

TESIS

**ANALISIS PENGARUH KARAKTERISTIK ALIRAN FLUIDA
DUA FASE (CAIR-PADAT) TERHADAP PERUBAHAN
KONSENTRASI DENSITAS**

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF TWO-PHASE (LIQUID-
SOLID) FLUID FLOW CHARACTERISTICS ON DENSITY
CONCENTRATION CHANGES**

SANDRA MAYANG DIKA RIDWAN

D022202010



**PROGRAM STUDI PASCASARJANA TEKNIK MESIN
DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**



LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH KARAKTERISTIK ALIRAN FLUIDA DUA FASE (CAIR-PADAT) TERHADAP PERUBAHAN KONSENTRASI DENSITAS

Disusun dan diajukan oleh

SANDRA MAYANG DIKA RIDWAN

D022202010

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Mesin

Fakultas Teknik

Universitas Hasanuddin

pada tanggal 16 Oktober 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui
Komisi Penasehat,

Pembimbing Utama



Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam., MT
NIP. 195912201986011001

Pembimbing Pendamping



Dr. Rustan Tarakka, ST., MT
NIP. 197508272005011002

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



**g. Ir. Muhammad Isran Ramli,
T., IPM., ASEAN. Eng**
9730926 200012 1 002

Ketua Program Studi
Magister Teknik Mesin



Dr. Eng. Novriany Amaliyah, ST, MT
NIP. 197911122008122002



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Sandra Mayang Dika Ridwan

Nomor mahasiswa : D022202010

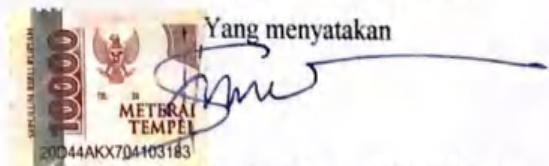
Program studi : S2 Teknik Mesin

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul “ANALISIS PENGARUH KARAKTERISTIK ALIRAN FLUIDA DUA FASE (CAIR-PADAT) TERHADAP PERUBAHAN KONSENTRASI DENSITAS” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing (Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam., MT dan Dr. Rustan Tarakka., S.T., M.T). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Prosiding *International Conference on Research in Engineering and Science Technology (IC-REST 2023) ID Paper 172* sebagai artikel dengan judul “*Experimental study of flow characteristics and changes in density concentration in two-phase (liquid-solid) fluid systems*”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 23 November 2023

Yang menyatakan



Sandra Mayang Dika Ridwan



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas rahmatnya sehingga disertasi ini dapat diselesaikan.

Gagasan utama dalam analisis pengaruh karakteristik aliran fluida dua fase (cair-padat) terhadap perubahan densitas adalah sering terjadi bencana di mana salah satunya ialah bencana banjir dan dimana Indonesia memiliki beberapa lokasi yang berpotensi terjadi semburan lumpur. Selama periode banjir, aliran air yang berlebihan dapat mengangkut partikel-partikel padat seperti lumpur, tanah, batu, dan material lainnya. Ini menghasilkan aliran fluida dua fase yang terdiri dari fase cair (air) dan fase padat (partikel padat).

Bukan hal yang mudah untuk mewujutkan gagasan-gagasan tersebut dalam sebuah susunan tesis, berkat bimbingan, arahan dan motivasi berbagai pihak maka tesis ini bisa disusun sebagaimana kaidah-kaidah yang dipersyaratkan, dan untuk itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Orang tua saya satu-satunya yaitu ibu, saya mengucapkan terima kasih dan sembah sujud atas doa, pengorbanan dan memotivasi selama saya menempuh pendidikan. Serta penghargaan yang besar juga saya sampaikan kepada kakak rindi, tante ipeh, dan mami jeri atas motivasi dan dukungan yang tak ternilai
2. Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam., MT sebagai pembimbing utama dan Dr. Rustan Tarakka., S.T., M.T, sebagai pembimbing pendamping. Yang telah dengan penuh kesabaran dan ketulusan memberikan ilmu dan bimbingan terbaik kepada penulis.
3. Prof. Dr. Ir. Luther Sule, MT, Prof. Dr.Eng. Ir. Andi Erwin Eka Putra, ST., MT, Prof. Dr.Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT sebagai komisi tim penguji. Telah memberikan masukan dan saran sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik.
4. Rektor universitas Hasanuddin dan Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memfasilitasi saya menempuh program magister serta para dosen dan rekan-rekan dalam tim penelitian.



5. Bapak Afrison atas segala bentuk bantuan yang telah diberikan dalam pengerjaan instalasi alat uji serta penggunaan vasilitas dan peralatan di Laboratorium Mekanika Fluida Departemen Teknik Mesin.
6. Para Karyawati Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Hasanuddin yang telah membantu penulis dalam proses Administrasi.
7. Kepada Alfriandi dan Valen selaku mahasiswa S1 Teknik Mesin saya mengucapkan terima kasih atas bantuan yang telah dilakukan dari awal persiapan pembuatan instalasi alat penelitian hingga dengan selesainya alat instalasi penelitian tersebut.
8. Teman – teman yang telah memberikan dukungan, semangat dan do'a yang tulus baik secara moril kepada penulis.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu semua jenis saran, kritik dan masukan yang bersifat membangun sangat penulis harapkan. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat dan memberikan wawasan tambahan bagi para pembaca dan khususnya bagi penulis sendiri.

Penulis

Sandra Mayang Dika Ridwan



ABSTRAK

SANDRA MAYANG DIKA RIDWAN. Analisis pengaruh karakteristik aliran fluida dua fase (cair-padat) terhadap perubahan konsentrasi densitas (dibimbing oleh **Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam., MT dan Dr. Rustan Tarakka., S.T., M.T**)

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

SANDRA MAYANG DIKA RIDWAN. *Experimental study of flow characteristics and changes in density concentration in two-phase (liquid-solid) fluid systems (supervised by Prof. Dr. Ir. H. Nasaruddin Salam., MT dan Dr. Rustan Tarakka., S.T., M.T)*

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.

Kata kunci: two-phase, pressure drop, density



DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PENGAJUAN TESIS	ii
PERSETUJUAN TESIS.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xi
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xii
 BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang	1
I.2 Rumusan Masalah	4
I.3 Tujuan Penelitian	5
I.4 Batasan Masalah	5
I.5 Manfaat Penelitian	5
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Definisi Fluida	6
II.2 Aliran Fluida Dalam Pipa	8
II.3 Perubahan Tekanan Fluida	19
II.4 Penelitian Yang Relevan.....	22
 BAB III METODE PENELITIAN	
III.1 Tempat dan Waktu Penelitian	25
Alat dan Bahan	25
Parameter Penting dalam Pengambilan Data.....	28
Proses Pengambilan Data Eksperimental	28



III.5 Eksperimental Setup.....	29
III.6 Diagram Alur Penelitian.....	30

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil	31
IV.1.1 <i>Pressure Drop</i> Pada Debit Cair-Padat Aliran Fluida.....	31
IV.1.2 <i>Pressure Drop</i> Pada Persentase Rasio <i>rasio Aliran Fluida</i> Cair-padat.....	33
IV.1.3 <i>Pressure Drop</i> Pada Perubahan Densitas (ρ).....	34
IV.1.4 Faktor Gesek Eksperimental Pada Variasi Debit Aliran Fluida.....	35
IV.1.5 Faktor Gesek Eksperimental Pada Bilangan Reynolds	36
IV.1.6 Faktor Gesek Eksperimental Dengan Faktor Gesek Teoritis Pada Bilangan Reynolds.....	38
IV.2 Pembahasan.....	40
IV.2.1 <i>Pressure Drop</i> Pada Variasi Debit Cair-Padat Aliran Fluida	40
IV.2.2 <i>Pressure Drop</i> Pada Persentase Rasio Cair-Padat	42
IV.2.3 <i>Pressure Drop</i> Pada Perubahan Densitas (ρ).....	42
IV.2.4 Faktor Gesek Eksperimental Pada Variasi Debit	43
IV.2.5 Faktor Gesek Eksperimental Pada Bilangan Reynolds	44
IV.2.6 Faktor Gesek Eksperimental Dengan Faktor Gesek Teoritis Pada Bilangan Reynolds	45

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan.....	47
V.2 Saran.....	47

DAFTAR PUSTAKA 48

LAMPIRAN.....



DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
Tabel 1. Kekasaran ekivalen untuk berbagai material pipa	20
Tabel 2. Hubungan antara pressure drop dengan debit cair-padat aliran fluida	31
Tabel 3. Hubungan Pressure Drop dengan persentase rasio cair-padat.	33
Tabel 4. Hubungan antara pressure drop dengan densitas (ρ)	34
Tabel 5. Hubungan antara faktor gesek eksperimental dengan debit	35
Tabel 6. Hubungan antara faktor gesek eksperimental dengan bilangan Reynolds.....	36
Tabel 7. Hubungan antara faktor gesek eksperimental dengan faktor gesek teoritis.....	38
Tabel 8. Data Penelitian 10 Liter Dan 100 Liter Air	51
Tabel 9. Data Penelitian 20 Liter Dan 100 Liter Air. . .	51
Tabel 10. Data Penelitian 30 Liter Dan 100 Liter Air	51
Tabel 11. Data Penelitian 40 Liter Dan 100 Liter Air	52
Tabel 12. Data Penelitian 50 Liter Dan 100 Liter Air	52
Tabel 13. Data Penelitian 60 Liter Dan 100 Liter Air	52
Tabel 14. Data Penelitian 70 Liter Dan 100 Liter Air	53
Tabel 15. Data Penelitian 80 Liter Dan 100 Liter Air	53
Tabel 16. Data Penelitian 90 Liter Dan 100 Liter Air	53
Tabel 17. Data Penelitian 100 Liter Tanah Dan 100 Liter Air	54
Tabel 18. Tabel HasilPerhitungan Data 10% Lumpur.....	55
Tabel 19. Tabel HasilPerhitungan Data 20% Lumpur.....	55
Tabel 20. Tabel HasilPerhitungan Data 30% Lumpur.....	55
Tabel 21. Tabel HasilPerhitungan Data 40% Lumpur.....	56
Tabel 22. Tabel HasilPerhitungan Data 50% Lumpur.....	56
. Tabel HasilPerhitungan Data 60% Lumpur.....	57
. Tabel HasilPerhitungan Data 70% Lumpur.....	57
. Tabel HasilPerhitungan Data 80% Lumpur.....	57



Tabel 26. Tabel HasilPerhitungan Data 90% Lumpur.....	58
Tabel 27. Tabel HasilPerhitungan Data 100% Lumpur.....	58



DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
Gambar 1. Eksperimen ilustrasi jenis aliran	9
Gambar 2. Penampang saluran silinder membuktikan persamaan kontinuitas	10
Gambar 3. Profil saluran Bernouli.....	11
Gambar 4. Perubahan energi pada pompa.....	12
Gambar 5. Gerakan sebuah elemen fluida dalam sebuah pipa silindris	13
Gambar 6. Distribusi tegangan geser aliran fluida dalam pipa dan profil kecepatan khusus	13
Gambar 7. <i>Time-averaged, $\bar{u}$</i> , dan <i>fluctuating, u</i> , deskripsi parameter aliran turbulen	14
Gambar 8. Karakteristik profil kecepatan aliran laminar dan aliran turbulen	15
Gambar 9. Pompa Sentrifugal.....	25
Gambar 10. Bak Penampung Air 100 Liter	25
Gambar 11. Manometer Vertikal	26
Gambar 12. Valve	26
Gambar 13. Stirrer	26
Gambar 14. Elbow 90'	26
Gambar 15. Pipa Pvc diameter 1inc dan 2 inc	27
Gambar 16. Pipa Pvc Transparan diameter 1inc.....	27
Gambar 17. Lumpur 20 Liter	27
Gambar 18. Air Bersih 100 Liter	27
Gambar 19. Eksperiment Setup	29
Gambar 20. Diagram Alir Penelitian.	30
Gambar 21. Hubungan Antara Pressure Drop Dengan Variasi Debit Cair Padat Aliran Fluida.....	32
22. Hubungan Antara <i>Pressure Drop</i> Dengan Persentase Rasio Cair-Padat Aliran Fluida	33
23. Hubungan antara pressure drop dengan densitas	34



Gambar 24. Hubungan antara faktor gesek eksperimental dengan variasi debit aliran fluida.....	36
Gambar 25. Hubungan antara faktor gesek eksperimental bilangan Reynolds...38	
Gambar 26. Hubungan antara faktor gesek eksperimental dengan faktor gesek teoritis	39



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Halaman
Lampiran 1. Tabel Pengambilan Data.....	51
Lampiran 2. Tabel Perhitungan Data.....	55
Lampiran 3. Diagram Moody.....	59
Lampiran 4. Foto Instalasi Alat.....	60



DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luas Penampang (m^2)
D	Diameter (m)
f	Faktor Gesek
g	Gravitasi (m/s^2)
G	Fluks Massa (kg/m^2s)
L	Panjang (m)
m	Massa (kg)
$\dot{m}$	Laju Aliran Massa (kg/s)
P	Tekanan (Paskal)
Q	Debit (m^3/s)
Re	Bilangan Reynolds
v	Kecepatan (m/s)
x	Kualitas Massa Udara
μ	Viskositas Dinamik ($N.s/m^2$)
ν	Viskositas Kinematik (m^2/s)
τ	Tegangan Geser
ρ	Massa jenis (kg/m^3)
Δp	Pressure Drop (Pa)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang sering terjadi bencana di mana salah satunya ialah bencana banjir dan dimana Indonesia memiliki beberapa lokasi yang berpotensi terjadi semburan lumpur. Peristiwa ini berpotensi menjadi bencana bagi lingkungan dan merugikan warga. Semburan lumpur dalam skala besar dianggap bencana yang perlu penanganan dengan baik agar tidak berdampak buruk terhadap masyarakat. Semburan yang terjadi perlu disalurkan ke tempat yang tepat dan sistem perpipaan menjadi alternative terbaik. Banjir adalah peristiwa alami yang terjadi ketika air meluap dari saluran aliran normalnya, seperti sungai, dan meluas ke daerah yang seharusnya tidak tergenang air. Selama periode banjir, aliran air yang berlebihan dapat mengangkut partikel-partikel padat seperti lumpur, tanah, batu, dan material lainnya. Ini menghasilkan aliran fluida dua fase yang terdiri dari fase cair (air) dan fase padat (partikel padat). Aliran lumpur yang terjadi selama banjir memiliki karakteristik unik dan dapat menyebabkan kerusakan serius terhadap properti, infrastruktur, dan kehidupan manusia.

Aliran Fluida yang diketahui ialah memiliki beberapa Sifat-sifat aliran dimana aliran fluida merupakan suatu hal yang sangat menarik untuk diteliti, baik fluida statik maupun fluida dinamik. Fluida zat cair yang mengalir melalui sebuah pipa dengan panjang tertentu menyebabkan terjadinya kerugian energi berupa penurunan tekanan (*pressure drop*) disebabkan oleh *major losses* akibat gesekan sepanjang dinding pipa maupun *minor losses* akibat perubahan bentuk lokal saluran berupa belokan, katup, maupun sambungan pipa dan juga tergantung besar koefisien gesek pipa tersebut. Dalam kehidupan sehari-hari, tidak saja menemui kasus untuk aliran satu fase di sistem pemipaan, kenyataannya sering terjadi aliran *multiphase* (dua fase, tiga fase, atau lebih).(Ghurri, 2004)

alam industri dan ilmu pengetahuan, aliran fluida dua fase, yang terdiri fase cair dan fase padat, seringkali terjadi. Salah satu contohnya adalah lumpur, di mana air berperan sebagai fase cair dan partikel padat (seperti



lumpur atau tanah) berperan sebagai fase padat. Aliran lumpur ini dapat ditemukan dalam berbagai aplikasi seperti pertambangan, industri kimia, dan rekayasa lingkungan. Dengan mempelajari pengaruh karakteristik aliran fluida dua fase, seperti laju aliran, kecepatan aliran, sifat partikel padat, dan perubahan konsentrasi densitas, kita dapat memahami lebih lanjut bagaimana aliran fluida dua fase berperilaku dan berinteraksi. Informasi ini penting dalam pengembangan proses industri, perancangan sistem transportasi, penanganan lumpur, dan pemahaman dampak lingkungan yang berkaitan dengan aliran fluida dua fase.

Aliran fluida dua fase terjadi ketika ada dua fase yang saling berinteraksi, seperti fase cair dan fase padat. Dalam konteks ini, kita akan memfokuskan pada aliran fluida dua fase yang terdiri dari air sebagai fase cair dan partikel padat (seperti lumpur atau tanah) sebagai fase padat. Aliran semacam ini seringkali ditemukan dalam industri dan berbagai bidang ilmu pengetahuan. Karakteristik aliran fluida dua fase memiliki peran penting dalam memahami dan memprediksi perilaku aliran tersebut. Salah satu karakteristik yang menjadi fokus dalam penelitian ini adalah konsentrasi densitas. Konsentrasi densitas mengacu pada jumlah partikel padat yang terlarut dalam fase cair. Dalam hal aliran air dan lumpur, konsentrasi densitas akan mencerminkan seberapa banyak partikel lumpur yang terdispersi dalam air. (Awaluddin et al., 2014)

Perubahan konsentrasi densitas dapat mempengaruhi sifat-sifat aliran fluida dua fase. Misalnya, semakin tinggi konsentrasi densitas, semakin padat aliran dan viskositasnya. Hal ini dapat mempengaruhi kecepatan aliran, distribusi partikel dalam aliran, dan interaksi partikel dengan permukaan atau struktur di sekitarnya. Dalam konteks penelitian ini dapat melibatkan pengamatan eksperimental untuk mengidentifikasi dan memahami hubungan antara karakteristik aliran dan perubahan konsentrasi densitas dalam aliran fluida dua fase air dan lumpur.



liran dua fase merupakan bagian dari aliran multi-fase. Aliran dari fase berbeda ini banyak dijumpai dalam proses-proses industri misalnya dalam

komponen-komponen sistem konversi energi seperti penukar kalor, evaporator, dan siklus-siklus pendingin(Widodo, Akbar, and Timur 2015).

Aliran dua fase merupakan aliran simultan dari dua fluida yang terpisah satu sama lain baik itu fluida cair dengan gas maupun fluida cair atau gas dengan partikel padat yang telah tersuspensi. Dalam kehidupan sehari-hari aliran dua fase dapat ditemukan pada proses evaporasi dan kondensasi pada sistem tenaga uap, *chemical reactor*, instalasi refrigerasi, dan aplikasi *fluidized bed*. (Kusumaningsih et al. 2018)

Jesse Zhu (2021) melakukan penelitian mengenai Peta rezim aliran empat kuadran untuk sistem fluidisasi cair padat dan gas-padat dua fase. Hasil yang diperoleh Arah aliran fluida dan kecepatan partikel digunakan sebagai absis dan ordinat peta rezim empat kuadran yang diusulkan. Semua sistem fluidisasi kemudian dapat dibagi menjadi empat kelompok: *cocurrent* ke atas (Kuadran I) dan ke bawah (Kuadran III), *countercurrent fluid-down* dan *solids-up* (Kuadran II) dan *fluid-up* dan *solids-down* (Kuadran IV) di peta rezim. Kerapatan relatif antara partikel dan fluida juga dipilih sebagai parameter untuk membedakan operasi GS downer dan unggun terfluidisasi terbalik LS di Kuadran III(Sun and Zhu 2021).

Haslinda Kusumaningsih dkk (2018) telah melakukan penelitian mengenai Analisis *Pressure Drop* Dan Pola Aliran Dua Fase (Air-Udara) Pada Pipa Horisontal Melalui Orifice. Hasil yang diperoleh ialah Pada penelitian ini, debit air divariasikan sebesar 14, 16, 18, 20 liter/menit dan debit udara divariasikan sebesar 3, 6, 9, 12, 15 liter/menit. Pipa uji yang digunakan dalam penelitian, adalah pipa transparan berdiameter 31.75 mm dengan panjang 390 mm. Sedangkan orifice yang digunakan terbuat dari pelat akrilik dengan area ratio (σ) antara diameter *orifice* dan pipa sebesar 0,6 dan thickness ratio (s/d) antara ketebalan dan diameter orifice sebesar 0,11. Fluida kerja adalah air dan udara, orifice yang digunakan terbuat dari pelat akrilik dengan area ratio (σ) antara diameter orifice dan pipa sebesar 0.6 dan *thickness ratio* (s/d) antara ketebalan

diameter orifice sebesar 0.11, tipe peletakan titik pengukuran yang akan yaitu tipe *corner taps* dan sistem saluran diasumsikan isothermic(Kusumaningsih et al. 2018).



Peng Li dkk (2018) telah melakukan penelitian mengenai simulasi numerik aliran dua fase padat-cair pada rekahan silang berdasarkan Model Dua Fluida dan teori kinetik aliran granular (KTGF). Hasil penelitian menunjukkan bahwa partikel cenderung terakumulasi pada perpotongan antara slot utama dan slot cabang. Sudut *bypass* yang lebih besar antara slot utama dan slot cabang menyebabkan aliran partikel yang lebih sedikit ke dalam slot cabang (Li, Zhang, and Lu 2018).

Pelin Ilker (2020) telah melakukan penelitian mengenai Performa model turbulensi untuk aliran *slurry fase* tunggal dan cair-padat dalam sistem pipa bertekanan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa RNG- ϵ memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan model turbulensi lainnya untuk aliran air melalui pipa kasar dan anulus eksentrik. Untuk aliran air melalui anulus konsentris, model EARSM mengungguli model turbulensi lainnya. Semua model kecuali SSG menunjukkan kinerja yang sama dalam estimasi perbedaan tekanan untuk aliran slurry (Ilker and Sorgun 2020).

Dalam konteks penelitian sebelumnya, telah dilakukan berbagai studi yang signifikan pada penelitian tentang aliran fluida dua fase. Beberapa temuan tersebut memberikan wawasan yang terkait dengan fenomena yang sedang diteliti. Namun, meskipun banyak penelitian telah dilakukan, masih terdapat beberapa aspek yang belum terungkap sepenuhnya. Oleh karenanya penelitian ini bertujuan untuk memperdalam pemahaman tentang karakteristik aliran fluida dua fase cair pada terhadap perubahan densitas dengan memperluas cakupan penelitian sebelumnya.

Oleh karenanya Beberapa Penelitian Sebelumnya rata-rata para peneliti tersebut melakukan penelitian aliran dua fase cair dan gas dengan demikian, penelitian yang akan dilakukan untuk menganalisis pengaruh karakteristik aliran fluida dua fase air dan lumpur terhadap perubahan konsentrasi densitas. Berdasarkan hal diatas, maka penulis melakukan penelitian **“Pengaruh Karakteristik Aliran Dua Fase (Cair-Padat) Terhadap Perubahan sentrasi Densitas.”**



1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka peneliti dapat merumuskan masalah adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana debit aliran yang terjadi pada aliran fluida dua fase (cair-padat) terhadap perubahan konsentrasi densitas
2. Bagaimana pengaruh karakteristik aliran fluida dua fase (cair-padat) terhadap perubahan konsentrasi densitas?
3. Analisis kerugian tekanan aliran fluida dua fase (cair-padat) terhadap perubahan konsentrasi densitas.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yang ingin dicapai adalah untuk mengetahui:

1. Menentukan debit aliran yang terjadi pada karakteristik aliran fluida dua fase (cair-padat) terhadap perubahan konsentrasi densitas
2. Menganalisis pengaruh karakteristik aliran fluida dua fase (cair-padat) terhadap perubahan konsentrasi densitas.
3. Menganalisis kerugian tekanan karakteristik aliran fluida dua fase (cair-padat) terhadap perubahan konsentrasi densitas.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Untuk memberi informasi tentang seberapa besar pengaruh karakteristik aliran fluida dua fase (cair-padat) terhadap perubahan konsentrasi densitas.
2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi untuk penelitian lebih lanjut yang berkaitan dengan pengaruh karakteristik aliran fluida dua fase (cair-padat) terhadap perubahan konsentrasi densitas

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan – batasan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Objek penelitian yang digunakan ialah air 100 liter dan tanah liat 100 liter.
 2. Pompa yang digunakan adalah Pompa Sentrifugal.
 3. Karakteristik yang dimaksud yaitu Debit, Perubahan Tekanan, Faktor Gesek, Bilangan *Reynoldss*, dan Persentase Cair-padat.
- Diameter pipa yang digunakan adalah 1 inci dan 2 inci dan Jenis pipa pvc
- Mengabaikan kondisi lingkungan dan Mengabaikan perpindahan panas.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Defenisi Fluida

Didalam fisika diketahui bahwa suatu zat ada dalam tiga fase utama: padat, cair, dan gas. (Pada suhu yang sangat tinggi, disebut juga ada sebagai plasma.) Suatu zat dalam fase cair atau gas disebut sebagai cairan. Pembedaan antara benda padat dan fluida dibuat berdasarkan kemampuan zat untuk menahan tegangan geser (atau tangensial) yang diterapkan yang cenderung mengubah bentuknya.

Benda padat dapat menahan tegangan geser yang diberikan dengan cara deformasi, sedangkan fluida berubah bentuk secara terus menerus di bawah pengaruh tegangan geser, tidak peduli seberapa kecilnya. Dalam zat padat, tegangan sebanding dengan regangan, tetapi dalam zat cair, tegangan sebanding dengan laju regangan. Ketika gaya geser konstan diterapkan, padatan akhirnya berhenti berubah bentuk, pada beberapa sudut regangan tetap, sedangkan cairan tidak pernah berhenti berubah bentuk dan mendekati tingkat regangan tertentu.

Fluida mempunyai dua sifat fisik yaitu viskositas dan densitas. Dimana viskositas adalah sifat fluida yang diberikannya tahanan terhadap tegangan geser oleh fluida tersebut. Besar kecilnya viskositas fluida tergantung pada suhu fluida tersebut. Untuk fluida cair, makin tinggi suhunya, maka viskositasnya makin kecil, sedang untuk fluida gas, makin tinggi suhunya, maka viskositasnya makin besar. Sedangkan densitas atau kerapatan suatu fluida didefinisikan sebagai massa per satuan volume.

Dalam mekanika fluida, aliran kompresibel berbeda secara signifikan dari aliran inkompresibel. Dalam aliran kompresibel, densitas fluida dalam aliran berubah, sedangkan pada aliran inkompresibel (paling sering adalah aliran cairan), densitas fluida (maka volume partikel) adalah konstan. Mengingat hal di atas, aliran inkompresibel tidak akan dapat menggunakan energi internal n gerakan fluida, dan gerakan fluida hanya akan dijelaskan oleh hukum ton, serta dalam mekanika *solid state*, sedangkan untuk menggambarkan n kompresibel akan diperlukan untuk mengambil hukum termodinamika,



yang diberikan dalam tabel berikut. Fluida merupakan zat yang dapat berubah bentuk secara terus – menerus jika terkena tegangan geser meskipun tegangan geser itu kecil. Tegangan geser adalah gaya geser dibagi dengan luas permukaan tempat adanya gaya geser tersebut. Gaya geser adalah komponen gaya yang menyinggung permukaan(Cengel 2006).

Terdapat beberapa klasifikasi dalam fluida dimana yaitu fluida statis dan fluida dinamis, fluida statis adalah fluida yang berada dalam fase tidak bergerak alias diam. Atau bisa juga fluida tersebut bergerak namun tidak ada perbedaan yang signifikan pada kecepatan antar partikel fluida tersebut. Dalam kasus ini fluida sebenarnya bergerak, namun dengan kecepatan yang seragam sehingga fluida tidak terkena gaya geser. Sedangkan fluida dinamis ialah fluida yang dalam fase bergerak dan memiliki gaya geser. Dinamis atau bergerak yang berarti memiliki kecepatan yang konstan terhadap waktu, tidak termampatkan, tidak kental dan tidak mengalami putaran-putaran(Ghurri 2014).

Fluida memiliki berbagai sifat dan karakteristik, yang merupakan bagian dari sifat fluida ialah massa jenis (*density*) dimana kepadatan jumlah molekul yang terdapat dalam satuan volume fluida. Hal ini perlu diketahui karena semakin banyak molekul yang ada, maka kepadatan fluida juga dapat bertambah. Kemudian, kepadatan fluida meningkat seiring dengan bertambahnya tekanan saat tekanan diterapkan pada fluida. Lalu, jika temperatur fluida meningkat maka massa jenis fluida akan menurun. persamaan yang digunakan untuk mengetahui massa jenis ialah pada persamaan 1 dibawah ini.

$$\rho = \frac{\text{massa}}{\text{satuan volume}} = \frac{m}{V} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (1)$$

dimana:

m = massa fluida (kg)

V = volume fluida (m³)

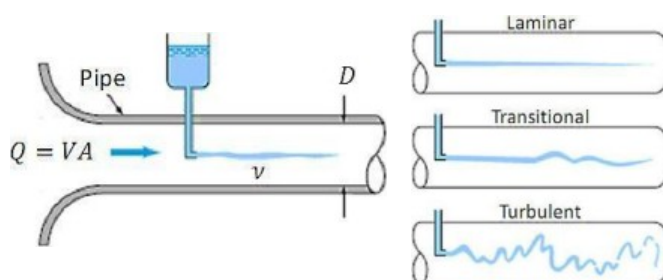
Sifat selanjutnya ialah Berat jenis merupakan besar nilai massa jenis yang dipengaruhi oleh temperatur, semakin tinggi temperatur maka kerapatan fluida



akan berkurang dikarenakan gaya kohesidari molekul-molekul fluida menjadi berkurang. Berat jenis pada fluida bergantung pada kepadatan massa dan percepatan gravitasinya. Biasanya, dalam perhitungan berat jenis fluida, untuk benda cair akan menggunakan kadar air sebagai standarnya. Sedangkan untuk benda gas menggunakan udara sebagai standarnya. Sifat selanjutnya adalah kekentalan atau *viskositas*. Atau yang biasa disebut sebagai resistensi fluida terhadap perubahan bentuk dan pergerakan yang terjadi. *Viscosity* juga membantu untuk memahami fluida statis atau dinamis. Pada intinya kekentalan sebuah fluida perlu kita hitung untuk mengukur resistensi fluida terhadap aliran. Selanjutnya ialah kemampuan dimana pengecilan volume akibat adanya tekanan atau perubahan suhu pada fluida. Namun yang sebenarnya bisa dimampatkan hanyalah benda gas. Sedangkan benda cair jika dimampatkan akan berpengaruh pada *density* dan deformasi pada molekul fluida(Asrori et al. 2021).

2.2 Aliran Fluida Dalam Pipa

Aliran fluida dalam pipa memiliki beberapa sifat dimana salah satu sifat aliran yaitu berdasarkan bilangan *Reynoldss*, Karakteristik struktur aliran internal (dalam pipa) sangat tergantung dari kecepatan rata-rata aliran dalam pipa, densitas, viskositas dan diameter pipa. Aliran fluida (cairan atau gas) dalam pipa mungkin merupakan aliran laminar atau turbulen. Pada aliran laminar, partikel-partikel fluida seolah-olah bergerak sepanjang lintasan yang halus dan lancar dengan kecepatan fluida rendah dan viskositasnya tinggi. Sedangkan aliran turbulen, partikel-partikel fluida bergerak secara acak dan tidak stabil dengan kecepatan fluida tinggi dan viskositasnya rendah. Percobaan tersebut dilakukan menginjeksikan zat pewarna ke dalam pipa yang dialiri fluida dengan kecepatan rata-rata tertentu seperti Gambar 1.



Gambar 1. Eksperimen ilustrasi jenis aliran.



Menurut hasil percobaan *Reynoldss*, untuk membedakan apakah aliran itu turbulen atau laminar dapat menggunakan bilangan tak berdimensi yang disebut dengan bilangan *Reynoldss*. Bilangan ini dihitung dengan persamaan 2 sebagai berikut:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (2)$$

Di Mana:

Re = Bilangan *Reynoldss* (tak berdimensi)

V = kecepatan rata-rata (ft/s atau m/s)

D = diameter pipa (ft atau m)

μ = viskositas dinamis (m^2/s)

Pada $Re < 2300$, aliran bersifat laminar. Pada $Re > 4000$, aliran bersifat turbulen. Pada $Re = 2300 - 4000$ terdapat daerah transisi.

Terdapat berbagai persamaan dalam menentukan aliran fluida ialah. Persamaan Kontinuitas Fluida yang mengalir melalui suatu penampang saluran akan selalu memenuhi hukum kontinuitas yaitu laju massa fluida yang masuk $\dot{m}_1$ akan selalu sama dengan laju massa fluida yang keluar $\dot{m}_2$, persamaan kontinuitas dapat dilihat pada persamaan 3 sebagai berikut dimana:

$$\begin{aligned} \dot{m}_1 &= \dot{m}_2 \\ (\rho AV)_1 &= (\rho AV)_2 \end{aligned} \quad (3)$$

untuk fluida inkompresibel: $\rho_1 = \rho_2$

sehingga,

$$\begin{aligned} (AV)_1 &= (AV)_2 \\ Q_1 &= Q_2 \end{aligned} \quad (4)$$

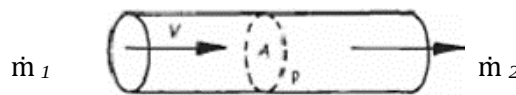
Di mana: $\dot{m}$ = laju massa fluida (kg/s)

Q = debit aliran (m^3/s)

V = kecepatan aliran fluida (m/s)

A = luas penampang dalam pipa (m^2)





Gambar 2. Penampang saluran silinder membuktikan persamaan kontinuitas.

Pada persamaan dasar *bernoulli* fluida tak termampatkan (*inkompresibel*) yang mengalir melalui suatu penampang sebuah pipa dan saluran apabila aliran bersifat tunak (*steady state*) dan tanpa gesekan (*insviscid*) akan memenuhi hukum yang dirumuskan oleh *Bernoulli*. Perumusan tersebut dapat dijabarkan dari persamaan energi pada aliran fluida melalui sebuah penampang pipa silinder dapat dilihat pada persamaan 5 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Energi masuk} &= \text{Energi keluar} \\ (E_p + E_k + pA)_1 &= (E_p + E_k + pA)_2 \end{aligned} \quad (5)$$

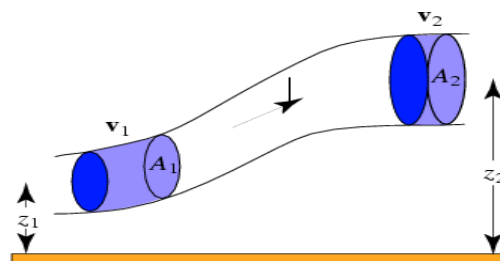
Di mana:

E_p = Energi potensial (J)

E_k = Energi kinetik (J)

pA = Energi tekanan (J)

Pada gambar berikut, mengilustrasikan secara konsep visual dalam perumusan persamaan energi pada aliran fluida melalui penampang pipa silinder sebagaimana dicantumkan pada persamaan 5 dapat dilihat pada gambar 3 dibawah ini:



Gambar 3. Profil saluran *Bernoulli*.

Pada persamaan *bernoulli* diatas sering dalam bentuk persamaan energi "*Head*". *Head* pada persamaan diatas terdiri dari head ketinggian "*z*", head kecepatan " $V^2/2g$ ", dan head tekanan " $p/\rho g$ ". *Head* ketinggian menyatakan energi potensial yang dibutuhkan untuk mengangkat air setinggi "*m*" kolom air. *Head* kecepatan menyatakan energi kinetik yang dibutuhkan



untuk mengalirkan air setinggi "m" kolom air. yang terakhir, *head* tekanan adalah energi aliran dari "m" kolom air yang mempunyai berat sama dengan tekanan dari kolom "m" air tersebut. Apabila penampang pipa diatas bukan permukaan sempurna sehingga terjadi gesekan antara aliran fluida dengan permukaan pipa maka persamaan energi menjadi:

$$\left(z + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma}\right) = \left(z + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma}\right) + h_1$$

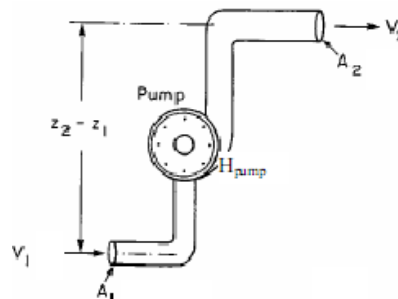
dimana; h_1 = *head* kerugian aliran karena gesekan (*friction*)

Apabila pada penampang saluran ditambahkan energi seperti yang dapat dilihat pada gambar 2.4, maka pompa akan memberikan energi tambahan pada aliran fluida sebesar H_{pump} , persamaan menjadi:

$$\left(z + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma}\right) H = \left(z + \frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma}\right) + h_1 \quad (7)$$

dimana; $H = H_{pump}$ = Head pompa

Pada persamaan diatas dapat dilihat lebih lanjut pada gambar 4 dibawah ini:



Gambar 4. Perubahan energi pada pada pompa

Persamaan Momentum $F = m (V_2 - V_1)$ Ini adalah bentuk yang paling sering digunakan dalam perhitungan yang melibatkan gaya. Ini merupakan persamaan *vektor* yang terdiri dari tiga persamaan *scalar* dalam sistem koordinat kartesian, yaitu:

$$\begin{aligned} F_x &= m (V_{2x} - V_{1x}) \\ F_y &= m (V_{2y} - V_{1y}) \\ F_z &= m (V_{2z} - V_{1z}) \end{aligned} \quad (8)$$



Aliran laminar dalam pipa aliran fluida jenis ini akan terjadi apabila kecepatan fluida yang mengalir melalui pipa rendah, maka gerakan alirannya akan konstan (*steady*) baik besarnya maupun arahnya pada sembarang titik. Aliran laminar dapat diketahui dari perhitungan *Reynoldss* Number:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (9)$$

Di Mana:

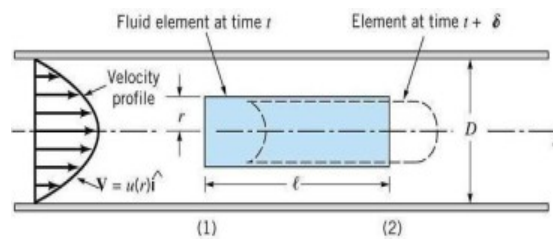
Re = Bilangan *Reynoldss* (tak berdimensi)

V = kecepatan rata-rata (ft/s atau m/s)

D = diameter pipa (ft atau m)

μ = viskositas dinamis (m^2/s)

Berdasarkan percobaan aliran di dalam pipa, *Reynoldss* menetapkan bahwa untuk bilangan *Reynoldss* di bawah 2000 ($Re < 2000$), gangguan aliran dapat diredam oleh kekentalan zat cair maka disebut aliran laminar dapat dilihat seperti pada gambar 5 dibawah ini.



Gambar 5. Gerakan sebuah elemen fluida dalam sebuah pipa *silindris*.

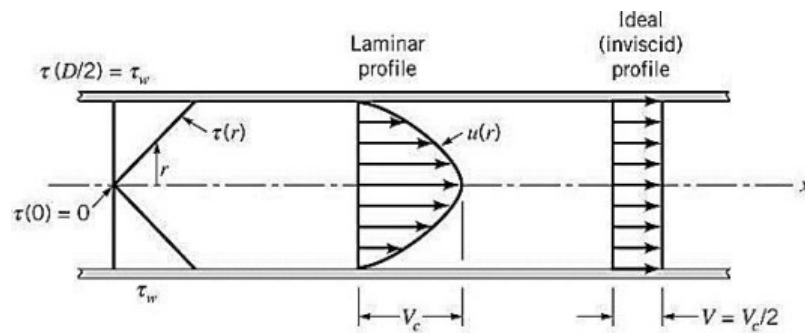
Berdasarkan teori aliran laminar fluida Newton, tegangan geser hanya sebanding dengan gradien kecepatan ($\tau = \mu \, du/dr$). Dan dalam notasi yang terkait dengan aliran pipa, persamaan menjadi:

$$\tau = -\mu \frac{du}{dr} \quad (10)$$



da negatif diindikasikan untuk memberikan $\tau > 0$ dengan $du/dr < 0$

cepatan menurun dari garis tengah pipa hingga dinding pipa) Gambar 6.



Gambar 6. Distribusi tegangan geser aliran fluida dalam pipa dan profil kecepatan khusus.

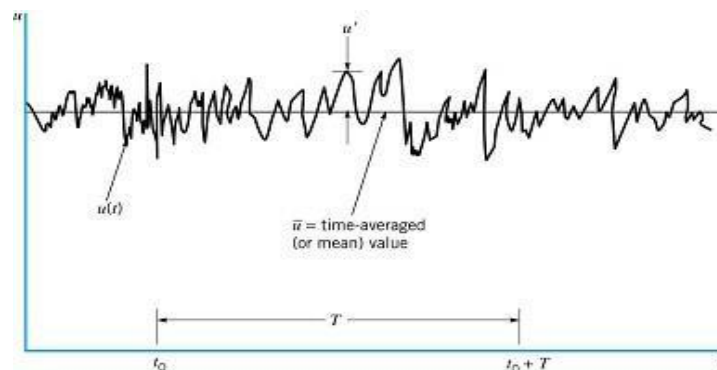
Profil ini adalah parabola dalam koordinat radial r , memiliki kecepatan maksimal V_c di tengah pipa, dan kecepatan minimum (nol) di dinding pipa tersebut. Untuk profil kecepatan sebagai fungsi tegangan geser dinding:

$$u(r) = \frac{r_w D}{4\mu} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (11)$$

Persamaan 11 biasa disebut Hukum *Poiseuille*. Dan aliran laminar dalam pipa disebut aliran *Hagen-Poiseuille*. Kecepatan rata-rata:

$$V = \frac{Q}{\pi R^2} = \frac{V_c}{2} = \frac{\Delta p D^2}{32\mu l} \quad (12)$$

Aliran Turbulen Dalam Pipa Aliran ini terjadi apabila kecepatan fluida tinggi, aliran tidak lagi *steady* namun bervariasi baik besar maupun arahnya pada sembarang titik. Aliran akan bersifat turbulen jika hasil perhitungan *Reynolds number* (Re) diatas 4000 ($Re > 4000$, Aliran Turbulen).



Gambar 7. Time-averaged, $\bar{u}$, dan fluctuating, u' , deskripsi parameter aliran turbulen.



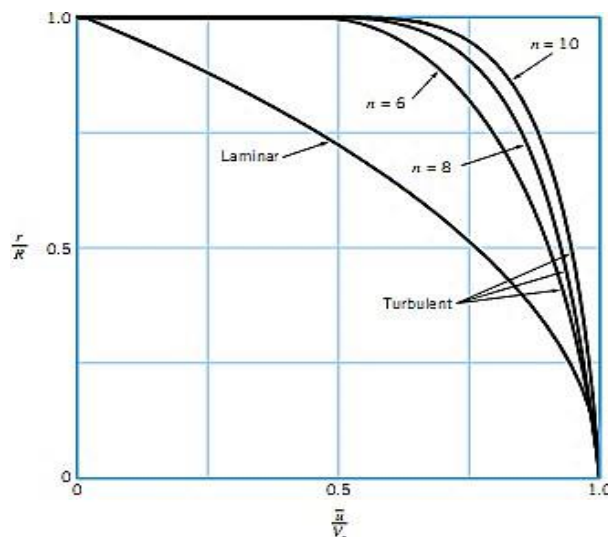
Kecepatan fluida dalam aliran pada suatu titik dapat dianggap sebagai waktu rata-rata dari kecepatan fluida. Jadi jika $u = u(x, y, z, t)$ adalah komponen kecepatan fluida sesaat di beberapa titik, maka nilai waktu rata-rata, $\bar{u}$, adalah

$$\bar{u} = \frac{1}{T} \int_{t_0}^{t_0+T} u(x, y, z, t) dt \quad (13)$$

Dalam konsep tegangan geser untuk aliran turbulen, ini tidak sebanding dengan gradien kecepatan waktu rata-rata ($\tau \neq \mu d\bar{u}/dy$). Aliran ini juga berisi kontribusi yang disebabkan oleh fluktuasi acak dari komponen kecepatan. Profil kecepatan untuk aliran turbulen pada pipa halus dapat dinyatakan dalam bentuk profil kecepatan hukum pangkat (*power-law velocity profile*) yaitu:

$$\frac{\bar{u}}{V_c} = \left(1 - \frac{r}{R}\right)^{1/n} \quad (14)$$

Dalam pernyataan ini, nilai n adalah fungsi dari bilangan *Reynolds*, dengan nilai- nilai tertentu antara $n = 6$ dan $n = 10$. Karakteristik profil kecepatan turbulen yang didasarkan pada pernyataan *power-law* ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Karakteristik profil kecepatan aliran laminar dan aliran turbulen.



Aliran Transisi Apabila bilangan *Reynoldss* berada di antara kedua nilai tersebut ($2000 < Re < 4000$) disebut aliran transisi. Bilangan *Reynoldss* pada kedua nilai di atas ($Re = 2000$ dan $Re = 4000$) disebut dengan batas kritis bawah dan atas.

Aliran *Steady* dan *Unsteady*. Aliran *steady* adalah Aliran, di mana jumlah cairan yang mengalir per detik adalah konstan, disebut aliran stabil. Aliran *steady* mungkin seragam atau tidak seragam. Aliran *unsteady* ialah Aliran, di mana jumlah cairan yang mengalir per detik tidak konstan, disebut aliran tidak stabil. Istilah Tidak Tetaap (*Unsteady*). Dalam mekanika fluida, *unsteady* adalah istilah yang paling umum yang berlaku untuk setiap aliran yang tidak tunak, tetapi *transien* biasanya digunakan untuk mengembangkan aliran. Ketika mesin roket dinyalakan, misalnya, ada efek sementara (tekanan menumpuk di dalam mesin roket, aliran dipercepat, dll.) hingga mesin menjadi tenang dan beroperasi dengan Tetap. Istilah periodik mengacu pada jenis aliran tidak tetap di mana aliran berosilasi tentang rata-rata tetap. (Ghurri 2014)

Aliran *compressible* dan Aliran *Incompressible* Aliran diklasifikasikan sebagai *kompresibel* atau *inompresibel*, tergantung pada tingkat variasi densitas selama aliran. Inompresibilitas adalah pendekatan, dan aliran dikatakan *incompressible* jika kerapatannya tetap hampir konstan. Oleh karena itu, volume setiap bagian fluida tetap tidak berubah selama gerakannya ketika aliran (atau fluida) tidak dapat dimampatkan. Kepadatan cairan pada dasarnya konstan, dan dengan demikian aliran cairan biasanya tidak dapat dimampatkan. Oleh karena itu, zat cair biasanya disebut sebagai zat yang tidak dapat dimampatkan. Tekanan 210 atm, misalnya, menyebabkan densitas air cair pada 1 atm berubah hanya sebesar 1 persen. Gas, di sisi lain, sangat *kompresibel*. Perubahan tekanan hanya 0,01 atm, misalnya, menyebabkan perubahan 1 persen dalam kerapatan udara atmosfer. Ketika menganalisis roket, pesawat ruang angkasa, dan sistem ain yang melibatkan aliran gas berkecepatan tinggi, kecepatan aliran ering dinyatakan dalam bilangan *Mach* tak berdimensi yang didefinisikan ebagai (Ghurri 2014).



$$Ma = \frac{V}{c} = \frac{\text{Speed Of Flow}}{\text{Speed of Sound}} \quad (15)$$

Di mana :

Ma : Bilangan *Mach*

V : Kecepatan Aliran Fluida (m/s)

c : Kecepatan Suara m/s)

Aliran *Internal* vs *External* Aliran fluida diklasifikasikan sebagai *internal* atau *eksternal*, tergantung pada apakah fluida dipaksa mengalir di saluran terbatas atau di atas permukaan. Aliran fluida tak terbatas di atas permukaan seperti pelat, kawat, atau pipa adalah aliran *eksternal*. Aliran dalam pipa atau saluran adalah aliran *internal* jika fluida dibatasi seluruhnya oleh permukaan padat. Aliran air dalam pipa, misalnya, adalah aliran *internal*, dan aliran udara di atas bola atau di atas pipa terbuka selama hari berangin adalah aliran *eksternal*. Aliran zat cair dalam suatu saluran disebut aliran saluran terbuka jika saluran tersebut hanya terisi sebagian cairan dan terdapat permukaan bebas. Aliran air di sungai dan saluran irigasi adalah contoh aliran tersebut. Aliran *internal* didominasi oleh pengaruh viskositas di seluruh medan aliran. Dalam aliran *eksternal*, efek viskos terbatas pada lapisan batas di dekat permukaan padat dan untuk membangunkan daerah hilir tubuh (Ghurri, 2015).

Aliran multifase adalah aliran yang fasenya (padat, cair dan gas) saling berinteraksi antara satu dengan yang lainnya dan setiap hubungan antar fase pergerakannya saling mempengaruhi. Sedangkan aliran dua fase adalah aliran yang terdiri dari dua fase yang berbeda, dan merupakan bagian aliran multifase. Aplikasi aliran multifase misalnya kavitasi pompa dan turbin, *electrophotographic printer* di proses aliran efektif toner untuk menghasilkan kualitas gambar dan kecepatan pencetakan, ketel uap, proses reaktor nuklir di sistem pembangkit tenaga nuklir, proses destilasi, industri perminyakan dan pertambangan, bidang medis untuk aliran darah dan perma, sehingga akan menjadi sangat berharga untuk memikirkan aplikasi aliran multiphase (Awaluddin et al. 2014). Aliran Dua Fasa (phase) merupakan suatu kondisi atau wujud dari sebuah zat. Dari definisi tersebut



perbedaan antara aliran satu fasa dengan aliran dua fasa terletak pada jumlah fasa yang terlibat, dimana aliran satu fasa hanya melibatkan satu fasa saja sedangkan aliran dua fasa melibatkan lebih dari satu fasa.

Aliran dua fasa dapat dijumpai pada peralatan industri seperti ketel uap, reaktor nuklir, pembangkit listrik tenaga panas bumi dan *heat exchanger*. Berdasarkan penelitian Kusumaningsih (2018) beberapa parameter dalam aliran dua fase (cair-padat) yaitu: (Kusumaningsih et al., 2018)

a). Massa Alir, $\dot{m}_{lumpur}$

Massa alir total aliran fluida dua fase seperti pada Persamaan 16 merupakan jumlah dari massa alir fase cair, $\dot{m}_1$ dengan massa alir tanah liat $\dot{m}_{tanah\ liat}$.

$$\dot{m}_{lumpur} = \dot{m}_{air} + \dot{m}_{tanah\ liat} \text{ (kg/s)} \quad (16)$$

b). Volume alir, Q_{lumpur}

Volume alir total aliran fluida dua fase seperti pada Persamaan 17 merupakan jumlah dari volume alir fluida berfase *liquid*, Q_1 dengan volume alir padat $Q_{tanah\ liat}$

$$Q_{lumpur} = Q_{air} + Q_{tanah\ liat} \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (17)$$

Sama halnya dengan aliran fluida satu fase, volume alir berhubungan dengan massa alir fluida. Untuk volume alir fluida berfase cair-padat dapat dihitung menggunakan Persamaan 18

$$Q_{air} = \frac{\dot{m}_{air}}{\rho_{lumpur}} \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (18)$$

$$Q_{lumpur} = \frac{\dot{m}_{tanah\ liat}}{\rho_{tanah\ liat}} \text{ (m}^3\text{/s)} \quad (19)$$

c). *Fluks* Massa, G

Fluks massa merupakan banyaknya massa alir fluida yang melewati suatu luas penampang. *Fluks* massa untuk aliran dua fase dapat dihitung menggunakan Persamaan 20.



$$G = \frac{\dot{m}}{A} \text{ (kg/m}^2\text{)} \quad (20)$$

d). Kualitas Massa lumpur, x

Kualitas massa udara merupakan rasio antara massa alir fluida berfase gas dengan massa alir total. Kualitas massa udara dapat dihitung menggunakan Persamaan 21.

$$x = \frac{\dot{m}_{\text{tanah liat}}}{\dot{m}_{\text{tanah liat}} + \dot{m}_{\text{air}}} \quad (21)$$

2.3 Perubahan Tekanan Fluida

Dalam aliran fluida terjadi karena adanya perubahan ketinggian, perubahan kecepatan akibat perubahan penampang dan gesekan fluida. Pada aliran tanpa gesekan perubahan tekanan dapat dianalisa dengan persamaan Bernoulli yang memperhitungkan perubahan tekanan ke dalam perubahan ketinggian dan perubahan kecepatan. Sehingga perhatian utama dalam menganalisa kondisi aliran nyata adalah pengaruh dari gesekan. Gesekan akan menimbulkan penurunan tekanan atau kehilangan tekanan dibandingkan dengan aliran tanpa gesekan. Berdasarkan lokasi timbulnya kehilangan, secara umum kehilangan tekanan akibat gesekan atau kerugian ini dapat digolongkan menjadi 2 yaitu: kerugian mayor dan kerugian minor. Kerugian mayor adalah kehilangan tekanan akibat gesekan aliran fluida pada sistem aliran penampang pipa yang konstan. Sedangkan kerugian minor adalah kehilangan tekanan akibat gesekan yang terjadi pada alat kelengkapan pipa seperti katup, belokan, tee, filter dan pada penampang pipa yang tidak konstan. Kerugian ini untuk selanjutnya akan disebutkan sebagai *head loss* zat cair/fluida yang ada di alam mempunyai kekentalan, meskipun demikian dalam berbagai perhitungan mekanika fluida ada yang dikenal atau dianggap sebagai fluida ideal. Menurut Triadmojo (1996:1).



ugi aliran (Head Losses) merupakan pengurangan energi per satuan berat a pada aliran cairan pada sistem perpipaan. Head loss terdiri dari major loss (h_f), minor head loss (h_m), dan total head loss (h_{tot}). (Fadhli, and

Sriwati 2017). Rugi Aliran akibat gesekan disebut juga kehilangan energi *major loss*. *Major loss* terjadi karena adanya kekentalan zat cair dan turbulensi karena adanya kekerasan dinding batas pipa yang akan menimbulkan gaya gesek yang akan menyebabkan rugi aliran di sepanjang pipa dengan kecepatan konstan pada aliran seragam.

Rugi aliran sepanjang satu satuan panjang akan konstan selama kekerasan dan diameter tidak berubah. **Persamaan untuk *major loss*** adalah:

$$h_f = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (22)$$

Dimana :

h_f = *major loss* (m)

f = faktor gesek

L = panjang pipa (m)

V = kecepatan fluida dalam pipa (m/s)

d = diameter dalam pipa (m)

g = gravitasi (m/s²)

Nilai faktor gesek (f) dapat digambarkan dalam diagram Moody. Diagram tersebut merupakan fungsi dari Bilangan Reynolds (Reynold's number) dan kekasaran relatif (*relative roughness*- ϵ/D).

Tabel 1. Kekasaran ekivalen untuk berbagai material pipa

Material Pipa	Kekasaran Ekivalen,	
	ft	mm
Paku baja	0.003–0.03	0.9–9.0
Beton	0.001–0.01	0.3–3.0
Kayu diampas	0.0006–0.003	0.18–0.9
Besi tuang	0.00085	0.26
Besi galvanisir	0.0005	0.15
Besi komersial atau besi tempa	0.00015	0.045
Pipa saluran	0.000005	0.0015

Kekerasan relatif pipa yang merupakan fungsi dari nominal diameter pipa dan kekerasan permukaan dalam pipa (ϵ), yang tergantung jenis material pada pipa. Persamaan ini disebut persamaan Darcy-Weisbach, berlaku untuk setiap

aliran, berkembang penuh, steady, inkompresibel baik pada pipa horizontal maupun di atas bukit. Sedangkan faktor gesekan f , disebut sebagai faktor gesekan Darcy. Faktor gesekan f untuk aliran laminar adalah $f = 64/Re$ dan



tidak bergantung dengan kekasaran relatif pipa ε/D . Sedangkan untuk aliran turbulen, ketergantungan fungsional $f = (Re, \varepsilon/D)$ adalah kompleks. Diagram *Moody* adalah diagram faktor gesekan fungsi bilangan *Reynolds* dan kekasaran relatif pipa. Nilai-nilai kekasaran yang khas untuk berbagai permukaan pipa ditampilkan pada Tabel 1.

Rugi aliran akibat perubahan penampang (*minor loss*) *Minor loss* terjadi pada perubahan arah seperti pembelokan (*elbow*), bengkokan (*bends*), pembesaran penampang (*expansion*), dan pengecilan penampang (*contracsion*). Rugi aliran *minor loss* akan mengakibatkan adanya tumbukan antara partikel zat cair dan meningkatnya gesekan karena turbulensi, tidak seragamnya distribusi kecepatan pada suatu penampang pipa. Adanya lapisan batas terpisah dari dinding pipa maka akan terjadi pusaran air. Adanya pusaran air akan mengganggu pola aliran laminar sehingga akan menaikkan tingkat turbulensi. Untuk *minor loss* dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$h_m = k v^2 / g \quad (23)$$

Dimana:

$h_m = \text{minor loss}$

$k = \text{koefisien rugialiran}$

$v = \text{kecepatanaliran (m/s)}$

$g = \text{gravitasi (9,81 m/s}^2 \text{)}$

Total head loss merupakan jumlah dari *major loss* dan *minor loss* (Ghurri 2014).

Rugi energi aliran dalam pipa bila fluida mengalir melalui suatu pipa dan tekanan fluida diukur pada dua tempat sepanjang pipa, akan dijumpai kenyataan bahwa tekanan berkurang dalam arah aliran. Penurunan tekanan ini disebabkan karena gesekan fluida pada dinding pipa. Penurunan tekanan (Δp) sepanjang pipa (L) dapat dinyatakan sebagai: $D = \text{diameter pipa (m)}$ (Jurusan et al., 2012).



$$\frac{\Delta p}{\rho g} = h_f = f \frac{L v^2}{D^2 g} \quad (24)$$

dimana:

ΔP = penurunan tekanan (N/m^2)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

h_f = kerugian tinggi tekanan (m)

L = panjang pipa (m)

2.4 Penelitian Sebelumnya

2.4.1 Zeneng sun (2021) melakukan penelitian mengenai Peta rezim aliran empat kuadran untuk sistem fluidisasi cair padat dan gas-padat dua fase. Hasil yang diperoleh Arah aliran fluida dan kecepatan partikel digunakan sebagai absis dan ordinat peta rezim empat kuadran yang diusulkan. Semua sistem fluidisasi kemudian dapat dibagi menjadi empat kelompok: *cocurrent* ke atas (Kuadran I) dan ke bawah (Kuadran III), *countercurrent fluid-down* dan *solids-up* (Kuadran II) dan *fluid-up* dan *solids-down* (Kuadran IV) di peta rezim. Kerapatan relatif antara partikel dan fluida juga dipilih sebagai parameter untuk membedakan operasi GS *downer* dan unggun terfluidisasi terbalik LS di Kuadran III. Transisi ke dan batas-batas rezim aliran dibahas secara rinci. Beberapa rezim aliran baru seperti fluidisasi turbulen sirkulasi GS dan rezim fluidisasi sirkulasi konvensional LS juga diuraikan dalam peta rezim yang diusulkan. (Sun and Zhu 2021)

2.4.2 Kusumaningsih dkk (2018) telah melakukan penelitian mengenai Analisis Pressure Drop Dan Pola Aliran Dua Fase (Air-Udara) Pada Pipa Horizontal Melalui Orifice. Hasil yang diperoleh ialah Pada penelitian ini, debit air divariasikan sebesar 14, 16, 18, 20 liter/menit dan debit udara divariasikan sebesar 3, 6, 9, 12, 15 liter/menit. Pipa uji yang digunakan dalam penelitian, adalah pipa transparan berdiameter 31.75 mm dengan panjang 390 mm. Sedangkan orifice yang digunakan terbuat dari pelat akrilik dengan area *ratio* (σ) antara diameter orifice dan pipa sebesar 0,6 dan *thickness ratio* (s/d) antara ketebalan dan diameter orifice sebesar 0,11. Fluida kerja adalah air dan udara, orifice yang digunakan terbuat dari pelat akrilik dengan area *ratio* (σ) antara diameter orifice dan pipa sebesar 0.6 dan *thickness ratio* (s/d) antara ketebalan dan diameter



orifice sebesar 0.11, Hasil penelitian didapatkan bahwa distribusi tekanan pada aliran dua fase memiliki kecenderungan yang serupa dengan aliran satu fase. Pola aliran dua fase (air-udara) pada pipa horisontal berdasarkan Baker map terbentuk pola aliran *slug* dan *annular*. Akan tetapi karakteristik pola aliran dua fase (air-udara) pada pipa horisontal melalui orifice berdasarkan Baker map dengan batas yang berbeda terbentuk pola aliran *wavy*, *bubbly*, *slug* dan *annular*.(Kusumaningsih et al. 2018)

2.4.3 Peng Li dkk (2018) telah melakukan penelitian mengenai simulasi numerik aliran dua fase padat-cair pada rekahan silang berdasarkan Model Dua Fluida dan teori kinetik aliran granular (KTGF). Hasil penelitian menunjukkan bahwa partikel cenderung terakumulasi pada perpotongan antara slot utama dan slot cabang. Sudut *bypass* yang lebih besar antara slot utama dan slot cabang menyebabkan aliran partikel yang lebih sedikit ke dalam slot cabang. Jarak rekahan cabang dari inlet rekahan utama menginduksi karakteristik aliran partikel yang berbeda ke dalam slot cabang. Fraksi volume partikel pada tahap stabil meningkat dengan penurunan ds/wb . Ketebalan deposisi partikel meningkat dengan meningkatnya fraksi volume saluran masuk dan sedangkan Ar Number menurun dengan bertambahnya Bilangan *Reynolds* (Re). (Li et al. 2018)

2.4.4 Siyao Lv (2020) pada penilitan ini yang berjudul Penurunan tekanan aliran dua fase cair-padat terfluidisasi sirkulasi aliran bawah. Hasil penelitian menunjukkan penurunan tekanan aliran dua fase cair-padat selalu lebih besar daripada aliran fase cair-tunggal di downer. Rasio penurunan tekanan maksimum berkisar antara 16,9% hingga 32,0% untuk partikel yang dipilih. Penurunan tekanan aliran dua fase cair-padat meningkat dengan peningkatan kecepatan sirkulasi di tempat tidur aliran bawah. Perbedaan rasio penurunan tekanan umumnya menurun dengan peningkatan kecepatan sirkulasi, Hasil penelitian dapat memberikan beberapa referensi untuk penerapan teknologi perpindahan panas unggun terfluidisasi di industri. (Lv et al. 2020)



2.4.5 Pitaloka (2015) telah melakukan penelitian mengenai Analisa Pengaruh Debit Air dan Udara serta Kemiringan Pipa Pada Aliran Dua Fase dengan Insert Spiral 600 Terhadap Distribusi Gelembung Udara. Hasil yang diperoleh Penambahan debit air dan debit udara berpengaruh terhadap hasil gelembung udara yang terbentuk. Perubahan gelembung udara yang semakin kecil dikarenakan perubahan laju aliran air semakin cepat dan sebaliknya. Perubahan kemiringan pipa sebesar 100 menyebabkan gelembung udara semakin kecil. Semakin sedikit gelembung udara dikarenakan posisi pipa yang semakin vertikal sehingga debit udara dan debit air yang konstan membuat gelembung udara cepat terbawa gaya pengapungan. (T, T, and Pitaloka 2015)

