

Identifikasi dan Diagnosis Kinerja Pompa Diafragma Wilden P200 Berbasis Computational Fluid Dynamics Menggunakan Solidworks

Tb. Ade Rahmatullah^a, Gurruh Dwi Septano^b, Tika Kristianti^c, Nasaruddin^d, Riyanto^e

^aProgram Studi Teknik Mesin, tbaiderah1373@politeknikpgribanten.ac.id, Politeknik PGRI Banten, Serang

^bProgram Studi Teknik Mesin, gurruh@politeknikpgribanten.ac.id, Politeknik PGRI Banten, Serang

^cProgram Studi Teknik Mesin, tika@politeknikpgribanten.ac.id, Politeknik PGRI Banten, Serang

^dProgram Studi Teknik Mesin, nasarkupang@gmail.com, Politeknik Negeri Kupang, Kupang

^eProgram Studi Teknologi Informasi, riyanto62@ipem.ac.id, Universitas Insan Pembangunan Indonesia, Tangerang

Article History

Received : 15-12-2025

Revised : 20-12-2025

Accepted : 30-01-2025

Published : 04-02-2026

Corresponding author*:

gurruh@politeknikpgribanten.ac.id

Cite This Article:

Rahmatullah, T. A., Septano, G. D., Kristianti, T., Nasaruddin, & Riyanto. (2026). Identifikasi dan Diagnosis Kinerja Pompa Diafragma Wilden P200 Berbasis Computational Fluid Dynamics Menggunakan Solidworks . Jurnal Teknik Dan Science, 5(1), 16–38.

DOI:

<https://doi.org/10.56127/jts.v5i1.2511>

Abstract: The Wilden P200 diaphragm pump is a critical component in fluid transfer systems; therefore, the stability of its performance has a direct impact on operational efficiency. In actual operating conditions, a significant reduction in the actual flow rate compared to the theoretical flow rate was identified, indicating performance degradation as well as potential non-compliance of the installation with the manufacturer's recommended standards. This study was conducted using an inspection and fault diagnosis approach to systematically identify the root causes of the problem. The methodology included visual and functional inspection of components, observation of the piping installation, measurement of operating parameters, and performance analysis based on a comparison between actual and theoretical flow rates. The evaluation involved flow rate testing, volumetric efficiency assessment, and inspection of supporting components such as filters, check valves, and piping. The initial inspection results indicated the presence of flow restrictions, increased pressure losses, and a reduced capability of the pump to transfer fluid efficiently. To support the diagnostic process, Computational Fluid Dynamics (CFD) simulations were employed to visualize the pressure distribution, flow patterns, and potential pressure losses within the pump and piping system. The simulation results revealed high-pressure zones, flow constrictions, and significant pressure gradients, which were consistent with field observations, such as malfunctioning filters and sediment accumulation within the piping. Based on the combined results of field inspections and CFD analysis, it can be concluded that the performance degradation of the Wilden P200 pump is caused by a combination of component wear, filter malfunction, and the absence of routine inspection and maintenance procedures. These conditions lead to increased flow resistance and pressure losses, directly resulting in a reduction in the pump's actual flow rate. The findings of this study are expected to serve as a basis for system improvements and the development of more effective maintenance strategies to prevent similar failures in future operations..

Keywords: Computational Fluid Dynamics (CFD); Diaphragm Pump ; Fault Diagnosis, Flow Rate, Pressure Loss

PENDAHULUAN

Pompa diafragma merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi fluida yang berupa tekanan dan aliran. Pompa diafragma termasuk jenis pompa *positive displacement* karena prinsip kerjanya didasarkan dengan cara sejumlah

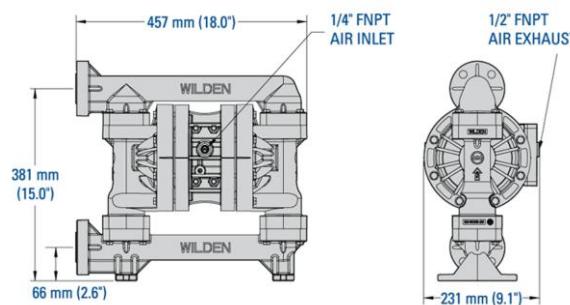
cairan dijebak dalam ruang dan volumenya secara mekanik menurun, menyebabkan peningkatan tekanan tertentu kemudian dialirkan keluar [1].

Pompa diafragma dapat menghasilkan aliran yang stabil, operasi yang andal, serta kemampuan untuk memompa berbagai jenis cairan yang kental. Pompa ini digunakan di berbagai industri seperti pertambangan, petrokimia, pulp dan kertas, serta industri manufaktur lainnya diafragma merupakan komponen penting dalam sistem pemindahan fluida pada bagian Fluid Utility, khususnya pada proses sedimentasi dan pengangkutan lumpur menuju sludge thickener [2]. Kegagalan pompa dapat menghambat proses pengolahan limbah dan berpotensi menimbulkan gangguan operasional. Hasil observasi awal pada pompa Wilden P200 menunjukkan penurunan debit aktual yang cukup signifikan, meningkatnya tekanan diferensial, serta indikasi kerusakan pada beberapa komponen. Selain itu ditemukan ketidaksesuaian instalasi dengan standar pabrikan, seperti kondisi filter yang tidak bekerja dan adanya sedimentasi pada jalur pipa.

Untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan dan menentukan metode perawatan yang tepat, dilakukan pendekatan inspection dan diagnosing faults, dikombinasikan dengan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan *SolidWorks Flow Simulation* [3]. Dalam konteks ini, penerapan analisis aliran fluida pada pompa diafragma menggunakan perangkat lunak SolidWorks dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang mana pompa dimodelkan dalam bentuk virtual dan dianalisa secara komprehensif, sehingga potensi permasalahan dapat diidentifikasi lebih awal. Hasil analisis diharapkan dapat mendukung upaya peningkatan keandalan pompa diafragma, sekaligus menjadi dasar dalam penyusunan strategi untuk meningkatkan keandalan peralatan..

TINJAUAN PUSTAKA

Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pompa diafragma Wilden P200 jenis *Air Operated Double Diaphragm* (AODD) yang beroperasi pada area *Waste Water Treatment Plant* (WWTP) PT Latinusa, Tbk. Pompa ini memiliki diameter inlet dan outlet sebesar 1 inch, diameter torak membran 0,099 meter, panjang langkah 0,028 meter, tekanan kerja udara 5,6 bar, serta menggunakan membran berbahan PTFE. Fluida yang dipompakan merupakan lumpur hasil proses sedimentasi dengan karakteristik viskositas tinggi dan kandungan padatan yang berpotensi menyebabkan penyumbatan pada instalasi [4]. Selain itu, material penelitian mencakup instalasi pipa, *filter inlet*, *check valve*, serta *fitting* yang digunakan dalam sistem. Perangkat lunak *SolidWorks Flow Simulation* digunakan untuk melakukan analisis aliran internal pada sistem. Adapun model pompa diafragmnya dapat dilihat pada Gambar 1.

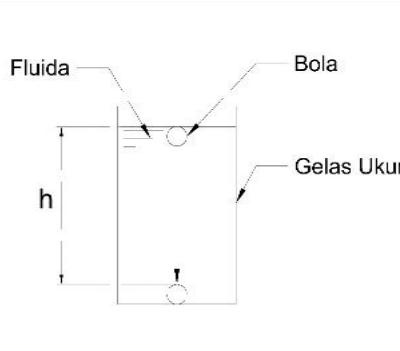


Gambar 1. Pompa Wilden P200

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian terdiri dari empat tahap, yaitu inspeksi lapangan, pengukuran parameter operasi, perhitungan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan aktual. Tahap inspeksi dilakukan untuk menilai kondisi fisik pompa dan instalasi, termasuk pemeriksaan membran, *valve seat*, *valve ball*, filter, serta kondisi pipa seperti sedimentasi dan penyempitan aliran. Observasi kondisi operasional juga dilakukan dengan mengamati getaran pompa, kestabilan tekanan udara, dan kebersihan jalur aliran. Wawancara dengan teknisi pemeliharaan dilakukan untuk memperoleh informasi tambahan mengenai riwayat kerusakan dan kegiatan perawatan sebelumnya.

Tahap pengukuran parameter operasi meliputi pengukuran debit aktual menggunakan metode volumetrik, frekuensi *stroke* pompa, serta tekanan pada sisi inlet dan outlet. Viskositas fluida ditentukan menggunakan metode Stokes untuk mendapatkan nilai viskositas dinamik berdasarkan pergerakan bola uji dalam fluida [5]. Adapun metode stokes memanfaatkan konsep gaya yang bekerja pada bola yang jatuh bebas dalam fluida yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram cara pengujian viskositas dinamik metode stoke

Sedangkan untuk mencari viskositas dinamik dapat menggunakan persamaan (1) berikut :

$$\mu = \frac{2 \cdot g \cdot r^2 \cdot (\rho_1 - \rho_2)}{9 \cdot Vb} \quad (1)$$

Dimana :

g : Percepatan Gravitasi

r : Jari – jari Bola

ρ_1 : Massa jenis Bola

ρ_2 : Massa jenis Fluida

Vb : Kecepatan jatuh bola

Selanjutnya, perhitungan teoritis dilakukan untuk memperoleh debit aktual menggunakan parameter geometri pompa dan frekuensi stroke yang dapat dilihat pada persamaan (2) berikut :

$$Qth = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot S \cdot f \quad (2)$$

Dimana :

D : Diameter penampang membran (m)

- π : perbandingan besar keliling lingkaran dengan luas lingkaran
 S : Panjang Langkah (m)
 f : Frekuensi (siklus/ menit)

Untuk kehilangan tekanan pada sistem perpipaan akibat gesekan antara fluida dan dinding pipa dinyatakan dengan persamaan Darcy–Weisbach sebagai pada persamaan (3) berikut :

$$\Delta P = \rho \frac{V^2}{2} \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \quad (3)$$

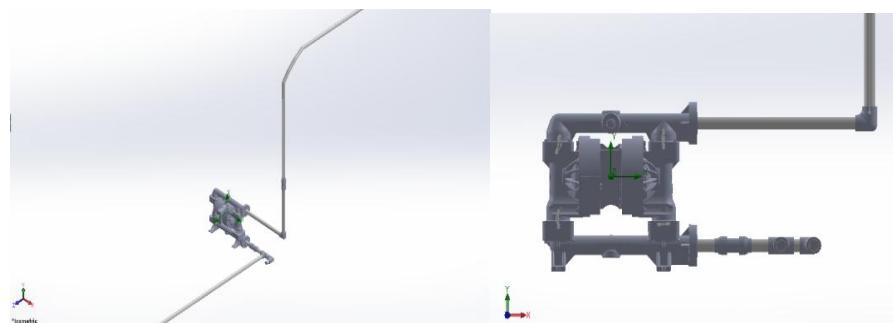
Dimana :

- ΔP : Penurunan tekanan total (Pa)
 F : Faktor gesek Darcy (tanpa satuan)
 L : Panjang pipa (m)
 D : Diameter pipa (m)
 $\sum K$: Jumlah koefisien kehilangan minor
 V : Kecepatan aliran (m/s)

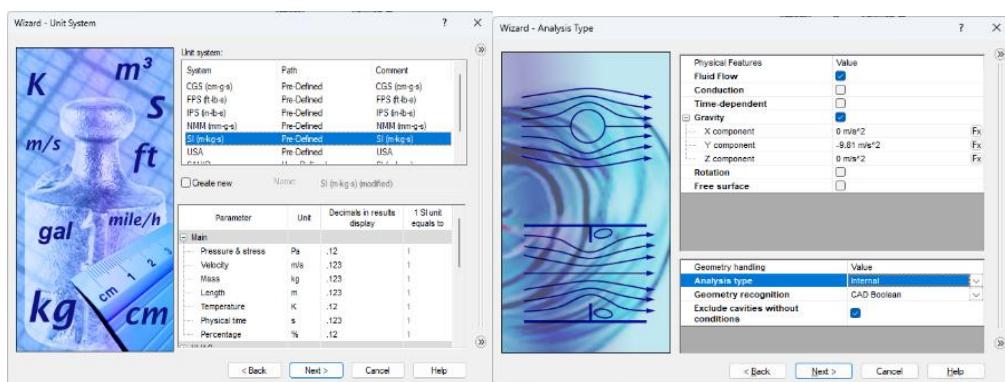
Persamaan tersebut menunjukkan bahwa penurunan tekanan (ΔP) berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan aliran serta panjang pipa, dan berbanding terbalik dengan diameter pipa. Dengan demikian, semakin panjang dan semakin kecil diameter pipa, atau semakin banyak komponen sambungan seperti elbow dan valve, maka rugi tekanan yang terjadi akan semakin besar. Apabila tekanan diferensial (ΔP) diketahui, baik dari hasil pengukuran eksperimental maupun simulasi numerik, seperti Computational Fluid Dynamics (CFD) atau sensor tekanan pada sistem pompa, maka persamaan tersebut dapat dimanipulasi untuk menentukan kecepatan aliran (V). Kecepatan aliran akan meningkat seiring dengan bertambahnya tekanan yang diberikan oleh pompa, namun akan menurun akibat pengaruh faktor gesekan, panjang pipa, serta jumlah dan jenis komponen sambungan dalam sistem perpipaan [6]. yang dapat dirumuskan menggunakan persamaan (4) berikut :

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right)}} \quad (4)$$

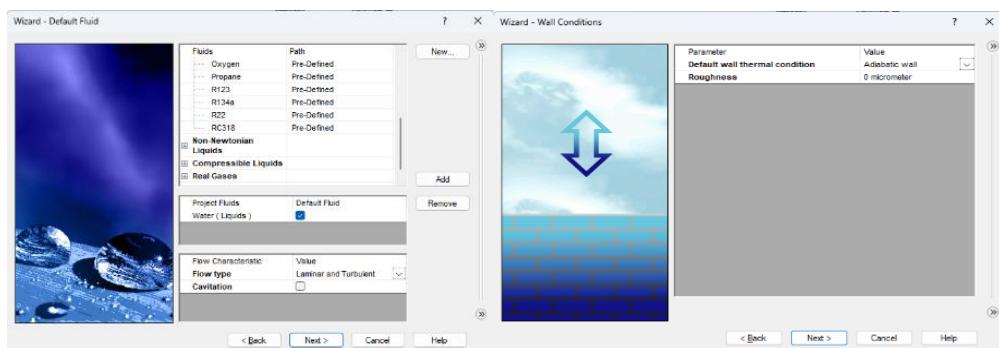
Simulasi CFD dilakukan untuk memvisualisasikan pola aliran dan distribusi tekanan pada pompa dan instalasi pipa. Tahapan simulasi meliputi pembuatan model geometri pompa dan pipa, penentuan domain fluida, pengaturan boundary conditions seperti tekanan inlet dan outlet, serta pemilihan jenis fluida sesuai karakteristik lumpur WWTP. Simulasi dilakukan dalam mode internal flow dengan kondisi steady-state. Hasil simulasi berupa visualisasi tekanan, kecepatan aliran, dan pola distribusi fluida yang digunakan untuk mengidentifikasi area penyempitan aliran, peningkatan tekanan lokal, dan potensi terjadinya hambatan aliran. Seluruh hasil pengukuran, perhitungan, dan simulasi kemudian dianalisis secara terpadu untuk mengidentifikasi penyebab degradasi performa pompa [7]. Adapun tahapan yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 4. Dan Gambar 5.



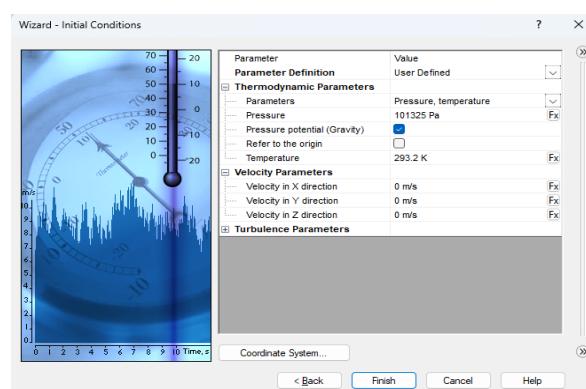
Gambar 3. Pembuatan Model Pompa

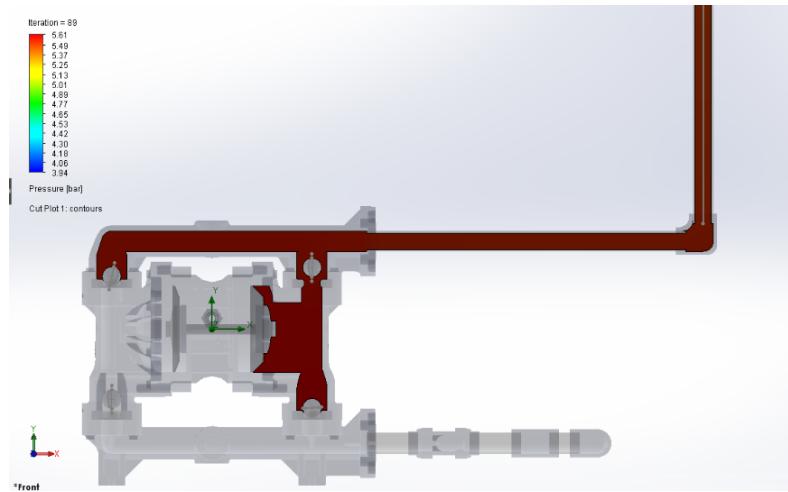


Gambar 4. Pemilihan Satuan dan Tipe Analisis



Gambar 5. Penyesuaian Jenis Fluida



Gambar 6. Initial Condition**HASIL DAN PEMBAHASAN****Hasil Simulasi CFD****Distribusi Tekanan****Gambar 7. Distribusi Tekanan**

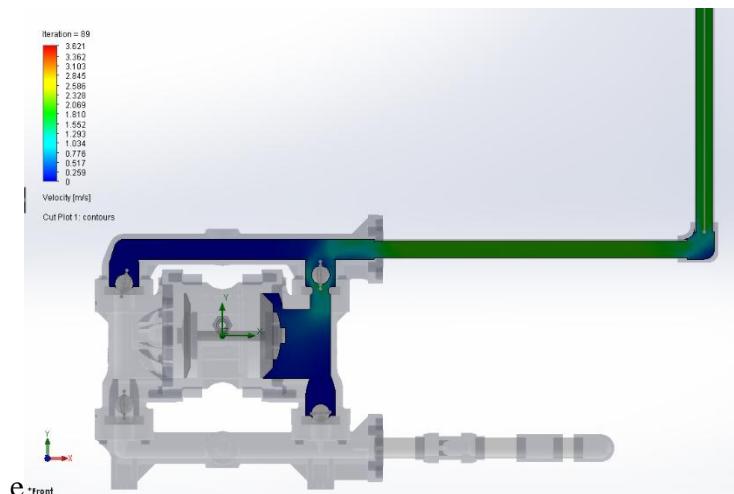
Gambar 7. menampilkan hasil simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) berupa distribusi tekanan fluida pada sistem pompa dan pipa, yang divisualisasikan dalam bentuk Cut Plot – Contours pada iterasi ke-89. Parameter yang dianalisis adalah tekanan statik (pressure) dengan satuan bar. Berdasarkan skala warna, tekanan fluida berada pada rentang $\pm 3,94$ hingga 5,61 bar. Warna biru tua merepresentasikan tekanan terendah, sedangkan merah tua menunjukkan tekanan tertinggi. Selisih tekanan maksimum–minimum pada sistem ini adalah sekitar 1,67 bar, yang mencerminkan energi tekanan yang dihasilkan dan sekaligus kehilangan tekanan sepanjang aliran.

Pada bagian rumah pompa (casing), tekanan fluida berada pada kisaran 5,2–5,6 bar dan relatif merata. Kondisi ini menunjukkan bahwa pompa mampu menaikkan tekanan fluida secara efektif dan stabil sebelum dialirkan ke saluran keluaran. Distribusi tekanan yang homogen di dalam casing juga mengindikasikan bahwa tidak terdapat fluktuasi tekanan ekstrem yang berpotensi menimbulkan getaran atau ketidakstabilan aliran [8]. Memasuki pipa keluaran horizontal, tekanan fluida mulai mengalami penurunan bertahap hingga berada pada kisaran 4,8–5,1 bar. Penurunan ini disebabkan oleh kerugian tekanan mayor (major losses) akibat gesekan fluida dengan dinding pipa. Besarnya penurunan tekanan sebanding dengan panjang pipa, sifat fluida, dan kekasaran permukaan pipa [9]. Pada bagian belokan pipa (elbow), terlihat gradien tekanan yang lebih jelas. Tekanan fluida setelah belokan turun hingga sekitar 4,3–4,6 bar, yang menunjukkan adanya kerugian tekanan minor (minor losses) akibat perubahan arah aliran secara tajam dan peningkatan turbulensi lokal.

Sepanjang pipa vertikal, tekanan relatif stabil namun sedikit lebih rendah dibandingkan pipa horizontal sebelumnya, berkisar 4,1–4,4 bar. Selain pengaruh gesekan, kondisi ini juga dipengaruhi oleh komponen tekanan hidrostatik, terutama jika aliran bergerak melawan arah gravitasi [10]. secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem pompa

menghasilkan tekanan maksimum sekitar 5,6 bar dan mengalami penurunan tekanan total sekitar 1,6–1,7 bar hingga ujung pipa. Informasi ini dapat digunakan sebagai dasar untuk perhitungan head pompa, evaluasi kehilangan energi sistem, serta verifikasi kecukupan tekanan operasi sesuai dengan kebutuhan proses dan spesifikasi peralatan.

Distribusi Tekanan



Gambar 8. Distribusi Kecepatan Aliran

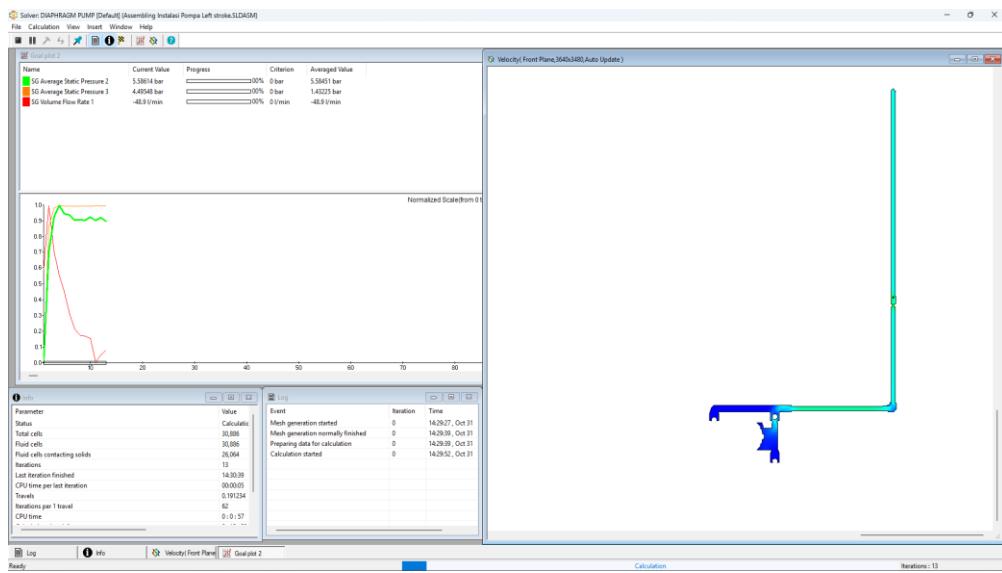
Gambar 8. memperlihatkan hasil simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics) berupa distribusi kecepatan fluida pada sistem pompa dan pipa, yang divisualisasikan dalam bentuk cut plot contours pada iterasi ke-89. Besaran yang ditampilkan adalah kecepatan aliran (velocity) dengan satuan m/s. Berdasarkan skala warna, kecepatan fluida berada pada rentang 0 – 3,62 m/s. Warna biru tua menunjukkan daerah dengan kecepatan sangat rendah (<0,5 m/s), sedangkan warna hijau hingga kuning menunjukkan daerah dengan kecepatan menengah hingga tinggi ($\pm 2,0$ – $3,6$ m/s).

Pada bagian inlet dan ruang dalam rumah pompa, kecepatan fluida relatif rendah, berkisar antara 0,3–1,2 m/s. Kondisi ini disebabkan oleh pembesaran penampang aliran, perubahan arah fluida, serta pengaruh gesekan dinding pompa yang menyebabkan energi kinetik fluida masih terbatas. Selain itu, terdapat indikasi zona aliran lambat (low velocity zone) di sudut-sudut casing yang berpotensi menimbulkan aliran resirkulasi [11]. Memasuki saluran keluar pompa (outlet), kecepatan fluida meningkat secara signifikan hingga berada pada kisaran 2,0–3,0 m/s. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pompa berhasil mengonversi energi mekanik menjadi energi kinetik fluida, sehingga aliran menjadi lebih terarah dan stabil sebelum masuk ke pipa [12]. Sepanjang pipa lurus horizontal dan vertikal, kecepatan aliran relatif konstan dan seragam, dengan nilai rata-rata sekitar 2,5–3,0 m/s. Kondisi ini mengindikasikan bahwa aliran telah mencapai keadaan fully developed flow, di mana profil kecepatan tidak lagi banyak berubah terhadap panjang pipa. Pada bagian belokan pipa, terlihat variasi kecepatan lokal, ditandai dengan perubahan warna dari hijau ke hijau kebiruan. Hal ini menunjukkan adanya penurunan kecepatan sesaat akibat perubahan arah aliran serta peningkatan kerugian minor (minor losses), yang dapat memicu peningkatan turbulensi lokal [13].

Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem pompa mampu menghasilkan kecepatan aliran maksimum hingga $\pm 3,6$ m/s, dengan distribusi kecepatan yang relatif stabil di sepanjang pipa. Data ini dapat digunakan sebagai dasar untuk

perhitungan debit aliran, analisis kehilangan energi, serta evaluasi potensi kavitas atau keausan komponen akibat variasi kecepatan aliran fluida.

Analisa Debit Aliran (Volume Rate Analysis)



Gambar 9. Analisa Debit Aliran (Volume Rate Analysis)

Pada Gambar 9. hasil simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) pada sistem pompa diafragma dan instalasi pipa menunjukkan karakteristik aliran fluida yang stabil dan konvergen. Hal ini ditunjukkan oleh grafik residual yang menurun secara signifikan pada iterasi awal dan kemudian mencapai kondisi stabil, menandakan bahwa solusi numerik telah memenuhi kriteria konvergensi [14]. Parameter global hasil simulasi menunjukkan bahwa pompa mampu menghasilkan tekanan statik rata-rata pada kisaran $\pm 5,3$ – $5,6$ bar dengan debit aliran sekitar $\pm 48,9$ L/menit, yang sesuai dengan karakteristik kerja pompa diafragma sebagai pompa positive displacement.

Visualisasi distribusi kecepatan aliran memperlihatkan bahwa pada bagian inlet dan ruang dalam rumah pompa, kecepatan fluida relatif rendah. Kondisi ini disebabkan oleh pembesaran penampang aliran, perubahan arah fluida, serta pengaruh gesekan dinding pompa yang menyebabkan energi kinetik fluida masih terbatas. Selain itu, terlihat adanya zona kecepatan rendah (low velocity zone) di beberapa sudut casing yang berpotensi menimbulkan aliran resirkulasi [15]. Memasuki saluran keluar pompa (outlet), kecepatan fluida meningkat secara signifikan, menunjukkan bahwa pompa berhasil mengonversi energi mekanik menjadi energi kinetik fluida sehingga aliran menjadi lebih terarah dan stabil sebelum memasuki pipa [16].

Sepanjang pipa lurus, baik pada konfigurasi horizontal maupun vertikal, distribusi kecepatan fluida relatif seragam dan konstan. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran telah mencapai kondisi fully developed flow dan sistem pipa bekerja secara stabil tanpa fluktuasi kecepatan yang signifikan. Pada bagian belokan pipa, terlihat variasi kecepatan lokal akibat perubahan arah aliran yang menyebabkan peningkatan turbulensi lokal dan kerugian tekanan minor (minor losses) [17]. Secara keseluruhan, hasil simulasi ini menunjukkan bahwa sistem pompa diafragma mampu bekerja secara efektif, sekaligus mengidentifikasi area-area kritis yang berpotensi menyebabkan kehilangan energi, sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi performa dan optimasi desain sistem pemompaan

Hasil Aktual

Untuk mengukur nilai viskositas dinamik fluida, perlu melakukan pengujian kecepatan dengan menggunakan terminal bola dengan menggunakan metode stoke, dari hasil pengujian didapat nilai yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Pengujian Kecepatan Terminal Bola (vt)

$l = 0,016 \text{ m}$	
Percobaan ke -	Waktu (s)
1	0,21
2	0,23
3	0,23
4	0,20
5	0,23

Berdasarkan hasil data tersebut didapat nilai rata-rata untuk waktu Adalah 0.022, sehingga dengan menggunakan persamaan kecepatan $v = \frac{l}{t}$ m/s, maka didapat nilai kecepatan terminal dari pengujian Adalah 0.7272 m/s. Untuk parameter fluida yang diuji dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Parameter Fluida yang Diuji

No	Parameter	Ukuran
1	Diameter Bola (D)	0,0315 m
2	Volume Bola (V bola)	0,00013 m ³
3	Massa Bola (m bola)	0,033 Kg
4	Massa Jenis Bola (ρ_1)	2065 Kg/m ³
5	Volume Fluida (V Fluida)	1750 ml
6	Massa Fluida (m Fluida)	0,934 Kg
7	Massa Jenis Fluida (ρ_2)	533 Kg/m ³

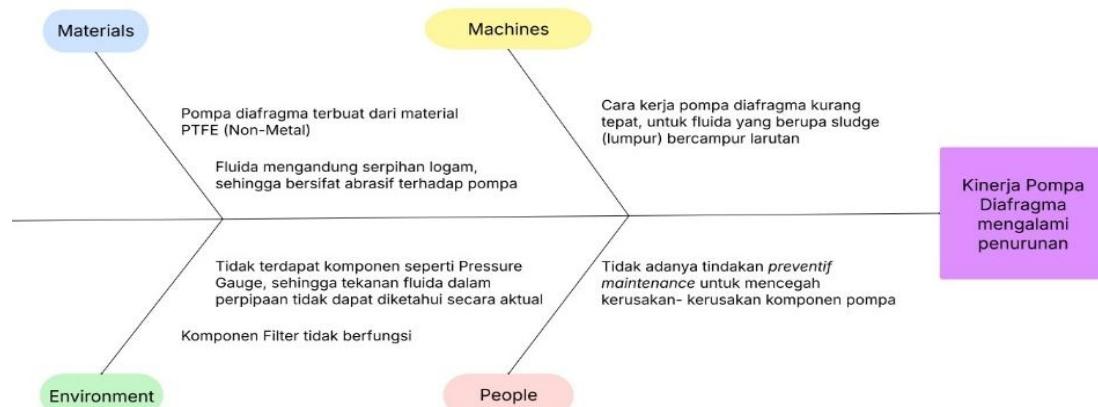
Untuk mendapatkan debit aktual perlu diketahui frekuensi kerja pompa, berikut data frekuensi kerja pompa dan Debit aliran pompa aktual berdasarkan hasil pengamatan yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Frekuesi Kerja dan Debit Aliran Pompa

Pengujian Ke-	n	Frekuensi (siklus/ menit)	Qth (liter/menit)
1	126	252	54.29
2	123	246	52.99

3	122	244	52.56
4	123	246	52.99
5	124	248	53.43
6	123	246	52.99
7	124	248	53.43
8	123	246	52.99
9	122	244	52.56
10	123	246	52.99
Rata-rata	123,3	246,6	53.12

Dari perhitungan aktual debit pompa diafragma menunjukkan hasil bahwa nilai debit pompa diafragma adalah 53,12 liter/menit sedangkan nilai debit dari simulasi CFD sebesar 48,9 liter/ menit. Hasil ini menunjukkan ada selisih nilai sebesar 4,22 liter/ menit. Perbedaan nilai debit hasil simulasi CFD dan nilai debit hasil perhitungan aktual merupakan hal yang sering terjadi, karena perhitungan aktual tidak mempertimbangkan beberapa faktor dalam debit aliran seperti rugi-rugi dan fenomena lainnya, sedangkan simulasi mempertimbangkan fenomena aliran yang terjadi saat kerja atau lebih kompleks [18]. Untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang menyebabkan penurunan kinerja pompa diafragma Wilden P200, digunakan pendekatan Fishbone Diagram atau Ishikawa Diagram. Metode ini membantu memetakan faktor penyebab berdasarkan kelompok utama, yaitu Materials, Machines, Environment, dan People. Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan kinerja pompa tidak hanya disebabkan oleh satu faktor tunggal, tetapi merupakan kombinasi dari beberapa aspek yang saling berkaitan. Adapun fishbone diagramnya dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Fishbone penyebab penurunan kinerja pompa

Pada kategori material, pompa diafragma pada instalasi ini menggunakan komponen berbahan PTFE (non-metal), yang sebenarnya memiliki ketahanan kimia yang baik terhadap fluida agresif. Namun demikian, fluida yang dipompa mengandung lumpur (sludge) serta serpihan logam yang bersifat abrasif [19]. Material abrasif ini berpotensi mempercepat keausan pada komponen internal pompa, terutama check valve dan

diaphragm [20]. Kondisi ini mengakibatkan penurunan performa pompa secara bertahap karena karakteristik fluida tidak sesuai dengan spesifikasi optimal material pompa.

Dari aspek mesin, pompa diafragma pada instalasi ini kurang tepat digunakan untuk fluida yang bersifat slurry atau sludge yang tercampur larutan kimia. Aliran fluida dengan densitas tinggi dan padatan tersuspensi menyebabkan beban kerja pompa meningkat dan berpotensi menimbulkan rugi tekanan yang lebih besar [21]. Selain itu, tidak terdapat peralatan pendukung seperti pressure gauge pada jalur perpipaan, sehingga tekanan kerja aktual tidak dapat dipantau secara langsung. Hal ini menyulitkan operator dalam mengetahui kondisi operasional pompa dan mendeteksi terjadinya abnormalitas pada sistem.

Lingkungan operasi juga memengaruhi kinerja pompa. Sludge fluida memiliki sifat abrasif dan viskositas tinggi, sehingga mudah menimbulkan sedimentasi pada jalur perpipaan. Endapan tersebut menyebabkan penyempitan jalur aliran dan meningkatkan headloss, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap penurunan debit aktual pompa [22]. Selain itu, komponen filter pada sistem tidak berfungsi sebagaimana mestinya sehingga partikel padat masuk ke dalam pompa tanpa penyaringan, mempercepat kerusakan internal.

Faktor manusia juga menjadi salah satu penyebab utama penurunan kinerja pompa. Tidak adanya tindakan preventive maintenance yang terjadwal, seperti inspeksi filter, pengecekan tekanan, dan perawatan rutin pada check valve, menyebabkan kondisi pompa memburuk tanpa terdeteksi. Minimnya monitoring dari operator serta tidak adanya SOP inspeksi berkala membuat kerusakan kecil berpotensi berkembang menjadi kerusakan besar yang berdampak langsung pada performa pompa [23].

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil permodelan pompa diafragma dapat dirancang menggunakan SolidWorks dari hasil permodelan ini juga dapat menjelaskan dan menggambarkan bentuk komponen - komponen pompa diafragma secara lebih detail, sehingga membantu dalam memahami cara kerja sistem hisap dan tekan pada pompa serta fungsi pada setiap komponen-komponennya. Perbandingan antara hasil simulasi dan perhitungan aktual menunjukkan adanya selisih nilai parameter aliran (seperti debit dan tekanan) yang signifikan. Dari hasil analisis yang diperoleh dari hasil perhitungan teoritis Adalah 53,12 liter/ menit dan perhitungan debit aktual adalah 48,9 liter/ menit. Hal ini mengindikasikan kemungkinan adanya gangguan pada komponen pompa, seperti penyumbatan pada jalur aliran, keausan diafragma, atau ketidak sempurnaan pada sistem katup. Metode perawatan yang direkomendasikan berdasarkan hasil analisis adalah penerapan preventive maintenance dalam bentuk perbaikan filter, pengecekan kondisi diafragma, dan inspeksi berkala terhadap sistem pipa dan katup, serta perlu adanya bentuk perpipaan dari instalasi agar headloss lebih kecil. Hal ini dinilai efektif untuk mencegah terjadinya penurunan kinerja serta memperpanjang umur operasional pompa diafragma. Penurunan kinerja pompa diafragma Wilden P200 terjadi akibat kombinasi faktor material fluida yang abrasif, pemilihan dan kondisi mesin yang kurang sesuai dengan karakteristik sludge, lingkungan operasi yang memicu sedimentasi pada perpipaan, serta tidak adanya tindakan preventive maintenance dan monitoring tekanan secara rutin, sehingga kerusakan komponen internal dan hambatan aliran berkembang tanpa terdeteksi dan menyebabkan penurunan performa pompa secara bertahap.

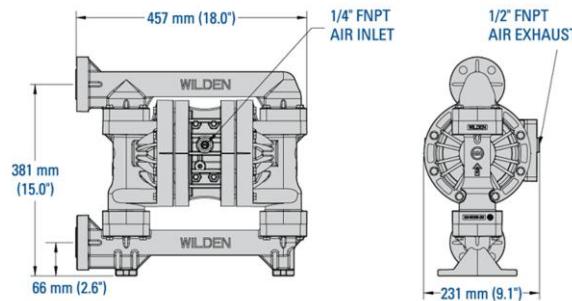
DAFTAR PUSTAKA

Pompa diafragma merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah energi mekanik menjadi energi fluida yang berupa tekanan dan aliran. Pompa diafragma termasuk jenis pompa *positive displacement* karena prinsip kerjanya didasarkan dengan cara sejumlah cairan dijebak dalam ruang dan volumenya secara mekanik menurun, menyebabkan peningkatan tekanan tertentu kemudian dialirkan keluar [1]. Pompa diafragma dapat menghasilkan aliran yang stabil, operasi yang andal, serta kemampuan untuk memompa berbagai jenis cairan yang kental. Pompa ini digunakan di berbagai industri seperti pertambangan, petrokimia, pulp dan kertas, serta industri manufaktur lainnya diafragma merupakan komponen penting dalam sistem pemindahan fluida pada bagian Fluid Utility, khususnya pada proses sedimentasi dan pengangkutan lumpur menuju sludge thickener [2]. Kegagalan pompa dapat menghambat proses pengolahan limbah dan berpotensi menimbulkan gangguan operasional. Hasil observasi awal pada pompa Wilden P200 menunjukkan penurunan debit aktual yang cukup signifikan, meningkatnya tekanan diferensial, serta indikasi kerusakan pada beberapa komponen. Selain itu ditemukan ketidaksesuaian instalasi dengan standar pabrikan, seperti kondisi filter yang tidak bekerja dan adanya sedimentasi pada jalur pipa.

Untuk mengidentifikasi penyebab kerusakan dan menentukan metode perawatan yang tepat, dilakukan pendekatan inspection dan diagnosing faults, dikombinasikan dengan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menggunakan *SolidWorks Flow Simulation* [3]. Dalam konteks ini, penerapan analisis aliran fluida pada pompa diafragma menggunakan perangkat lunak *SolidWorks* dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) yang mana pompa dimodelkan dalam bentuk virtual dan dianalisa secara komprehensif, sehingga potensi permasalahan dapat diidentifikasi lebih awal. Hasil analisis diharapkan dapat mendukung upaya peningkatan keandalan pompa diafragma, sekaligus menjadi dasar dalam penyusunan strategi untuk meningkatkan keandalan peralatan..

TINJAUAN PUSTAKA

Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi pompa diafragma Wilden P200 jenis *Air Operated Double Diaphragm* (AODD) yang beroperasi pada area *Waste Water Treatment Plant* (WWTP) PT Latinusa, Tbk. Pompa ini memiliki diameter inlet dan outlet sebesar 1 inch, diameter torak membran 0,099 meter, panjang langkah 0,028 meter, tekanan kerja udara 5,6 bar, serta menggunakan membran berbahan PTFE. Fluida yang dipompa merupakan lumpur hasil proses sedimentasi dengan karakteristik viskositas tinggi dan kandungan padatan yang berpotensi menyebabkan penyumbatan pada instalasi [4]. Selain itu, material penelitian mencakup instalasi pipa, *filter inlet*, *check valve*, serta *fitting* yang digunakan dalam sistem. Perangkat lunak *SolidWorks Flow Simulation* digunakan untuk melakukan analisis aliran internal pada sistem. Adapun model pompa diafragmnya dapat dilihat pada Gambar 1.

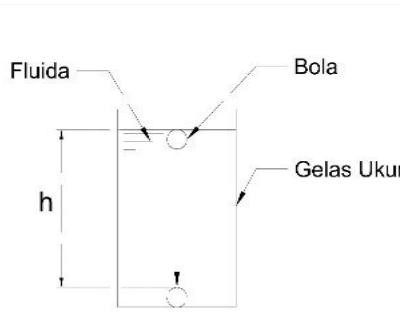


Gambar 1. Pompa Wilden P200

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian terdiri dari empat tahap, yaitu inspeksi lapangan, pengukuran parameter operasi, perhitungan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD) dan aktual. Tahap inspeksi dilakukan untuk menilai kondisi fisik pompa dan instalasi, termasuk pemeriksaan membran, *valve seat*, *valve ball*, filter, serta kondisi pipa seperti sedimentasi dan penyempitan aliran. Observasi kondisi operasional juga dilakukan dengan mengamati getaran pompa, kestabilan tekanan udara, dan kebersihan jalur aliran. Wawancara dengan teknisi pemeliharaan dilakukan untuk memperoleh informasi tambahan mengenai riwayat kerusakan dan kegiatan perawatan sebelumnya.

Tahap pengukuran parameter operasi meliputi pengukuran debit aktual menggunakan metode volumetrik, frekuensi *stroke* pompa, serta tekanan pada sisi inlet dan outlet. Viskositas fluida ditentukan menggunakan metode Stokes untuk mendapatkan nilai viskositas dinamik berdasarkan pergerakan bola uji dalam fluida [5]. Adapun metode stokes memanfaatkan konsep gaya yang bekerja pada bola yang jatuh bebas dalam fluida yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram cara pengujian viskositas dinamik metode stoke

Sedangkan untuk mencari viskositas dinamik dapat menggunakan persamaan (1) berikut :

$$\mu = \frac{2 \cdot g \cdot r^2 \cdot (\rho_1 - \rho_2)}{9 \cdot Vb} \quad (1)$$

Dimana :

g : Percepatan Gravitasi

r : Jari – jari Bola

ρ_1 : Massa jenis Bola

- ρ : Massa jenis Fluida
 v_b : Kecepatan jatuh bola

Selanjutnya, perhitungan teoritis dilakukan untuk memperoleh debit aktual menggunakan parameter geometri pompa dan frekuensi stroke yang dapat dilihat pada persamaan (2) berikut :

$$Q_{th} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot S \cdot f \quad (2)$$

Dimana :

- D : Diameter penampang membran (m)
 π : perbandingan besar keliling lingkaran dengan luas lingkaran
 S : Panjang Langkah (m)
 f : Frekuensi (siklus/ menit)

Untuk kehilangan tekanan pada sistem perpipaan akibat gesekan antara fluida dan dinding pipa dinyatakan dengan persamaan Darcy–Weisbach sebagai pada persamaan (3) berikut :

$$\Delta P = \rho \frac{V^2}{2} \left(f \frac{L}{D} + \sum K \right) \quad (3)$$

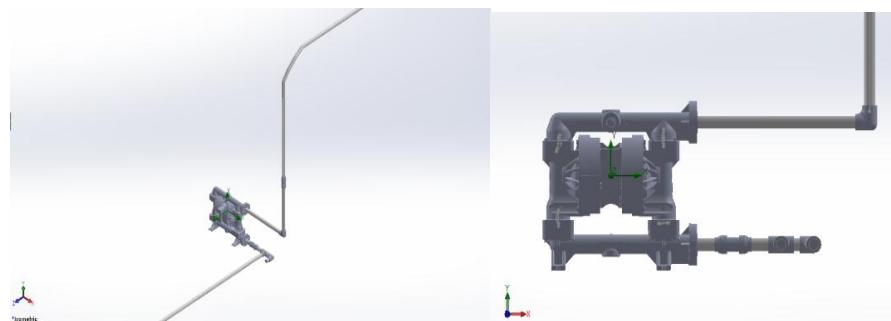
Dimana :

- ΔP : Penurunan tekanan total (Pa)
 f : Faktor gesek Darcy (tanpa satuan)
 L : Panjang pipa (m)
 D : Diameter pipa (m)
 $\sum K$: Jumlah koefisien kehilangan minor
 V : Kecepatan aliran (m/s)

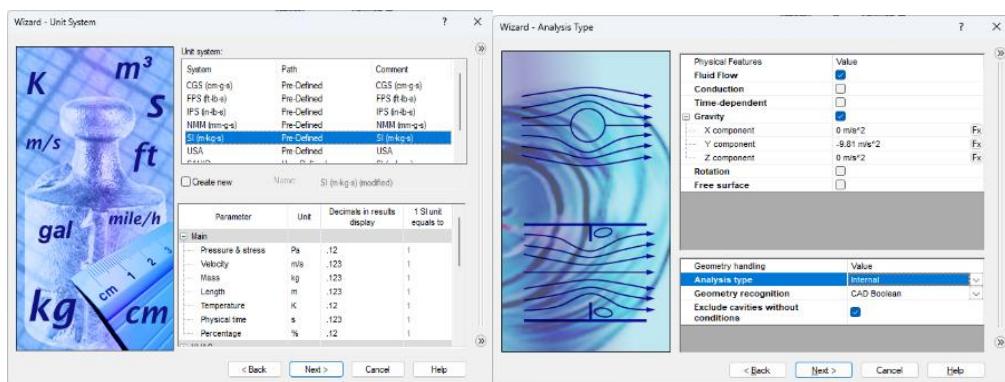
Persamaan tersebut menunjukkan bahwa penurunan tekanan (ΔP) berbanding lurus dengan kuadrat kecepatan aliran serta panjang pipa, dan berbanding terbalik dengan diameter pipa. Dengan demikian, semakin panjang dan semakin kecil diameter pipa, atau semakin banyak komponen sambungan seperti elbow dan valve, maka rugi tekanan yang terjadi akan semakin besar. Apabila tekanan diferensial (ΔP) diketahui, baik dari hasil pengukuran eksperimental maupun simulasi numerik, seperti Computational Fluid Dynamics (CFD) atau sensor tekanan pada sistem pompa, maka persamaan tersebut dapat dimanipulasi untuk menentukan kecepatan aliran (V). Kecepatan aliran akan meningkat seiring dengan bertambahnya tekanan yang diberikan oleh pompa, namun akan menurun akibat pengaruh faktor gesekan, panjang pipa, serta jumlah dan jenis komponen sambungan dalam sistem perpipaan [6]. yang dapat dirumuskan menggunakan persamaan (4) berikut :

$$V = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho \left(f \frac{L}{D} + \Sigma K \right)}} \quad (4)$$

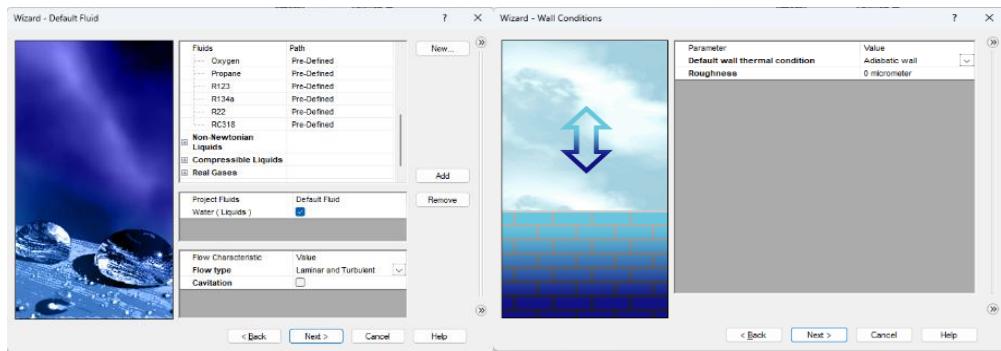
Simulasi CFD dilakukan untuk memvisualisasikan pola aliran dan distribusi tekanan pada pompa dan instalasi pipa. Tahapan simulasi meliputi pembuatan model geometri pompa dan pipa, penentuan domain fluida, pengaturan boundary conditions seperti tekanan inlet dan outlet, serta pemilihan jenis fluida sesuai karakteristik lumpur WWTP. Simulasi dilakukan dalam mode internal flow dengan kondisi steady-state. Hasil simulasi berupa visualisasi tekanan, kecepatan aliran, dan pola distribusi fluida yang digunakan untuk mengidentifikasi area penyempitan aliran, peningkatan tekanan lokal, dan potensi terjadinya hambatan aliran. Seluruh hasil pengukuran, perhitungan, dan simulasi kemudian dianalisis secara terpadu untuk mengidentifikasi penyebab degradasi performa pompa [7]. Adapun tahapan yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar 4. Dan Gambar 5.



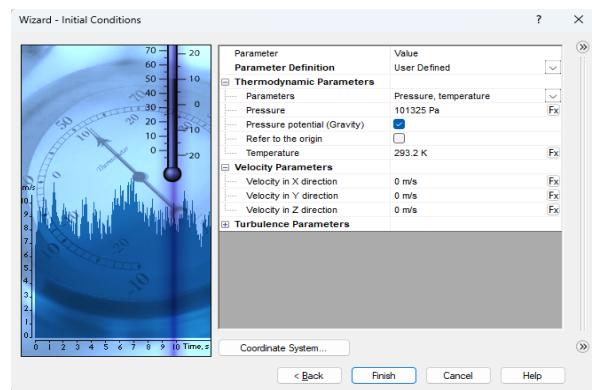
Gambar 3. Pembuatan Model Pompa



Gambar 4. Pemilihan Satuan dan Tipe Analisis



Gambar 5. Penyesuaian Jenis Fluida

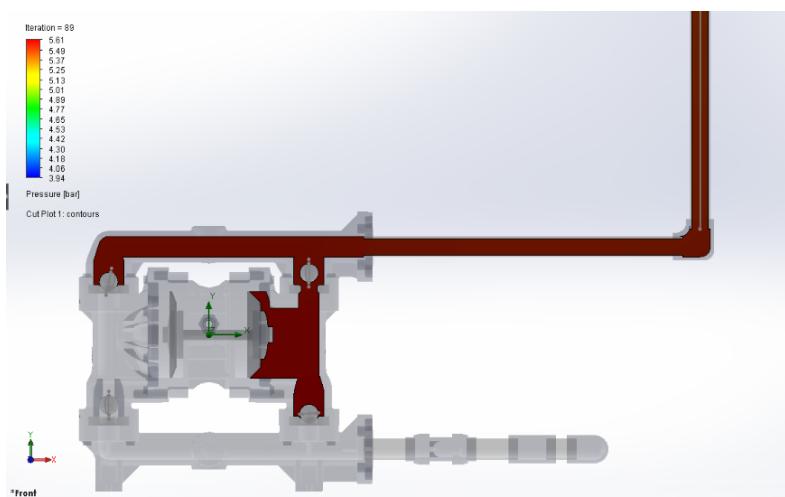


Gambar 6. Initial Condition

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Simulasi CFD

4.1.1 Distribusi Tekanan



Gambar 7. Distribusi Tekanan

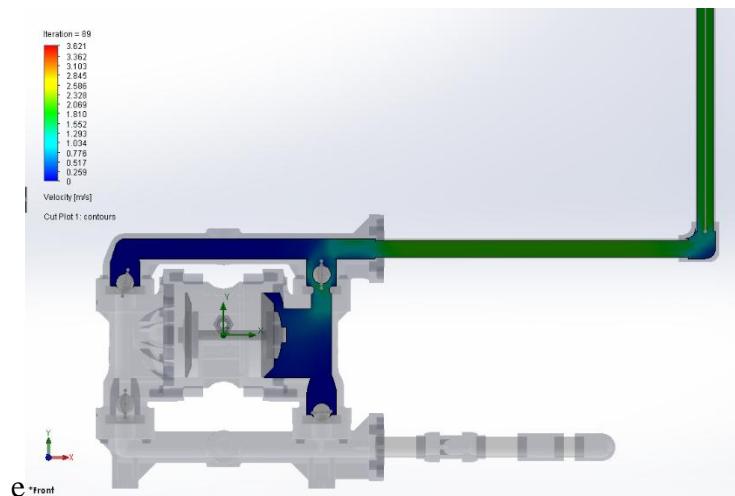
Gambar 7. menampilkan hasil simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) berupa distribusi tekanan fluida pada sistem pompa dan pipa, yang divisualisasikan dalam bentuk

Cut Plot – Contours pada iterasi ke-89. Parameter yang dianalisis adalah tekanan statik (pressure) dengan satuan bar. Berdasarkan skala warna, tekanan fluida berada pada rentang $\pm 3,94$ hingga 5,61 bar. Warna biru tua merepresentasikan tekanan terendah, sedangkan merah tua menunjukkan tekanan tertinggi. Selisih tekanan maksimum–minimum pada sistem ini adalah sekitar 1,67 bar, yang mencerminkan energi tekanan yang dihasilkan dan sekaligus kehilangan tekanan sepanjang aliran.

Pada bagian rumah pompa (casing), tekanan fluida berada pada kisaran 5,2–5,6 bar dan relatif merata. Kondisi ini menunjukkan bahwa pompa mampu menaikkan tekanan fluida secara efektif dan stabil sebelum dialirkan ke saluran keluaran. Distribusi tekanan yang homogen di dalam casing juga mengindikasikan bahwa tidak terdapat fluktuasi tekanan ekstrem yang berpotensi menimbulkan getaran atau ketidakstabilan aliran [8]. Memasuki pipa keluaran horizontal, tekanan fluida mulai mengalami penurunan bertahap hingga berada pada kisaran 4,8–5,1 bar. Penurunan ini disebabkan oleh kerugian tekanan mayor (major losses) akibat gesekan fluida dengan dinding pipa. Besarnya penurunan tekanan sebanding dengan panjang pipa, sifat fluida, dan kekasaran permukaan pipa [9]. Pada bagian belokan pipa (elbow), terlihat gradien tekanan yang lebih jelas. Tekanan fluida setelah belokan turun hingga sekitar 4,3–4,6 bar, yang menunjukkan adanya kerugian tekanan minor (minor losses) akibat perubahan arah aliran secara tajam dan peningkatan turbulensi lokal.

Sepanjang pipa vertikal, tekanan relatif stabil namun sedikit lebih rendah dibandingkan pipa horizontal sebelumnya, berkisar 4,1–4,4 bar. Selain pengaruh gesekan, kondisi ini juga dipengaruhi oleh komponen tekanan hidrostatik, terutama jika aliran bergerak melawan arah gravitasi [10]. secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem pompa menghasilkan tekanan maksimum sekitar 5,6 bar dan mengalami penurunan tekanan total sekitar 1,6–1,7 bar hingga ujung pipa. Informasi ini dapat digunakan sebagai dasar untuk perhitungan head pompa, evaluasi kehilangan energi sistem, serta verifikasi kecukupan tekanan operasi sesuai dengan kebutuhan proses dan spesifikasi peralatan.

4.1.2 Distribusi Tekanan



Gambar 8. Distribusi Kecepatan Aliran

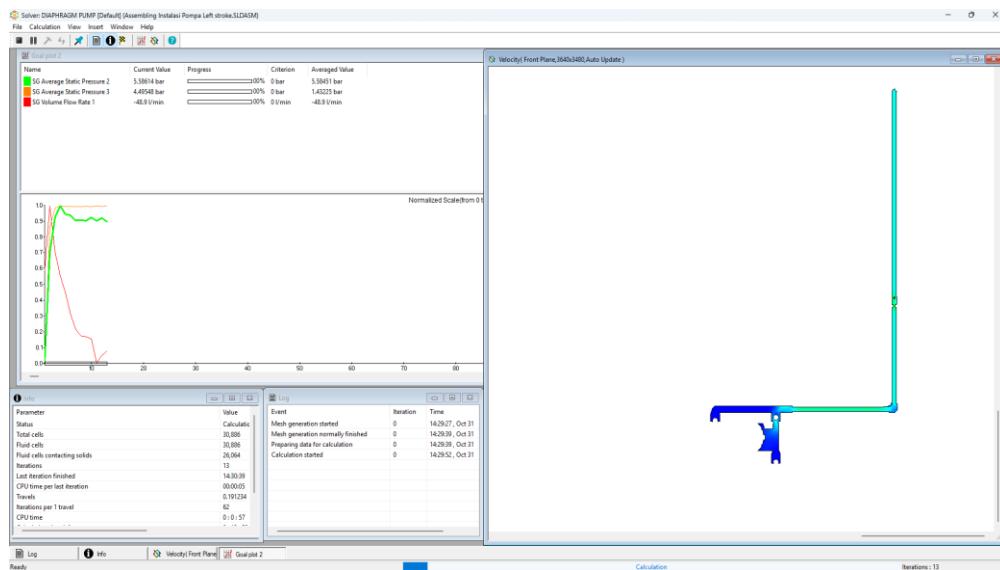
Gambar 8. memperlihatkan hasil simulasi CFD (Computational Fluid Dynamics) berupa distribusi kecepatan fluida pada sistem pompa dan pipa, yang divisualisasikan dalam bentuk cut plot contours pada iterasi ke-89. Besaran yang ditampilkan adalah kecepatan aliran (velocity) dengan satuan m/s. Berdasarkan skala warna, kecepatan fluida berada pada

rentang 0 – 3,62 m/s. Warna biru tua menunjukkan daerah dengan kecepatan sangat rendah (<0,5 m/s), sedangkan warna hijau hingga kuning menunjukkan daerah dengan kecepatan menengah hingga tinggi ($\pm 2,0$ –3,6 m/s).

Pada bagian inlet dan ruang dalam rumah pompa, kecepatan fluida relatif rendah, berkisar antara 0,3–1,2 m/s. Kondisi ini disebabkan oleh pembesaran penampang aliran, perubahan arah fluida, serta pengaruh gesekan dinding pompa yang menyebabkan energi kinetik fluida masih terbatas. Selain itu, terdapat indikasi zona aliran lambat (low velocity zone) di sudut-sudut casing yang berpotensi menimbulkan aliran resirkulasi [11]. Memasuki saluran keluar pompa (outlet), kecepatan fluida meningkat secara signifikan hingga berada pada kisaran 2,0–3,0 m/s. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pompa berhasil mengonversi energi mekanik menjadi energi kinetik fluida, sehingga aliran menjadi lebih terarah dan stabil sebelum masuk ke pipa [12]. Sepanjang pipa lurus horizontal dan vertikal, kecepatan aliran relatif konstan dan seragam, dengan nilai rata-rata sekitar 2,5–3,0 m/s. Kondisi ini mengindikasikan bahwa aliran telah mencapai keadaan fully developed flow, di mana profil kecepatan tidak lagi banyak berubah terhadap panjang pipa. Pada bagian belokan pipa, terlihat variasi kecepatan lokal, ditandai dengan perubahan warna dari hijau ke hijau kebiruan. Hal ini menunjukkan adanya penurunan kecepatan sesaat akibat perubahan arah aliran serta peningkatan kerugian minor (minor losses), yang dapat memicu peningkatan turbulensi lokal [13].

Secara keseluruhan, hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem pompa mampu menghasilkan kecepatan aliran maksimum hingga $\pm 3,6$ m/s, dengan distribusi kecepatan yang relatif stabil di sepanjang pipa. Data ini dapat digunakan sebagai dasar untuk perhitungan debit aliran, analisis kehilangan energi, serta evaluasi potensi kavitas atau keausan komponen akibat variasi kecepatan aliran fluida.

4.1.3 Analisa Debit Aliran (Volume Rate Analysis)



Gambar 9. Analisa Debit Aliran (Volume Rate Analysis)

Pada Gambar 9. hasil simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) pada sistem pompa diafragma dan instalasi pipa menunjukkan karakteristik aliran fluida yang stabil dan konvergen. Hal ini ditunjukkan oleh grafik residual yang menurun secara signifikan pada iterasi awal dan kemudian mencapai kondisi stabil, menandakan bahwa solusi numerik

telah memenuhi kriteria konvergensi [14]. Parameter global hasil simulasi menunjukkan bahwa pompa mampu menghasilkan tekanan statik rata-rata pada kisaran $\pm 5,3-5,6$ bar dengan debit aliran sekitar $\pm 48,9$ L/menit, yang sesuai dengan karakteristik kerja pompa diafragma sebagai pompa positive displacement.

Visualisasi distribusi kecepatan aliran memperlihatkan bahwa pada bagian inlet dan ruang dalam rumah pompa, kecepatan fluida relatif rendah. Kondisi ini disebabkan oleh pembesaran penampang aliran, perubahan arah fluida, serta pengaruh gesekan dinding pompa yang menyebabkan energi kinetik fluida masih terbatas. Selain itu, terlihat adanya zona kecepatan rendah (low velocity zone) di beberapa sudut casing yang berpotensi menimbulkan aliran resirkulasi [15]. Memasuki saluran keluar pompa (outlet), kecepatan fluida meningkat secara signifikan, menunjukkan bahwa pompa berhasil mengonversi energi mekanik menjadi energi kinetik fluida sehingga aliran menjadi lebih terarah dan stabil sebelum memasuki pipa [16].

Sepanjang pipa lurus, baik pada konfigurasi horizontal maupun vertikal, distribusi kecepatan fluida relatif seragam dan konstan. Hal ini mengindikasikan bahwa aliran telah mencapai kondisi fully developed flow dan sistem pipa bekerja secara stabil tanpa fluktuasi kecepatan yang signifikan. Pada bagian belokan pipa, terlihat variasi kecepatan lokal akibat perubahan arah aliran yang menyebabkan peningkatan turbulensi lokal dan kerugian tekanan minor (minor losses) [17]. Secara keseluruhan, hasil simulasi ini menunjukkan bahwa sistem pompa diafragma mampu bekerja secara efektif, sekaligus mengidentifikasi area-area kritis yang berpotensi menyebabkan kehilangan energi, sehingga dapat digunakan sebagai dasar evaluasi performa dan optimasi desain sistem pemompaan

Hasil Aktual

Untuk mengukur nilai viskositas dinamik fluida, perlu melakukan pengujian kecepatan dengan menggunakan terminal bola dengan menggunakan metode stoke, dari hasil pengujian didapat nilai yang dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Data Pengujian Kecepatan Terminal Bola (vt)

$l = 0,016$ m	
Percobaan ke -	Waktu (s)
1	0,21
2	0,23
3	0,23
4	0,20
5	0,23

Berdasarkan hasil data tersebut didapat nilai rata-rata untuk waktu Adalah 0.022, sehingga dengan menggunakan persamaan kecepatan $v = m/s$, maka didapat nilai kecepatan terminal dari pengujian Adalah 0.7272 m/s. Untuk parameter fluida yang diuji dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. Parameter Fluida yang Diuji

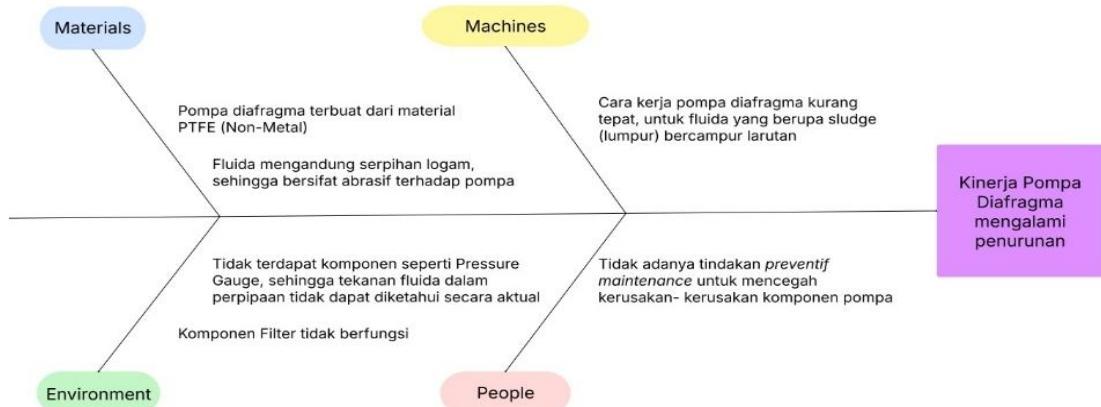
No	Parameter	Ukuran
1	Diameter Bola (D)	0,0315 m
2	Volume Bola (V bola)	0,00013 m ³
3	Massa Bola (m bola)	0,033 Kg
4	Massa Jenis Bola (ρ_1)	2065 Kg/m ³
5	Volume Fluida (V Fluida)	1750 ml
6	Massa Fluida (m Fluida)	0,934 Kg
7	Massa Jenis Fluida (ρ_2)	533 Kg/m ³

Untuk mendapatkan debit aktual perlu diketahui frekuensi kerja pompa, berikut data frekuensi kerja pompa dan Debit aliran pompa aktual berdasarkan hasil pengamatan yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Frekuesi Kerja dan Debit Aliran Pompa

Pengujian Ke-	n	Frekuensi (siklus/ menit)	Qth (liter/menit)
1	126	252	54.29
2	123	246	52.99
3	122	244	52.56
4	123	246	52.99
5	124	248	53.43
6	123	246	52.99
7	124	248	53.43
8	123	246	52.99
9	122	244	52.56
10	123	246	52.99
Rata-rata	123,3	246,6	53.12

Dari perhitungan aktual debit pompa diafragma menunjukkan hasil bahwa nilai debit pompa diafragma adalah 53,12 liter/menit sedangkan nilai debit dari simulasi CFD sebesar 48,9 liter/ menit. Hasil ini menunjukkan ada selisih nilai sebesar 4.22 liter/ menit. Perbedaan nilai debit hasil simulasi CFD dan nilai debit hasil perhitungan aktual merupakan hal yang sering terjadi, karena perhitungan aktual tidak mempertimbangkan beberapa faktor dalam debit aliran seperti rugi-rugi dan fenomena lainnya, sedangkan simulasi mempertimbangkan fenomena aliran yang terjadi saat kerja atau lebih kompleks [18]. Untuk mengidentifikasi faktor-faktor utama yang menyebabkan penurunan kinerja pompa diafragma Wilden P200, digunakan pendekatan Fishbone Diagram atau Ishikawa Diagram. Metode ini membantu memetakan faktor penyebab berdasarkan kelompok utama, yaitu Materials, Machines, Environment, and People. Hasil analisis menunjukkan bahwa penurunan kinerja pompa tidak hanya disebabkan oleh satu faktor tunggal, tetapi merupakan kombinasi dari beberapa aspek yang saling berkaitan. Adapun fishbone diagramnya dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram Fishbone penyebab penurunan kinerja pompa

Pada kategori material, pompa diafragma pada instalasi ini menggunakan komponen berbahan PTFE (non-metal), yang sebenarnya memiliki ketahanan kimia yang baik terhadap fluida agresif. Namun demikian, fluida yang dipompa mengandung lumpur (sludge) serta serpihan logam yang bersifat abrasif [19]. Material abrasif ini berpotensi mempercepat kerusakan pada komponen internal pompa, terutama check valve dan diaphragm [20]. Kondisi ini mengakibatkan penurunan performa pompa secara bertahap karena karakteristik fluida tidak sesuai dengan spesifikasi optimal material pompa.

Dari aspek mesin, pompa diafragma pada instalasi ini kurang tepat digunakan untuk fluida yang bersifat slurry atau sludge yang tercampur larutan kimia. Aliran fluida dengan densitas tinggi dan padatan tersuspensi menyebabkan beban kerja pompa meningkat dan berpotensi menimbulkan rugi tekanan yang lebih besar [21]. Selain itu, tidak terdapat peralatan pendukung seperti pressure gauge pada jalur perpipaan, sehingga tekanan kerja aktual tidak dapat dipantau secara langsung. Hal ini menyulitkan operator dalam mengetahui kondisi operasional pompa dan mendeteksi terjadinya abnormalitas pada sistem.

Lingkungan operasi juga memengaruhi kinerja pompa. Sludge fluida memiliki sifat abrasif dan viskositas tinggi, sehingga mudah menimbulkan sedimentasi pada jalur perpipaan. Endapan tersebut menyebabkan penyempitan jalur aliran dan meningkatkan headloss, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap penurunan debit aktual pompa [22]. Selain itu, komponen filter pada sistem tidak berfungsi sebagaimana mestinya sehingga partikel padat masuk ke dalam pompa tanpa penyaringan, mempercepat kerusakan internal.

Faktor manusia juga menjadi salah satu penyebab utama penurunan kinerja pompa. Tidak adanya tindakan preventive maintenance yang terjadwal, seperti inspeksi filter, pengecekan tekanan, dan perawatan rutin pada check valve, menyebabkan kondisi pompa memburuk tanpa terdeteksi. Minimnya monitoring dari operator serta tidak adanya SOP inspeksi berkala membuat kerusakan kecil berpotensi berkembang menjadi kerusakan besar yang berdampak langsung pada performa pompa [23].

KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil permodelan pompa diafragma dapat dirancang menggunakan SolidWorks dari hasil permodelan ini juga dapat menjelaskan dan menggambarkan bentuk

komponen - komponen pompa diafragma secara lebih detail, sehingga membantu dalam memahami cara kerja sistem hisap dan tekan pada pompa serta fungsi pada setiap komponen-komponennya. Perbandingan antara hasil simulasi dan perhitungan aktual menunjukkan adanya selisih nilai parameter aliran (seperti debit dan tekanan) yang signifikan. Dari hasil analisis yang diperoleh dari hasil perhitungan teoritis Adalah 53,12 liter/ menit dan perhitungan debit aktual adalah 48,9 liter/ menit. Hal ini mengindikasikan kemungkinan adanya gangguan pada komponen pompa, seperti penyumbatan pada jalur aliran, keausan diafragma, atau ketidaksempurnaan pada sistem katup. Metode perawatan yang direkomendasikan berdasarkan hasil analisis adalah penerapan preventive maintenance dalam bentuk perbaikan filter, pengecekan kondisi diafragma, dan inspeksi berkala terhadap sistem pipa dan katup, serta perlu adanya bentuk perpipaan dari instalasi agar headloss lebih kecil. Hal ini dinilai efektif untuk mencegah terjadinya penurunan kinerja serta memperpanjang umur operasional pompa diafragma. Penurunan kinerja pompa diafragma Wilden P200 terjadi akibat kombinasi faktor material fluida yang abrasif, pemilihan dan kondisi mesin yang kurang sesuai dengan karakteristik sludge, lingkungan operasi yang memicu sedimentasi pada perpipaan, serta tidak adanya tindakan preventive maintenance dan monitoring tekanan secara rutin, sehingga kerusakan komponen internal dan hambatan aliran berkembang tanpa terdeteksi dan menyebabkan penurunan performa pompa secara bertahap.

DAFTAR PUSTAKA

- I. J. Karassik, J. P. Messina, W. H. Fraser, and I. J. Karassik, *Pump Handbook*.
- Q. Hu, J. Feng, Y. Kang, S. Liu, J. Huang, and K. Wang, “Research on the Scheme and System Parameter Matching of a Wastewater-Driven Diaphragm Pump Group for Slurry Transport in Deep-Sea Mining,” *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 13, no. 10, pp. 1–27, 2025, doi: 10.3390/jmse13101934.
- J. M. Mesin, G. D. Septano, T. S. Ramadhoni, and H. Sumarna, “COMPARATIVE ANALYSIS OF PRESSURE AND FLOW CHARACTERISTICS IN BASIC AND MODIFIED AIR COMPRESSOR PIPELINE USING COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS IN POWER PLANT TANJUNG ENIM 3X10 MW,” vol. 25, no. 1, pp. 10–20.
- A. A. Fajri, Tb. Ade Rahmatullah, Gurruh Dwi Septano, and Nasaruddin, “Analysis of Hardness Level in Enim River for Demineralization Water Process in Thermal Power Plant Tanjung Enim,” *J. Inf. dan Teknol.*, vol. 7, pp. 67–75, 2025, doi: 10.60083/jidt.vi0.632.
- M. K. Putri *et al.*, “ANALISIS NILAI KECEPATAN TERHADAP VISKOSITAS PADA FLUIDA,” *J. Pendidikan Fis.*, vol. 8, no. 1, pp. 89–96, 2024.
- R. Shakarami and M. T. Sadeghi, “An intelligent flow measurement system based on pressure drop in straight pipeline: a deep learning approach,” *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, pp. 1–21, 2025, doi: 10.1038/s41598-025-19401-z.
- Q. Hu, J. Huang, Y. Kang, S. Liu, J. Feng, and K. Wang, “Study on the transportation characteristics of wastewater-driven deep-sea diaphragm pumps for slurry transportation,” *Appl. Ocean Res.*, vol. 158, no. January, p. 104567, 2025, doi: 10.1016/j.apor.2025.104567.
- A. Mitov, N. Nikolov, K. Nedelchev, and I. Kralov, “CFD Modeling and Experimental Validation of the Flow Processes of an External Gear Pump,” *Processes*, vol. 12, no. 2, 2024, doi: 10.3390/pr12020261.
- E. Julianto, Febriyan, Gunarto, Fuazen, and E. Sarwono, “Analisis Minor Losses Alat Uji

- Aliran Fluida Skala Laboratorium," *J. Din.*, vol. 19, no. 2, pp. 28–34, 2022.
- R. Ridwan, A. Bondan, and I. Setyawan, "Pengaruh Bentuk Saluran Terhadap Kerugian Tekanan pada Aliran Fluida Lumpur," *AME (Aplikasi Mek. dan Energi) J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 2, pp. 125–129, 2024, doi: 10.32832/ame.v10i2.1084.
- G. Peng, H. Chai, C. Liu, K. Zhao, J. Zhang, and H. Chang, "Numerical and Experimental Analysis of Internal Flow Characteristics of Four-Way Opposing Diaphragm Pump," *Water (Switzerland)*, vol. 17, no. 21, pp. 1–24, 2025, doi: 10.3390/w17213094.
- C. Kang, M. Li, S. Teng, and W. Lyu, "Effects of particle size and reciprocating frequency of the plunger on performance and flow characteristics of a diaphragm pump," *J. Chinese Inst. Eng.*, vol. 47, no. 7, pp. 853–867, 2024, doi: <https://doi.org/10.1080/02533839.2024.2383576>.
- H. Helmizar, D. Nopita, Y. Witanto, K. Shai, R. D. Eka Putra, and A. Kurniawan Mainil, "Computational Fluid Dynamics Study on Head Loss Through 90° Elbows with Curvature Radius Variation," *Int. J. Eng. Trans. B Appl.*, vol. 39, no. 6, pp. 1438–1452, 2026, doi: 10.5829/ije.2026.39.06c.12.
- H. Yanu Wijaya, J. Setiyono, and S. I. Putri, "Simulasi Computational Fluid Dynamics (Cfd) Aliran Fluida Pada Sistem Perpipaan Untuk Desalinasi Air Laut," *Online*, vol. 7, no. 1, pp. 2686–0597, 2024.
- M. B. Alberto, F. O. Jesús Manuel, and M. F. Andrés, "Numerical methodology for the CFD simulation of diaphragm volumetric pumps," *Int. J. Mech. Sci.*, vol. 150, pp. 322–336, 2019, doi: 10.1016/j.ijmecsci.2018.10.039.
- G. Gökçe, "Performance evaluation and CFD analysis of a positive displacement diaphragm pump [Master's thesis]," no. September, pp. 2–95, 2011, [Online]. Available: <https://open.metu.edu.tr/handle/11511/20858>
- E. Smyk, M. Stopel, and M. Szyca, "Simulation of Flow and Pressure Loss in the Example of the Elbow," *Water (Switzerland)*, vol. 16, no. 13, 2024, doi: 10.3390/w16131875.
- O. Dumitrescu, C. Dobromirescu, V. Dragan, I. S. Vintila, and R. Mihalache, "CFD and Experimental Comparison for Micro-Pump Performance in Space Applications: A Case Study," *Appl. Sci.*, vol. 15, no. 12, 2025, doi: 10.3390/app15126623.
- M. Shen, B. Li, Z. Zhang, L. Zhao, and G. Xiong, "Abrasive wear behavior of PTFE for seal applications under abrasive-atmosphere sliding condition," *Friction*, vol. 8, no. 4, pp. 755–767, 2020, doi: 10.1007/s40544-019-0301-7.
- Z. Wang, G. Peng, H. Chang, S. Hong, and G. Ji, "Investigation and Improvement of Centrifugal Slurry Pump Wear Characteristics via CFD-DEM Coupling," *Water (Switzerland)*, vol. 16, no. 21, 2024, doi: 10.3390/w16213050.
- S. A. EL-Agouz, H. Mohamed, and E. Nossir, "Experimental Investigation on a Slurry Pump at Different Operating Parameters," *J. Eng. Res.*, vol. 4, no. 6, pp. 81–87, 2020, doi: 10.21608/erjeng.2020.125464.
- O. Ifidon, D. S. Pandey, K. Ahmad, A. J. Jaworski, and F. Asfand, "A review of industrial pumps for viscous and non-Newtonian slurry transport," *Int. J. Thermofluids*, vol. 30, no. October 2025, 2025, doi: 10.1016/j.ijft.2025.101450.
- S. Werbinska-Wojciechowska and R. Rogowski, "Proactive Maintenance of Pump Systems Operating in the Mining Industry—A Systematic Review," *Sensors*, vol. 25, no. 8, 2025, doi: 10.3390/s25082365.