

**STUDI EKSPERIMENTAL KARAKTERISTIK ALIRAN DAN PERUBAHAN
KONSENTRASI DENSITAS DALAM SISTEM FLUIDA DUA FASE
(CAIR-PADAT)**

**EXPERIMENTAL STUDY OF FLOW CHARACTERISTICS AND CHANGES IN
DENSITY CONCENTRATION IN TWO-PHASE (LIQUID-SOLID) FLUID
SYSTEMS**

**¹Sandra Mayang Dika Ridwan, ²Syaiful Arif, ³Sustono, ⁴irwan Setiawan,
⁵Nurmisbahul Ulum**

*^{1,2,3}Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pamulang Serang Kota Serang
Jl. Raya Jakarta Km 5 No.6, Kalodran, Kec. Walantaka, Kota Serang, Banten*

email : ¹dosen10017@unpam.ac.id

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara yang rawan bencana hidrologi, di mana berpotensi tinggi terjadinya semburan lumpur di beberapa daerah. Aliran lumpur perlu disalurkan ke tempat yang sesuai, dan sistem perpipaan adalah salah satu alternatif terbaik. Melalui penelitian ini, analisis karakteristik aliran dan perubahan konsentrasi densitas pada sistem fluida dua fase (cair-padat) disajikan. Pipa PVC transparan berdiameter satu inci digunakan sebagai pipa uji. Penurunan tekanan, faktor gesekan eksperimental, dan bilangan Reynolds pada variabel eksperimen menunjukkan hubungan yang menarik antara variabel. Pada rasio debit cair-padat 10%, debit aliran berkisar antara 0,00000800 m³/s hingga 0,00001817 m³/s, sedangkan pada rasio 100%, debit mencapai 0,00002133 m³/s. Rasio debit cair-padat rasio 10% hingga 100% memiliki pengaruh terhadap peningkatan pengurangan tekanan (ΔP). Pada peningkatan densitas dari 1000 hingga 1010 (pada rasio campuran 10% hingga 20%), penurunan tekanan (ΔP) juga cenderung meningkat. Pada 10%, nilai f berkisar antara 0,0005004 hingga 0,0011364, di mana faktor gesekan eksperimental cenderung lebih rendah daripada faktor gesekan teoritis.

Kata kunci: dua fase, penurunan tekanan, kepadatan

ABSTRACT

Indonesia is a country prone to hydrological disasters, where high potentials to mud flows in some areas. The mud flows need to be channeled to the appropriate place, and the piping system is one of the best alternatives. Through this research, the analysis of flow characteristics and changes in the density concentration in two-phase (liquid-solid) fluid systems is presented. A transparent PVC pipe one inch in diameter is used as the test pipe. The pressure drop, experimental friction factor, and Reynolds number on the experimental variables show an interesting relation between the variables. At 10% ratio of liquid-solid discharge, the flow discharge ranges from 0.00000800 m³/s to 0.00001817 m³/s, while at 100% ratio, the discharge reaches 0.00002133 m³/s. The ratios of liquid-solid discharge ratio of 10% to 100% have influences on increasing pressure reduction (ΔP). At increasing density from 1000 to 1010 (at mixture ratios of 10% to 20%), the pressure drop (ΔP) also tends to increase. At 10%, the f value ranges from 0.0005004 to 0.0011364, where the experimental friction factor tends to be lower than the theoretical friction factor.

Keywords: two-phase, pressure drop, density

I. PENDAHULUAN

Aliran fluida dikenal memiliki beberapa sifat aliran, baik statis maupun dinamis, sehingga sangat menarik untuk dipelajari. Fluida cair yang mengalir melalui pipa dengan panjang tertentu menyebabkan kehilangan energi berupa penurunan tekanan, yang

disebabkan oleh kerugian besar karena gesekan di sepanjang dinding pipa dan kerugian kecil karena perubahan bentuk saluran lokal berupa belokan, katup, dan sambungan pipa. Pada kenyataannya, ini mungkin bukan satu-satunya situasi, di mana aliran multi-fase (dua fase atau lebih) berlaku. Aliran multi-fase adalah aliran di mana semua fase (padat, cair, dan gas) berinteraksi dan saling mempengaruhi, sedangkan aliran dua fase terdiri dari dua fase yang berbeda dan merupakan bagian dari aliran multi-fase. Aliran dua fase adalah aliran fluida yang terdiri dari dua jenis zat dalam fase berbeda yang mengalir secara bersamaan dalam suatu saluran, misalnya aliran dua fase gas cair, cair-padat, atau gas-padat. Aplikasi aliran multifase hadir di peralatan rumah tangga dan industri, termasuk pada printer, ceret uap, kondensor, penukar panas, reaktor nuklir, pencairan gas alam, pompa lumpur, AC, dan banyak lainnya.

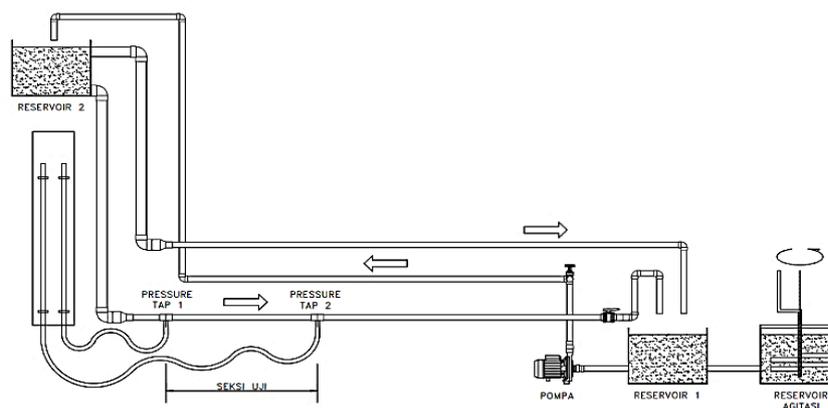
Dalam aliran dua fase, karakteristiknya jauh lebih kompleks daripada aliran monofase. Ini termasuk interaksi antar fase, pengaruh deformasi fluida, pengaruh ketidakseimbangan fase, dan perubahan penurunan tekanan. Dalam hal penurunan tekanan, selain dipengaruhi oleh bilangan Reynolds, juga dipengaruhi oleh interaksi fase yang berbeda yang akan menyebabkan berbagai pola aliran, yang pada gilirannya akan mengakibatkan penurunan tekanan. Dalam konteks ini, kita akan fokus pada aliran fluida dua fase yang terdiri dari air sebagai fase cair dan lumpur atau tanah sebagai fase padat. Karakteristik aliran fluida dua fase memiliki peran penting dalam memahami dan memprediksi perilaku aliran. Salah satu karakteristik yang menjadi fokus penelitian ini adalah konsentrasi kepadatan. Konsentrasi densitas mengacu pada jumlah partikel padat yang terlarut dalam fase cair. Dalam kasus air dan semburan lumpur, kepadatan konsentrasi akan mencerminkan hamburan lumpur di dalam air.

Perubahan konsentrasi densitas dapat mempengaruhi sifat-sifat aliran fluida dua fase. Semakin tinggi konsentrasi kepadatan, semakin padat aliran dan viskositas. Hal ini dapat mempengaruhi kecepatan aliran, distribusi partikel dalam aliran, dan interaksi partikel dengan permukaan atau struktur yang mengelak. Dalam konteks penelitian ini, mungkin melibatkan pengamatan eksperimental untuk mengidentifikasi dan memahami hubungan antara karakteristik aliran dan perubahan konsentrasi kepadatan dalam dua fase aliran fluida air dan lumpur. Ini akan membantu dalam pengembangan pengangkutan lumpur yang lebih baik, terutama di lokasi bencana yang melibatkan semburan lumpur. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi pengaruh perubahan konsentrasi densitas terhadap karakteristik aliran pada sistem fluida dua fase cair-padat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi densitas dalam campuran cair-padat

menyebabkan peningkatan penurunan tekanan pada sistem aliran. Kepadatan merupakan faktor penting yang mempengaruhi laju penurunan tekanan dalam sistem. Penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan debit aliran fluida dua fase cair-padat dan menganalisis kehilangan tekanan dalam analisis karakteristik aliran fluida dua fase (cair-padat).

II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini berfokus pada pengaruh penurunan tekanan terhadap variasi debit, persentase campuran lumpur, dan perubahan densitas yang terjadi. Pada penelitian ini, pipa PVC transparan dengan diameter 1 inci digunakan sebagai pipa uji dan pompa sentrifugal digunakan. Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 100 liter air bersih dan 100 liter tanah liat. Untuk mengetahui hasil analisis karakteristik aliran fluida dua phase (cair-padat), dibuat instalasi perpipaan seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Penelitian Instalasi. Pengujian

Secara eksperimental, 100 liter air dicampur dengan tanah liat bervariasi dari 10 liter hingga 100 liter, cairan dan padatan diaduk secara merata sampai tercampur secara homogen, kemudian dilakukan pengujian di mana aliran bersirkulasi, untuk menentukan laju aliran dan penurunan tekanan, kemudian setelah pengujian, sampel diambil untuk menentukan nilai kepadatan, Mulai dari dengan variasi campuran 10%. Untuk setiap campuran bervariasi dari 10% hingga 100% dari nilai pelepasan, penurunan tekanan dan kepadatan ditemukan meningkat. Tes dilakukan berulang kali sehingga diperoleh hasil yang sesuai.

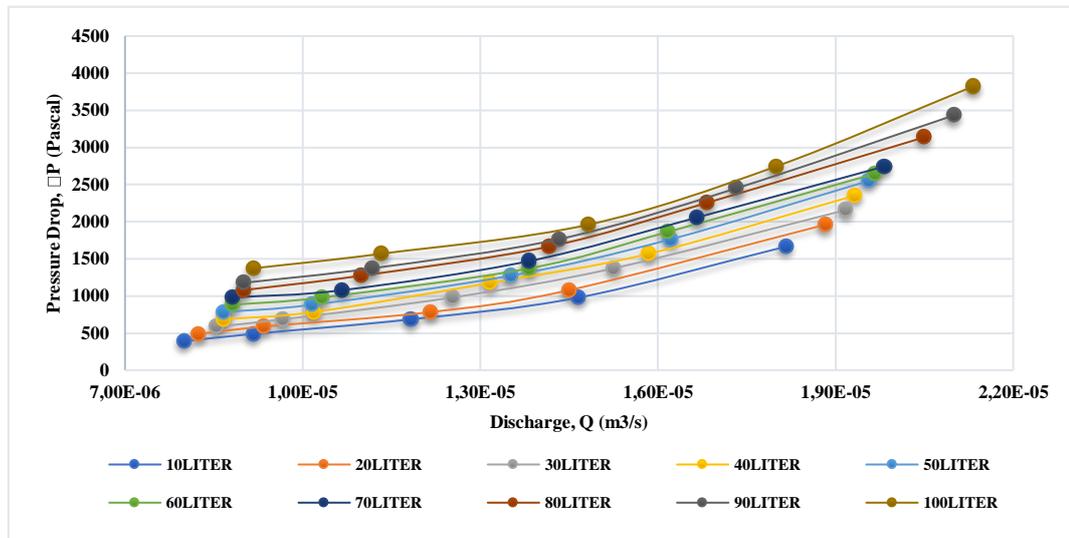
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini memberikan beberapa parameter pengaruh yang terjadi dengan hubungan antara karakteristik aliran dan perubahan konsentrasi densitas dalam sistem fluida dua fasa (cair-padat). Pengaruh viskositas cair terhadap perubahan konsentrasi densitas, viskositas cair merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi perubahan konsentrasi densitas pada aliran fluida dua fase. Parameter yang mempengaruhi ini diketahui adalah nilai debit dan perubahan nilai setiap variasi campuran yang mempengaruhi nilai penurunan tekanan. Diketahui bahwa hasil penurunan tekanan dalam debit ditunjukkan pada data pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan antara penurunan tekanan (Δp) dan variasi debit (Q)

Persentase Lumpur		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
10%	Debit (Q)	0.00000800	0.00000917	0.00001183	0.00001467	0.00001817
	Penurunan Tekanan (ΔP)	392	490	686	980	1667
20%	Debit (Q)	0.00000825	0.00000935	0.00001217	0.00001450	0.00001883
	Penurunan Tekanan (ΔP)	490	588	784	1078	1961
30%	Debit (Q)	0.00000855	0.00000967	0.00001253	0.00001525	0.00001917
	Penurunan Tekanan (ΔP)	588	686	980	1372	2157
40%	Debit (Q)	0.00000867	0.00001019	0.00001317	0.00001585	0.00001933
	Penurunan Tekanan (ΔP)	686	784	1176	1569	2353
50%	Debit (Q)	0.00000867	0.0001017	0.00001352	0.00001622	0.00001956
	Penurunan Tekanan (ΔP)	784	882	1274	1765	2549
60%	Debit (Q)	0.00000883	0.00001033	0.00001383	0.00001617	0.00001967
	Penurunan Tekanan (ΔP)	882	980	1372	1863	2647
70%	Debit (Q)	0.00000883	0.00001067	0.00001383	0.00001667	0.00001983
	Penurunan Tekanan (ΔP)	980	1078	1470	2059	2745
80%	Debit (Q)	0.000009	0.000011	0.00001417	0.00001683	0.0000205
	Penurunan Tekanan (ΔP)	1078	1274	1667	2255	3138
90%	Debit (Q)	0.000009	0.00001117	0.00001433	0.00001733	0.000021
	Penurunan Tekanan (ΔP)	1176	1372	1765	2451	3432
100%	Debit (Q)	0.00000917	0.00001133	0.00001483	0.000018	0.00002133
	Penurunan Tekanan (ΔP)	1372	1569	1961	2745	3824

Grafik hubungan antara penurunan tekanan dan variasi pelepasan ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan antara penurunan tekanan ΔP dan Discharge (Q)

Pada Tabel 1 dan Gambar 2 di atas, kita dapat melihat perbandingan penurunan tekanan dengan variasi debit aliran fluida yang menghasilkan nilai bervariasi. Data ini mencakup berbagai campuran tanah liat dan air dengan persentase 10 liter hingga 100 liter. Pada persentase 10 liter tanah liat dan 100 liter air, laju aliran fluida berkisar antara $0,00000800 \text{ m}^3/\text{s}$ hingga $0,00001817 \text{ m}^3/\text{s}$, dan nilai penurunan tekanan (Δp) diperoleh mulai dari 392 Pascal (Pa) hingga 1667 Pascal (Pa). Pada persentase 20 liter tanah liat dan 100 liter air, debit sedikit meningkat menjadi $0,00000825 \text{ m}^3/\text{s}$ menjadi $0,00001883 \text{ m}^3/\text{s}$, dan nilai penurunan tekanan (Δp) diperoleh mulai dari 490 Pascal (Pa) hingga 1961 Pascal (Pa). Pada persentase 30 liter tanah liat dan 100 liter air, nilai debit terus meningkat menjadi $0,00000867 \text{ m}^3/\text{s}$ menjadi $0,00001933 \text{ m}^3/\text{s}$ sehingga nilai pressure drop (Δp) berkisar antara 588 Pascal (Pa) hingga 2157 Pascal (Pa). Ketika mencapai persentase 40 liter tanah liat dan 100 liter air, nilai debit terus meningkat menjadi $0,00000867 \text{ m}^3/\text{s}$ hingga $0,00001933 \text{ m}^3/\text{s}$, dan nilai penurunan tekanan (Δp) berkisar dari 686 Pascal (Pa) hingga 2353 Pascal (Pa).

Untuk persentase 50 liter tanah liat dan 100 liter air, debit terus meningkat dan mencapai $0,00001950 \text{ m}^3/\text{s}$, diperoleh nilai pressure drop (Δp) mulai dari 784 Pascal (Pa) hingga 2549 Pascal (Pa), dengan persentase 60 liter tanah liat dan 100 liter air, debit mencapai $0,00001967 \text{ m}^3/\text{s}$, dan nilai penurunan tekanan (Δp) yang diperoleh berkisar antara 882 Pascal (Pa) hingga 2647 Pascal (Pa), menunjukkan peningkatan yang stabil. Debit terus meningkat menjadi $0,00001983 \text{ m}^3/\text{s}$, ketika mencapai persentase 70 liter

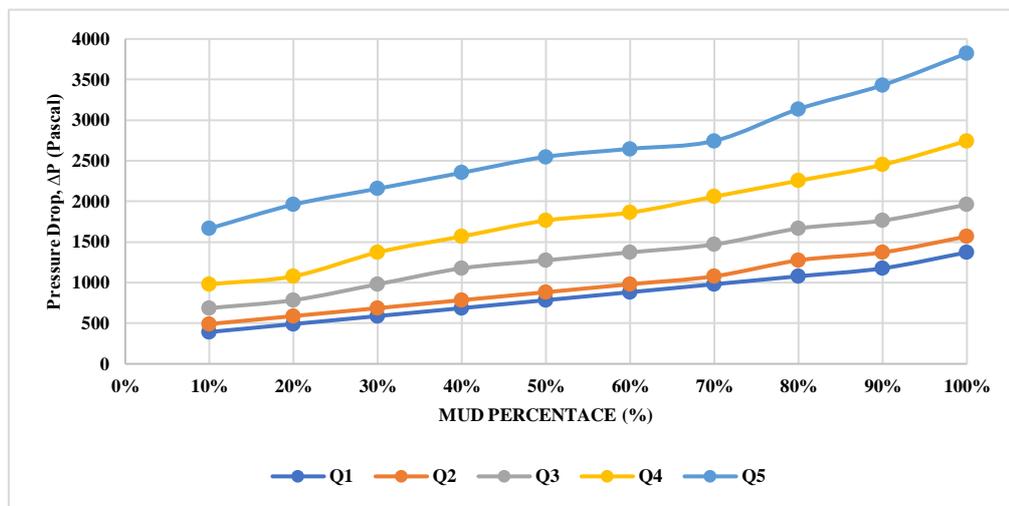
tanah liat dan 100 liter air dan nilai penurunan tekanan (Δp) berkisar dari 980 Pascal (Pa) hingga 2745 Pascal (Pa). Pada persentase 80 liter tanah liat dan 100 liter air, debit meningkat lebih signifikan menjadi $0,000009 \text{ m}^3 / \text{s}$ hingga $0,00002050 \text{ m}^3 / \text{s}$ dan nilai penurunan tekanan (Δp) berkisar antara 1078 Pascal (Pa) hingga 3138 Pascal (Pa). Nilai debit terus meningkat, mencapai $0,00002100 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan persentase 90 liter lempung dan 100 liter air, nilai pressure drop (Δp) juga terus meningkat mulai dari 1176 Pascal (Pa) hingga 3432 Pascal (Pa). Pada persentase 100 liter tanah liat dan 100 liter air, debit mencapai nilai tertinggi $0,00002133 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan nilai penurunan tekanan (Δp) juga meningkat mulai dari 1372 Pascal (Pa) menjadi 3824 Pascal (Pa).

Data tersebut menggambarkan peningkatan debit aliran fluida yang konsisten seiring dengan peningkatan persentase campuran lumpur, dengan nilai terendah 10% dan nilai tertinggi 100%. Ini menunjukkan hubungan positif antara persentase dan debit dalam sistem. Hubungan antara penurunan tekanan dan variasi pelepasan cairan dua fase (cair-padat) menunjukkan bahwa semakin besar pelepasan, semakin besar penurunan tekanan. Ini menunjukkan bahwa keberadaan lumpur dalam sistem mempengaruhi laju aliran fluida dan meningkatkan penurunan tekanan. Hal ini juga dibuktikan oleh penelitian Suwidodo (2012) tentang pemantauan kehilangan energi aliran dua fasa pada pipa horizontal dimana pembahasannya adalah pada pendekatan model aliran homogen dan model aliran terpisah, menunjukkan bahwa semakin tinggi laju aliran fluida maka semakin besar *penurunan tekanan* atau kehilangan energi, Ketika fluida mengalir melalui pipa, permukaan dalam pipa menimbulkan gesekan yang menyebabkan penurunan tekanan. Ini dikenal sebagai kehilangan gesekan atau friction loss. Faktor yang mempengaruhi kehilangan gesekan termasuk kekasaran permukaan pipa, viskositas fluida, kecepatan aliran, dan panjang pipa., Ketika fluida bergerak naik atau turun dalam sistem pipa, gravitasi mempengaruhi tekanan. Jika fluida naik, tekanan akan turun, dan sebaliknya, jika fluida turun, tekanan akan naik. Itu adalah juga terlihat pada Tabel 2 dan Gambar 2 di mana peningkatan persentase rasio cair-padat dalam campuran menyebabkan peningkatan penurunan tekanan, di mana hubungan antara persentase rasio cair-padat dan penurunan tekanan linier dan di mana perubahan rasio cair-padat memiliki dampak yang lebih signifikan pada tingkat persentase yang lebih rendah. Nilai penurunan tekanan bersama dengan persentase campuran cairan padat dalam aliran fluida disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hubungan penurunan tekanan (Δp)

Persentase	ρ	Δp				
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5
10%	1000	392	490	686	980	1667
20%	1010	490	588	784	1078	1961
30%	1020	588	686	980	1372	2157.
40%	1050	686	784	1176	1569	2353
50%	1060	784	882	1274	1765	2549
60%	1080	882	980	1372	1863	2647
70%	1110	980	1078	1470	2059	2745
80%	1150	1078	1274	1667	2255	3138
90%	1180	1176	1372	1765	2451	3432
100%	1200	1372	1569	1961	2745	3824

Hubungan antara *penurunan tekanan* dan persentase aliran fluida campuran cair-padat ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan antara penurunan tekanan dan rasio campuran cair-padat.

Dari hubungannya, bisa dilihat itu Rasio pelepasan cair-padat menghasilkan nilai yang berbeda. Dapat juga dilihat bahwa ada peningkatan yang konsisten dalam rasio pelepasan cair-padat dari 10% menjadi 100%. Ketika persentase rasio debit cair-padat meningkat dari 10% menjadi 100%, penurunan tekanan (ΔP) juga cenderung meningkat. Ada pola korelasi linier yang jelas antara persentase peningkatan rasio pelepasan cair-padat dan penurunan tekanan (ΔP). Ini menunjukkan bahwa perubahan proporsi padatan cair dalam campuran memiliki dampak yang sebanding pada

penurunan tekanan dalam sistem aliran dua fase.

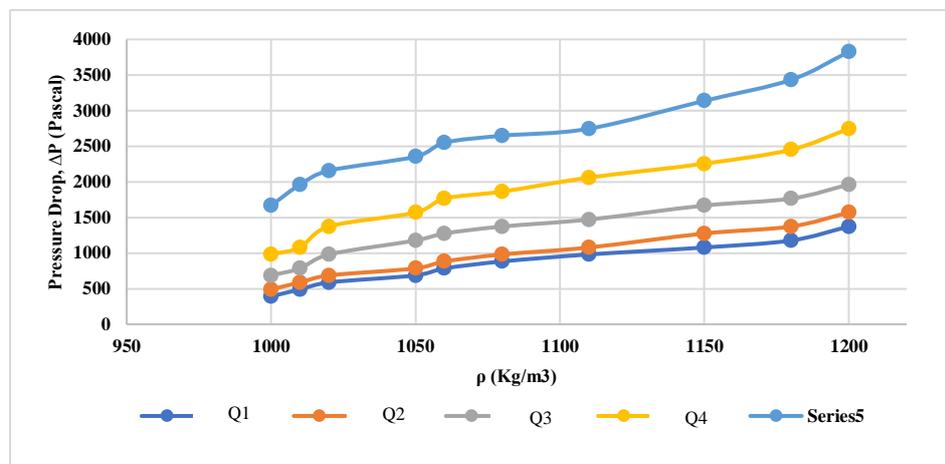
Peningkatan persentase rasio debit cair-padat dari 10% menjadi 20% menyebabkan peningkatan Δp sekitar 98,067, sementara peningkatan persentase yang sama dari 90% menjadi 100% hanya menyebabkan peningkatan Δp sekitar 98,066. Ini menunjukkan bahwa perubahan rasio ini memiliki dampak yang lebih signifikan pada tingkat persentase yang lebih rendah. Hal ini juga dibuktikan oleh penelitian oleh Biksono (2006) yang memvisualisasikan aliran dua fasa pada pipa spiral. Hasil penelitian menunjukkan bahwa koefisien gesekan dalam aliran dua fase lebih tinggi daripada dalam satu fase (air). Aliran transisi lebih cepat dalam aliran dua fase, pada bilangan Reynolds (Re) antara (1.600-1.700). Sebagai efek dari penambahan variasi kecepatan udara, hasil visualisasi aliran dua fasa dengan kamera digital menunjukkan bahwa posisi rata-rata gelembung udara dipengaruhi oleh bilangan Reynolds (Re).

Tabel 3 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa nilai penurunan tekanan pada perubahan densitas (ρ) mengalami peningkatan densitas cair-padat yang menyebabkan peningkatan penurunan tekanan. Oleh karena itu, peningkatan kepadatan berkontribusi pada peningkatan tekanan dalam sistem aliran dua fase (cair-padat). Data penurunan tekanan pada perubahan densitas disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Hubungan antara penurunan tekanan (Δp) dan perubahan densitas (ρ)

Persentase Lumpur	Δp					Kepadatan (ρ)
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	
10%	392	490	686	980	1667	1000
20%	490	588	784	1078	1961	1010
30%	588	686	980	1372	2157	1020
40%	686	784	1176	1569	2353	1050
50%	784	882	1274	1765	2549	1060
60%	882	980	1372	1863	2647	1080
70%	980	1078	1470	2059	2745	1110
80%	1078	1274	1667	2255	3138	1150
90%	1176	1372	1765	2451	3432	1180
100%	1372	1569	1961	2745	3824	1200

Grafik hubungan antara *penurunan tekanan* dan perubahan densitas ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan antara penurunan tekanan dan kepadatan

Seperti pada tabel sebelumnya, dapat dilihat bagaimana persentase lumpur meningkat menjadi penurunan tekanan (Δp). Pada Tabel 3 dan Gambar 4, dapat dilihat bahwa hubungan antara penurunan tekanan dan perubahan densitas (ρ) aliran fluida cair-padat menunjukkan bahwa peningkatan densitas (ρ) dari 1000 menjadi 1010 (rasio 10% hingga 20%) akan menyebabkan peningkatan penurunan tekanan (Δp). Ini menunjukkan bahwa peningkatan kepadatan berkontribusi pada peningkatan tekanan. Pola serupa terjadi ketika kepadatan meningkat dari 1010 ke 1020, 1020 ke 1050, 1050 ke 1060, ke 1180 ke 1200. Dari pola tersebut diamati hubungan positif antara densitas (ρ) dan penurunan tekanan (Δp) pada setiap tingkat persentase lumpur, dimana peningkatan densitas cenderung menyebabkan peningkatan tekanan pada sistem. Hal ini dapat dijelaskan oleh sifat densitas sebagai faktor yang mempengaruhi sifat aliran fluida, terutama dalam konteks aliran campuran cairan dan padat.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

A. KESIMPULAN

Dari hasil studi eksperimental karakteristik aliran dan perubahan densitas pada sistem aliran fluida dua fase (cair-padat), dapat disimpulkan:

1. Debit aliran fluida meningkat dengan meningkatnya persentase campuran tanah liat dan air.

2. Peningkatan persentase rasio cair-padat dalam campuran, oleh karena itu meningkatkan densitas (ρ) yang menyebabkan peningkatan penurunan tekanan.
3. Parameter seperti laju aliran fase gas dan cair, tekanan operasi, dan geometri pipa memiliki dampak signifikan pada karakteristik aliran dua fase. Peningkatan laju aliran gas cenderung menggeser pola aliran dari aliran gelembung ke aliran slug, sementara peningkatan laju aliran cair cenderung memperkuat dominasi aliran annular.
4. Aliran dua fase menunjukkan perilaku yang kompleks dan dinamis, dengan variasi yang signifikan dalam pola aliran tergantung pada kecepatan aliran, rasio fase, dan kondisi operasi.
5. Pola aliran yang diamati termasuk aliran slug, aliran gelembung, dan aliran annular. Setiap pola aliran memiliki karakteristik unik yang mempengaruhi distribusi tekanan dan kecepatan dalam sistem.

B. SARAN

1. Penelitian lanjutan harus difokuskan pada pengembangan dan validasi model prediktif yang lebih akurat untuk aliran dua fase. Ini dapat dilakukan dengan menggunakan data eksperimental yang lebih luas dan teknik pemodelan numerik canggih seperti Computational Fluid Dynamics (CFD).
2. untuk melakukan eksperimen tambahan dengan variasi kondisi operasi yang lebih luas, seperti berbagai jenis fluida, rentang suhu, dan tekanan yang berbeda. Ini akan memberikan pemahaman yang lebih komprehensif tentang bagaimana faktor-faktor ini mempengaruhi karakteristik aliran dan perubahan densitas.
3. penelitian diperlukan untuk memahami mekanisme interaksi antara fase gas dan cair, khususnya bagaimana interaksi ini mempengaruhi perubahan konsentrasi densitas dan penurunan tekanan. Menggunakan teknik visualisasi aliran seperti Particle Image Velocimetry (PIV) dapat membantu dalam mempelajari dinamika ini secara rinci.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih saya Ucapkan Kepada Program Studi Teknik Mesin Universitas Pamulang kampus Serang, rekan -rekan dosen dan mahasiswa yang telah membantu dan

serta Tim peneliti dari Teknik Mesin dan Semua Pihak yang sudah berperan aktif dan sudah berkontribusi dan mendukung baik secara moral ataupun material

DAFTAR PUSTAKA

- Asrori, S. H. Susilo, E. Yudiyanto, dan Gumono, *Mekanika Fluida Dasar*. Penerbit Qiara Media, 2021.
- Ghurri, *Aliran Fluida Internal dan Eksternal*. Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana, 2015.
- Biksono, "Karakteristik dan Visualisasi Aliran Dua Fasa pada Pipa Spiral," *J. Tek. Mesin*, vol. 8, no. 2, hlm. 69–74, Desember 2006.
- Widodo, A. Akbar, dan J. Timur, "Pengaruh konsentrasi garam terhadap karakteristik aliran dua fase gas dan air," no. Snttm Xiv, hlm. 7–8, 2015.
- Fadhli and S. Madjid, "Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Belokan Pipa (Elbow) terhadap Kecepatan Aliran Fluida dan Kerugian Tekanan," *ILTEK*, vol. 12, no. 01, hlm. 1717–1721, 2017.
- Widayana dan T. Yuwono, "Studi eksperimental dan numerik aliran dua fase (air-udara) melewati elbow 300 dri pipa vertikal menuju pipa dengan sudut kemiringan 600," *J. Tek. Mesin Inst. Teknol. Sepuluh Nopember. Surabaya*, 2010.
- Kusumaningsih, N. Hamidi, dan A. F. Sabila, "Pola Aliran Dua Fase Gas-Fluida Non Newtonian Melalui Belokan Pipa," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 10, no. 3, hlm. 317–326, 2019.
- Kusumaningsih, W. Wijayanti, D. Widhiyanuriyawan, and M. Fauzi, "Analisi Pressure Drop Dan Pola Aliran Dua Fase (Air-Udara) Pada Pipa Horisontal Melalui Orifice," *J. Tek. Mesin Untirta*, vol. IV, no. 2, hlm. 14–22, 2018.
- Wiriyanta dan T. Yuwono, "Studi eksperimental dan numerik karakteristik aliran dua fase air-udara melewati elbow 750 dari pipa vertikal menuju pipa dengan sudut kemiringan 150," 2012.
- M. Zainuddin dan S. Habiba, "Studi Aliran Dua Fase Gas dan Cair Pada Belokan Pipa 90°," *J. Konstr. Tek. Infrastruktur Dan Sains*, Vol. 1, No. 12, hlm. 1–9, 2022.
- Lv, F. Jiang, G. Qi, X. Chen, dan X. Li, "Penurunan tekanan aliran dua fase cair-padat dalam unggun terfluidisasi sirkulasi aliran bawah," *Technol bubuk.*, vol. 375, hlm. 136–145, 2020, doi: 10.1016/j.powtec.2020.07.077.
- Suwidodo, "Pemantauan Rerugi Energi Aliran Dua Fase Dara Pada Saluran Pipa Horisontal," dipresentasikan pada Lokakarya Penelitian Industri Prosiding dan Seminar Nasional, 2012, hlm. 225–233.
- R. Subagyo dan A. Mursadin, *Mekanika Fluida II*. Universitas Lambung Mangkurat, 2017.