan. Perusahaan belum melakukan pelaporan hasil uji udara emisi dari proses *squaring*. Sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 17 Tahun 2008 pasal 8, yang menyebutkan bahwasannya penanggungjawab usaha/kegiatan industri keramik wajib melaporkan hasil uji emisinya paling tidak setiap 6 bulan kepada bupati/walikota, dengan tembusan gubernur dan Menteri. Uji emisi dan uji ambien di area *squaring* belum dilakukan oleh PT XYZ secara spesifik. Hal tersebut menyebabkan sistem pengendalian pencemaran udara tidak dapat dipantau secara teknis yang

utamanya pada aspek optimasi efisiensi sistem *bag filter* yang sudah dioperasikan pada area eksisting. Risiko paparan partikulat akibat efisiensi sistem *bag filter* yang tidak dikontrol dapat mengancam kesehatan tenaga kerja dan menimbulkan risiko meningkatnya jumlah Penyakit Akibat Kerja (PAK). Hal ini berkaitan dengan penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja (SMK3). Penerapan SMK3 merupakan bentuk penerapan dan ketaatan pada regulasi nasional mengenai Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja. Berdasarkan peraturan tersebut, salah satu tujuan penerapan SMK3 di area kerja adalah mencegah dan mengurangi kecelakaan kerja dan penyakit akibat kerja dengan melibatkan unsur manajemen, pekerja/buruh, dan/atau serikat pekerja/serikat buruh. Dengan demikian, pengendalian partikulat dengan mempertimbangkan desain teknis perlu dilakukan perusahaan untuk menjamin terlaksananya SMK3 di area kerja dapat diterapkan sesuai amanah peraturan nasional.

4.5 Identifikasi Akar Permasalahan

Setiap permasalahan yang dirumuskan dapat diidentifikasi melalui metode *Root Cause Analysis* (RCA). Metode ini digunakan sehingga proses evaluasi lebih mendalam dan diperoleh rekomendasi yang dirumuskan, dapat diterapkan secara jangka panjang oleh perusahaan. Pada penelitian ini, proses analisis akar permasalahan dilakukan melalui *fishbone diagram* sebagai instrumen untuk membantu proses analisis. Metode *fishbone diagram* digunakan sehingga proses penggalian akar-akar permasalahan dapat menyeluruh ke berbagai aspek yang berhubungan dengan adanya sistem manajemen kualitas udara untuk proses *squaring* ini. Melalui metode ini, permasalahan akan diidentifikasi melalui 3 aspek, yakni *man*, *method* dan *machine* karena aspek tersebut paling mendasar dan berkaitan dengan objek penelitian yakni sebuah sistem peralatan. Berdasarkan Susendi dkk (2021), aspek *man* akan berkaitan dengan orang yang bertanggung jawab terhadap objek yang dilakukan evaluasi, sedangkan aspek *method* berkaitan dengan tata cara, sistem, dan prosedur yang digunakan dalam pengoperasian objek yang dievaluasi. Sementara itu, aspek *machine* adalah aspek yang dievaluasi berdasarkan peralatan atau sistem penunjang yang digunakan.

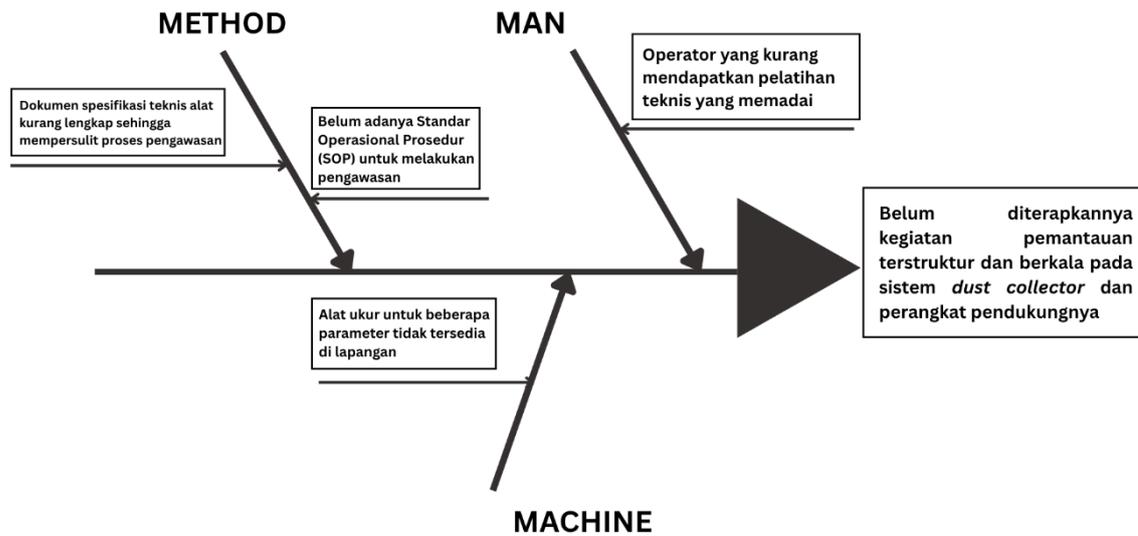
Berdasarkan hasil identifikasi permasalahan untuk aspek desain teknis yang telah dilakukan sebelumnya, permasalahan pertama adalah mengenai ketidaksesuaian desain eksisting pada sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya terhadap standar yang telah ditetapkan, yakni standar USEPA. Analisis akar masalah dilakukan menggunakan *fishbone diagram* untuk aspek *man*, *method* dan *machine* sesuai dengan objek permasalahan yang dianalisis. Hasil analisis *fishbone diagram* dapat ditunjukkan sesuai **Gambar 4.8** sebagai berikut.



Gambar 4. 8 Hasil analisis *fishbone diagram* permasalahan pertama

Permasalahan mengenai ketidaksesuaian desain eksisting pada sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya terhadap standar yang telah ditetapkan dapat terjadi karena aspek *man* yang kurang partisipatif, terutama dari internal perusahaan, dalam melakukan proses perencanaan alat saat pertama kali peralatan tersebut dibeli dari manufaktur. Hal ini memiliki pengaruh yang cukup besar karena alat tersebut nantinya akan dilakukan operasional dan perawatan oleh perusahaan sehingga sudah sewajarnya perusahaan mengetahui proses desainnya. Selanjutnya, permasalahan dapat bersumber dari tata cara dan prosedur saat pertama kali alat tersebut diperoleh dari pihak manufaktur, yakni berkaitan dengan tidak dilakukannya proses validasi ulang dari hasil desain manufaktur berdasarkan kondisi eksisting di perusahaan dan rencana pengembangannya. Pada dasarnya, pembelian alat paket sangat diperbolehkan, tetapi harus memperhatikan standar yang sesuai dan karakteristik aktivitas industri yang terjadi. Oleh sebab itu, dalam aspek *machine* dapat diidentifikasi permasalahan mengenai komponen sistem yang digunakan tidak sesuai dengan kapasitas produksi saat ini hingga rencana pengembangan.

Selain aspek desain teknis, penelitian ini juga berfokus pada aspek manajemen. Sesuai proses identifikasi permasalahan aspek manajemen yang telah dilakukan sebelumnya, permasalahan kedua yang dapat dilakukan analisis yakni belum adanya prosedur terstruktur dalam pengawasan operasional sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya. Beberapa akar masalah yang berpotensi menyebabkan timbulnya permasalahan tersebut adalah sebagai berikut.



Gambar 4. 9 Hasil analisis *fishbone diagram* permasalahan kedua

Permasalahan kedua berfokus pada aspek manajemen yakni mengenai belum diterapkannya kegiatan pemantauan terstruktur dan berkala pada sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya. Permasalahan pada aspek *man* dapat terjadi karena operator yang bertanggungjawab dalam manajemen sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya, kurang mendapatkan pelatihan teknis yang memadai sehingga proses pemantauan yang dilakukan hanya untuk melakukan tindakan korektif, bukan untuk preventif. Hal ini disebabkan karena proses pemantauan tidak dilakukan secara terstruktur. Hal ini juga menjadi alasan akar permasalahan pada aspek *method* dapat timbul. PT XYZ belum memiliki panduan terstruktur untuk pemantauan yang dapat dilakukan oleh operator sehingga saat ini proses pemantauan operator terletak pada saat mesin tersebut terlihat tidak stabil, misalnya saat udara yang dikeluarkan dari cerobong terlihat lebih pekat. Selain itu, dokumen spesifikasi teknis pada alat yang terbatas dapat menghalangi proses pemantauan berkala pada keseluruhan sistem. Permasalahan ini berkaitan dengan prosedur manajemen dokumen di PT XYZ yang dapat mempengaruhi proses pemantauan di lapangan. Selanjutnya, dalam aspek *machine* dapat diidentifikasi permasalahan berupa tidak tersedianya alat pemantauan untuk sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya untuk beberapa parameter penting, seperti suhu, tekanan, kecepatan angin dan sebagainya. Hal ini menyebabkan proses pemantauan lebih sulit karena operator tidak dapat melakukan pemantauan apabila instrumen yang digunakan tidak tersedia. Adanya sistem pengawasan berkaitan dengan komitmen perusahaan. Perusahaan wajib memiliki kesadaran penuh dalam mengelola semua yang menjadi tanggungjawabnya dalam proses industri (dari awal hingga akhir, dari apa yang digunakan, apa yang dihasilkan dan apa yang dibuang). Oleh sebab itu, proses pengawasan pada rangkaian kegiatan industri sangat penting dilakukan.

4.6 Rekomendasi

Berdasarkan hasil analisis dan evaluasi yang telah dilakukan pada tahap sebelumnya, serta proses analisis permasalahan, diperoleh beberapa rekomendasi yang dapat diterapkan untuk perusahaan, yakni sebagai berikut.

4.6.1 Modifikasi teknis pada sistem bag filter dan perangkat pendukungnya

Berdasarkan hasil evaluasi dan analisis permasalahan, diperoleh berbagai ketidaksesuaian teknis dari instalasi bag filter eksisting. Permasalahan pertama terletak pada desain teknis tudung isap. Pada kondisi eksisting, tudung isap memiliki bagian yang tidak seluruhnya tertutup sehingga perlu dilakukan penutupan. Bagian ini terletak pada bagian bawah setiap tudung isap. Hal ini mengakibatkan debu partikulat yang dihasilkan dari proses squaring tidak sepenuhnya dapat ditangkap oleh tudung isap sehingga terdispersi ke udara bebas dan mempengaruhi kualitas udara di area kerja. Permasalahan ini dapat diatasi dengan menutup bagian bawah dengan lempengan *galvanized* pada setiap tudung isap sehingga seluruh udara proses yang membawa partikulat dapat ditangkap oleh tudung isap.

Selanjutnya, dilakukan pula modifikasi pada sistem saluran udara. Sistem saluran udara eksisting memiliki kecepatan aliran yang belum memenuhi standar. Hal ini menyebabkan kemungkinan pengendapan partikulat dari udara proses yang mengalir pada sistem saluran udara. Kecepatan aliran udara yang tidak sesuai standar ini dipengaruhi oleh dimensi sistem saluran udara yang tidak sesuai dengan kapasitas udara yang dibawa. Dalam mengatasi hal ini, maka dapat dilakukan penyesuaian dan modifikasi teknis pada sistem saluran udara eksisting dengan penerapan internal lining pada sistem saluran udara. *Internal lining* digunakan untuk memperkecil diameter sistem saluran udara sehingga kecepatan aliran udara yang ideal dapat tercapai. Sementara itu, pada sistem bag filter dapat diterapkan modifikasi operasional dengan penerapan 2 kompartemen aktif. Hal ini dapat dilakukan dengan penutupan pada 1 inlet kompartemen *bag filter* dan menonaktifkan sistem *pulse jet* yang terkoneksi dengan kantong-kantong filter. Hal ini diperlukan untuk meningkatkan kecepatan filtrasi udara sehingga sesuai dengan standar yang berlaku tanpa dilakukan penggantian total pada sistem *bag filter*. Secara teknis perhitungan, apabila rekomendasi ini diterapkan, maka dapat ditentukan beberapa nilai parameter sebagai berikut.

Diketahui :

- Laju aliran udara = 13459,106 CFM
- Luas filter (A_c) = 17,170 ft²
- Total kompartemen = 2
- Jumlah filter aktif = 168 pcs

Maka,

$$\begin{aligned} \text{Total Cloth Area gross (} A_{tc_{\text{gross}}}) &= A_c \times N \\ &= 2884,515 \quad \text{ft}^2 \\ A/C_{\text{gross}} &= \frac{Q}{A_{tc_{\text{gross}}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 4,666 && \text{CFM/ft}^2 \\
A/C_{net} &= \frac{Q}{Atc_{gross} \times \left(\frac{kompartmenten - 1}{kompartmenten}\right)} \\
&= 9,332 && \text{CFM/ft}^2 \\
\text{Total net cloth area (Atc}_{net}) &= \frac{Q}{A/C_{net}} \\
&= 1442,257 && \text{ft}^2
\end{aligned}$$

Oleh karena nilai A/C_{net} **memenuhi** kecepatan filter yang disyaratkan oleh standar USEPA (8-10 CFM/ft²), maka rekomendasi ini dapat dipertimbangkan.

4.6.2 Standardisasi cerobong

Pada kondisi eksisting, cerobong memiliki kecepatan aliran udara keluar (*stack exit velocity*) yang belum memenuhi standar. Selain itu, berdasarkan hasil observasi dan pengukuran, ketinggian cerobong pada konsisi eksisting adalah 1 m. Hal ini menyebabkan pengujian udara emisi tidak dapat dilakukan secara isokinetis. Tidak hanya ketinggian cerobong yang berpengaruh, kondisi outlet cerobong yang berada di area kerja juga dapat mengganggu produktivitas pekerja. Dengan demikian, perlu dilakukan standardisasi ketinggian dan dimensi cerobong. Untuk merencanakan desain cerobong yang memenuhi standar, dapat melalui metode sebagai berikut.

Direncanakan:

Kecepatan aliran udara keluar cerobong (V_c) = 3500 fpm

Panjang penampang cerobong (a) = 0,25 m

Lebar penampang cerobong (b) = 0,35 m

Dengan demikian, untuk menentukan luas penampang cerobong adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\text{Luas penampang cerobong (A)} &= 0,25 \text{ m} \times 0,35 \text{ m} \\
&= 0,0875 && \text{m}^2 \\
&= 0,942 && \text{ft}^2
\end{aligned}$$

Selanjutnya, dapat ditentukan laju aliran keluar cerobong, yakni sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
\text{Laju aliran udara keluar cerobong (Qc)} &= V_c \times A \\
&= 3296,444 && \text{CFM}
\end{aligned}$$

Setelah laju aliran udara keluar cerobong diketahui, maka dapat dihitung diameter cerobong sesuai **persamaan 3.13**, yakni sebagai berikut.

$$\text{Diameter cerobong (Ds)} = 1,1288 \times \sqrt{\frac{Q_c}{V_c}}$$

$$= 0,531 \quad \text{ft}$$

$$= 0,162 \quad \text{m}$$

Oleh karena penampang eksisting adalah segiempat, maka untuk mengetahui apakah diameter rencana telah sesuai dengan diameter standar, dapat dihitung menggunakan **persamaan 3.14** sebagai berikut.

$$\text{Diameter ekuivalen } (D_{eq}) = \frac{2ab}{(a + b)}$$

$$\text{Diameter ekuivalen } (D_{eq}) = \frac{2 \times 0,25 \times 0,35}{(0,25 + 0,35)}$$

$$\text{Diameter ekuivalen } (D_{eq}) = 0,292 \quad \text{m}$$

Oleh karena diameter ekuivalen cerobong eksisting telah memenuhi diameter dengan ukuran standar, maka rencana dimensi cerobong dapat diterima dan telah sesuai. Selanjutnya, direncanakan pula ketinggian cerobong sesuai *Good Engineering Practice* sesuai metode sebagai berikut.

Direncanakan:

Ketinggian bangunan (H_b) = 7 m

Lebar bangunan (L) = 15 m

$$\text{Ketinggian cerobong GEP } (A) = H_b + 1,5L$$

$$= 29,5 \quad \text{ft}$$

$$= 8,992 \quad \text{m}$$

Dengan demikian, perlu **peningkatan ketinggian cerobong sebesar 7,992 m** dari kondisi eksisting saat ini di area *squaring* PT XYZ.

4.6.3 Instalasi alat pengukuran/pengujian

Salah satu kendala dalam proses pemantauan sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya adalah tidak tersedianya alat pengukuran dan pengujian parameter penting dalam kinerja sistem. Beberapa parameter penting yang perlu dipantau, antara lain suhu pada sistem, kelembaban, tekanan dalam sistem dan tekanan yang diberikan untuk proses pembersihan, kecepatan aliran udara dan sebagainya. Saat ini perusahaan belum melakukan upaya pemantauan teknis pada sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya karena ketidaktersediaan alat pengukuran/pengujian untuk parameter-parameter tersebut yang secara spesifik diinstal untuk pemantauan sistem *dust collector*. Selain beberapa parameter tersebut, pada dasarnya perusahaan juga harus mengetahui konsentrasi partikulat yang dihasilkan dari cerobong proses area *squaring* ini. Proses ini juga belum dilakukan. Selain karena tidak tersedianya alat pengujian, perusahaan juga belum melakukan pemantauan pada cerobong proses. Padahal parameter ini adalah parameter paling penting untuk mengetahui keberhasilan alat pengendali yang sudah dilakukan instalasi.

Pada dasarnya, alat pengukuran dalam instalasi sistem *bag filter* dapat membantu mengidentifikasi efisiensi, keselamatan, dan kepatuhan operasional terhadap standar teknis dan lingkungan. Dengan adanya alat pemantauan, dapat menjadi kontrol dalam menjalankan

suatu sistem. Melalui ketersediaan alat pemantauan perusahaan juga dapat melakukan upaya preventif sebelum adanya dampak besar lainnya yang mungkin terjadi karena kegagalan sistem yang tidak terdeteksi.

4.6.4 Penerapan Sistem Operasional Prosedur (SOP)

Rekomendasi berupa penerapan Sistem Operasional Prosedur (SOP) disusun karena belum adanya mekanisme terstruktur dalam hal pemantauan sistem *dust collector* di PT XYZ. Penyusunan Standar Operasional Prosedur (SOP) pemantauan sistem *dust collector* perlu dilakukan untuk mengoptimalkan operasional sistem *dust collector* di area *squaring* PT XYZ. Berikut merupakan SOP yang dapat diterapkan untuk melakukan pemantauan sistem *dust collector* di PT XYZ.

No.	KEGIATAN	UTILITY	HSE	PRODUKSI	MANAJEMEN
1	Melakukan persiapan, terutama untuk formulir pendataan temuan dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) selama melakukan pemantauan di area squaring	1	1	1	1
2	Melakukan pemeriksaan kondisi fisik seluruh peralatan pada sistem dust collector (bag filter), tudung isap, sistem saluran udara, fans dan cerobong pada area squaring	2			
3	Melakukan pendataan nilai pressure drop yang terjadi pada sistem bag filter	3			
4	Melakukan pendataan nilai pressure pada pulse dan dilakukan pencatatan waktu pembersihan	4			
5	Melakukan pendataan suhu sistem yang terjadi pada sistem bag filter	5			
6	Melakukan pemantauan kecepatan aliran dalam sistem saluran udara	6			
7	Melakukan pendataan berat debu terkumpul dari proses <i>squaring</i>			7	
8	Melaporkan dan mendiskusikan hasil temuan sehingga dapat dilakukan tindak lanjut	8	8	8	8
9	Mengajukan pengujian pemantauan kualitas udara emisi dari cerobong area squaring		9		9
10	Melakukan pengujian pada parameter partikulat, laju alir, suhu dan tekanan pada outlet cerobong area squaring bersama pihak ketiga		10		
11	Mengajukan pengujian dan pemantauan kualitas udara ambien area squaring		11		
12	Melakukan pelaporan hasil uji untuk keperluan evaluasi internal perusahaan dan pelaporan pada dokumen UKL-UPL perusahaan		12		
13	Mendiskusikan tindak lanjut dari hasil pengujian, baik melalui penyesuaian teknis maupun non-teknis		13		13

Gambar 4. 10 Diagram alir SOP pemantauan sistem *dust collector*

Pemantauan sistem *dust collector* dapat dilakukan setiap hari dan dilaporkan secara rutin selama 1 minggu sekali untuk kegiatan 1 hingga 8. Pemantauan dan pengarsipan hasil pemantauan ini merupakan tanggung jawab dari Departemen *Utility* PT XYZ yang memiliki peran penuh dalam pengendalian teknis dan operasional sistem *dust collector*. Departemen *Utility* dapat berkoordinasi dan bekerja sama dengan Departemen Produksi untuk dapat membantu melaporkan bertat debu yang diperoleh setiap harinya dalam satu minggu.

Berdasarkan diagram alir pada **Gambar 4.10**, deskripsi proses yang dapat direkomendasikan untuk melakukan pemantauan sistem *dust collector* adalah sebagai berikut.

- 1) Melakukan persiapan dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) untuk melakukan kegiatan pemantauan sistem *dust collector*. Bentuk kegiatan persiapan yang dimaksud adalah menentukan titik lokasi pemantauan, mempersiapkan formulir pendataan temuan, serta mempersiapkan alat pengukuran yang akan digunakan. Sementara itu, APD yang digunakan, yakni berupa helm, earplug, masker dan sepatu *safety*. Apabila diperlukan, dapat mempersiapkan *body harness* untuk pemantauan saat berada di ketinggian.
- 2) Melakukan pemeriksaan kondisi fisik sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya. Hal ini dilakukan apabila terdapat kebocoran sistem, pengkaratan dan perubahan fisik lainnya yang dapat dideteksi secara langsung sehingga dapat mendapatkan perbaikan dan penanganan cepat dari Departemen Utility PT XYZ.
- 3) Melakukan pemeriksaan kondisi operasional sistem *dust collector* melalui beberapa hal, antara lain:
 - Melakukan pemantauan hasil pengukuran *pressure drop* yang terjadi dalam sistem *bag filter*. PT XYZ harus memiliki instalasi pengukur tekanan pada daerah inlet dan daerah outlet sistem *bag filter* sehingga dapat diketahui *pressure drop* pada sistem. Hasil pengukuran *pressure drop* yang tidak normal (normal berada di rentang 6-10 in WC) dapat mengindikasikan terjadinya kebocoran sistem, kerusakan filter maupun filter kotor sehingga perlu alternatif solusi seperti mengganti filter atau memperbaiki sistem yang ada.
 - Melakukan pemeriksaan suhu dalam sistem *bag filter*. Filter yang digunakan dalam sistem *bag filter* memiliki toleransi suhu yang berbeda-beda sehingga suhu memiliki peran penting dalam operasional sistem *bag filter*. Oleh sebab itu, apabila suhu melebihi batas toleransi filter, maka dapat dipertimbangkan adanya penggantian jenis filter yang lebih sesuai.
 - Pemantauan kecepatan aliran udara dalam sistem saluran udara. Sistem saluran udara yang baik memiliki kecepatan aliran udara minimal sebesar 3500 fpm sehingga dapat mencegah pengendapan partikulat pada dinding-dinding saluran udara.
 - Melakukan koordinasi dengan Departemen Produksi untuk melaporkan hasil berat debu yang diperoleh setiap harinya selama seminggu.
 - Dilakukan pencatatan seluruh temuan.
- 4) Melakukan pengarsipan dan dokumentasi hasil pemantauan.

Selain dalam hal pemantauan sistem *dust collector*, diperlukan juga pemantauan kualitas udara di area *squaring* yang sebelumnya belum pernah dilakukan. Kewajiban ini merupakan tanggung jawab perusahaan yang secara perkerjaan dapat dilakukan oleh Departemen *Health Safety Environment* (HSE). Perusahaan wajib melakukan pemantauan dan pelaporan emisi yang dihasilkan di area ini karena area *squaring* ini mengemisikan parameter total partikulat yang konsentrasi baku mutunya telah diatur dalam Lampiran Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 17 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Keramik. Selain digunakan untuk keperluan pelaporan, pemantauan kualitas udara di area *squaring* ini juga diperlukan sehingga terdapat dasar pengembangan sistem apabila hal tersebut diperlukan pada masa mendatang. Pemantauan

kualitas udara di area *squaring* dapat dilakukan selama 6 bulan sekali bersamaan dengan jadwal pemantauan kualitas lingkungan di PT XYZ. Selama ini, pemantauan kualitas udara di area *squaring* PT XYZ belum dilakukan karena cerobong yang tidak memenuhi persyaratan sehingga pengambilan sampel untuk pengujian tidak dapat isokinetik.

Dengan demikian, perlu adanya standardisasi cerobong terlebih dahulu, terutama untuk penyesuaian ketinggian cerobong. Rekomendasi ketinggian cerobong sesuai standar US EPA telah ditentukan pada subab sebelumnya sehingga dapat menjadi pertimbangan perusahaan. Setelah ketinggian cerobong dipenuhi, PT XYZ dapat melakukan pemantauan kualitas udara area *squaring* melalui Departemen HSE yang bekerja sama dengan vendor laboratorium yang terverifikasi. Proses pemantauan ini dapat dilakukan sesuai diagram alir pada kegiatan nomor 9 hingga nomor 13 dan dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Melakukan persiapan dan pengajuan pengujian kualitas udara ke vendor laboratorium. Dalam melakukan pengujian kualitas udaranya, PT XYZ bekerja sama dengan vendor (pihak ketiga) yang melakukan pengujian. Tahap persiapan digunakan untuk melakukan pengajuan pengujian ke manajemen sehingga dapat dilanjutkan ke laboratorium terkait
2. Apabila telah dilakukan persetujuan, maka dapat ditentukan jadwal pengujian kualitas udara bersama vendor. Pengujian kualitas udara untuk proses *squaring* keramik sesuai dengan Lampiran Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 17 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Keramik diwajibkan pada parameter total partikulat.
3. Melakukan pengujian total partikulat dari udara emisi cerobong oleh laboratorium dengan mengambil sampel pada cerobong area *squaring* pada kondisi isokinetik sehingga memiliki akurasi tinggi. Apabila hasil tidak memenuhi kriteria baku mutu, maka perlu dilakukan evaluasi proses produksi dan kinerja sistem *dust collector*. Proses ini harus melibatkan seluruh departemen terkait.
4. Melakukan pengujian udara ambien sekitar area *squaring* sehingga dapat dirumuskan upaya untuk menjaga kesehatan para tenaga kerja.
5. Melakukan pengujian laju alir udara pada cerobong, pengujian suhu udara pada outlet sistem *dust collector* dan pada outlet cerobong serta pengujian distribusi partikulat yang dihasilkan dari proses *squaring*.
6. Melakukan pengujian udara ambien di area *squaring* bersama pihak ketiga dari laboratorium yang terverifikasi.
7. Melakukan pencatatan hasil temuan dan pengarsipan data sebagai evaluasi manajemen dan pelaporan dokumen lingkungan setiap semester. Melalui data-data tersebut PT XYZ memiliki dasar dalam pengembangan sistem operasional *dust collector* dan pengembangan prosesnya sehingga menjadi lebih baik. Selain itu, hal ini juga menjadi landasan kepatuhan PT XYZ terhadap peraturan lingkungan yang ada.

Secara detail, dokumen SOP yang sesuai dengan ISO 9001:2015 mengenai Sistem Manajemen Mutu dapat ditunjukkan pada **Lampiran A.2**.

4.6.5 Standardisasi proses manajemen seluruh dokumen spesifikasi teknis

Salah satu penyebab permasalahan yang telah dianalisis dalam penelitian ini adalah tidak tersedianya dokumen spesifikasi teknis peralatan yang digunakan. Berdasarkan hasil observasi lapangan dan wawancara dengan pihak perusahaan, pihak perusahaan tidak

memiliki dokumen spesifikasi teknis, berikut detail gambar teknik dari sistem *dust collector* dan perangkat pendukung di area *squaring*. Padahal dokumen spesifikasi teknis memiliki peran penting sebagai acuan utama yang memuat karakteristik perancangan sistem, metode kerja, standar yang digunakan dalam pengembangan dan sebagainya yang dapat membantu proses pemantauan saat di lapangan. Selain itu, adanya dokumen spesifikasi teknis juga membantu perusahaan dalam proses evaluasi sistem apabila terdapat ketidaksesuaian. Dokumen spesifikasi teknis juga membantu perusahaan dalam melakukan proses pengembangan yang mungkin dapat terjadi di masa mendatang.

Oleh sebab itu, perlu dilakukan standarisasi proses manajemen dokumen spesifikasi teknis yang dimiliki perusahaan terutama untuk peralatan yang vital terhadap proses produksi di perusahaan. Proses standarisasi dapat dilakukan dengan melakukan penyimpanan berkas data tidak hanya pada 1 departemen terkait tetapi juga dihimpun oleh departemen lain yang berkaitan dengan penghimpunan data serta *top management* di *plant* tersebut. Melalui proses ini, keberadaan data dapat ditelusuri oleh departemen tersebut sehingga apabila terjadi pergantian posisi maupun kehilangan data.

4.6.6 Penyediaan sarana peningkatan kompetensi bagi departemen terkait

Permasalahan mengenai aspek man atau kemampuan dan partisipasi tenaga teknis dalam dua permasalahan mengenai desain teknis dan manajemen menjadi dasar utama kewajiban perusahaan dalam memberikan sarana peningkatan kompetensi bagi tenaga kerja di departemen terkait. Hal ini menjadi penting karena tenaga kerja dituntut untuk dapat memahami segala kemungkinan teknis seiring dengan masifnya perkembangan teknologi dan metode yang diterapkan untuk desain teknis. Peningkatan kompetensi ini dapat menjadi bekal tenaga kerja apabila harus melakukan tindakan korektif dan perbaikan serta pengambilan keputusan saat terjadi sesuatu yang penting dan/atau darurat. Melalui peningkatan kompetensi bagi tenaga kerja, diharapkan tidak hanya kemampuan teknis tenaga kerja meningkat, tetapi juga inisiatif dalam melakukan pemantauan juga meningkat.

Sarana peningkatan kompetensi ini dapat berupa pembekalan dan pelatihan teknis. Pembekalan yang diberikan berguna untuk tenaga kerja mengetahui dasar dan standar yang berlaku dalam menangani sebuah alat. Sementara itu, pelatihan teknis dapat digunakan tenaga kerja untuk mengasah kemampuan teknisnya. Melalui pembekalan dan pelatihan teknis ini, tenaga kerja juga akan dibekali pemahaman mengenai standar keselamatan kerja. PT XYZ dapat memfokuskan sarana peningkatan kompetensi berupa pembekalan dan pelatihan teknis dikhususkan untuk tenaga kerja yang berada di bawah Departemen *Utility*. Sementara itu, pembekalan dapat diikuti oleh perwakilan dari Departemen HSE dan Produksi yang berkaitan dengan optimasi sistem *dust collector* di PT XYZ.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Proses evaluasi dilakukan terhadap kondisi eksisting sistem *dust collector* dan perangkat pendukungnya di lokasi *squaring*. Hasil analisis teknis menunjukkan adanya ketidaksesuaian desain pada beberapa parameter kondisi eksisting dengan standar teknis yang berlaku mengacu pada standar USEPA, meliputi kecepatan tangkap tudung isap sebesar 457,015 fpm, kecepatan transpor dalam sistem saluran udara secara berurutan sebesar 3086,164 fpm; 1826,133 fpm; 1543,084 fpm; 1693,369 fpm; 1468,728 fpm, A/C_{net} sebesar 4,799 CFM/ft² dengan waktu operasional *pulse jet bag filter* selama 4 detik, kapasitas *fans* sebesar 41526-71726 m³/jam dan 4729-3316 Pa, kecepatan keluar cerobong sebesar 1246,063 fpm dan ketinggian cerobong yakni 1 m. Belum diterapkannya prosedur terstruktur dalam pengawasan serta belum dilaksanakan kewajiban pelaporan emisi juga menjadi temuan ketidaksesuaian pada aspek manajemen. Berdasarkan hasil *Root Cause Analysis*, masalah utama berupa ketidaksesuaian desain eksisting pada sistem dengan standar teknis serta belum diterapkannya kegiatan pemantauan terstruktur dan berkala pada sistem. Identifikasi akar-akar permasalahan dilakukan sehingga dapat menjadi dasar dalam perumusan rekomendasi.
2. Berdasarkan akar-akar permasalahan yang telah dianalisis dengan instrumen *fishbone diagram*, dirumuskan beberapa rekomendasi perbaikan yang dapat dilakukan perusahaan, meliputi modifikasi teknis pada sistem *bag filter* dan perangkat pendukungnya, standardisasi cerobong, instalasi alat pengukuran/pengujian, penerapan Sistem Operasional Prosedur (SOP) untuk pemantuan sistem *dust collector*, standardisasi proses manajemen dokumen spesifikasi teknis dan penyediaan sarana peningkatan kompetensi bagi tenaga kerja.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat saran yang dapat dirumuskan sehingga penelitian dapat dikembangkan menjadi lebih baik.

1. Penelitian selanjutnya dapat melakukan pengujian secara spesifik terhadap beberapa parameter lingkungan yang belum terlingkupi pada proses evaluasi ini, terutama untuk efisiensi sistem *dust collector* eksisting dan karakteristik partikulat, sehingga proses evaluasi dapat lebih luas dan menyeluruh.
2. Penelitian selanjutnya dapat melakukan analisis terkait pengaruh proses *squaring* terhadap kinerja sistem *dust collector*.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

DAFTAR PUSTAKA

- American Conference of Governmental Industrial Hygienist (1998). *Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice 23rd Edition*. Cincinnati: American Conference of Governmental Industrial Hygienist, Inc.
- Balai Besar Keramik. (2022). *Realisasi Investasi di Industri Keramik Capai Rp17,7 Triliun di Semester I-2022*. Diakses dari <http://www.bbk.go.id/berita/brt6359f868637ab>
- Baloyi, H. I., Okonye, L. U., & Ren, J. (2024). Design of retrofit flue gas (CO₂) scrubber for dependable clean energy at the Duvha Coal Power Plant. *Scientific Reports*, 14(1), 23500.
- Bashir, K. (2015). Design and fabrication of cyclone separator. *China University of Petroleum*.
- Bhatia, A. (2021). *Design and Sizing of Baghouse Dust Collectors: A Quick Course*. Bergen County: Continuing Education and Development, Inc.
- Boschi, G., Masi, G., Bonvicini, G., & Bignozzi, M. C. (2020). Sustainability in Italian ceramic tile production: Evaluation of the environmental impact. *Applied Sciences*, 10(24), 9063.
- Cecala, A.B., O'Brien, A.D., Schall, J., Colinet, J.F., Franta, R.J., Schultz, M.J., ... & Ellis, M. (2019). *Dust Control Handbook for Industrial Minerals Mining and Processing (Second Edition)*. Washington D.C.: Department of Health and Human Services (National Institute for Occupational Safety and Health) Publication.
- Dwicahya, A. R., & Cahyonugroho, O. H. (2024). Analisis Sebaran Emisi Total Suspended Particulate Menggunakan Software Aermoc di Jalan Raya Tandus. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(3), 9907-9912.
- Ebrahimi, M., Eslami, A., Hajirasouliha, I., Ramezanzpour, M., & Pilakoutas, K. (2023). Effect of ceramic waste powder as a binder replacement on the properties of cement-and lime-based mortars. *Construction and Building Materials*, 379, 131146.
- Fathony, A. F. (2023). Rancang Bangun Prototype ESP untuk Pengendapan Debu Limbah Industri dengan menggunakan Transformator Flyback. *Sains Data Jurnal Studi Matematika dan Teknologi*, 1(1), 21-38.
- Firdaus, N. A., Wulandari, B. M., & Novembrianto, R. (2023). Analisa Efisiensi Unit Bag Filter dan Wet Scrubber terhadap Parameter Partikulat, SO₂, NO₂, dan Opasitas Pada Industri Besi dan Baja di Surabaya. *Environmental Engineering Journal ITATS*, 3(1), 57-64.
- Gea, A., Patras, L. S., & Mangindaan, G. M. C. (2023). Penggunaan Bag Filter untuk Penanganan Abu di PLTU Amamapare.
- Haq, I. S., & Purba, M. A. (2020). Kajian penyebab kerusakan door packing pada tabung sterilizer menggunakan metode Root Cause Analysis (RCA) di sungai kupang mill. *Jurnal Vokasi Teknologi Industri (Jvti)*, 2(2).
- Heriantini, A. F., Afiuddin, A. E., & Sophia, A. V. (2019). Perencanaan Wet Scrubber pada Unit Boiler di Industri Minyak Goreng. In *Conference Proceeding on Waste Treatment Technology*. 2(1), 47-52.

- Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Nomor 205 Tahun 1996 Tentang Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Tidak Bergerak
- Khusna, A., Nasution, S., & Prasetyo, A. H. P. H. (2019, October). Optimalisasi Bag Filter untuk Bag Cleanliness 66F-BN1 & 66G-BN1 di Area Pack House. In Seminar Nasional Teknik Mesin (Vol. 9, No. 1, pp. 1043-1052).
- Kinkley, M.L., Neveril, R.B. (1976). *Capital and Operatng Costs of Selected Air Pollution Control Systems*. Piedmont: United States Environmental Protection Agency.
- Liu, X., Shen, H., & Nie, X. (2019). Study on the filtration performance of the baghouse filters for ultra-low emission as a function of filter pore size and fiber diameter. *International Journal of Environmental research and public health*, 16(2), 247.
- Luchmanandri, R., & Hendrasarie, N. & (2023). Analisis Dampak Lingkungan melalui Life Cycle Assesment (LCA) di Industri Keramik Mojokerto. *Prosiding ESEC*, 4(1), 7-13.
- Miller, M. R. (2022). The cardiovascular effects of air pollution: Prevention and reversal by pharmacological agents. *Pharmacology & Therapeutics*, 232, 107996.
- Minguillón, M. C., Monfort, E., Querol, X., Alastuey, A., Celades, I., & Miró, J. V. (2009). Effect of ceramic industrial particulate emission control on key components of ambient PM10. *Journal of environmental management*, 90(8), 2558-2567.
- Monfort, E., Mezquita, A., Vaquer, E., Celades, I., Sanfelix, V., & Escrig, A. (2014). Ceramic manufacturing processes: energy, environmental, and occupational health issues. *Comprehensive Materials Processing*. 8, 71-102.
- Moreno-Martín, V., López, M., Roldan, C., Bou, D., Fraga, S., Teixeira, J. P., ... & Viana, M. (2025). Potential human exposure and risks of incidental nanoparticles released during rotary dry cutting of ceramic tiles. *Journal of Aerosol Science*, 183, 106485.
- Neundorfer. (2016). *Lesson 5: Fabric Filter Design*. Diakses dari <https://www.neundorfer.com/wp-content/uploads/2016/05/Baghouse-KnowledgeBase-05-Fabric-Filter-Design-Review.pdf>
- Nurlita, S., Kusnaty, A., & Mufidah, I. (2019). Perancangan Alat Bantu Untuk Meningkatkan Kinerja Mesin Dust Collector Menggunakan Metode Perancangan Produk Rasional (studi Kasus Cv. Xyz). *eProceedings of Engineering*, 6(2).
- Nursabrina, A., Joko, T., & Septiani, O. (2021). Kondisi Pengelolaan Limbah B3 Industri Di Indonesia Dan Potensi Dampaknya: Studi Literatur. *Jurnal Riset Kesehatan Poltekkes Depkes Bandung*, 13(1), 80-90.
- Pence, M. (2012). *Handbook of Air Pollution Control Systems and Devices*. New Delhi: University Publications.
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 17 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Keramik.
- Peraturan Menteri Tenaga Kerja Nomor 5 Tahun 2018 tentang Keselamatan dan Kesehatan Lingkungan Kerja.

- Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.
- Peraturan Pemerintah No. 50 Tahun 2012 tentang Penerapan Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja.
- Rahmawati, F., Samadikun, B. P., & Hadiwidodo, M. (2020). Evaluasi Efisiensi Kinerja Alat Pengendali Partikulat Cyclone dan Wet Scrubber Unit Paper Mill 7/8 PT. Pura Nusapersada Kudus. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 17(2), 144-153.
- Schiffner, K.C. (2021). *Air Pollution Control Equipment Selection Guide (Third Edition)*. Boca Raton: CRC Press.
- Schnelle, K.B., Brown, C.A. (2002). *Air Pollution Control Technology Handbook*. Boca Raton: CRC Press.
- Sintorini, M. M. (2018). The impact of total suspended particulate concentration on workers' health at ceramic industry. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 106, No. 1, p. 012034). IOP Publishing.
- Susendi, N., Suparman, A., & Sopyan, I. (2021). Kajian metode root cause analysis yang digunakan dalam manajemen risiko di industri farmasi. *Majalah Farmasetika*, 6(4), 310-321.
- Sutrisno, H., & Meilasari, F. (2024). Teknologi Pengolahan Emisi dengan Menggunakan Electrostatic Presipitator (ESP). *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 12(3), 616-623.
- Tan, Z. (2014). *Air Pollution and Greenhouse Gases: From Basic Concepts to Engineering Applications for Air Emission Control*. Singapura: Springer Nature.
- Turner, J.H., McKenna, J.D., Mycock, J.C., Nunn, A.B., Vatavuk, W.M. (1998). *Section 6: Particulate Matter Controls (Chapter 1: Baghouses and Filters)*. Piedmont: United States Environmental Protection Agency.
- Theodore, L. (2008). *Air Pollution Control Equipment Calculations*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- USEPA. (2024). *Particulate Matter Basics*. Diakses dari <https://www.epa.gov/pm-pollution/particulate-matter-pm-basics>
- Vatavuk, W.M. (1995). *Section 2: Generic Equipment and Devices (Chapter 1: Hoods, Ductwork and Stacks)*. Piedmont: United States Environmental Protection Agency.
- Wang, L.K., Pereira, N.C., Hung, Y. (2004). *Air Pollution Control Engineering*. Totowa: Humana Press Inc.
- Wang, X., Xu, Z., Su, H., Ho, H. C., Song, Y., Zheng, H., ... & Cheng, J. (2021). Ambient particulate matter (PM₁, PM_{2.5}, PM₁₀) and childhood pneumonia: the smaller particle, the greater short-term impact?. *Science of The Total Environment*, 772, 145509.

- Wati, A. F., Erwan, E.Y., Azizah, N., Jurdilla, P. (2019). Analisis Industri Keramik di Indonesia. *Open Science Framework*. <https://doi.org/10.31227/osf.io/94u5p>
- Widcahyono, W., Hasmawati, A.R., Meiwinda, E.R. (2022). *Efisiensi Debu Semen Menggunakan Proses Unit Baghouse Filter 53BF02*. (Tesis, Universitas Baturaja). Diakses dari <https://repository.unbara.ac.id/id/eprint/1171/4/BAB%202%20WID.pdf>
- Zakaria, P. R. (2014). Perbaikan Mesin Digester Dan Press Untuk Menurunkan Oil Losses Di Stasiun Press Dengan Metode PDCA (Studi Kasus Di Pt. Xyz). *Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri*, 8(2), 182906.

LAMPIRAN A

Lampiran A. 1 Formulir Wawancara Sistem *Dust Collector* Eksisting

1. Kendala teknis utama dalam proses manajemen kualitas udara di area proses *squaring* yang dialami oleh perusahaan =
2. Penanggungjawab dalam hal perawatan sistem *dust collector*, terutama di area *squaring* di PT XYZ =
3. Pelatihan yang telah dilakukan oleh penanggungjawab mengenai sistem *dust collector* =
4. Proses instalasi sistem *dust collector* area *squairng* di PT XYZ di tahun awal =
5. Pengembangan produksi keramik yang masuk ke area *squaring* di PT XYZ =
6. Gambar teknis sistem *dust collector* eksisting =
7. Proses pemantauan dan perawatan yang sudah dilakukan pada sistem *dust collector* eksisting =
8. Standar Operasional Prosedur tertulis yang telah dimiliki perusahaan dalam upaya pemantauan dan perawatan sistem *dust collector* eksisting =

Kuesioner diberikan pada Departemen Utility dan HSE yang berhubungan langsung dengan pemantauan dan perawatan sistem dust collector

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

Lampiran A.2 Standar Operasional Prosedur (SOP) Pemantauan Sistem *Dust Collector* sesuai ISO 9001:2015

1. TUJUAN

Digunakan sebagai dasar, panduan dan acuan dalam melakukan pemantauan sistem *dust collector*, terutama untuk *dust collector* di PT XYZ sehingga pembagian tanggung jawab dan kolaborasi antar departemen dapat lebih terstruktur.

2. RUANG LINGKUP

Prosedur Pemantauan Sistem *Dust Collector* ini mencakup seluruh Sistem *Dust Collector* di PT XYZ yang berupa *bag filter* dan perangkat pendukungnya, meliputi tudung isap, sistem saluran udara, sistem *fans*, dan cerobong.

3. REFERENSI

- 3.1 ISO 9001:2015 tentang Sistem Manajemen Mutu
- 3.2 US Environmental Protection Agency EPA-68-D-98-026
- 3.3 Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 17 Tahun 2008 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan/atau Kegiatan Industri Keramik
- 3.4 Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup
- 3.5 Keputusan Kepala Bapedal No. 205 Tahun 1996 tentang Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Tidak Bergerak

4. DEFINISI

4.1 Sistem *Dust Collector*

Sistem *dust collector* adalah sistem, teknologi, alat yang digunakan untuk melakukan pengolahan udara proses sehingga partikulat yang tersuspensi di dalamnya dapat disisihkan sebeum akhirnya diemisikan ke atmosfer melalui cerobong.

4.2 Perangkat Penunjang

Perangkat penunjang kinerja sistem *dust collector* terdiri atas beberapa komponen, sebagai berikut.

- Tudung isap, merupakan komponen penunjang yang berperan sebagai penerima udara proses secara langsung dari sumber proses untuk dapat dilairkan menuju sistem saluran udara.
- Sistem saluran udara, merupakan sistem saluran tertutup dan bertekanan yang digunakan untuk mengalirkan udara dari setiap sumber proses menuju ke sistem *dust collector*.
- Sistem fans, sistem yang digunakan untuk menarik udara dari sumber proses dengan mempertimbangkan total laju aliran udara dan kehilangan tekanan yang dialami aliran udara.
- Cerobong, konstruksi bangunan yang digunakan untuk mengeluarkan udara proses yang telah diolah dalam sistem *dust collector*.

4.3 Udara Emisi

Udara emisi adalah pencemar udara yang dihasilkan dari kegiatan manusia yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara, mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi pencemaran udara.

4.4 Udara Ambien

Udara ambien adalah udara bebas di permukaan bumi pada lapisan troposfir yang berada di dalam wilayah yurisdiksi Republik Indonesia yang dibutuhkan dan berpengaruh terhadap kesehatan manusia, makhluk hidup, dan unsur Lingkungan Hidup lainnya.

4.5 Dokumen UKL-UPL

Dokumen Upaya Pengelolaan Lingkungan Hidup dan Upaya Pemantauan Lingkungan Hidup (UKL-UPL) adalah bagian dari dokumen lingkungan yang berisi mengenai rangkaian proses pengelolaan dan pemantauan lingkungan hidup sebagai prasyarat pengambilan keputusan serta termuat dalam perizinan berusaha, atau persetujuan Pemerintah Pusat atau Pemerintah Daerah.

5. TANGGUNG JAWAB DAN PROSEDUR

5.1 Departemen *Utility*

5.1.1 Melakukan perencanaan dan persiapan kebutuhan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) dan formulir pemantauan sistem *dust collector* yang prosesnya dilakukan bersama dengan Departemen HSE, Departemen Produksi dan disetujui oleh Manajemen. Aktivitas ini dilakukan setiap minggu sehingga setiap minggunya terdapat evaluasi untuk meningkatkan skema pemantauan.

5.1.2 Melakukan observasi dan pemantauan terhadap kondisi fisik seluruh sistem *dust collector* beserta peralatan pendukungnya. Segala jenis kerusakan, perubahan fisik seperti perkaratan pada material dan temuan-temuan lain dapat diidentifikasi dan dilaporkan.

5.1.3 Melakukan pendataan nilai *pressure drop* dalam sistem *bag filter*. Aktivitas ini dilakukan sehingga dapat diidentifikasi apabila terdapat kegagalan dari sistem berdasarkan nilai standar *pressure drop*. Nilai standar *pressure drop* untuk *bag filter* adalah 6-10 in WC.

5.1.4 Melakukan pendataan nilai *pressure* yang digunakan untuk pembersihan filter (*pulse jet bag filter*) diperoleh dari alat ukur *pressure gauge*. Nilai *pressure* yang digunakan direkomendasikan berkisar 90-100 psig sehingga berpengaruh terhadap durasi pembersihan yang diterapkan.

5.1.5 Melakukan pendataan suhu dalam sistem *bag filter*. Suhu dalam *bag filter* berpengaruh pada jenis material filter yang dipilih. Apabila terdapat kenaikan suhu dalam sistem *bag filter* yang tidak dapat ditoleransi oleh filter dapat menyebabkan kerusakan filter hingga kebakaran sistem.

5.1.6 Melakukan pemantauan kecepatan aliran dalam sistem saluran udara sehingga dapat diidentifikasi adanya kegagalan dan risikonya akibat kecepatan aliran udara yang tidak memadai

5.1.7 Menghimpun dan melaporkan segala hasil temuan pada Departemen *Health Safety Environment*, Departemen Produksi dan Manajemen.

5.2 Departemen Health Safety Environment

- 5.2.1 Melakukan persiapan proses pemantauan bersama Departemen Utility, Departemen Produksi dan Manajemen melalui persiapan Alat Pelindung Diri (APD) dan formulir pendataan yang digunakan untuk pemantauan setiap minggu.
- 5.2.2 Melakukan pengujian kualitas udara emisi dari cerobong proses. Aktivitas ini dilakukan setiap 6 bulan sekali bekerja sama dengan pihak eksternal yang menyediakan jasa pengambilan sampel dan pengujian di laboratorium yang telah terverifikasi. Proses ini juga perlu dilakukan atas dasar persetujuan dengan Manajemen.
- 5.2.3 Melakukan pengujian kualitas udara ambien terhadap seluruh area produksi. Aktivitas ini dapat dilakukan setiap minggu menggunakan peralatan dari perusahaan sebagai bentuk identifikasi awal apabila terdapat ketidakseimbangan kualitas udara di area kerja. Selain itu, dilakukan pula pengujian kualitas udara ambien setiap 6 bulan sekali bekerja sama dengan
- 5.2.4 Melakukan pengujian laju alir, suhu dan tekanan pada outlet cerobong. Proses ini dilakukan bersama pihak ketiga dari laboratorium yang terverifikasi yang diperlukan untuk hasil evaluasi internal mengenai keberhasilan berjalannya sistem serta dapat dilaporkan dalam dokumen lingkungan perusahaan.
- 5.2.5 Menyusun laporan dari hasil pemantauan dalam bentuk dokumen UKL-UPL untuk memenuhi kewajiban perusahaan terhadap peraturan lingkungan yang telah diatur secara nasional.
- 5.2.6 Melakukan diskusi dengan manajemen untuk merumuskan tindak lanjut hasil pemantauan yang telah dilakukan.
- 5.3 Departemen Produksi
 - 5.3.1 Melakukan pengukuran debu yang dihasilkan dari sistem *dust collector* sehingga dapat diketahui berat debu harian. Data ini berfungsi untuk kebutuhan teknis kemampuan sistem *dust collector* dalam penyisihan partikulat dan juga dapat digunakan untuk analisis *mass balance* proses produksi.
 - 5.3.2 Melaporkan hasil penimbangan debu harian setiap minggunya pada Departemen *Utility* sebagai data pemantauan mingguan yang dilakukan Departemen *Utility*.
- 5.4 Manajemen
 - 5.4.1 Melakukan persetujuan terhadap persiapan APD dan formulir pemantauan yang telah disiapkan oleh Departemen *Utility* dan Departemen HSE
 - 5.4.2 Melakukan diskusi hasil pemantauan mingguan oleh Departemen *Utility* untuk mengetahui kondisi lapangan dan kendala/temuan yang ditemukan oleh Departemen *Utility* saat dilakukan pemantauan agar dapat dilakukan tindak lanjut.
 - 5.4.3 Melakukan diskusi dengan Departemen HSE untuk menentukan tindak lanjut dari hasil pemantauan kualitas lingkungan, terutama kualitas udara.

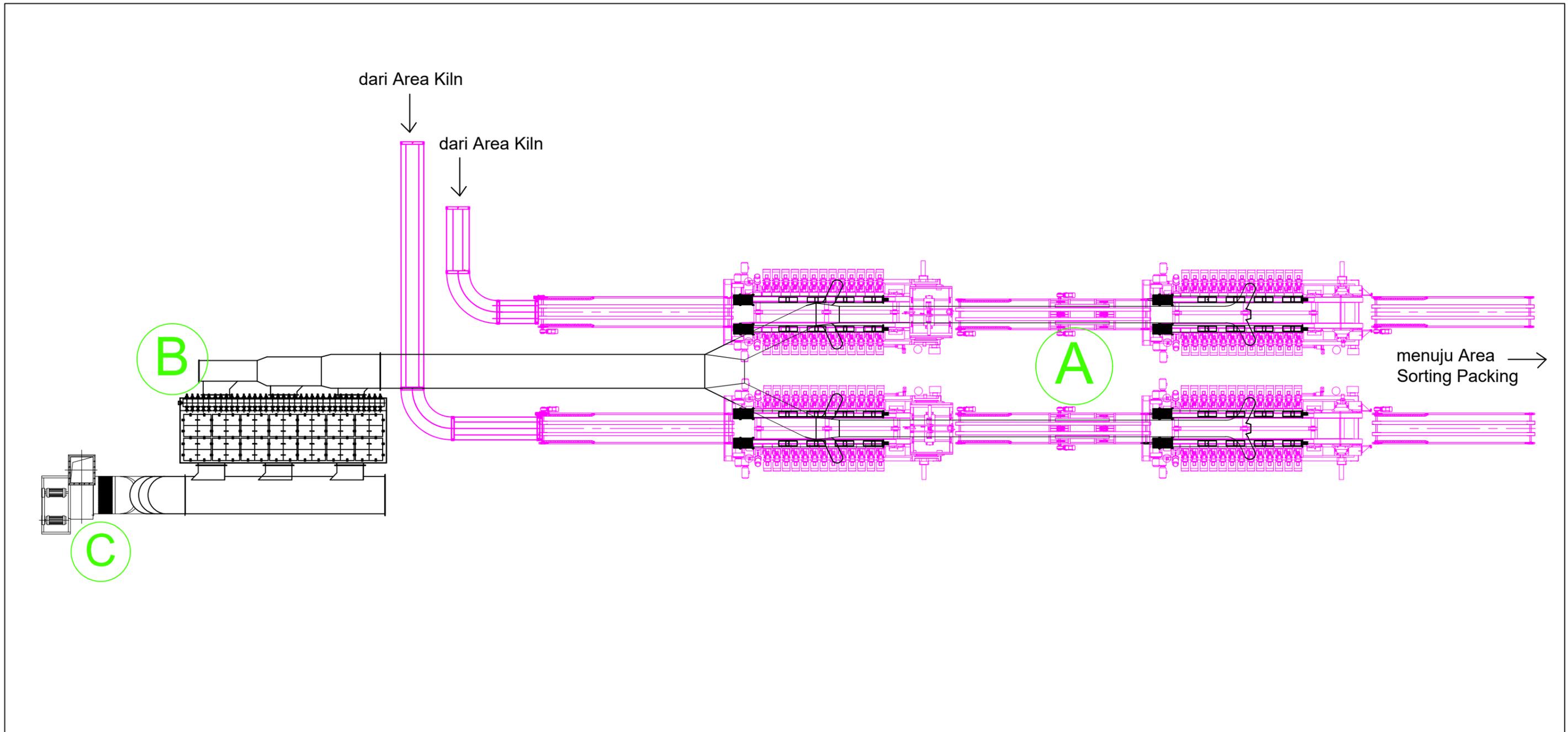
6. DIAGRAM ALIR

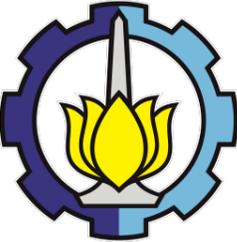
No.	KEGIATAN	UTILITY	HSE	PRODUKSI	MANAJEMEN
1	Melakukan persiapan, terutama untuk formulir pendataan temuan dan penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) selama melakukan pemantauan di area squaring	1	1	1	1
2	Melakukan pemeriksaan kondisi fisik seluruh peralatan pada sistem dust collector (bag filter), tudung isap, sistem saluran udara, fans dan cerobong pada area squaring	2			
3	Melakukan pendataan nilai pressure drop yang terjadi pada sistem bag filter	3			
4	Melakukan pendataan nilai pressure pada pulse dan dilakukan pencatatan waktu pembersihan	4			
5	Melakukan pendataan suhu sistem yang terjadi pada sistem bag filter	5			
6	Melakukan pemantauan kecepatan aliran dalam sistem saluran udara	6			
7	Melakukan pendataan berat debu terkumpul dari proses <i>squaring</i>			7	
8	Melaporkan dan mendiskusikan hasil temuan sehingga dapat dilakukan tindak lanjut	8	8	8	8
9	Mengajukan pengujian pemantauan kualitas udara emisi dari cerobong area squaring		9		9
10	Melakukan pengujian pada parameter partikulat, laju alir, suhu dan tekanan pada outlet cerobong area squaring bersama pihak ketiga		10		
11	Mengajukan pengujian dan pemantauan kualitas udara ambien area squaring		11		
12	Melakukan pelaporan hasil uji untuk keperluan evaluasi internal perusahaan dan pelaporan pada dokumen UKL-UPL perusahaan		12		
13	Mendiskusikan tindak lanjut dari hasil pengujian, baik melalui penyesuaian teknis maupun non-teknis		13		13

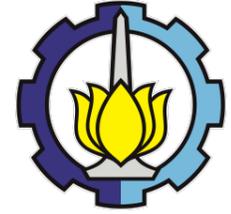
Lampiran A.3 Gambar-gambar

Berikut merupakan gambar sistem yang sesuai dengan kaidah teknik untuk memberikan visualisasi kondisi eksisting di lapangan.

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”



	JUDUL GAMBAR		KETERANGAN	SKALA
	LAYOUT KONDISI EKSISTING PROSES SQUARING KERAMIK DAN SISTEM <i>DUST COLLECTOR</i> DI PT XYZ			A = Proses <i>Squaring</i> Keramik B = Area Sistem <i>Dust Collector</i> (Bag filter) C = Area <i>fan</i> dan cerobong
MAHASISWA Hana Dea Puspita NRP.5014211056		DOSEN PEMBIMBING Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM. NIP.19820119 200501 1 001	NOMOR HALAMAN 1	
LABORATORIUM PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA DAN PERUBAHAN IKLIM DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN (FT-SPK) INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER				JUMLAH HALAMAN 7



LABORATORIUM PENGENDALIAN
PENCEMARAN UDARA DAN
PERUBAHAN IKLIM
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
(FT-SPK)
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL GAMBAR

DENAH SISTEM BAG FILTER
EKSISTING DI AREA PROSES
SQUARING PT XYZ

NAMA MAHASISWA

HANA DEA PUSPITA
NRP. 5014211056

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei,
S.T., M.EPM
NIP.19820119 200501 1 001

SKALA

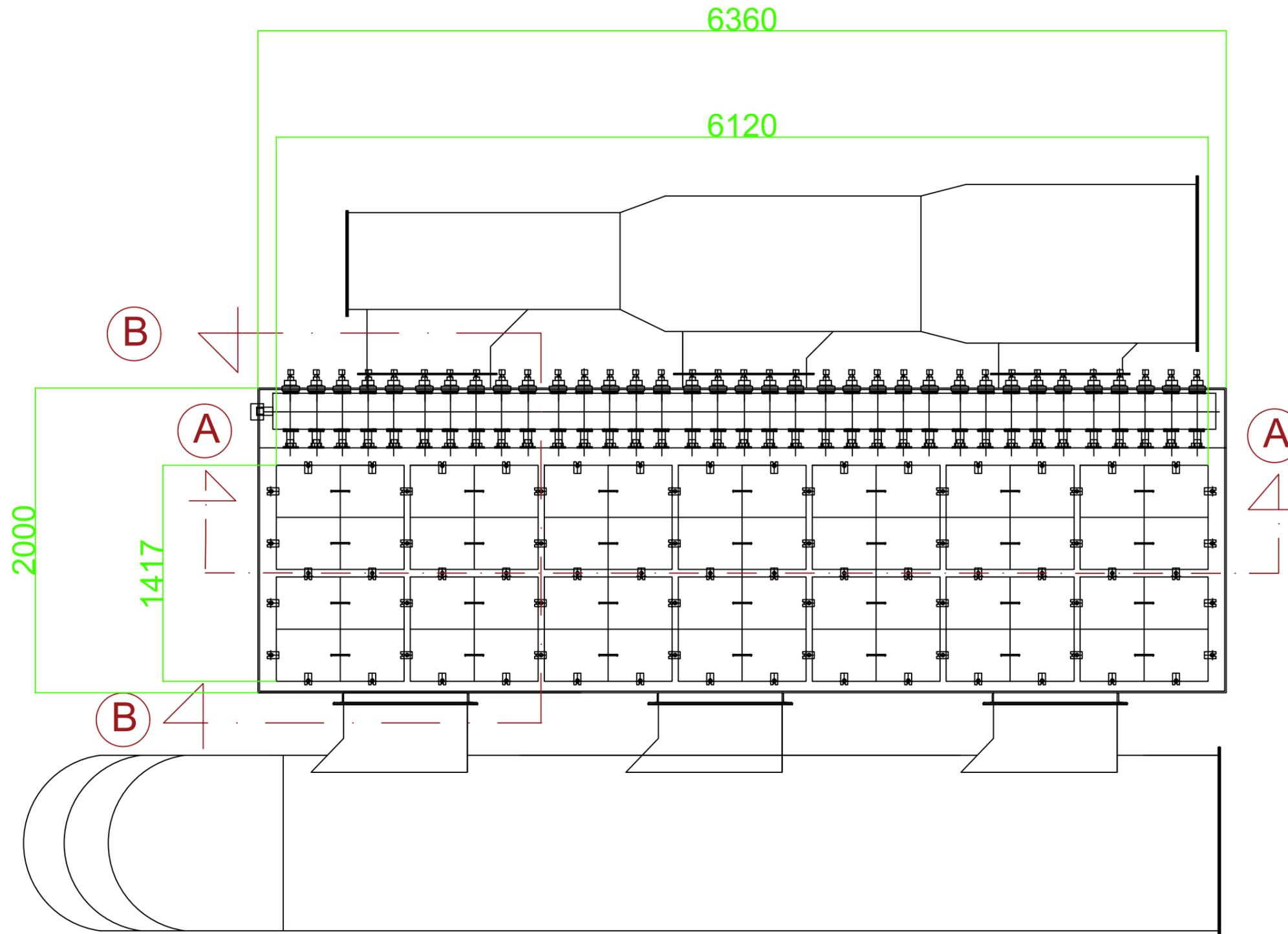
1:30

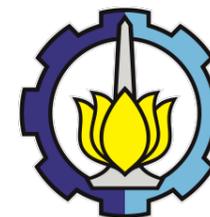
NO. HALAMAN

2

JUMLAH HALAMAN

7





LABORATORIUM PENGENDALIAN
PENCEMARAN UDARA DAN
PERUBAHAN IKLIM

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
(FT-SPK)

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL GAMBAR

GAMBAR TAMPAK DEPAN SISTEM
BAG FILTER EKSISTING PADA AREA
SQUARING KERAMIK PT XYZ

NAMA MAHASISWA

HANA DEA PUSPITA
NRP. 5014211056

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei,
S.T., M.EPM
NIP.19820119 200501 1 001

SKALA

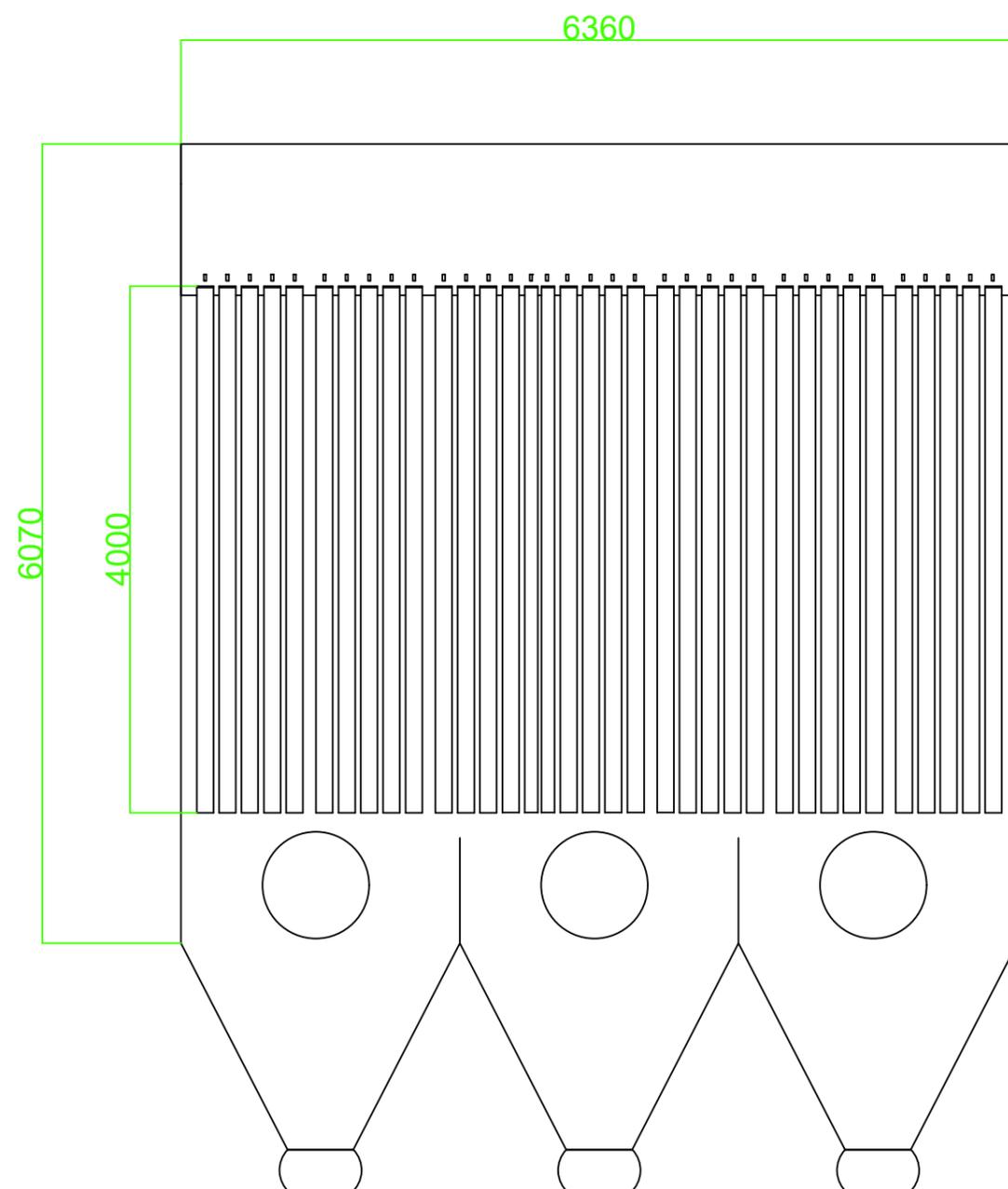
1:50

NO. HALAMAN

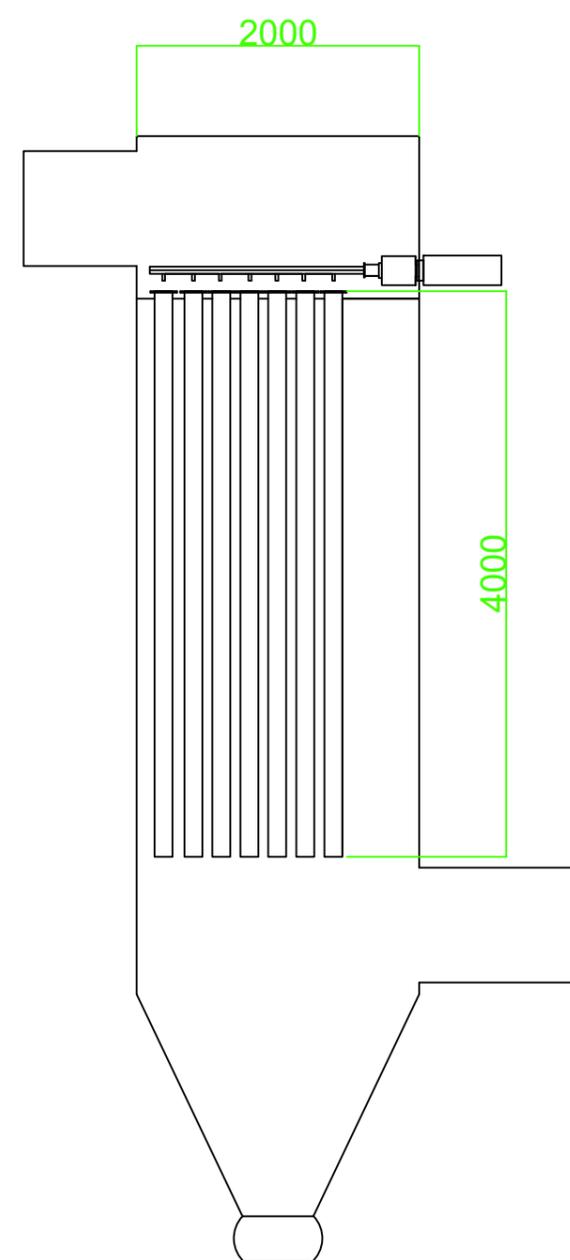
3

JUMLAH HALAMAN

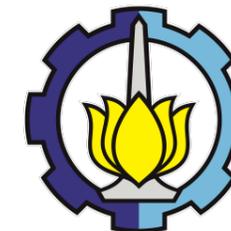
7



POTONGAN A-A



POTONGAN B-B



LABORATORIUM PENGENDALIAN
PENCEMARAN UDARA DAN
PERUBAHAN IKLIM

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
(FT-SPK)

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL GAMBAR

GAMBAR TAMPAK DEPAN SISTEM
BAG FILTER EKSISTING PADA AREA
SQUARING KERAMIK PT XYZ

NAMA MAHASISWA

HANA DEA PUSPITA
NRP. 5014211056

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei,
S.T., M.EPM
NIP.19820119 200501 1 001

SKALA

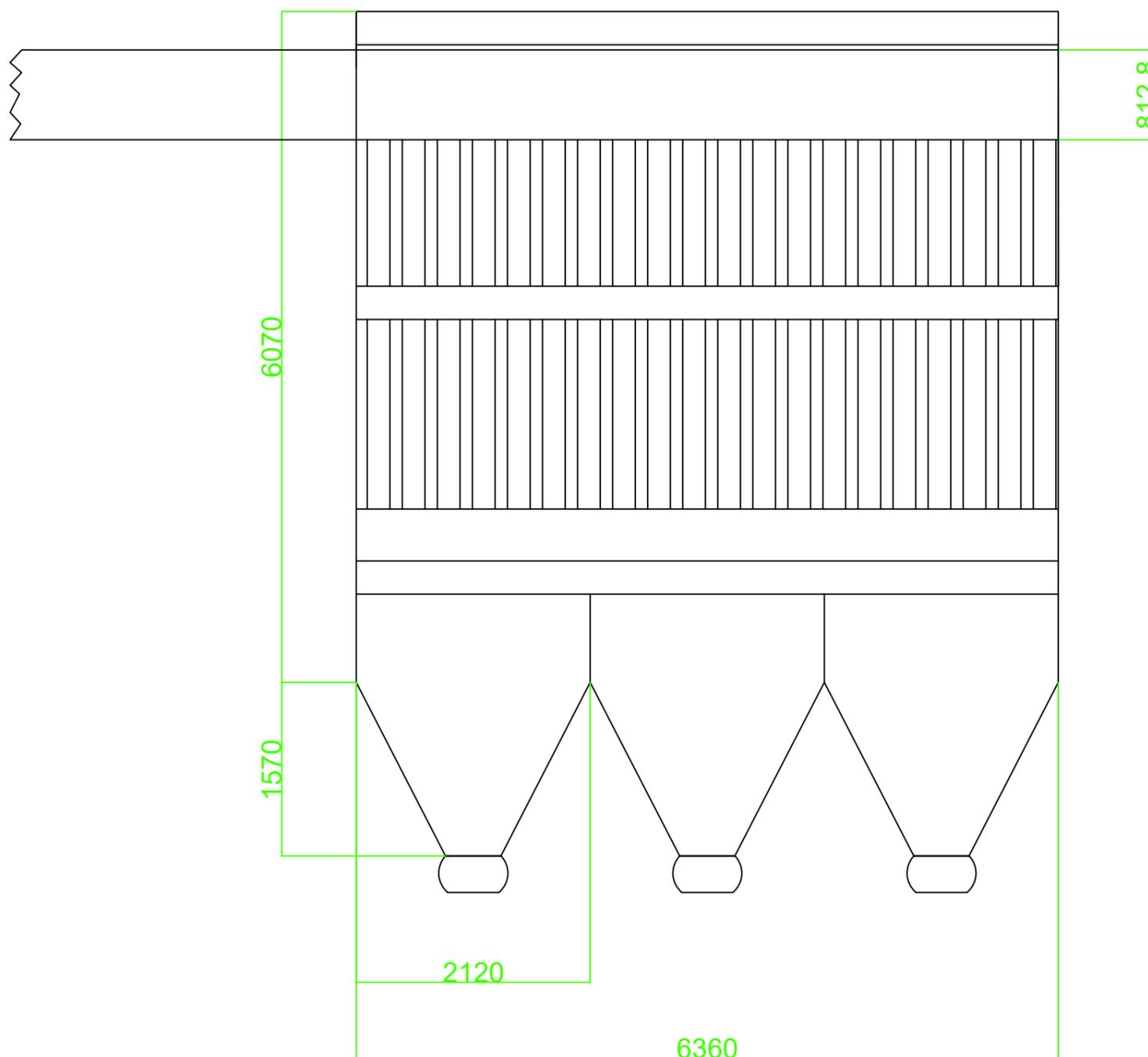
1:50

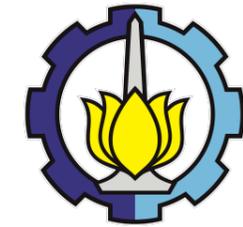
NO. HALAMAN

4

JUMLAH HALAMAN

7





LABORATORIUM PENGENDALIAN
PENCEMARAN UDARA DAN
PERUBAHAN IKLIM

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
(FT-SPK)

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL GAMBAR

DETAIL TUDUNG ISAP PROSES
SQUARING PADA INDUSTRI
KERAMIK PT XYZ

NAMA MAHASISWA

HANA DEA PUSPITA
NRP. 5014211056

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei,
S.T., M.EPM
NIP.19820119 200501 1 001

SKALA

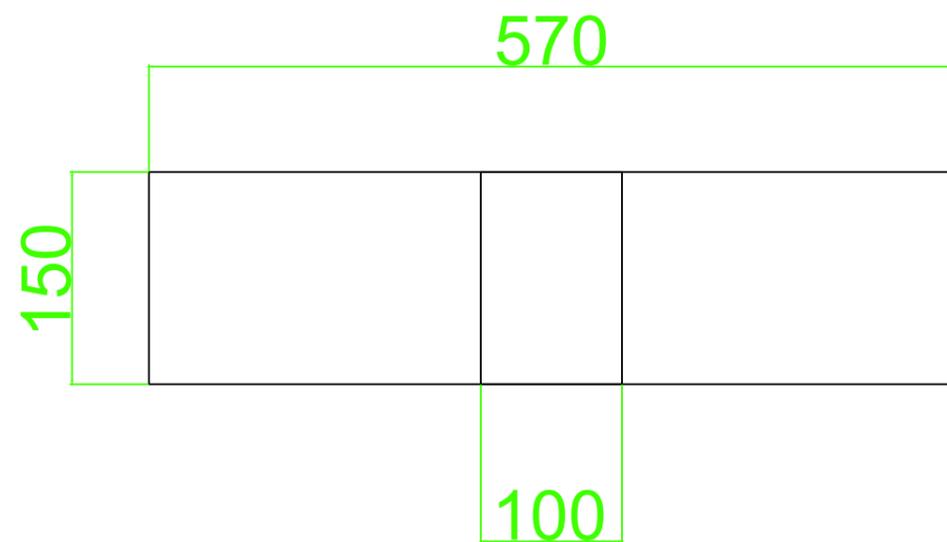
1:5

NO. HALAMAN

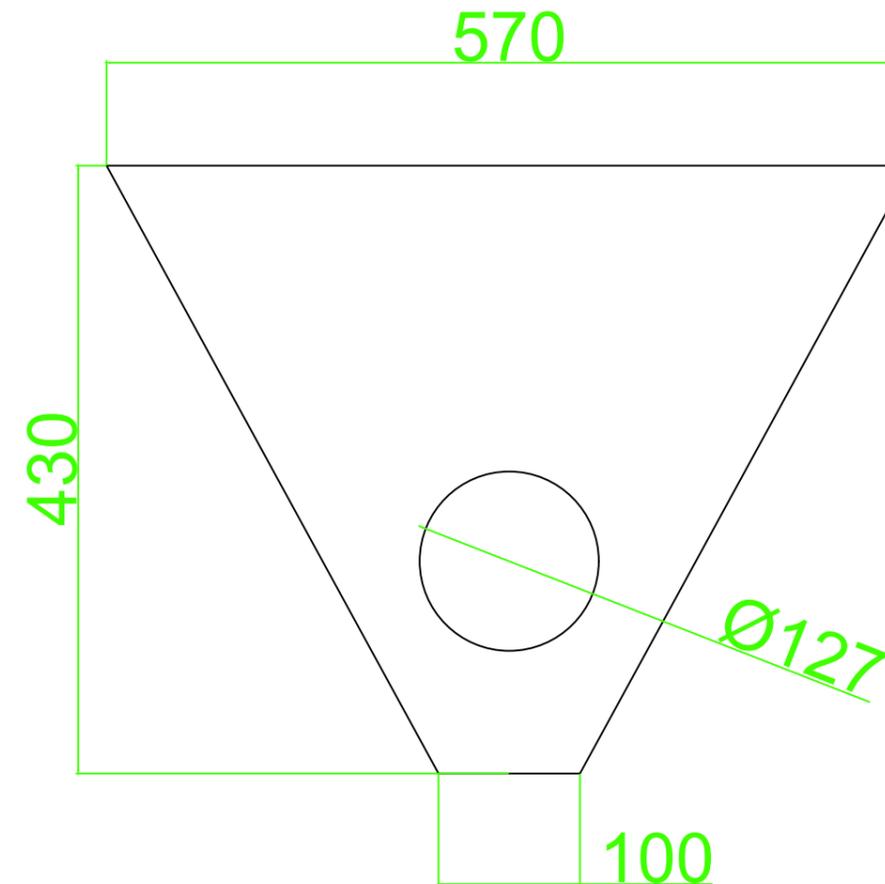
5

JUMLAH HALAMAN

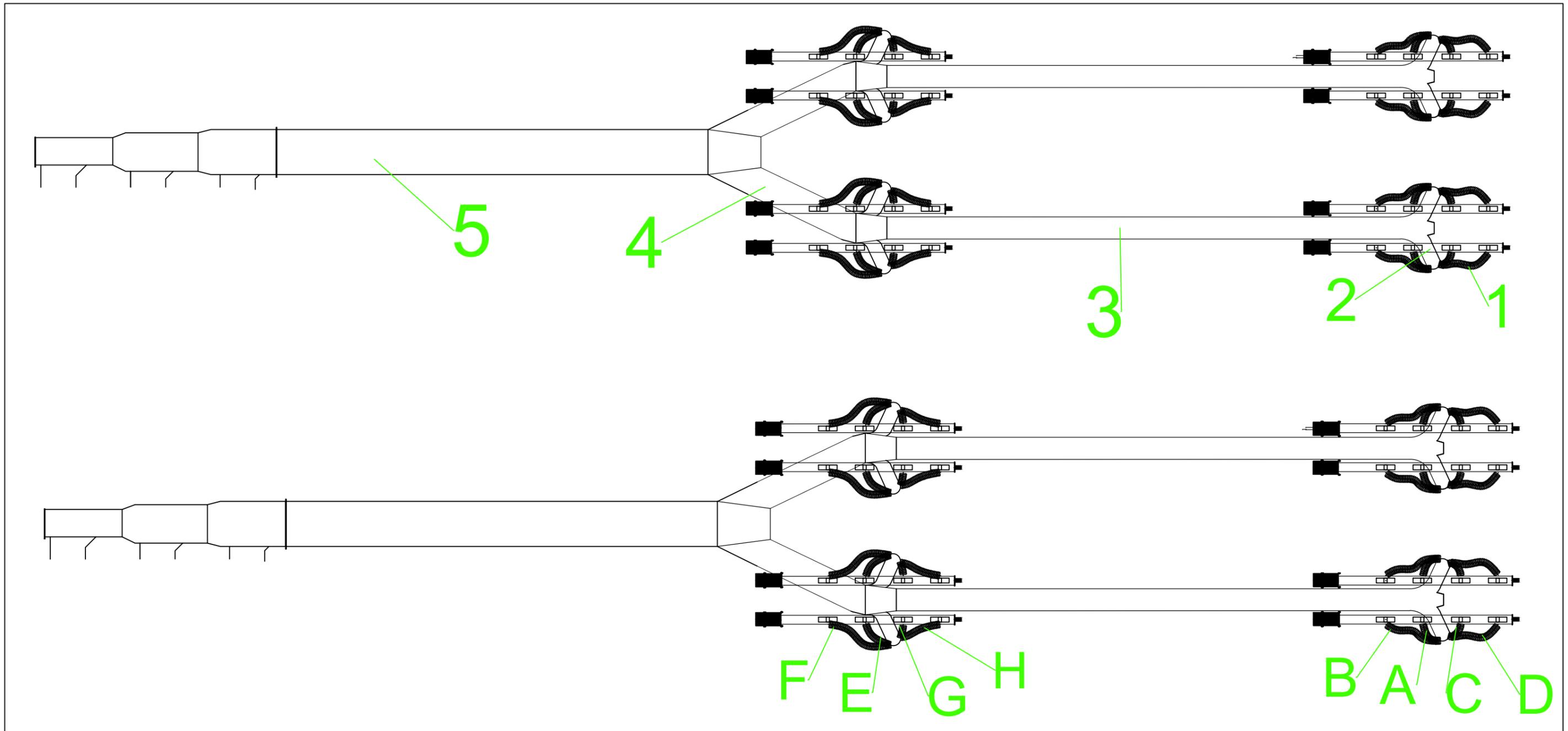
7

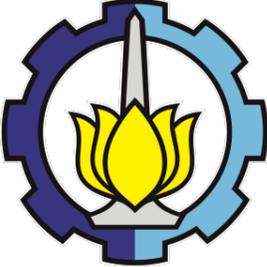


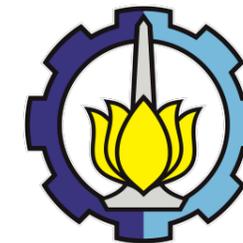
DENAH PENAMPANG



TAMPAK DEPAN



	JUDUL GAMBAR		KETERANGAN	SKALA
	PEMBAGIAN SISTEM SALURAN UDARA PADA PROSES SQUARING KERAMIK DI PT XYZ			1:120
<small>LABORATORIUM PENGENDALIAN PENCEMARAN UDARA DAN PERUBAHAN IKLIM DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN (FT-SPK) INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</small>	MAHASISWA	DOSEN PEMBIMBING	Saluran 1, 2, 3, 4, 5 = Pembagian kuantifikasi dan analisis aliran udara pada sistem saluran udara Saluran A, B, C, D, E, F, G, H = Pembagian kuantifikasi dan analisis kehilangan tekanan sistem saluran udara	NOMOR HALAMAN
	Hana Dea Puspita NRP.5014211056	Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., MEPM. NIP.19820119 200501 1 001		6
				JUMLAH HALAMAN
				7



LABORATORIUM PENGENDALIAN
PENCEMARAN UDARA DAN
PERUBAHAN IKLIM

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL
PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
(FT-SPK)

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH
NOPEMBER

JUDUL GAMBAR

GAMBAR DETAIL CEROBONG
PADA AREA SQUARING
KERAMIK PT XYZ

NAMA MAHASISWA

HANA DEA PUSPITA
NRP. 5014211056

DOSEN PEMBIMBING

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei,
S.T., M.EPM
NIP.19820119 200501 1 001

SKALA

NO. HALAMAN

1:10

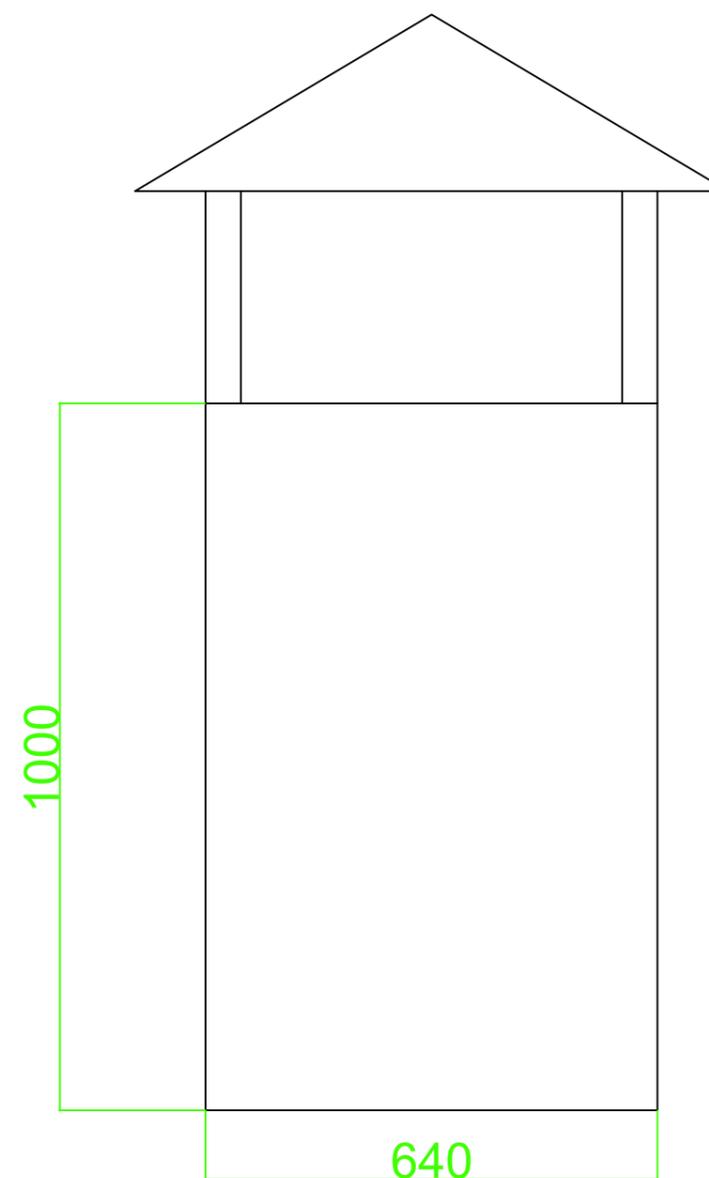
7

JUMLAH HALAMAN

7



DENAH PENAMPANG



TAMPAK DEPAN

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN B

Lembar Asistensi



DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FORM FTA-03

KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Hana Dea P.
 NRP : 5014211056
 Judul : EVALUASI KINERJA SISTEM DUST COLLECTOR PADA INDUSTRI KERAMIK PT XYZ

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
1.	25 Februari 2025	<ul style="list-style-type: none"> Perubahan perencanaan ulang menjadi evaluasi Menentukan output penelitian sebagai desain ulang apabila hasil evaluasi tidak sesuai dan SOP 	
2.	21 Maret 2025	<ul style="list-style-type: none"> Melakukan perincian metode evaluasi (RDEA → RCA) Pressure drop ditentukan dari rumus empiris/penelitian Pembahasan kondisi existing sistem 	
3.	17 April 2025	<ul style="list-style-type: none"> Menentukan definisi radius of curvature Debit disesuaikan dengan produksi Pressure drop menggunakan grafik penelitian terdahulu karena pada existing tidak terdapat alat yang mengukur secara langsung A/C dihitung based on rumus empiris & rumus yang teoritis, sehingga dapat dibandingkan Vmin diusahakan 20 m/s karena yang keluar stack akan sama dengan yang masuk Proses evaluasi, yaitu: hitung bentuk existing → masalah dianalisis dengan RCA → rekomendasi 	
4.	28 April 2025	<ul style="list-style-type: none"> Kelengkapan penyajian sistem evaluasi alat-alat masalah Pembahasan mendalam mengenai hasil perhitungan dan cara permasalahan Alternatif solusi, jika ada dapat ditambahkan Rekomendasi berupa desain ulang & SOP Referensi belum teridentifikasi dalam daftar pustaka 	

Surabaya,
Dosen Pembimbing

Nama Dosen Pembimbing



KEGIATAN ASISTENSI TUGAS AKHIR

Nama : Hana Daa
NRP : 5014211056
Judul : EVALUASI KINERJA SISTEM DUST COLLECTOR PADA INDUSTRI KERAMIK PT XYZ

No	Tanggal	Keterangan Kegiatan / Pembahasan	Paraf
5.	5 Mei 2025	<ul style="list-style-type: none">• Penentuan grafik pressure drop• Perhitungan pressure drop dengan ekstrapolasi	
6.	7 Mei 2025	<ul style="list-style-type: none">• Perhitungan pressure drop untuk kondisi ideal• Penentuan penggunaan metode evaluasi• Penggunaan debit untuk melakukan evaluasi (debit maksimum / debit rata-rata)	
7.	5 Juni 2025	<ul style="list-style-type: none">• Penentuan metode evaluasi hasil dari seminar kemajuan• Penyusunan saran dan respon hasil seminar kemajuan	
8.	18 Juni 2025	<ul style="list-style-type: none">• Bentuk SOP• Kapasitas dan Efisiensi• Produksi maksimum• A/C untuk kecepatan filtrasi	

Surabaya,
Dosen Pembimbing

Nama Dosen Pembimbing

LAMPIRAN C

Berita Acara Dosen Pembimbing dan Dosen Pengarah pada Seminar Kemajuan



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-02 Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal Selasa, 20 Mei 2025

Nilai TOEFL : 490

Pukul 09.15 - 10.30

Lokasi Ruang S3

Judul Evaluasi Kinerja Sistem *Dust Collector* pada Industri Keramik PT XYZ

Nama Hana Dea Puspita

Tanda Tangan

NRP. 5014211056

Topik Perencanaan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir
2. Tidak dapat melanjutkan ke Tahap Ujian Tugas Akhir

Dr. Eng. Arie Dipareza Syaefi, S.T., M.EPM



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Gasal 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Rabu, 21 Mei 2025
Pukul : 10.00 - 11.00
Lokasi : Ruang Mahasiswa Laboratorium Udara
Judul : Evaluasi Kinerja Sistem *Dust Collector* pada Industri Keramik PT XYZ
Nama : Hana Dea Puspita
NRP. : 5014211056
Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1.	Redesain atau evaluasi? Aspek paling penting adalah kapasitas produksi harus jelas, nantinya untuk evaluasi disesuaikan dengan rencana pengembangan kapasitas produksi sesuai dengan <i>design year</i> peralatan
2.	Hasil emisinya yang diolah dalam <i>dust collector</i> harus jelas dari mana saja? Tahapan proses dan teknologi yang digunakan apa? Harus dirincikan
3.	Proses <i>squaring</i> yang dipilih untuk evaluasi ini harus ditunjukkan di ruang lingkup ditinjau dari proses industri keramik secara keseluruhan
4.	Ditunjukkan gambar proses keseluruhan, dijelaskan proses yang dievaluasi sebelah mana

14/6 R

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah Prof. Ir. Joni Hermana, MScES., PhD.

Dosen Pembimbing Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., M.EPM

()
()



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN-ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

KTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR KTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah
Seminar Kemajuan Tugas Akhir

Hari, tanggal : Selasa, 20 Mei 2025
Pukul : 09.15 - 10.30
Lokasi : Ruang S3
Judul : Evaluasi Kinerja Sistem *Dust Collector* pada Industri Keramik PT XYZ
Nama : Hana Dea Puspita
NRP. : 5014211056
Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Pengarah Seminar Kemajuan Tugas Akhir
1	Perbaiki abstrak
2	Perhatikan urutan pembahasan isi dalam bab 2
3	Sertakan DED ada bentuk diagram proses produksi sebagai acuan, kemudian buat highlight terkait ruang lingkup penelitian
4	Pertimbangkan bahasan yang bisa dikulawati terhadap analisis pada komponen yang dibahas
5	Pengelas terkait peran cara mendapatkan alar permasalahan
6	Pengelas terkait faktor-faktor yang mempengaruhi pada fishbone diagram

Formulir KTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Seminar Kemajuan selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir KTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus mahasiswa dibawa saat asistensi kepada Dosen Pengarah
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pengarah dan Dosen Pembimbing

Dosen Pengarah Arry Febrianto, S.Si., M.T.

Dosen Pembimbing Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., M.EPM

()
()

“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”

LAMPIRAN D
Berita Acara Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji pada Seminar Hasil dan Sidang Akhir



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-02 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-02
Formulir Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 4 Juli 2025
Pukul : 08.00-09.30 WIB
Lokasi : TL-106
Judul : Evaluasi Kinerja Sistem *Dust Collector* pada Industri Keramik PT XYZ

Nilai TOEFL 490

Nama : Hana Dea Puspita
NRP. : 5014211056
Topik : Perencanaan

Tanda Tangan

No./Hal.	Ringkasan dan Saran Dosen Pembimbing Ujian Tugas Akhir

*Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-02 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Pembimbing
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Pembimbing*

Berdasarkan hasil evaluasi Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing, dinyatakan mahasiswa tersebut:

1. Lulus Ujian Tugas Akhir
2. Harus mengulang Ujian Tugas Akhir semester berikutnya
3. Tugas Akhir dinyatakan gagal atau harus mengganti Tugas Akhir (lebih dari 2 semester)

Dosen Pembimbing

Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., M.EPM.



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 4 Juli 2025
Pukul : 08.00-09.30 WIB
Lokasi : TL-106
Judul : Evaluasi Kinerja Sistem Dust Collector pada Industri Keramik PT XYZ

Nama : Hana Dea Puspita
NRP. : 5014211056
Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
①	Kesimpulan & Abstrak diperbaiki → dinyatakan secara kuantitatif
②	Masalah dinyatakan berdasarkan data/fakta lapangan yg jelas
③	Gambar? diperjelas Acc. 17/07 2025
④	Rekomendasi utama → cerobong di keluarkan dari wayan.

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Ujian Tugas Akhir selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Dr. Abdu Fadli Assomadi, S.Si, MT

Dosen Pembimbing Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., M.EPM.

(Handwritten signature of Dr. Abdu Fadli Assomadi)
(Handwritten signature of Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei)



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 4 Juli 2025
Pukul : 08.00-09.30 WIB
Lokasi : TL-106
Judul : Evaluasi Kinerja Sistem Dust Collector pada Industri Keramik PT XYZ

Nama : Hana Dea Puspita
NRP. : 5014211056
Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1	Perhatikan format penulisan dan layouting
2	Bisa ditambahkan detail pada gambar
3	Perbaiki kesimpulan
4	Akan lebih baik jika ada dokumen SOP lengkap di lampiran, tidak hanya diagram alirnya
5	Tambahkan penjelasan & form wawancara/wawancara pada lampiran.
6	Perlu bagian analisis risiko
7	Perhatikan atran angka penting

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Ujian Tugas Akhir selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji Arry Febrianto S.Si., M.T.

Dosen Pembimbing Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., M.EPM.

()
()



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN DAN KEBUMIHAN - ITS
Kampus ITS Sukolilo, Surabaya 60111. Telp: 031-5948886, Fax: 031-5928387

UTA-S1-TL-03 TUGAS AKHIR
Periode: Genap 2024/2025

Kode/SKS : CL234801 (0/6/0)
No. Revisi: 01

FORMULIR TUGAS AKHIR UTA-03
Formulir Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji
Ujian Tugas Akhir

Hari, tanggal : Jumat, 4 Juli 2025
Pukul : 08.00-09.30 WIB
Lokasi : TL-106
Judul : Evaluasi Kinerja Sistem Dust Collector pada Industri Keramik PT XYZ

Nama : Hana Dea Puspita
NRP. : 5014211056
Topik : Perencanaan

No./Hal.	Pertanyaan dan Saran Dosen Penguji Ujian Tugas Akhir
1.	abstrak diperbaiki hasil yang diperoleh.
2.	Penelitian ini berupa apa? perencanaan kah? Aspek apa yang diteliti:
3.	Rekomendasi penelitian apa yg diberikan rekomendasi?
4.	Apa bisa dilakukan perubahan yang terjadi di lapangan.
5.	Rekomendasi teknis apa berhubungan dengan fish bone?
6.	Hanya SOP dan apa bisa dilakukan? jumlah berapa -berapa dan analisis yang dilakukan.
7.	Aspek manajemen perlu dijadikan awal dan akhir.

Formulir UTA-03 diserahkan kepada Dosen Pembimbing setelah sesi Ujian Tugas Akhir selesai.
Dosen Pembimbing akan menyerahkan formulir UTA-03 ke Sekretariat Program Sarjana
Formulir ini harus dibawa mahasiswa saat asistensi kepada Dosen Penguji
Formulir dikumpulkan bersama revisi buku setelah mendapat persetujuan Dosen Penguji dan Dosen Pembimbing

Dosen Penguji : Prof. IDAA Warmadewanthi, S.T., M.T., PhD
Dosen Pembimbing : Dr. Eng. Arie Dipareza Syafei, S.T., M.EPM.

()
()

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Sidoarjo, 1 Desember 2003 dan merupakan anak kedua dari tiga bersaudara. Penulis telah menempuh beberapa pendidikan formal, SD Kemala Bhayangkari 10 Porong (2010-2016), SMP Negeri 3 Sidoarjo (2016-2018) dan SMA Negeri 1 Sidoarjo (2018-2021). Setelah lulus dari jenjang sekolah menengah, Penulis melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui SBMPTN.

Selama menjadi mahasiswa Teknik Lingkungan ITS, Penulis aktif pada beberapa kegiatan kemahasiswaan, seperti menjadi staf Divisi Sosial Masyarakat Himpunan Mahasiswa Teknik Lingkungan ITS. Penulis juga diamanahi menjadi Kepala Divisi Hubungan Masyarakat pada Program Kampung Mitra HMTL ITS, yang merupakan salah satu program unggulan HMTL ITS berbasis kemasyarakatan dan profesionalisme di dunia Teknik Lingkungan. Melalui berbagai kegiatan di HMTL ITS tersebut, ketertarikan Penulis terhadap integrasi ilmu Teknik Lingkungan dengan sosial kemasyarakatan mulai berkembang. Penulis juga aktif mengembangkan diri melalui keikutsertaan pada berbagai kompetisi termasuk Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional (PIMNAS) 34 Universitas Airlangga dengan mengusulkan ide berbasis ilmu Teknik Lingkungan untuk mewujudkan akses sanitasi berkelanjutan bagi warga Suku Laut. Penulis juga mendapatkan kesempatan untuk menerapkan ilmu yang diperoleh pada Program Magang dan Kerja Praktik di beberapa perusahaan. Melalui pengalaman tersebut, Penulis mendapat kesempatan untuk belajar lebih jauh lagi mengenai beberapa topik seperti Inventarisasi Gas Rumah Kaca (GRK), Sistem dan Operasional *Continuous Emission Monitoring System* (CEMS), Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3), serta pembuatan Dokumen Rincian Teknis TPS LB3. Apabila terdapat pertanyaan, kritik, saran dan informasi lebih lanjut dapat disampaikan melalui email : hanadea2333@gmail.com.