

**ANALISIS KEHILANGAN TEKANAN ALIRAN 2 FASA
MENGUNAKAN MEKANISTIK MODEL UNTUK PIPA
VERTICAL PADA SUMUR X DAN LAPANGAN Y**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna melengkapi syarat dalam mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh
AHMAD AL FAJAR GINTING
143210761



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas akhir ini disusun oleh

Nama : Ahmad Al Fajar Ginting
NPM : 143210761
Program Studi : Teknik Perminyakan
Judul Skripsi : Analisis Kehilangan Tekanan Aliran 2 Fasa
Menggunakan Mekanistik Model Untuk Pipa
Vertical Pada Sumur X Dan Lapangan Y.
Kelompok Keahlian : Produksi

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Perminyakan, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau

DEWAN PENGUJI

Pembimbing I : Ir. H. Ali Musnal., MT. (.....)
Penguji I : Dike Fitriansyah Putra, S.T., M.Sc., MBA (.....)
Penguji II : Novrianti, S.T., M.T. (.....)

Ditetapkan di : Pekanbaru

Tanggal : 21 Desember 2021

Disahkan oleh:

**KETUA PROGRAM STUDI
TEKNIK PERMINYAKAN**



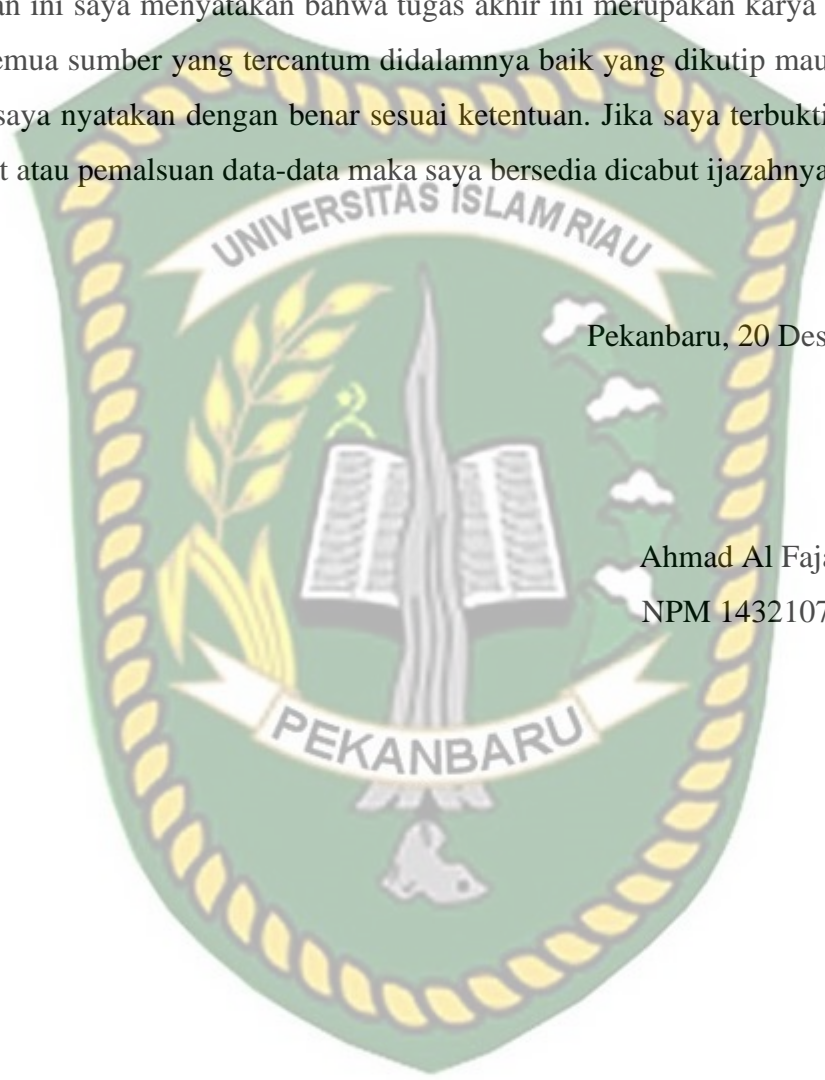
(Novia Rita, S.T., M.T.)

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan karya saya sendiri dan semua sumber yang tercantum didalamnya baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar sesuai ketentuan. Jika saya terbukti melakukan plagiat atau pemalsuan data-data maka saya bersedia dicabut ijazahnya.

Pekanbaru, 20 Desember 2021

Ahmad Al Fajar Ginting
NPM 143210761



KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala karena atas Rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Penulisan tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Perminyakan Universitas Islam Riau. Saya menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dan mendorong saya untuk menyelesaikan tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Kedua orang tua Hendra Ginting (ayah) dan Raskita Br. Barus (bunda), beserta adik-adik saya, seluruh keluarga yang saya sangat cintai, terimakasih selalu memberi dukungan moril dan materil serta kasih sayangnya begitu besar untuk saya dan semangat untuk saya menyelesaikan tugas akhir ini.
2. Ir. H. Ali Musnal, MT selaku dosen pembimbing, yang telah memberikan ide, pikiran dalam memberikan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Bapak dan Ibu Dosen, selaku pengajar di Teknik Perminyakan atas ilmu yang diberikan.
4. Teruntuk teman hidup Ayesha Al Muna Siddiqa yang selalu memberi dukungan dan semangat saya untuk selalu menyelesaikan tugas akhir saya dan tanpa bosan selalu mengingatkan saya untuk lebih fokus.
5. Teruntuk teman perjuangan dan menjadi tempat saling belajar untuk menyelesaikan tugas akhir saya ini, terima kasih atas pengajaran dan ilmunya udah mau mengajari apa yang tidak saya ketahui: Dakas Febrian ST, Ihsan Cahyadi ST, Robi Mustopa ST, dan P.T. Maksa Production.
6. Seluruh teman-teman Teknik Perminyakan UIR dan seluruh staf TU Fakultas Teknik UIR.
7. Seluruh temen-teman online yang terus mendukung dan memberikan semangat maupun motivasi agar terus berjuang dalam menyelesaikan tanggung jawab sebagai mahasiswa

Teriring doa saya, semoga Allah memberikan balasan atas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Pekanbaru, 25 November 2021

Ahmad Al Fajar Ginting



Dokumen ini adalah Arsip Miik :

Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
DAFTAR SINGKATAN.....	xi
DAFTAR SIMBOL	xii
ABSTRAK	xii
<i>ABSTRACT</i>	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. LATAR BELAKANG.....	1
1.2. TUJUAN PENELITIAN	2
1.3. MANFAAT PENELITIAN.....	2
1.4. BATASAN MASALAH.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1. <i>STATE OF THE ART</i>	3
2.2. <i>FLOW PATTERNS</i>	4
2.2.1. Bubble Flow	5
2.2.2. Slug Flow.....	7
2.2.3. Annular Flow.....	7
2.2.4. Churn Flow	8
2.3. KEHILANGAN TEKANAN ALIRAN 2 FASA	9
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	12
3.1. METODE PENELITIAN.....	12
3.2. <i>FLOWCHART</i> PENELITIAN.....	13
3.3. LANGKAH PERHITUNGAN.....	14
3.4. JENIS DAN SUMBER DATA	15
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	16
4.1. ANALISA PREDIKSI POLA ALIRAN PADA SUMUR X.....	16

4.2. KEHILANGAN TEKANAN ALIRAN DUA FASA.....	18
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	20
5.1. KESIMPULAN	20
5.2. SARAN.....	20
DAFTAR PUSTAKA.....	21
LAMPIRAN.....	23



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pola aliran dalam sumur minyak <i>vertical</i> (Yahaya & Gahtani, 2010).....	4
Gambar 2.2	<i>Bubble Flow</i> (Ansari et al., 1994)	6
Gambar 2.3	<i>Slug Flow</i> (Ansari et al., 1994).....	7
Gambar 2.4	<i>Annular Flow</i> (Ansari et al., 1994).....	8
Gambar 2.5	<i>Churn Flow</i> (Ansari et al., 1994).....	8
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	13
Gambar 4.1	Peta pola aliran tipikal untuk sumur bor.....	18



DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Jadwal Penelitian	15
Tabel 4.1	Data Sumur berdasarkan paper	18
Tabel 4.2	Tahapan Perhitungan Kehilangan Tekanan.....	19



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN I	Perhitungan Untuk Memprediksi Pola Aliran	23
LAMPIRAN II	Perhitungan Kehilangan Tekanan Aliran 2 Fasa.....	24



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR SINGKATAN

API	<i>American Petroleum Institute</i>
Q.S.	Quran Surat
SG	<i>Specific Gravity</i>



Dokumen ini adalah Arsip Miik :
Perpustakaan Universitas Islam Riau

DAFTAR SIMBOL



a	Koefisien pada persamaan
A	Luas Penampang Pipa
b	Koefisien pada persamaan
c	Koefisien pada persamaan
C	Faktor konstanta untuk bilangan <i>Reynolds</i>
C'	Koefisien pada persamaan
d	Diameter Pipa
f	Faktor Gesekan
F_E	Gesekan <i>liquid</i> dalam <i>core gas</i>
F_{rp}	Faktor <i>relative</i> performa, pada pers.
g	Kecepatan gravitasi
h	Fraksi <i>holdup</i> lokal
H	Fraksi <i>holdup</i> rata-rata
L	Panjang pipa
n'	Eksponen menghitung <i>swarn</i> pada kecepatan gelembung
N_{Re}	Bilangan <i>Reynolds</i>
p	Tekanan
q	laju alir
S	<i>Wetted parimeter</i>
v	Kecepatan
V	<i>Volume</i>
X	<i>Parameter Lockhart & Martinelli</i>

Y	<i>Parameter Lockhart & Martinelli</i>
Z	Gesekan interfasial
β	Perbandingan Panjang, persamaan
$\underline{\delta}$	Perbandingan ketebalan <i>film</i> dan diameter
ε	Kekasaran pipa absolut
θ	Sudut dari <i>horizontal</i>
γ	Fraksi <i>no-slip hold up</i>
μ	Viskositas dinamik
ν	Viskositas kinematik
ρ	Densitas
σ	Tegangan permukaan
τ	<i>Shear Stress</i>
\emptyset	Grup tanpa dimensi, persamaan



ANALISIS KEHILANGAN TEKANAN ALIRAN 2 FASA MENGUNAKAN MEKANISTIK MODEL UNTUK PIPA VERTICAL PADA SUMUR X DAN LAPANGAN Y

Ahmad Al Fajar Ginting

NPM 143210761

ABSTRAK

Aliran dua fasa minyak dan gas sering dijumpai pada sumur minyak produksi, tidak hanya pada segmen pipa *vertical* dan *horizontal* tetapi juga pada pipa miring dengan beberapa sudut yang berbeda. Selain itu, terkadang gas disuntikkan ke dalam tabung untuk meningkatkan tingkat produksi minyak. Oleh karena itu, sangat penting untuk menentukan aliran dua fasa. Pola aliran pada aliran 2 fasa lebih rumit dibandingkan dengan aliran 1 fasa. Itu karena interaksi antara fasa 1 dengan fasa lainnya, untuk mengetahui pola aliran 2 fasa pada pipa vertikal maka digunakan perhitungan mekanistik model, diketahui pola aliran pada sumur X adalah aliran *bubble*. Metode mekanistik adalah suatu model yang digunakan untuk perhitungan aliran multifasa dapat untuk memprediksi penurunan tekanan dalam pipa terutama dalam situasi yang tidak mudah dimodelkan di laboratorium. Sumur X tergolong sumur yang sudah tua, hal ini menyebabkan perlu adanya evaluasi kinerja produksi sumur, untuk mengevaluasi kinerja produksi sumur maka dilakukan perhitungan untuk mengetahui kehilangan tekanan. Berdasarkan perhitungan kehilangan tekanan aliran 2 fasa menggunakan metode mekanistik model yang mana pada kasus ini menggunakan metode Ansari dan kaya didapati penurunan tekanan yang terjadi sebesar 483.1759.

Kata kunci: Aliran 2-fasa, kehilangan tekanan, metode mekanistik model, pipa *vertical*, aliran *bubble*

ANALYSIS OF 2 PHASE FLOW PRESSURE LOSS ANALYSIS USING MECHANISTIC MODEL FOR VERTICAL PIPE IN WELL X AND FIELD Y

Ahmad Al Fajar Ginting

NPM 143210761

ABSTRACT

Two-phase flow of oil and gas is often found in production oil wells, not only in vertical and horizontal pipe segments but also in inclined pipes with several different angles. In addition, sometimes gas is injected into the cylinder to increase the oil production rate. Therefore, it is very important to determine the two-phase flow. The flow pattern of 2-phase flow is more complicated than that of single-phase flow. That's because of the interaction between phase 1 and other phases, to find out the 2-phase flow pattern in the vertical pipe, a mechanistic model calculation is used, it is known that the flow pattern in well X is bubble flow. The mechanistic method is a model used for multiphase flow calculations to predict pressure drop in pipes, especially in situations that are not easily modeled in the laboratory. Well X is classified as an old well, this causes the need for an evaluation of the production performance of the well. Based on the calculation of the pressure loss of the 2-phase fluid using the mechanistic model method which in this case uses the Ansari method and it is found that the pressure drop that occurs is 483.1759.

Keywords: *2-phase flow, pressure loss, model mechanistic method, vertical pipe, bubble flow.*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Menurut (Russell et al., 1959) di dalam penelitiannya bahwa aliran turbulen dapat menyebabkan pencampuran 2 fasa yang mengalir dalam pipa dapat mendispersikan fasa yang awalnya terpisah, sehingga emulsi terbentuk dan menghasilkan penurunan tekanan yang tinggi. Penurunan tekanan tersebut bisa terjadi karena adanya gesekan antara zat yang mengalir dengan pipa (Nädler & Mewes, 1997). Nilai dari penurunan tekanan perlu diketahui untuk melakukan optimasi produksi di lapangan, untuk menentukan nilai penurunan tekanan dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, salah satunya dengan mekanistik model (Kaya et al., 2004).

Dalam industri minyak dan gas, aliran multifasa dalam pipa tegak sering terjadi. Aliran cairan melalui tali pipa *vertical* menyebabkan hilangnya energi melalui kerugian gesekan, di mana nilai kehilangan ini tergantung pada viskositas aliran fluida dan ukuran saluran. Seringkali, kehilangan gesekan bagian penting dari desain penyelesaian sumur minyak. Penurunan tekanan terjadi sebagai akibat dari perubahan energi potensial dan kinetik fluida karena gesekan pada dinding pipa. Umumnya, penurunan tekanan total pada saluran vertikal pada dasarnya terkait dengan empat komponen utama: gesekan, hidrostatik, akselerasi, dan penurunan tekanan. Dimana keempat komponen tersebut mempengaruhi penyebab terjadinya penurunan laju produksi. Di antara keempat komponen ini, perhitungan penurunan tekanan adalah komponen paling kompleks dan telah mendapat perhatian luas oleh para peneliti. Banyak Para peneliti telah mencoba untuk menentukan penurunan tekanan gesekan dua fase di seluruh rentang pola aliran melalui pipa *vertical*. (Ganat & Hrairi, 2018).

Metode mekanistik adalah suatu model yang digunakan untuk perhitungan aliran multifasa dapat untuk memprediksi penurunan tekanan dalam pipa terutama dalam situasi yang tidak mudah dimodelkan di laboratorium (Khasanov et al., 2009; Petalas & Aziz, 2000). Pemodelan bisa diterapkan pada sumur *vertical*, *directional* dan *horizontal*, Mekanistik model digambarkan berdasarkan pada hukum dasar,

dengan demikian dapat Memodelkan pemodelan yang lebih akurat dari variasi properti geometri dan fluida (Petalas & Aziz, 2000).

Masalah kompleksitas aliran dua fasa, pertama kali didekati dengan metode empirik. Belakangan ini, pendekatan yang dilakukan adalah pemodelan dengan dasar pola aliran dan konfigurasi aliran. Telah banyak metode dikembangkan untuk memprediksi pola aliran. Beragam model dikembangkan untuk setiap pola aliran untuk memperkirakan karakteristik aliran seperti hold-up dan kehilangan tekanan. Dengan dasar mekanika fluida, model yang dihasilkan lebih terpercaya dalam mengetahui kondisi aliran (Ansari et al, 1994).

1.2. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memprediksi jenis pola aliran yang terdapat pada sumur X
2. Menghitung kehilangan tekanan aliran 2 fasa dengan metode mekanistik model pada pipa *vertical*.

1.3. MANFAAT PENELITIAN

1. Mengetahui jenis pola aliran dan jumlah kehilangan tekanan pada sumur X
2. Manfaat yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.
3. Menambah wawasan bagi para pembaca yang berkaitan dengan perhitungan penurunan tekanan pada aliran 2 fasa dengan menggunakan metode mekanistik model. Untuk diri sendiri atau para pekerja di industri migas yang juga meneliti tentang topik tersebut.

1.4. BATASAN MASALAH

Agar penelitian Tugas Akhir ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan, maka hanya akan membahas penggunaan Metode mekanistik model pada sumur dengan pola aliran *bubble* guna mengetahui hasil kehilangan tekanan aliran 2 fasa pada pipa tegak:

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

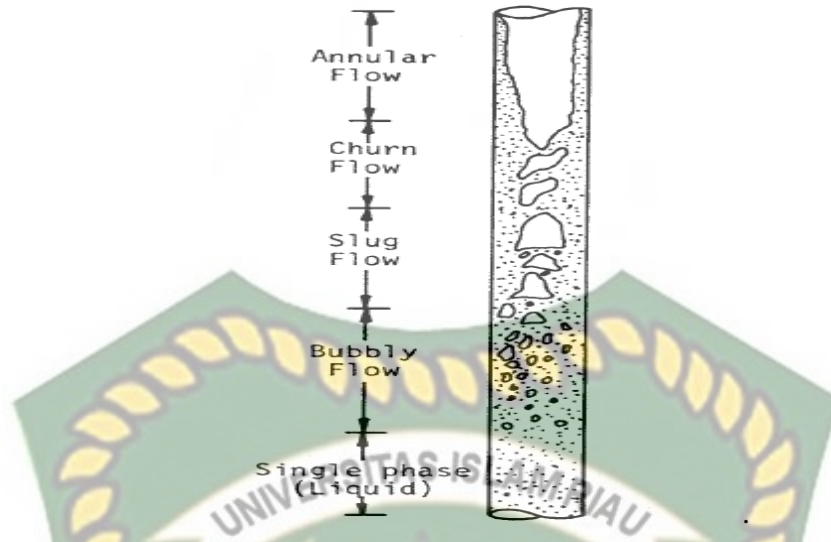
Wahai orang-orang yang beriman, apabila dikatakan kepada kalian, ‘Berlapang-lapanglah dalam majelis,’ maka lapangkanlah, niscaya Allah akan memberi kelapangan untuk kalian. Dan apabila dikatakan, ‘Berdirilah kamu,’ maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantara kalian dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui atas apa yang kalian kerjakan.” (QS. Al Mujadilah: 11).

2.1. STATE OF THE ART

Keberadaan minyak bumi mentah (*crude oil*) harus dimanfaatkan oleh manusia menjadi suatu produk yang bernilai dan dapat dijual seperti Bahan Bakar Minyak (BBM) dan Non Bahan Bakar Minyak (Non BBM) melalui proses pengilangan (*refinery process*) (Risdiyanta, 2013) (Wiyantoko, 2016). Oleh karena itu manusia harus bisa memanfaatkan minyak bumi tersebut dengan sebaik-baiknya sebagai bentuk rasa syukur atas rahmat serta nikmat yang diberikan oleh Allah SWT.

Model mekanistik didasarkan pada pendekatan fenomenologis yang memperhitungkan prinsip dasar (konservasi massa dan energi). Pencapaian paling penting dari model mekanistik adalah bahwa setelah penentuan rezim aliran, model terpisah untuk memprediksi karakteristik hidrolis sumur bor *vertical*, seperti penurunan tekanan, penahanan cairan dan profil suhu juga dikembangkan. Model mekanis praktis dalam kondisi luas. Berbagai model mekanistik yang digunakan dalam penelitian ini ditinjau ulang untuk memastikan asumsi di mana mereka dikembangkan dan keterbatasan bawaan mereka (Yahaya & Gahtani, 2010).

Menurut (Ansari et al., 1994) model mekanistik ini dikembangkan untuk aliran dua fasa ke atas di sumur. Model memprediksi adanya empat pola aliran, yaitu; *bubble flow*, *slug flow*, *churn flow* dan *annular flow* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1. Mereka kemudian dihitung variabel aliran dengan memperhatikan mekanisme aktual dari pola aliran yang diprediksi



Gambar 2.1 Pola aliran dalam sumur minyak *vertical* (Yahaya & Gahtani, 2010)

Menurut (Aziz et al., 1972) Mereka mengusulkan peta pola aliran *vertical* baru dan juga menyajikan persamaan baru untuk menghitung cairan yang tertahan yang terjadi dalam pola aliran *bubble* dan *slug*. Tidak ada persamaan baru yang diusulkan untuk pola kabut *annular* dan Duns dan persamaan Ros direkomendasikan untuk pola aliran ini. Pola aliran berkorelasi dengan bilangan berdimensi yang tergantung terutama pada kecepatan dangkal gas dan cairan.

2.2. FLOW PATTERNS

Aliran dua fasa minyak dan gas sering dijumpai pada sumur minyak produksi, tidak hanya pada segmen pipa *vertical* dan *horizontal* tetapi juga pada pipa miring dengan beberapa sudut yang berbeda. Selain itu, terkadang gas disuntikkan ke dalam tabung untuk meningkatkan tingkat produksi minyak. Oleh karena itu, sangat penting untuk menentukan aliran dua fasa. Pola aliran pada aliran 2 fasa lebih rumit dibandingkan dengan aliran 1 fasa. Itu karena interaksi antara fasa 1 dengan fasa lainnya, untuk mengetahui pola aliran 2 fasa pada pipa *vertical* maka digunakan perhitungan mekanistik model (Gonçalves et al., 2013)

Sistem transportasi fluida melalui saluran pipa tidak lepas dari fenomena aliran *multifase*. Aliran tersebut cenderung menunjukkan tekanan lokal berfluktuasi, distribusi kecepatan tidak sama atau terjadi slip antara fase pada pola aliran tertentu. (Teknik et al., 2012)

Pola aliran adalah fenomena hidrodinamik yang sangat kompleks. Pola

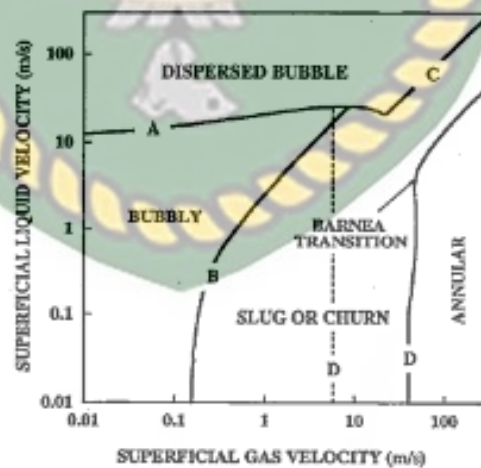
aliran ditandai oleh distribusi cairan dan gas di pipa. Pola aliran utama yang dipertimbangkan dalam penelitian ini adalah; *bubble flow*, *slug flow*, *churn flow* dan *annular flow*. Pola aliran informasi biasanya diberikan pada "peta pola aliran" di mana batas transisi diplot. Deskripsi singkat dari masing-masing alur Pola yang dipertimbangkan dalam penelitian ini (Taitel, 1994).

2.2.1. Bubble Flow

Wellbore vertical dianggap hampir sepenuhnya diisi dengan cairan, dan fasa gas bebas dalam gelembung-gelembung kecil. Gelembung bergerak pada kecepatan yang berbeda dan kecuali untuk kepadatannya, memiliki sedikit efek pada gradien tekanan (Yahaya & Gahtani, 2010).

Taitel et.al menyajikan dasar pemodelan mekanistik dari transisi pola aliran untuk aliran dua fasa yang mengalir ke arah atas. Mereka menemukan empat pola aliran yang berbeda yaitu *bubble*, *slug*, *churn* dan *annular* kemudian memformulasikan dan mengevaluasi batas transisi antara keempat pola aliran tersebut.

Barnea et.al kemudian memodifikasi transisi untuk mengembangkan kemampuan model dalam aliran pipa miring. Barnea kemudian menggabungkan prediksi pola aliran dengan sudut (inklinasi) yang berbeda ke dalam satu model gabungan.



Taitel et.al memberikan persamaan untuk menghitung diameter minimum dimana aliran *bubble* terjadi,

$$d_{min} = 19.01 \left[\frac{(\rho_L - \rho_G)\sigma_L}{\rho_L^2 g} \right]^{1/2} \dots \dots \dots (3.1)$$

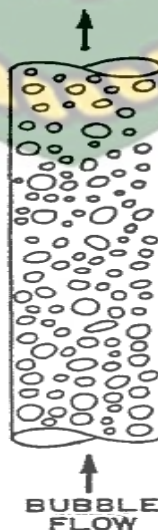
Untuk diameter pipa yang lebih besar dari d_{min} , mekanisme transisi dari aliran *bubble* ke *slug* adalah bergabungnya gelembung gas yang kecil menjadi gelembung Taylor yang besar. Dari percobaan ditemukan *void fraction* kira-kira 0.25. Dengan nilai fraksi ini, dapat dibuat persamaan dengan memasukkan kecepatan *slip* dan *superficial*.

$$v_{sg} = 0.25v_s + 0.333v_{SL} \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

dimana v_s adalah kecepatan slip atau kecepatan *bubble-rise*,

$$v_s = 1.53 \left[\frac{g\sigma_L(\rho_L - \rho_G)}{\rho_L^2} \right]^{1/4} \quad \dots\dots\dots (3.3)$$

Model *bubble flow* didasarkan pada Caetano tahun 1985 bekerja untuk aliran dalam anulus. Gelembung mengalir dan gelembung tersebar sesuai rezim aliran secara terpisah dalam mengembangkan suatu model untuk pola aliran gelembung, Karena distribusi beraturan gelembung gas dalam cairan dan tidak ada selip di antara dua fasa, aliran gelembung yang terdispersi dapat diperkirakan sebagai fasa *pseudo single*. Untuk aliran gelembung, *slippage* dipertimbangkan dengan mempertimbangkan kecepatan kenaikan gelembung relatif terhadap kecepatan campuran. Dengan mengasumsikan profil kecepatan turbulen untuk campuran dengan gelembung yang naik lebih terkonsentrasi di pusat dari pada di sepanjang dinding pipa (Ansari et al., 1994).

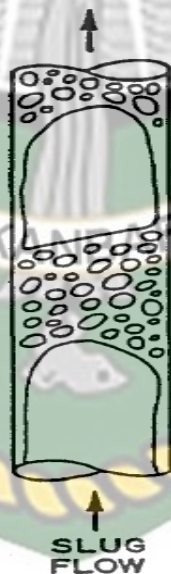


Gambar 2.2 Bubble Flow (Ansari et al., 1994)

2.2.2. Slug Flow

Slug flow adalah aliran yang sangat kompleks dengan sifat tidak stabil. Prediksi penurunan tekanan, *void fraction* dan parameter *slug* lainnya adalah tugas yang sulit. Tujuan dari "pemodelan mekanistik" adalah untuk menyederhanakan konfigurasi aliran sehingga suatu analisis akan dilakukan menjadi mungkin (Yahaya & Gahtani, 2010).

Fernandes dkk pada tahun 1986 mengembangkan secara menyeluruh pertama model fisik untuk *slug flow*, Sylvester tahun 1987 menyajikan versi yang disederhanakan dari model ini. Penyederhanaan dasar adalah penggunaan korelasi untuk *slug void fraction*. Model-model ini menggunakan asumsi penting *slug flow* sepenuhnya dikembangkan. McQuillan dan Whalley 1985 memperkenalkan konsep pengembangan aliran selama studi mereka tentang transisi aliran-pola. Karena perbedaan dasar dalam geometri aliran, model ini memperlakukan aliran yang dikembangkan dan dikembangkan sepenuhnya secara terpisah (Ansari et al., 1994).



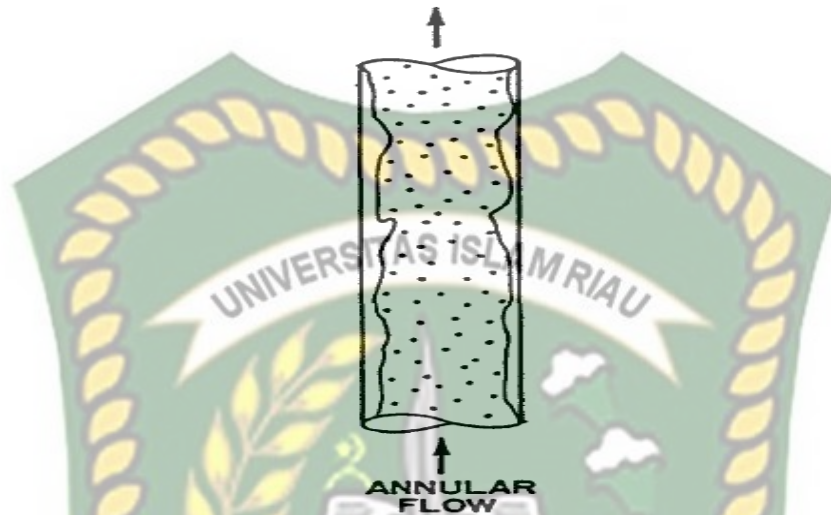
Gambar 2.3 *Slug Flow* (Ansari et al., 1994)

2.2.3. Annular Flow

Dalam aliran *annular*, gas mengalir melalui inti pusat pipa, sedangkan cairan mengalir sepanjang dinding pipa sebagai sebuah selaput. Oleh karena itu, sistem dapat dipandang sebagai aliran gas fasa tunggal melalui tabung dengan diameter yang sedikit berkurang film cair (Yahaya & Gahtani, 2010).

Diskusi tentang hidrodinamika *annular flow* disajikan oleh Wallis

Bersamaan dengan ini, Wallis juga menyajikan korelasi klasik untuk *entrainment* dan *interfacial* gesekan sebagai fungsi dari ketebalan selaput. Kemudian, Hewitt dan Hall Taylor memberikan analisis rinci tentang mekanisme yang terlibat dalam *annular flow* (Ansari et al., 1994).



Gambar 2.4 *Annular Flow* (Ansari et al., 1994)

2.2.4. Churn Flow

Pola aliran ini hanya ada pada aliran ke atas dan sifatnya sangat kacau dan berubah dari fasa cair berlanjut menjadi fasa gas terjadi. Gelembung gas dapat bergabung dan cairan dapat terperangkap dalam gelembung. Meskipun efek cairnya signifikan, namun efek fasa gas dominan (Yahaya & Gahtani, 2010).



Gambar 2.5 *Churn Flow* (Ansari et al., 1994)

2.3. KEHILANGAN TEKANAN ALIRAN 2 FASA

Penurunan pada aliran fluida dua fasa adalah merupakan penjumlahan dari penurunan tekanan akibat percepatan, akibat gesekan dan akibat perbedaan ketinggian. Pada kebanyakan pipa, penurunan tekanan akibat percepatan kecil sekali. Penurunan tekanan akibat gesekan pada beberapa kasus tertentu lebih besar dalam aliran dua fasa daripada penjumlahan penurunan tekanan yang terjadi pada masing-masing fluida tersebut saat dia mengalir sendiri-sendiri. Meningkatnya penurunan tekanan akibat gesekan dalam aliran dua fasa berhubungan dengan transfer energi *irreversible* anda fasa pada *interface* dan dengan pengurangan luas area yang tersedia untuk mengalir pada setiap fasa. (Conditioning et al., 2007; Xiao et al., 1990)

Penurunan tekanan akibat perbedaan ketinggian cukup berarti dalam aliran dua fasa. Pada pipa menanjak, penurunan tekanan akibat perbedaan ketinggian hasil kali antara densitas rata-rata campuran dua fasa dalam pipa menanjak dengan perbedaan ketinggian. Karena densitas rata-rata tergantung pada *liquid holdup*, kerugian *head static* pada pipa menanjak juga tergantung pada *liquid holdup* rata-rata tiap segmen. (Husien et al., 2019)

Pada pipa yang naik-turun, kasus yang paling jelek untuk penurunan tekanan terjadi pada laju alir gas yang kecil, dimana setiap segmen menanjak akan dipenuhi oleh cairan. Maka dalam segmen ini pendekatan *liquid holdup* terhadap volume pipa dan volume gas adalah saat *bubble flow*.

Mulai dari persamaan keseimbangan energi mekanik mikroskopik, penurunan tekanan elementer, Δp , pada pipa vertikal dapat dinyatakan sebagai berikut,

$$9.81 \times 10^5 \Delta p = \bar{p} g \Delta D + \tau f \Delta D - \rho v dv \dots \dots \dots (2.1)$$

Dengan membuat beberapa pendekatan dalam mengevaluasi file percepatan gradien, $p v dv$, yang hamper selalu diabaikan, dan didapatkan persamaan sebagai berikut,

$$\Delta p = \frac{\bar{p} g + \tau f}{9.81 \times 10^5 - \frac{w_t q g}{p A^2}} \Delta D \dots \dots \dots (2.2)$$

Sebelum mengintegrasikan Persamaan 2 secara numerik, secara lokal rezim aliran yang berlaku harus ditentukan karena cara \bar{p} dan τf dievaluasi bergantung

pada rezim aliran. Berbagai cara campuran gas-cair dapat mengalir pipa vertikal biasanya dikelompokkan menjadi tiga utama rezim aliran; yaitu, aliran *bubble-plug*, aliran *slug*, dan aliran *mist*. Ada zona transisi di antaranya dua rezim terakhir. Dengan menggabungkan hasil eksperimen oleh Griffith dan Wallis dengan yang dibuat oleh Duns dan ROS, kriteria berikut telah diusulkan oleh Orkiszewski untuk menentukan rezim aliran. (Chierici et al., 1974)

Pada penurunan, aliran biasanya dibagi atas beberapa tingkat dan aliran cairan lebih cepat daripada aliran gas. Ketebalan lapisan cairan berubah-ubah sampai ketebalan kritik, yang kelebihan *Head static* akibat keseimbangan antara laju menurun dan kehilangan tekanan dapat dianggap nol. Jika terjadi *slug flow* pada segmen pipa menurun (akibat *slope* yang kecil dan atau kecepatan gas yang tinggi) kelebihan *head static* biasanya akan lebih kecil dibandingkan penurunan tekanan akibat gesekan. Selisihnya adalah merupakan kehilangan tekanan bersih.

Pada pipa yang naik turun, kelebihan *head static* biasanya diabaikan dan dalam perhitungan manual tidak ada istilah “peningkatan kembali tekanan” akibat berkurangnya ketinggian pengaruh kehilangan tekanan akibat penambahan ketinggian pada setiap segmen pipa yang menanjak dan tidak adanya penambahan kembali tekanan pada setiap segmen pipa menurun dapat dipahami. Dalam aliran satu fasa hanya perbedaan ketinggian dari awal pipa ke akhir pipa yang perlu dipertimbangan. Dalam aliran dua fasa persamaan (1) menyatakan kehilangan tekanan pada setiap segmen pipa menanjak. Tetapi hal ini tidak diimbangi oleh penambahan tekanan pada setiap segmen pipa menurun.

Kehilangan tekanan akibat perbedaan ketinggian adalah penjumlahan kehilangan tekanan pada setiap segmen pipa menanjak. Hal ini mungkin terjadi pada daerah pegunungan yang memiliki pipa untuk mengalirkan fluida dari titik yang tinggi ke titik yang rendah, Tapi bagaimanapun juga, karena disana juga ada lembah, maka akan terjadi juga kehilangan tekanan akibat perbedaan ketinggian.

Ada banyak program komputer yang menyediakan perhitungan kehilangan tekanan pada aliran dua fasa. Jika program ini tersedia, bisa dimanfaatkan, tetapi jika pada saat program ini tersedia, metode perhitungan manual perlu juga dilakukan untuk menghitung kehilangan tekanan pada aliran dua fasa (Iskandar Zulkarnain, 2004:129)

Prediksi kehilangan tekanan pada pipa *multifase flow* menjadi perhatian para profesional yang berbeda tersebut sebagai insinyur nuklir, kimia, dan perminyakan. Meskipun sifat cairan ditemui dalam setiap disiplin berbeda, prinsip dan hukum fisik yang berlaku untuk aliran multifase adalah serupa. Dalam tulisan ini fokusnya adalah penerapan metode untuk aliran minyak dan gas di Indonesia pipa (Bilgesu & Ternyik, 1994).

Model mekanis untuk aliran multifasa dalam pipa mempertimbangkan fenomena fisik dasar untuk perkembangan mereka. Itu sudut kemiringan adalah salah satu parameter utama yang mengontrol karakteristik aliran (Granados-C. & Camacho-V., 1998)

Aliran cairan dua fase dapat didefinisikan sebagai aliran simultan dari cairan dua fasa yang tidak larut. Ini dapat ditemui di berbagai industri termasuk minyak bumi di mana biasanya terjadi dalam produksi dan transportasi minyak dan air selama tahun-tahun produksi selanjutnya. Ketika cairan heterogen mengalir bersama-sama, mereka dicirikan oleh adanya konfigurasi aliran yang beragam dan pola aliran atau pengaturan geometris fase dalam pipa. Pola aliran berbeda satu sama lain dalam distribusi spasial dan posisi antarmuka, menghasilkan karakteristik aliran yang berbeda, seperti kecepatan dan profil penahan serta gradien tekanan. Struktur aliran internal ini tergantung pada variabel seperti laju aliran cairan, geometri pipa dan sifat fisik cairan yang terlibat (Vielma et al., 2007).

Dalam industri minyak dan gas, aliran multifasa dalam pipa tegak sering terjadi. Aliran cairan melalui tali pipa *vertical* menyebabkan hilangnya energi melalui kerugian gesekan, di mana nilai kehilangan ini tergantung pada viskositas aliran fluida dan ukuran saluran. Seringkali, kehilangan gesekan bagian penting dari desain penyelesaian sumur minyak. Penurunan tekanan terjadi sebagai akibat dari perubahan energi potensial dan kinetik fluida karena gesekan pada dinding pipa. Umumnya, penurunan tekanan total pada saluran vertikal pada dasarnya terkait dengan empat komponen utama: gesekan, hidrostatik, akselerasi, dan penurunan tekanan. Perhitungan tekanan drop adalah komponen paling kompleks dan telah mendapat perhatian luas oleh para peneliti. Para peneliti telah mencoba untuk menentukan penurunan tekanan gesekan dua *fase* di seluruh rentang pola aliran melalui pipa *vertical* (Ganat & Hrairi, 2018).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian analisis data dan perhitungan yang mana data yang didapatkan dari perusahaan yang diteliti dikelola untuk diolah dalam rangka menjawab rumusan masalah. Dalam mendapatkan rangka jawaban dari rumusan masalah pada penelitian ini diperlukan teknik analisis data kausalitas dan teknik perhitungan dengan menggunakan metode mekanistik model dimana perlunya dukungan dari hasil penelitian terdahulu, dan mengolah data dengan studi kasus yang terjadi dilapangan. Berikut metodologi dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Mengumpulkan data yang berhubungan dengan penanggulangan masalah kehilangan tekanan baik berupa jurnal, *paper*, dan penelitian terdahulu yang mendukung pada hasil penelitian ini.
2. Mengumpulkan data-data sumur produksi (data sekunder) yang berkaitan dengan topik penelitian.
3. Mengolah data dengan studi kasus yang berkaitan pada jurnal yang diperoleh.
4. Menganalisa hasil akhir yang diperoleh dari hasil pengolahan data.
5. Menarik suatu kesimpulan dari hasil penelitian dan perhitungan.

3.2. FLOWCHART PENELITIAN



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.3. LANGKAH PERHITUNGAN

Langkah Perhitungan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan metode mekanistik model dalam menentukan jenis pola aliran pada pipa vertikal dan menentukan kehilangan tekanan pada aliran 2 fasa, adapun langkahnya sebagai berikut:

1. Langkah perhitungan dalam menentukan pola aliran

- a. Menghitung diameter minimum

$$d_{min} = 19.01 \left(\frac{(\rho_L - \rho_G) \sigma_L}{\rho_L^2 g} \right)^{1/2}$$

- b. Menghitung *superficial velocity of liquid*

$$v_{SL} = \frac{Q_L}{A}$$

- c. Menghitung *superficial velocity gas*

$$v_{Sg} = 0.25 v_s + 0.333 v_{SL}$$

2. Langkah perhitungan dalam menentukan kehilangan tekanan pada aliran 2 fasa

- a. Menghitung H_{LF}

$$H_{LF} = 4 \delta_{min} (1 - \delta_{min})$$

- b. Menghitung ρ_{TP}

$$\rho_{TP} = \rho_L H_L + \rho_G (1 - H_L)$$

- c. Menghitung *elevation pressure gradient*

$$\left(\frac{d\rho}{dL} \right)_e = \rho_{TP} g \sin \theta$$

- d. Menghitung *friction component*

$$\left(\frac{d\rho}{dL} \right)_f = \frac{f_{TP} \rho_{TP} v_{TP}^2}{2d}$$

- e. Menghitung kehilangan tekanan aliran 2 fasa

$$\left(\frac{d\rho}{dL} \right) = \left(\frac{d\rho}{dL} \right)_e + \left(\frac{d\rho}{dL} \right)_f$$

3.4. JENIS DAN SUMBER DATA

Berdasarkan adanya musibah yang terjadi yaitu sebuah pandemi yang cukup lama menyebabkan proses pengambilan data terhambat dan pengerjaan tugas akhir menjadi lama sehingga data yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini diambil dalam sebuah paper atau jurnal.

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

Kegiatan dan waktu pelaksanaan	Agustus 2020				Oktober 2020				Oktober 2021				November 2021			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Studi Literatur																
Orientasi Lapangan																
Karakteristik Reservoir																
Seminar Proposal																
Pengumpulan dan Pengolahan Data																
Penyusunan TA																
Presentasi TA																

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan ini dilakukan pada sumur X lapangan Y, dengan menggunakan data sumur berdasarkan paper atau jurnal. Pengolahan data dilakukan untuk memperoleh prediksi pola aliran dan menghitung kehilangan tekanan pada aliran 2 fasa pada pipa *vertical* menggunakan metode mekanistik model.

Tabel 4. 1 Data Sumur berdasarkan paper

Data Sumur			
No	Parameter	Nilai	Unit
1	API Gravity, Dimensionless	11.8	
2	SG, Dimensionless	0.987438939	kg/m ³
3	Density	987.4389393	lb/ft ³
4	Status, Density	heavy (920-1000)	
5	Oil Flow rate	0.000266204	m ³ /D
6	Tubing Diameter	0.127	m
7	Area	0.012672786	m ²
8	Bottom hole Temperature	361.15	K
9	Bottom-hole Pressure	31.48915315	Mpa
10	Methane (gas) density @ BHP	0.95	kg/m ³
11	Methane (gas) viscosity @ BHP	2.23058E-05	kg/m.s
12	σ	0.0052	kg/s ²
13	μ_o	0.0353	kg/m.s

4.1. ANALISA PREDIKSI POLA ALIRAN PADA SUMUR X

Dalam aliran multifasa, fasa dapat didistribusikan dalam beberapa konfigurasi geometris yang berbeda tergantung (*Stratified, Annular, Bubble, Slug*) pada kondisi aliran, laju aliran cairan dan gas, tekanan, suhu, sifat fluida di antara yang lain. Setiap pola aliran memiliki model matematika masing-masing untuk memungkinkan perhitungan penahanan dan tekanan cairan menjatuhkan. Oleh karena itu, penting untuk mengidentifikasi terlebih dahulu pola alirannya (Gonçalves et al., 2013).

Dalam menentukan jenis pola aliran yang terdapat pada pipa *vertical* berdasarkan metode mekanistik model maka harus di tentukan nilai diameter minimum aliran *bubble* yang terjadi, dimana untuk diameter pipa yang lebih besar dari d_{min} , maka mekanisme transisi dari aliran *bubble* ke *slug* adalah bergabungnya gelembung gas yang kecil menjadi gelembung besar. Kemudian menghitung kecepatan *slip* dan dan kecepatan *bubble-rise*.

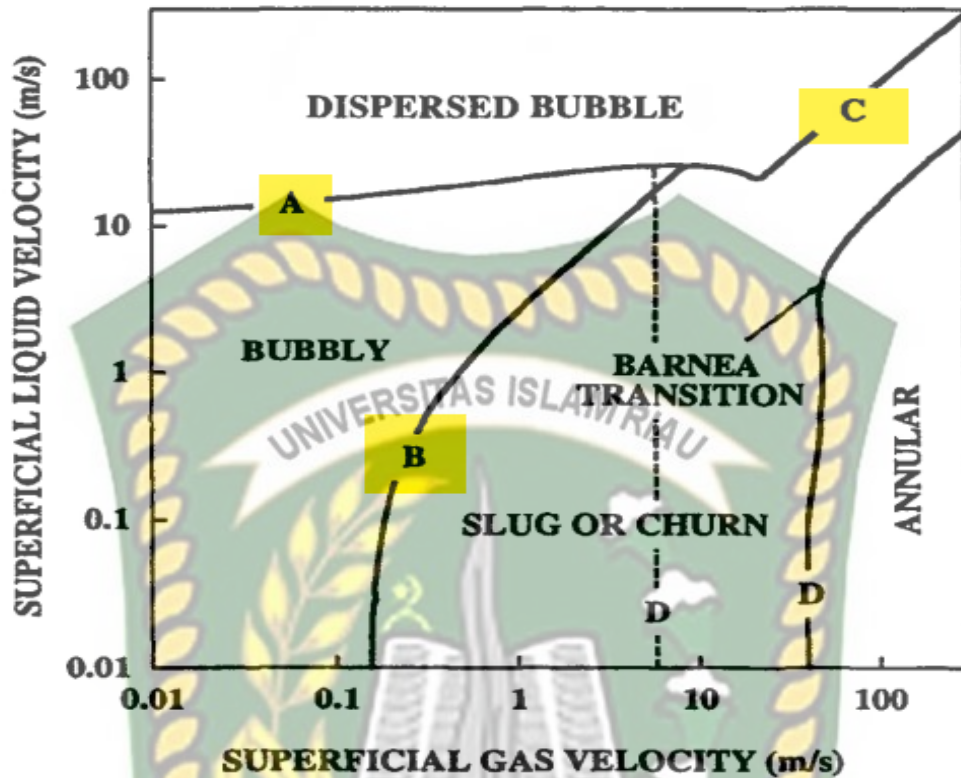
Berdasarkan perhitungan yang sudah dilakukan dalam menentukan jenis pola aliran dalam pipa vertikal, dapat dilihat hasil perhitungan pada **Tabel 4.1**.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan *Flow Prediction*

No.	Parameter	Value	Satuan
1	d_{min}	0.548369	Inch
2	v_{SG}	0.039344	m/s
3	v_{SL}	0.021006	m/s

Pada tabel 4.1 dapat diketahui bahwa nilai diameter minimum pada pipa vertikal yaitu 0.548369 inch, sedangkan untuk nilai *superficial velocity of liquid* v_{SL} yaitu 0.021006 m/s, dan untuk nilai *superficial velocity gas* v_{SG} yaitu 0.039344 m/s.

Dari hasil perhitungan yang didapatkan dalam penentuan jenis pola aliran pada pipa vertikal, maka untuk mengetahui jenis pola alirannya dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4. 1 Peta pola aliran

Gambar 4.1 merupakan peta pola aliran dalam menentukan jenis aliran pada pipa, dimana pada perhitungan yang sudah dilakukan didapatkan nilai *superficial velocity of liquid* sebesar 0.021006 m/s dan nilai *superficial velocity gas* yaitu 0.039344 m/s, maka dapat dilihat plot nilai antara *superficial velocity of liquid* dan *superficial velocity gas* berada pada jenis aliran *bubbly*. Maka dapat dikatakan jenis aliran yang terdapat pada sumur 'X' adalah jenis aliran *bubble*.

4.2. KEHILANGAN TEKANAN ALIRAN DUA FASA

Penurunan aliran fluida dua fasa adalah merupakan penjumlahan dari penurunan tekanan akibat percepatan, akibat gesekan dan akibat perbedaan ketinggian. Pada kebanyakan pipa, penurunan tekanan akibat percepatan kecil sekali. Penurunan tekanan akibat gesekan pada beberapa kasus tertentu lebih besar dalam aliran dua fasa daripada penjumlahan penurunan tekanan yang terjadi pada masing-masing fluida tersebut saat dia mengalir sendiri-sendiri

Kehilangan tekanan yang terjadi pada pipa vertikal aliran dua fasa dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tahapan Perhitungan Kehilangan Tekanan

Step	Parameter	Value
1	H_{LF}	0.054938
2	ρ_{TP}	55.146
3	$\left(\frac{d\rho}{dL}\right)_e$	483.1433
4	$\left(\frac{d\rho}{dL}\right)_f$	0.032627
5	$\left(\frac{d\rho}{dL}\right)$	483.1759

Berdasarkan hasil perhitungan pada **Tabel 4.2** diketahui nilai *consider slippage* yaitu 0.054938, nilai *two phase density* yaitu 55.146, nilai *friction component* yaitu 483.1433, nilai *elevation pressure gradient* yaitu 0.032627, sedangkan nilai kehilangan tekanan yaitu 483.1759.

Maka dapat diperoleh kehilangan tekanan yang terjadi pada sumur "X" adalah sebesar 483.1759, dari hasil tersebut kehilangan tekanan yang terjadi pada sumur "X" terjadi karena campuran minyak yang ada kandungan gas nya saat tekanan berkurang dimulai dari P_{wf} hingga P_{wh} di bawah *bubble point pressure* maka gas nya akan keluar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Setelah melakukan serangkaian perhitungan dan analisis yang dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut;

1. Berdasarkan perhitungan nilai v_{SG} dan nilai v_{SL} guna memprediksikan pola aliran didapat bahwa pola aliran pada sumur "X" adalah aliran *bubble*
2. Adapun hasil kehilangan tekanan aliran 2 fasa menggunakan mekanistik model untuk pipa *vertical* pada sumur "X" adalah sebesar 483.1759, yang disebabkan karena adanya campuran minyak yang terdapat kandungan gas, dimana tekanan akan berkurang dari bawah formasi hingga ke atas permukaan dibawah *bubble pressure* yang mengakibatkan kandungan gas berkurang.

5.2. SARAN

Hal yang disarankan untuk penelitian selanjutnya adalah menambah metode lain dan jumlah sumur sebagai perbandingan antara metode mekanistik model dengan model lainnya, sehingga hasil yang diperoleh maksimal, jelas dan mudah dipahami.

DAFTAR PUSTAKA

- Ansari, A. M., Sylvester, N. D., Sarica, C., Shoham, O., & Brill, J. P. (1994). Comprehensive mechanistic model for upward two-phase flow in wellbores. *SPE Production and Facilities*, 9(2), 143–152. <https://doi.org/10.2118/20630-pa>
- Aziz, K., Govier, G. W., & Fogarasi, M. (1972). Pressure Drop in Wells Producing Oil and Gas. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 11(3), 38–48. <https://doi.org/10.2118/72-03-04>
- Bilgesu, H. I., & Ternyik, J. (1994). New multi-phase flow model for horizontal, inclined, and vertical pipes. *Proceedings - SPE Eastern Regional Conference and Exhibition*, 87–94. <https://doi.org/10.2523/29166-ms>
- Chierici, G. L., Ciucci, G. M., & Sclocchi, G. (1974). Two-Phase Vertical Flow in Oil Wells - Prediction of Pressure Drop. *JPT, Journal of Petroleum Technology*, 927–938. <https://doi.org/10.2118/4316-PA>
- Conditioning, A., Field, B. S., & Hrnjak, P. S. (2007). Two-Phase Pressure Drop and Flow Regime of Refrigerants and Refrigerant-Oil Mixtures in Small Channels. *Industrial Engineering*, 61801(217).
- Ganat, T. A., & Hrairi, M. (2018). Gas-liquid two-phase upward flow through a vertical pipe: Influence of pressure drop on the measurement of fluid flow rate. *Energies*, 11(11). <https://doi.org/10.3390/en11112937>
- Gonçalves, A., Artur, M., & Garcia, P. (2013). Evaluation of Mechanistic Modelling of Two-Phase Gas-Liquid Flow in Production Oil Wells. *22nd International Congress of Mechanical Engineering, Cobem*, 2557–2568.
- Granados-C., J., & Camacho-V., R. (1998). Analysis of two-phase flow in horizontal and inclined pipes with mechanistic models. *Proceedings of the SPE International Petroleum Conference & Exhibition of Mexico*, 2(2), 221–226. <https://doi.org/10.2523/39857-ms>
- Husien, M. A., Farouk, H., & Elkom, S. (2019). Prediction of Two-Phase Pressure Drop Using Artificial Neural Network. *ERJ. Engineering Research Journal*, 42(2), 99–114. <https://doi.org/10.21608/erjm.2019.66275>
- Kaya, A. S., Sarica, C., & Brill, J. P. (2004). Mechanistic modeling of two-phase flow in deviated wells. *SPE Reprint Series*, 58, 34–43. <https://doi.org/10.2523/56522-ms>
- Khasanov, M., Khabibullin, R., Krasnov, V., Pashali, A., & Guk, V. (2009). A simple mechanistic model for void-fraction and pressure-gradient prediction in vertical and inclined gas/liquid flow. *SPE Production and Operations*, 24(1), 165–170. <https://doi.org/10.2118/108506-pa>
- Kwatia, G., Ezeakacha, C., & Salehi, S. (2017). *SPE 109591 Characterization of Oil / Water Flows in Horizontal Pipes*
- Last, N. (2012). A simple mechanistic model for void-fraction and pressure-gradient prediction in vertical and inclined gas/liquid flow. *Society of Petroleum Engineers - SPE Asia Pacific Oil and Gas Conference and*

Exhibition 2012, APOGCE 2012.

- Nädler, M., & Mewes, D. (1997). Flow induced emulsification in the flow of two immiscible liquids in horizontal pipes. *International Journal of Multiphase Flow*, 23(1), 55–68. [https://doi.org/10.1016/s0301-9322\(96\)00055-9](https://doi.org/10.1016/s0301-9322(96)00055-9)
- Ogochukwu, B. (2015). *Monitoring of Energy Loss of Two Phase Blood Flow in Horizontal Pipeline*
- Petalas, N., & Aziz, K. (2000). Mechanistic model for multiphase flow in pipes. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, 39(6), 43–55. <https://doi.org/10.2118/00-06-04>
- Russell, T. W. F., Hodgson, G. W., & Govier, G. W. (1959). Horizontal pipeline flow of mixtures of oil and water. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 37(1), 9–17. <https://doi.org/10.1002/cjce.5450370104>
- Taitel, Y. (1994). Advances in two-phase flow modeling. *Proceedings of the University of Tulsa Centennial Petroleum Engineering Symposium*, 9, 33–52. <https://doi.org/10.2523/27959-ms>
- Teknik, J., Energi, K., & Negeri, P. (2012). *Pemantauan Rerugi Energi Aliran Dua Fase Dara Pada Saluran Pipa Horisontal.*
- Toor, I. A. (2011). Problems in pressure lost two phase flow. *Society of Petroleum Engineers of AIME, (Paper) SPE*, 477–484.
- Vielma, M., Atmaca, S., Sarica, C., & Zhang, H. (2007). *SPE 109591 Characterization of Oil / Water Flows in Horizontal Pipes.*
- Wilson, A. (2013). Vertical pipeline flow of mixtures of oil and water. *Journal of Petroleum Technology*, 65(01), 93–96.
- Xiao, J. J., Shoham, O., & Brill, J. P. (1990). Comprehensive mechanistic model for two-phase flow in pipelines. *Proceedings - SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Pi*, 167–180. <https://doi.org/10.2523/20631-ms>
- Yahaya, A. U., & Gahtani, A. Al. (2010). A comparative study between empirical correlations & mechanistic models of vertical multiphase flow. *Society of Petroleum Engineers - SPE/DGS Saudi Arabia Section Technical Symposium and Exhibition 2010*, 84–91. <https://doi.org/10.2523/136931-ms>
- Zhang, W., Xie, J., Du, Z., Zheng, Y., Qi, J., Ma, J., Wang, R., Guo, Y., Guo, P., Liu, Y., & Niu, L. (2017). Flow induced emulsification in the flow of two immiscible liquids in vertical pipes. *Society of Petroleum Engineers - SPE Latin America and Caribbean Mature Fields Symposium 2017.*