



Analisis Potensi Kerusakan Akibat Erosi pada Cyclone Separator Akibat Aliran Pasir Steel Grit dengan Metode Computational Fluid Dynamics

Analysis of Potential Damage Due to Erosion in Cyclone Separators Caused by Steel Grit Sand Flow Using Computational Fluid Dynamics

Alfan Fauzi Ahmad^{1, a)}, Nurmalia Dyah Fajarningrum¹, Raka Mahendra Sulistiyo¹,
Arif Rahman Saleh¹

¹Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Tidar

^{a)}Corresponding author: alfanfauzi15@students.untidar.ac.id

Abstrak

Proses *sand blasting* merupakan salah satu tahap penting di PT INKA (Persero), yaitu penyemprotan material abrasif seperti *aluminium oxide* atau *steel grit* bertekanan tinggi untuk membersihkan permukaan logam dari karat dan cat lama. Proses ini menghasilkan partikel debu yang ditangani menggunakan sistem *dust collector* dengan *cyclone separator*. Namun, ditemukan kebocoran pada dinding *cyclone* akibat erosi partikel *steel grit* yang berpotensi mencemari lingkungan dan mengganggu kesehatan. Penelitian ini menganalisis pengaruh kecepatan partikel terhadap laju erosi pada *cyclone separator* menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dengan Ansys 2025/R1. Simulasi dilakukan menggunakan model erosi *Generic* yang dikombinasikan dengan pendekatan model Oka untuk merepresentasikan pengaruh kecepatan dan sudut tumbukan partikel terhadap material dinding. Hasil menunjukkan bahwa laju erosi meningkat seiring kenaikan kecepatan partikel, dengan nilai masing-masing 0,291; 0,317; dan 0,349 mm/tahun pada kecepatan 5, 10, dan 15 m/s. Sebaliknya, *life time* berkurang menjadi 34,4; 31,8; dan 28,6 tahun. Pengendalian kecepatan aliran partikel penting untuk memperpanjang *life time cyclone separator* serta mencegah terjadinya kebocoran dan pencemaran lingkungan kerja.

Kata Kunci: *sand blasting*; *steel grit*; *cyclone separator*; erosi; *computational fluid dynamics* (CFD); *life time*

Abstract

The sandblasting process is one of the important stages at PT INKA (Persero), which involves spraying high-pressure abrasive materials such as aluminum oxide or steel grit to clean metal surfaces from rust and old paint. This process produces dust particles that are handled using a dust collector system with a cyclone separator. However, leaks were found in the cyclone walls due to erosion by steel grit particles, which could potentially pollute the environment and pose a health hazard. This study analyzed the effect of particle velocity on the erosion rate in cyclone separators using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method with Ansys 2025/R1. The simulation was conducted using a Generic erosion model combined with the Oka model approach to represent the effect of particle velocity and impact angle on wall material. The results show that the erosion rate increases with the increase in particle velocity, with values of 0.291, 0.317, and 0.349 mm/year at velocities of 5, 10, and 15 m/s, respectively. Conversely, the lifetime decreases to 34.4, 31.8, and 28.6 years. Controlling particle flow velocity is important to extend the life time of cyclone separators and prevent leaks and contamination of the work environment.

Keywords: *sand blasting*; *steel grit*; *cyclone separator*; erosion; *computational fluid dynamics* (CFD); *life time*

PENDAHULUAN

Dalam industri manufaktur modern, berbagai metode digunakan untuk menjamin kualitas produk dan

daya tahannya. Salah satu metode yang cukup esensial adalah *sand blasting*. Proses ini dipandang sebagai teknik pembersihan dan persiapan permukaan logam dengan cara menyemprotkan material abrasif bertekanan tinggi ke arah

benda kerja. Material abrasif yang digunakan dapat berupa pasir silika, *steel grit*, maupun *aluminium oxide*. Tujuan utamanya adalah menghilangkan kontaminasi berupa karat, cat lama, serta kotoran lain yang melekat, sekaligus membentuk profil kekasaran tertentu pada permukaan logam. Profil ini berfungsi untuk meningkatkan daya rekat cat atau lapisan pelindung sehingga kualitas produk akhir lebih baik dan tahan lama [1].

PT INKA (Persero), sebagai produsen kereta api terbesar di Indonesia, telah menjadikan proses *sand blasting* sebagai salah satu tahapan penting sebelum pengecatan komponen. Karena mayoritas komponen kereta terbuat dari besi, maka *steel grit* lebih banyak digunakan dibanding *aluminium oxide*. *Steel grit* memiliki tingkat erosivitas yang lebih tinggi karena densitas dan kekerasannya yang besar, sehingga menghasilkan energi kinetik tumbukan partikel yang signifikan terhadap dinding *cyclone separator*. Selain itu, sudut tumbukan partikel yang cenderung berada pada rentang sudut kritis memperkuat mekanisme abrasi dan pemoangan mikro, yang pada akhirnya meningkatkan laju erosi material secara nyata. Aktivitas ini menghasilkan partikel debu dalam jumlah besar. Agar tidak mencemari udara dan membahayakan kesehatan pekerja, partikel-partikel tersebut harus ditangani menggunakan sistem pengendali debu (*dust collector*) [2]. Pada sistem ini, salah satu komponen utama yang digunakan adalah *cyclone separator* seperti terlihat pada Gambar 1, yaitu sebuah alat pemisah debu yang bekerja dengan memanfaatkan gaya sentrifugal. Aliran udara berkecepatan tinggi yang membawa partikel debu diarahkan masuk ke dalam *cyclone*, menciptakan pusaran aliran. Partikel yang lebih berat akan terdorong ke dinding, jatuh ke bawah, dan terkumpul, sedangkan udara bersih dikeluarkan melalui bagian atas [3].



Gambar 1. Cyclone Separator

Meskipun secara prinsip alat ini dapat bekerja efektif, dalam praktiknya ditemukan masalah yang cukup serius di PT INKA (Persero). Beberapa titik kebocoran muncul pada dinding *cyclone separator* akibat erosi partikel abrasif, khususnya *steel grit*. Fenomena erosi terjadi ketika partikel padat yang terbawa aliran gas menumbuk permukaan material berulang kali. Tumbukan ini mengakibatkan permukaan dinding mengalami pengikisan secara perlahan, hingga pada titik tertentu menyebabkan kerusakan permanen berupa retakan atau kebocoran [4]. Kebocoran ini kemudian memungkinkan partikel debu lolos ke udara sekitar, menimbulkan pencemaran, serta berpotensi mengganggu kesehatan pekerja. Debu yang terhirup dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi, bahkan penyakit jangka panjang. Selain itu, debu yang jatuh ke tanah atau terbawa air hujan dapat mencemari tanah maupun air, serta mengganggu sistem drainase. Hal ini tentu menjadi ancaman serius bagi lingkungan kerja industri [5].

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa laju erosi sangat dipengaruhi oleh kecepatan partikel dalam aliran fluida. Studi yang dilakukan oleh Yudhatama [6] mengenai erosi partikel pasir pada *elbow* pipa menegaskan bahwa semakin besar kecepatan aliran, semakin tinggi pula laju erosi yang terjadi. Hasil serupa ditemukan oleh Krisnanda [7] yang menyatakan bahwa laju erosi berbanding lurus dengan kecepatan aliran, ukuran partikel, serta *flow rate* partikel. Sementara itu, nilai *life time* atau perkiraan lamanya waktu suatu komponen dapat berfungsi optimal sebelum ketebalan materialnya terkikis sepenuhnya berbanding terbalik dengan laju erosi. Artinya, semakin tinggi laju erosi, semakin pendek *life time cyclone* tersebut hingga mengalami kebocoran. Penelitian Akbar [8] yang membandingkan desain *cyclone* tipe 1D2D dan 2D2D juga menegaskan pentingnya desain dan pengendalian aliran, karena desain yang lebih optimal mampu menurunkan gesekan permukaan hingga 65,61% dan meningkatkan ketahanan alat.

Guna menjawab permasalahan tersebut, metode *computational fluid dynamics* (CFD) dipandang sebagai pendekatan yang relevan. CFD merupakan cabang ilmu teknik yang menggunakan metode numerik untuk menganalisis perilaku fluida, termasuk interaksi dengan partikel padat di dalam sistem aliran [9]. Dengan perangkat lunak seperti Ansys *Fluent*, simulasi dapat dilakukan untuk memprediksi distribusi aliran, lintasan partikel, serta laju erosi pada dinding *cyclone separator*. Hasil simulasi dapat memetakan daerah-daerah kritis erosi sehingga menjadi dasar pengambilan keputusan teknis [10].

Penelitian ini tidak hanya penting dalam ranah akademik, tetapi juga memiliki nilai praktis. Bagi PT INKA (Persero), hasil penelitian dapat dijadikan acuan

dalam menentukan langkah-langkah preventif untuk mengurangi erosi. Salah satu langkah yang dapat ditempuh adalah pengendalian kecepatan aliran udara masuk ke *cyclone separator*. Jika kecepatan partikel dapat dikontrol agar tidak melebihi ambang tertentu, maka laju erosi dapat ditekan sehingga umur pakai alat lebih panjang. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi referensi bagi industri lain yang menggunakan sistem serupa, terutama pada sektor yang menggunakan material abrasif dalam proses produksinya.

Dengan demikian, urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan untuk memahami secara kuantitatif pengaruh kecepatan partikel terhadap laju erosi dalam konteks nyata penggunaan *cyclone separator* di PT INKA (Persero). Hasil yang diperoleh diharapkan mampu memberikan kontribusi bagi pengembangan teknologi pengendalian debu yang lebih efisien, ramah lingkungan, serta aman bagi pekerja.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan penelitian ini ditetapkan secara jelas. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kecepatan partikel terhadap laju erosi pada *cyclone separator* menggunakan metode *computational fluid dynamics* melalui perangkat lunak Ansys Fluent 2025/R1. Secara lebih rinci, penelitian ini diarahkan untuk memperoleh gambaran mengenai distribusi aliran, jalur partikel, serta besaran laju erosi pada dinding *cyclone*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menghitung estimasi *life time* dari *cyclone separator* pada variasi kecepatan aliran partikel yang berbeda. Dengan hasil tersebut, area kritis yang paling rentan terhadap erosi dapat diidentifikasi, sehingga perusahaan dapat mengambil langkah antisipatif dalam perbaikan desain maupun pengaturan operasional.

Melalui pencapaian tujuan tersebut, manfaat penelitian dapat dirasakan baik secara teoretis maupun praktis. Secara teoretis, penelitian ini memperkuat kajian tentang erosi partikel padat dalam aliran multifase dan penerapan metode CFD dalam memprediksi kerusakan material. Secara praktis, penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar bagi PT INKA (Persero) dalam menjaga keberlanjutan operasional melalui peningkatan *life time cyclone separator*, pengurangan risiko kebocoran, serta pencegahan pencemaran lingkungan. Dengan demikian, hasil penelitian ini berkontribusi pada terciptanya lingkungan kerja industri yang lebih aman, sehat, dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

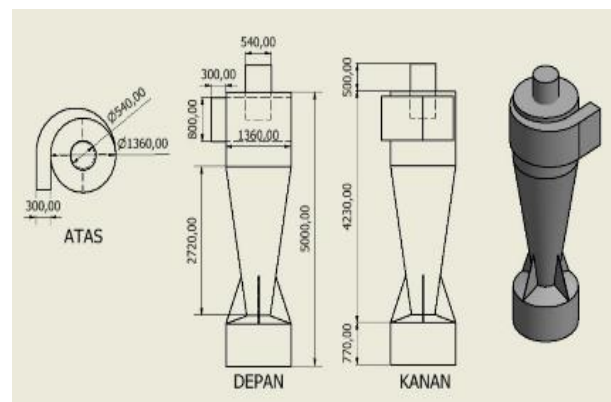
Penelitian ini menggunakan pendekatan komputasi numerik dengan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Tahapan penelitian dimulai dari pemodelan geometri *cyclone separator* menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor 2020 dan dilanjutkan dengan

simulasi aliran fluida serta analisis erosi melalui perangkat lunak Ansys 2025/R1.

Nilai laju erosi yang dihasilkan dari simulasi pada *Fluent* masih menggunakan satuan laju kehilangan massa per m² dalam satu detik (kg/m²s), sedangkan hasil dari pengujian ekperimental menggunakan satuan rasio erosi dalam milimeter per tahun (mm/tahun) [11], sehingga diperlukan proses konversi seperti pada Rumus (1) :

$$\text{Erosion rate} \left(\frac{\text{mm}}{\text{year}} \right) = \left(\frac{\text{Erosion rate DPM} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right)}{\text{Density} \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) \cdot \text{FlowRate} \left(\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right)} \cdot 1000 \left(\frac{\text{mm}}{\text{m}} \right) \cdot 3600 \left(\frac{\text{s}}{\text{hr}} \right) \right) \cdot 24 \left(\frac{\text{hr}}{\text{day}} \right) \cdot 365 \left(\frac{\text{day}}{\text{year}} \right) \quad (1)$$

Simulasi *computational Fluid Dynamics* (CFD) dilakukan di Laboratorium Mesin Fakultas Teknik Universitas Tidar, Magelang. Dimensi *cyclone separator* dibawah ini merujuk pada arsip dokumen yang terdapat di PT INKA, spesifikasi desain dapat dilihat pada Gambar 2. Untuk spesifikasi dimensi desain *cyclone separator* dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Dimensi Cyclone Separator

Tabel 1. Dimensi Cyclone Separator (mm)

Bagian	Ukuran
Diameter barrel/tabung	1360
Tinggi barrel/tabung	1360
Tinggi cone	2720
Tinggi cyclone	5000
Panjang saluran inlet	900
Lebar saluran inlet	300
Diameter outlet	540
Tinggi outlet	500

Pengklasifikasian dilakukan agar mengetahui ukuran partikel dengan mesh, serta pengukuran dimensi fisik *cyclone separator* menggunakan meteran. Material pasir yang digunakan berupa pasir steel grit dengan densitas partikel 7850 kg/m³ [12]. Diameter partikel 0,15

mm, 0,25 mm, dan 0,5 mm, serta *flowrate* partikel 0,10 kg/s.

Variabel bebas dalam penelitian adalah kecepatan partikel dengan variasi 5 m/s, 10 m/s, dan 15 m/s. Variabel terikat adalah laju erosi pada dinding *cyclone separator*, sedangkan variabel kontrol meliputi jenis material pasir, densitas partikel, *flowrate* partikel, dan diameter partikel.

Life time menunjukkan perkiraan lamanya waktu suatu komponen dapat berfungsi optimal sebelum ketebalan materialnya terkikis sepenuhnya. Parameter ini merupakan indikator penting dalam analisis keandalan dan perencanaan pemeliharaan karena dapat memprediksi kapan suatu komponen perlu diperbaiki atau diganti untuk mencegah kebocoran dan kerusakan fatal [13]. *Life time* dihitung menggunakan rumus (2) :

$$lifetime \text{ (year)} = \frac{\text{Actual thickness (mm)}}{\text{Erosion rate (mm/year)}} \quad (2)$$

Tahapan penelitian terdiri dari studi literatur, pengumpulan data desain dan operasional, pemodelan geometri, proses meshing, pengaturan simulasi, serta pelaksanaan simulasi dengan variasi kecepatan partikel. Data hasil simulasi berupa laju erosi dalam satuan kg/m²s dikonversikan ke dalam satuan mm/tahun. Selanjutnya, nilai *life time cyclone separator* dihitung berdasarkan tebal material aktual dan laju erosi yang diperoleh.

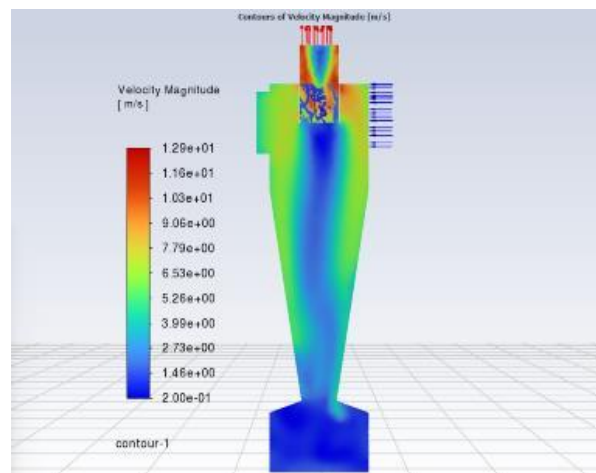
Penelitian dilaksanakan dalam jangka waktu enam bulan yang mencakup penyusunan proposal, pengumpulan data, pembuatan desain, simulasi CFD, analisis hasil, dan penyusunan laporan akhir. Melalui metode ini diperoleh gambaran mengenai pengaruh kecepatan partikel terhadap laju erosi pada *cyclone separator*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan aliran partikel terhadap laju erosi dan *life time* pada dinding *cyclone separator* yang digunakan dalam proses sand blasting di PT INKA (Persero). Hasil simulasi *computational fluid dynamics* (CFD) melalui perangkat lunak Ansys 2025/R1 memberikan gambaran yang jelas mengenai distribusi aliran, lintasan partikel, laju erosi, perkiraan lamanya waktu suatu komponen dapat berfungsi optimal sebelum ketebalan materialnya terkikis sepenuhnya (*lifetime cyclone separator*).

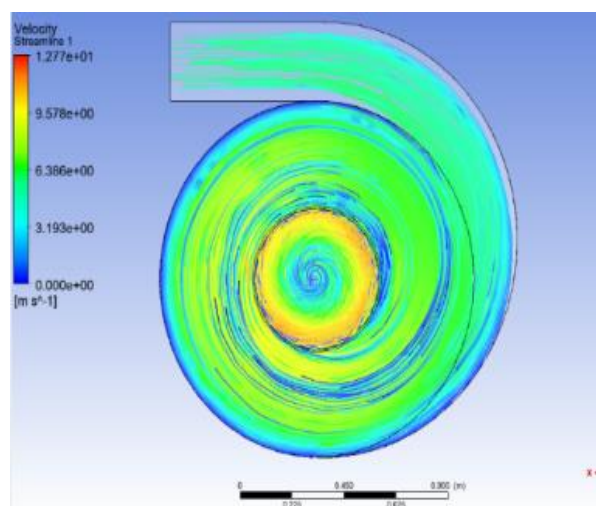
Hasil pertama menunjukkan bahwa aliran fluida di dalam *cyclone separator* memiliki karakteristik turbulensi yang cukup kompleks. Fluida masuk melalui saluran inlet dengan kecepatan 5 m/s, 10 m/s, dan 15 m/s, kemudian membentuk pusaran aliran akibat gaya sentrifugal. Pusaran tersebut menyebabkan partikel-partikel debu pasir terdorong ke arah dinding *cyclone* dan mengalami

tumbukan berulang. Kontur distribusi kecepatan fluida memperlihatkan bahwa daerah dengan nilai kecepatan tinggi terdapat di bagian atas *cyclone*, sedangkan zona stagnasi atau aliran lambat terjadi di area dekat dinding dan pusat *cyclone*. Kondisi ini memperkuat asumsi bahwa daerah kritis terhadap erosi berada di sekitar dinding bagian atas *inlet* dan karena mengalami intensitas tumbukan partikel yang lebih besar. Kontur kecepatan fluida terlihat pada Gambar 3.

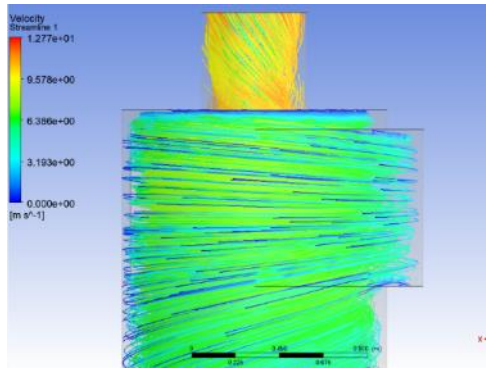


Gambar 3. Kontur kecepatan fluida

Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan distribusi garis aliran (*streamline*) kecepatan udara di dalam *cyclone separator* yang divisualisasikan menggunakan skala warna. Warna biru hingga hijau merepresentasikan area dengan kecepatan rendah hingga sedang, sedangkan warna kuning hingga merah menunjukkan area dengan kecepatan tinggi, mencapai sekitar 12,77 m/s yang muncul pada kasus kecepatan inlet 10 m/s akibat penguatan komponen kecepatan tangensial di dalam *cyclone separator*. Pola aliran terlihat membentuk pisiran spiral dari dinding menuju inti *cyclone*, yang menggambarkan karakteristik aliran vorteks akibat gaya sentrifugal.

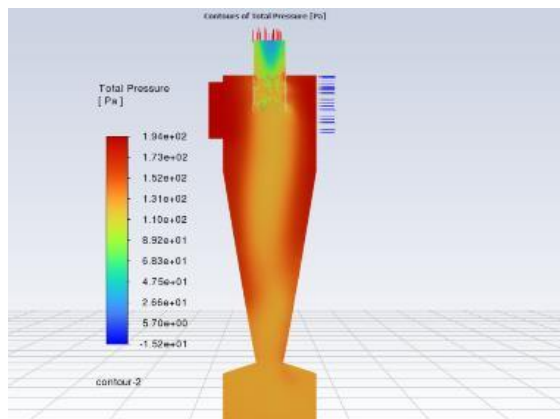


Gambar 4. Streamline - View 1



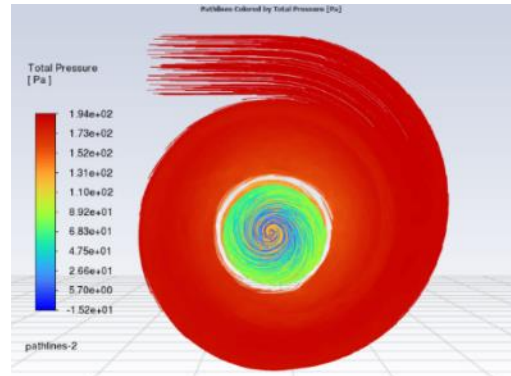
Gambar 5. Streamline - View 2

Hasil simulasi menunjukkan bahwa tekanan tertinggi berada di sekitar bagian atas *cyclone*, khususnya pada area *inlet* dan *vortex finder*, yang ditandai dengan warna merah hingga oranye. Hal ini terjadi akibat kecepatan aliran masuk yang tinggi dan perubahan arah aliran saat membentuk pusaran pertama kali pada bagian silinder tengah hingga *cone* bawah, distribusi tekanan mengalami penurunan secara bertahap dengan warna gradasi kuning hingga hijau, menandakan berkurangnya energi kinetik akibat gesekan aliran dengan dinding *cyclone*. Tekanan terendah ditemukan di bagian *outlet* yang ditunjukkan oleh warna biru dengan nilai sekitar -15 Pa, mengindikasikan daerah dengan energi kinetik terendah. Kontur distribusi tekanan total terlihat pada Gambar 6.

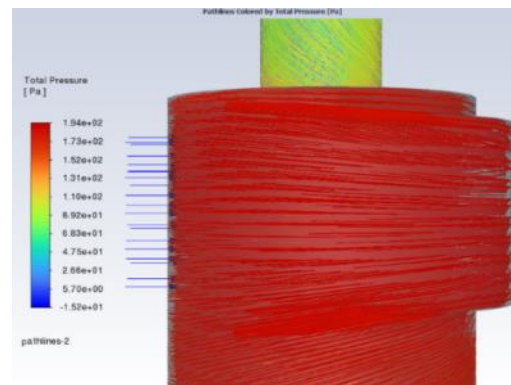


Gambar 6. Distribusi tekanan total

Gambar 7 dan Gambar 8 menunjukkan hasil simulasi *pathlines* pada *cyclone separator* yang diwarnai berdasarkan total tekanan (Pa), dengan skala warna biru (-15,2 Pa) hingga merah (194 Pa), dimana tekanan tertinggi tampak di sepanjang dinding luar akibat gaya sentrifugal yang mendorong partikel padat terlempar ke bawah menuju *dust hopper*, sedangkan tekanan lebih rendah berada di pusat pusaran (*vortex core*) yang mengarahkan aliran udara bersih keluar melalui *vortex finder*, sehingga distribusi tekanan ini menegaskan terbentuknya gradien tekanan yang efektif dalam mendukung proses pemisahan partikel *cyclone*.

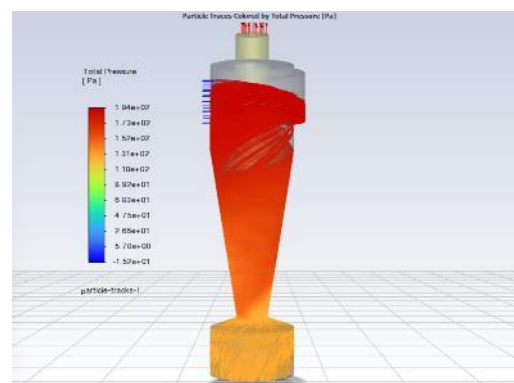


Gambar 7. Pathlines Tekanan Total – view 1

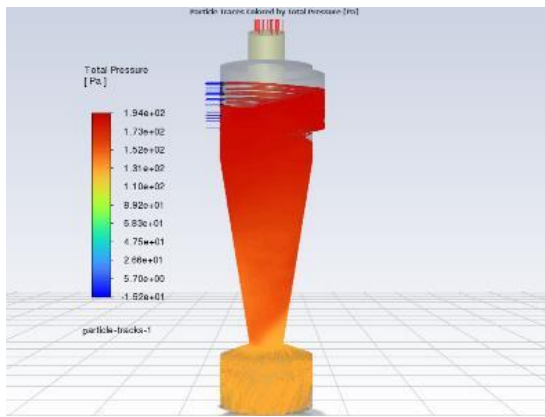


Gambar 8. Pathlines Tekanan Total – view 2

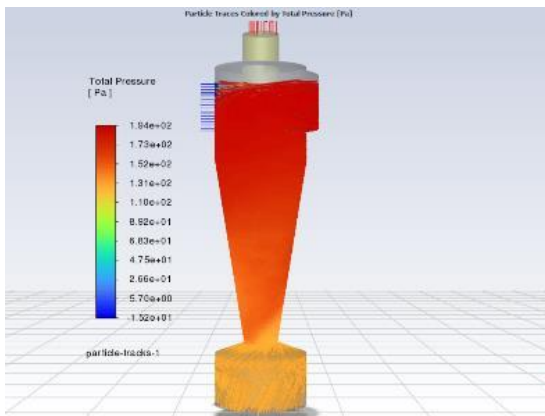
Distribusi jalur partikel seperti terlihat pada Gambar 9, Gambar 10, Gambar 11, Gambar 12 memperlihatkan perbedaan mencolok pada tiap variasi kecepatan. Pada kecepatan rendah sebesar 5 m/s, lintasan partikel relatif lebih menyebar dan spiral pusaran tidak rapat. Partikel berukuran besar cenderung lebih cepat jatuh ke bawah dan keluar melalui outlet bawah, sedangkan partikel halus masih berputar lebih lama di dalam *cyclone*. Pada kecepatan 10 m/s, pola spiral terlihat lebih rapat dan partikel semakin sering menumbuk dinding. Sementara pada kecepatan 15 m/s, distribusi partikel menunjukkan spiral yang dominan dan lebih rapat, sehingga sebagian besar partikel besar langsung terdorong ke dinding dan mempercepat terjadinya erosi.



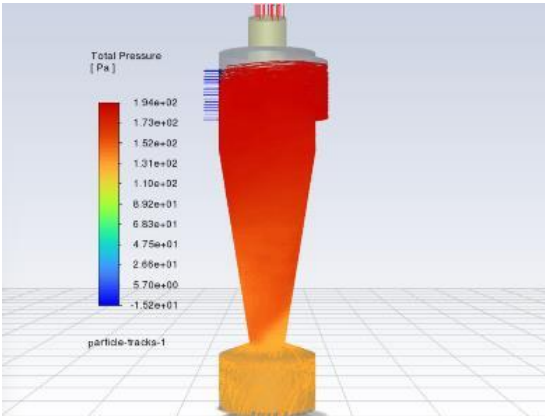
Gambar 9. Distribusi Jalur Partikel kecepatan 5 m/s



Gambar 10. Distribusi Jalur Partikel kecepatan 10 m/s



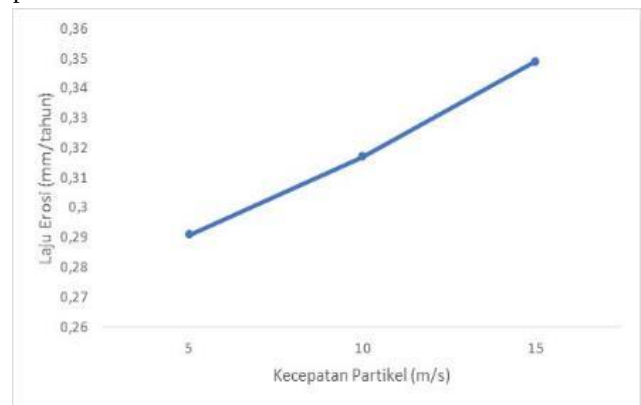
Gambar 11. Distribusi Jalur Partikel kecepatan 15 m/s



Gambar 12. Distribusi Jalur Partikel kecepatan 20 m/s

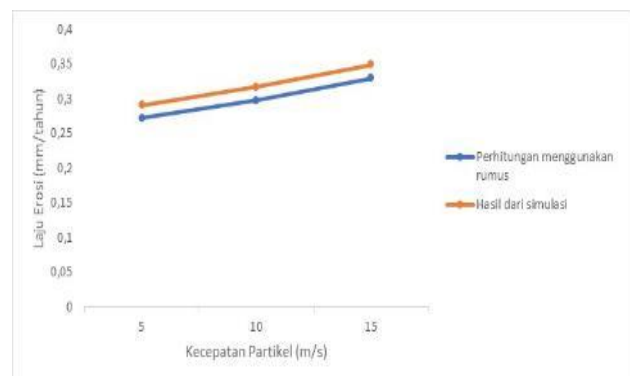
Data laju erosi hasil simulasi menunjukkan hubungan yang konsisten dengan peningkatan kecepatan aliran. Pada kecepatan 5 m/s diperoleh nilai laju erosi sebesar 0,291 mm/tahun, meningkat menjadi 0,317 mm/tahun pada kecepatan 10 m/s, dan mencapai 0,349 mm/tahun pada kecepatan 15 m/s. Walaupun perbedaannya terlihat kecil, tren ini membuktikan bahwa setiap peningkatan kecepatan aliran akan memperbesar energi kinetik partikel sehingga meningkatkan intensitas tumbukan terhadap dinding *cyclone separator* [14]. Nilai maksimum laju erosi tercatat sebesar $1,48 \cdot 10^{-7} \text{ kg/m}^2\text{s}$ yang kemudian dikonversi ke satuan mm/tahun. Grafik

nilai laju erosi terhadap variasi kecepatan partikel terlihat pada Gambar 13.



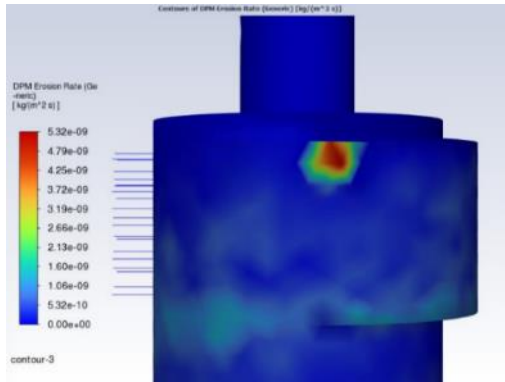
Gambar 13. Nilai Laju Erosi Terhadap Variasi Kecepatan partikel

Perbedaan kecil antara hasil perhitungan teoretis menggunakan rumus dan hasil simulasi CFD juga diperoleh. Nilai error rata-rata sebesar 5,8–6,9% masih berada dalam kategori sangat akurat, karena menurut kriteria MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*), suatu simulasi dianggap valid apabila error kurang dari 10% [7]. Hal ini menunjukkan bahwa model simulasi yang digunakan sudah cukup representatif untuk menggambarkan kondisi nyata operasi *cyclone separator* di PT INKA (Persero). Grafik perbedaan nilai laju erosi terhadap variasi kecepatan partikel antara hasil perhitungan teoretis menggunakan rumus dan hasil simulasi CFD terlihat pada Gambar 14.

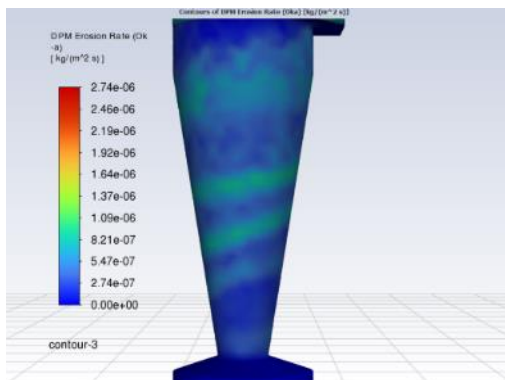


Gambar 14. Perbandingan Laju Erosi

Berdasarkan hasil simulasi CFD terlihat dengan jelas pola distribusi kontur laju erosi pada *cyclone separator*. Area dengan intensitas warna merah hingga kuning menunjukkan lokasi dengan laju erosi tertinggi, sedangkan warna biru menandakan laju erosi yang relatif rendah. Dari pola tersebut dapat diamati bahwa bagian yang paling rentan terhadap erosi terletak disekitar saluran *inlet* bagian atas, dimana partikel abrasif pertama kali bertumbukan dengan dinding *cyclone* akibat perubahan arah aliran secara mendadak. Kontur laju erosi dapat dilihat pada Gambar 15 dan Gambar 16.

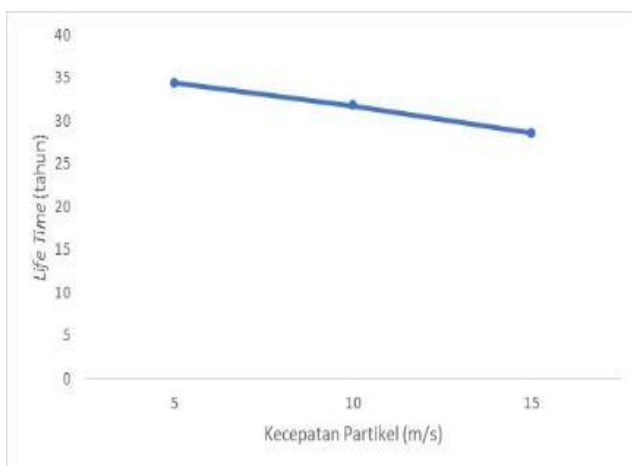


Gambar 15. Kontur laju erosi – view 1



Gambar 16. Kontur laju erosi – view 2

Sebaliknya, nilai *life time* menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan meningkatnya laju erosi. Pada kecepatan 5 m/s diperoleh nilai sebesar 34,4 tahun atau sekitar 301.344 jam, turun menjadi 31,8 tahun atau 278.568 jam pada kecepatan 10 m/s, dan 28,6 tahun atau 250.536 jam pada kecepatan 15 m/s. Penurunan ini membuktikan bahwa laju erosi yang lebih tinggi secara langsung memperpendek nilai *life time cyclone separator* [15]. Hubungan tersebut bersifat berbanding terbalik, sehingga semakin cepat aliran udara maka semakin singkat nilai *life time* seperti terlihat pada Gambar 17 yang memperlihatkan grafik nilai *life time*.



Gambar 17. Nilai Life Time

Tabel 2. Hasil Utama Penelitian

Kecepatan Aliran (m/s)	Laju Erosi Maks (kg/m ² s)	Laju Erosi (mm/tahun)	Life time (tahun)	Life Time (jam)
5	5.32e-09	0,291	34,4	301344
10	5.56e-09	0,317	31,8	278568
15	5.87e-09	0,349	28,6	250536

Tabel 2 menunjukkan hasil dari penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya, yang menunjukkan bahwa laju erosi meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan partikel pasir dalam aliran fluida [7]. Di sisi lain, laju erosi memiliki hubungan terbalik dengan perkiraan lamanya waktu suatu komponen dapat berfungsi optimal sebelum ketebalan materialnya terkikis sepenuhnya atau *life time* dari *cyclone separator* yang mengalami erosi. *Life time* berkurang seiring dengan meningkatnya laju erosi [16].

PENUTUP

Simpulan

Dapat disimpulkan bahwa kecepatan partikel terbukti berpengaruh langsung terhadap tingkat erosi pada dinding *cyclone separator* yang digunakan untuk memisahkan debu pasir dengan udara bersih. Semakin besar kecepatan aliran maka semakin tinggi pula laju erosi yang terjadi, dengan nilai masing-masing sebesar 0,291 mm/tahun pada kecepatan 5 m/s, 0,317 mm/tahun pada kecepatan 10 m/s, dan 0,349 mm/tahun pada kecepatan 15 m/s. Kondisi ini menyebabkan nilai *lifetime cyclone separator* menurun, yaitu 34,4 tahun pada kecepatan 5 m/s, 31,8 tahun pada kecepatan 10 m/s, dan 28,6 tahun pada kecepatan 15 m/s.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa pengendalian kecepatan aliran udara menjadi langkah strategis untuk memperpanjang nilai *life time cyclone separator* serta mengurangi risiko kebocoran dan pencemaran lingkungan kerja. Penelitian ini juga memberikan dasar penting bagi perusahaan dalam mengambil kebijakan perawatan dan optimalisasi desain.

Saran

Adapun saran yang ingin disampaikan untuk penelitian selanjutnya, antara lain :

1. Tingkat konvergensi tiap variabel perlu diperhatikan agar hasil simulasi mendekati kondisi nyata.
2. Simulasi dengan *software* lain seperti Solidworks atau FEA perlu dilakukan untuk memvalidasi hasil dari Ansys.
3. Analisis yang mencakup faktor tambahan seperti korosi, tegangan termal, serta variasi material agar hasil yang diperoleh lebih komprehensif dan mendekati kondisi nyata di lapangan.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada PT INKA (Persero) dan Program Studi Teknik Mesin atas dukungan dan fasilitas yang diberikan selama penelitian ini. Penulis juga menghargai bimbingan dari para dosen pembimbing dan dorongan dari rekan-rekan dan keluarga.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Risqullah and I. Dirja, "Proses Sandblasting Dalam Proses Fabrikasi Baja Struktur Pada Proyek Refinery Development Master Plan (RDMP) di PT AJP," *J. Ilm. Wahana Pendidik.*, vol. 8, no. 15, pp. 264–275, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7049222>
- [2] Nabila Indah Wibisono and Novirina Hendrasarie, "Kajian Beban Emisi SO₂, NO₂ dan Partikulat dari Cerobong Boiler dengan Bahan Bakar Kayu pada PT X," *J. Serambi Eng.*, vol. IX, no. 3, pp. 9379–9389, 2024, [Online]. Available: <https://jse.serambimekkah.id/index.php/jse/article/view/241/190>
- [3] B. D. Afrah, T. Riadz, N. Novia, N. Ilmi, and V. D. W. Pranajaya, "Evaluasi Kinerja Cyclone Separator Dengan Simulasi Komputasi Dinamika Fluida," *Instrumentasi*, vol. 47, no. 1, p. 39, 2023, doi: 10.31153/instrumentasi.v47i1.300.
- [4] D. I. Beny Bandanadjaja, "Rancangan proses perlakuan panas untuk meningkatkan sifat ketahanan erosi baja AISI 4140," vol. 6, pp. 105–116, 2017.
- [5] A. S. Vania and L. Rubianto, "Desain Cyclone Dust Collector Untuk Upaya Memperbaiki Sirkulasi Udara Dan Mengurangi Korosi Pada Area Proses Produksi," *DISTILAT J. Teknol. Separasi*, vol. 10, no. 1, pp. 1–12, 2024, doi: 10.33795/distilat.v10i1.4951.
- [6] I. W. Yudhatama, I. Hidayat, and W. Jatimurti, "Simulasi CFD Erosi Partikel Pasir dalam Aliran Fluida Gas Turbulen pada Elbow Pipa Vertikal-Horizontal," *J. Tek. ITS Vol. 7, No. 2, ISSN 2337-3539 (2301-9271 Print)*, vol. 7, no. 2, pp. B134–B139, 2018.
- [7] L. R. Krisnanda, A. Santoso, and T. F. Nugroho, *Analisa Laju Erosi pada Elbow Pipa Karena Partikel Pasir Dalam Aliran Fluida Gas Menggunakan Simulasi CFD*, vol. 8, no. 2. 2020. doi: 10.12962/j23373539.v8i2.48218.
- [8] D. F. Akbar, I. S. Haq, and L. Laila, "Kajian Perbandingan Dimensi LTDS Cyclone Terhadap Angka Rugi Gesekan Permukaan Yang Diperoleh (Studi Kasus PT. BWLM – NSAM)," *Kaji. Perbandingan Dimensi LTDS Cyclone Terhadap Angka Rugi Gesekan Permukaan Yang Diperoleh (Studi Kasus PT. BWLM – NSAM)*, pp. 1–6, 2022.
- [9] A. Santoso and B. Ilmi, "Analysis of Erosion Rate on Discharge Slurry HDPE Pipe in Canal Water Intake PLTGU Grati using CFD Simulation," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 2, no. 4, 2018, doi: 10.12962/j25481479.v2i4.4063.
- [10] S. Q. Asriati, N. ZA, M. Muhammad, J. Jalaluddin, and A. Azhari, "Simulasi Pengaruh Buka Valve Terhadap Pressure Drop Dan Kavitasasi Pada Control Valve Tipe Ball Valve Dengan Menggunakan Software Autodesk Cfd (Computational Dynamics Fluid)," *Chem. Eng. J. Storage*, vol. 1, no. 2, p. 46, 2021, doi: 10.29103/cejs.v1i2.5443.
- [11] G. I. Winarto, E. Wismawati, and F. Bisono, "Pengaruh Laju Korosi Erosi Terhadap Lifetime Material Carbon Steel A53 Grade B, Stainless Steel 304, dan Stainless Steel 316 pada Aliran Weighed Juice Return Pipe di Industri Gula," *Proceeding 3rd Conf. Pip. Eng. its Appl.*, vol. 3, no. Corrosion, pp. 157–162, 2018.
- [12] SurfacePrep, "Steel Grit." [Online]. Available: <https://www.surfaceprep.co.uk/abrasives/metallic/steel-grit.html>
- [13] G. D. Haryadi, A. Suprihanto, M. Butarbutar, and J. H. Soedarto, "Perhitungan Lifetime Prediction pada Komponen Kritis Centrifugal Pump Menggunakan Metode Weibull," *Rotasi*, vol. 23, no. 3, pp. 1–8, 2021.
- [14] M. Iliyas and N. Iskandar, "Simulasi Numerik Cyclone Separator Pada Penggilingan Padi," *J. Tek. Mesin S-1*, vol. 11, no. 4, pp. 113–120, 2023.
- [15] R. Risna, R. T. Siwi, N. Manik, and F. Oktafiani, "Penentuan Remaining Lifetime Net Gas Wash Column Berbasis Laju Korosi Internal Di Hydrocracking Treatment Unit Plant 5," *PETROGAS J. Energy Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 44–52, 2024, doi: 10.58267/petrogas.v6i1.166.
- [16] A. Z. Syaiful, J. Dwita, R. Batu, P. T. Kimia, F. Teknik, and U. Bosowa, "Analisis Laju Korosi Dan Lifetime," *J. Univ. Bosowa, Makasar, Indones.*, pp. 1–14, 2022.