

**PENENTUAN UKURAN PIPA BERDASARKAN LAJU ALIR
MAKSIMUM TERJADI EROSI DENGAN PERSAMAAN
EROSIONAL FLOW PADA PIPA SALUR SUMUR X
LAPANGAN Y**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna penyusunan tugas akhir Program Studi Teknik Perminyakan

Oleh

ARYANDAKA PINANDITO

153210264



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN
UNIVERSITAS ISLAM RIAU
PEKANBARU**

2021

KATA PENGANTAR

Rasa syukur disampaikan kepada Allah SWT atas rahmat dan limpahan ilmu dari-Nya sehingga penulis 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 dalam penyelesaian tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Tanpa bantuan dari mereka tentu akan sulit rasanya mendapatkan gelar Sarjana Teknik ini. Oleh karena itu saya ingin mengucapkan terima kasih kepada:

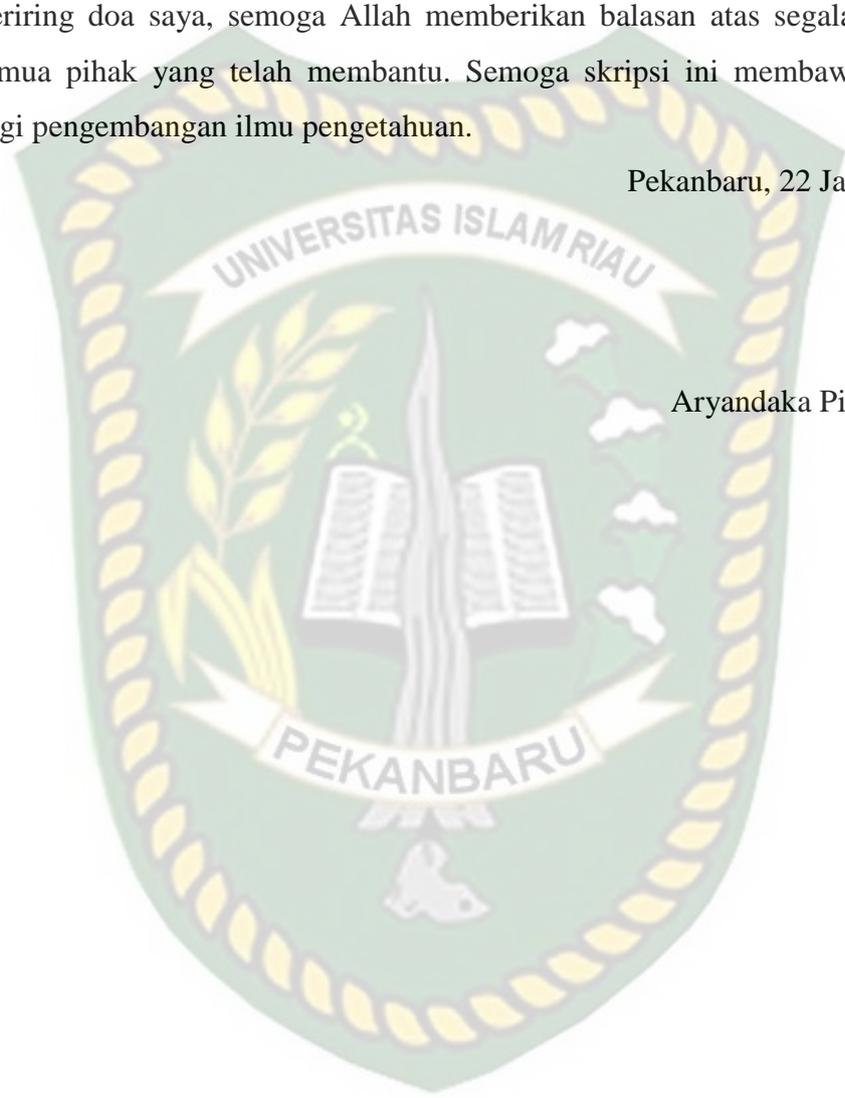
1. Bapak Ir. H. Ali Musnal, M.T selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberi masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.
2. Ketua Prodi Ibu Novia Rita, S.T., M.T dan sekretaris program studi Bapak Tomi Erfando, S.T., M.T serta dosen-dosen yang banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan, dan dukungan yang telah diberikan.
3. Bapak dan Ibu Dosen, Staf pengajar yang sangat banyak membantu terkait perkuliahan, ilmu pengetahuan dan hal lain yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu.
4. Kedua orang tua Bapak Paryadi (Almarhum) dan Ibu Yeni Sailendra Sukma (Almarhumah) yang selalu memberikan doa yang senantiasa mengiringi.
5. Bapak Kemal Permadi, Bapak Aditya Nugraha, Bapak Timothy Ivan, Bapak Muhammad Taufik Hidayat selaku pembimbing lapangan yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan data dan memberikan pengarahan serta masukan selama penelitian tugas akhir ini.
6. Terimakasih juga saya sampaikan kepada teman-teman TA (seperjuangan) yang telah banyak membantu, mendukung, dan mendorong saya untuk tetap semangat melakukan penelitian.

7. Seluruh teman-teman Teknik Perminyakan angkatan 2015 terkhusus angkatan 2015 kelas C yang telah memberi semangat kepada saya dan sama-sama berjuang dari pertama kuliah.

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, 22 Januari 2021

Aryandaka Pinandito



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR SINGKATAN	ix
DAFTAR SIMBOL	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	3
2.1 Sistem Perpipaan	3
2.2 Korosi	4
2.3 Erosi.....	7
2.4 <i>Erosional Flow</i>	7
2.4.1 Pipa Cairan	7
2.4.2 Pipa Gas	8
2.4.3 Pipa Dua Fasa.....	8
2.5 Kehilangan Tekanan.....	9

2.6	<i>Reynold Number</i>	9
2.7	Regim Aliran	10
2.8	<i>State of The Art</i>	10
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		13
3.1	Jenis Penelitian	13
3.2	Metode Penelitian.....	13
3.2.1	Langkah Kerja untuk Pipa Dua Fasa.....	13
3.3	<i>Flow Chart</i>	15
3.4	Waktu Pelaksanaan Penelitian.....	16
3.5	Sejarah Singkat Perusahaan.....	16
3.6	Letak Geografis	17
3.7	Persebaran Fasilitas Operasi Produksi Lirik Field	18
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		19
4.1	Data Sumur X Lapangan Y	19
4.2	Laju Alir Terjadinya Erosi pada Sumur X Lapangan Y.....	20
4.3	Diameter Pipa Salur pada Sumur X Lapangan Y	20
4.4	Kehilangan Tekanan pada Setiap Diameter Pipa	21
4.4.1	Regime Aliran dari Bilangan Reynold.....	21
4.4.2	Nilai <i>Moody Friction Factor</i>	22
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		25
5.1	Kesimpulan.....	25
5.2	Saran	25
DAFTAR PUSTAKA		26
LAMPIRAN.....		29

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Korosi Seragam (Utomo, 2009)	4
Gambar 2. 2 Korosi Galvanik (Utomo, 2009)	5
Gambar 2. 3 Korosi Celah (Utomo, 2009).....	5
Gambar 2. 4 Korosi Sumuran (Utomo, 2009).....	6
Gambar 2. 5 Korosi Batas Butir (Irwanto et al., 2013).....	6
Gambar 2. 6 Korosi Erosi (Utomo, 2009).....	7
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian	15
Gambar 3. 2 Letak Geografis Field Lirik.....	18
Gambar 3. 3 Persebaran Fasilitas Operasi Produksi Lirik Field	18

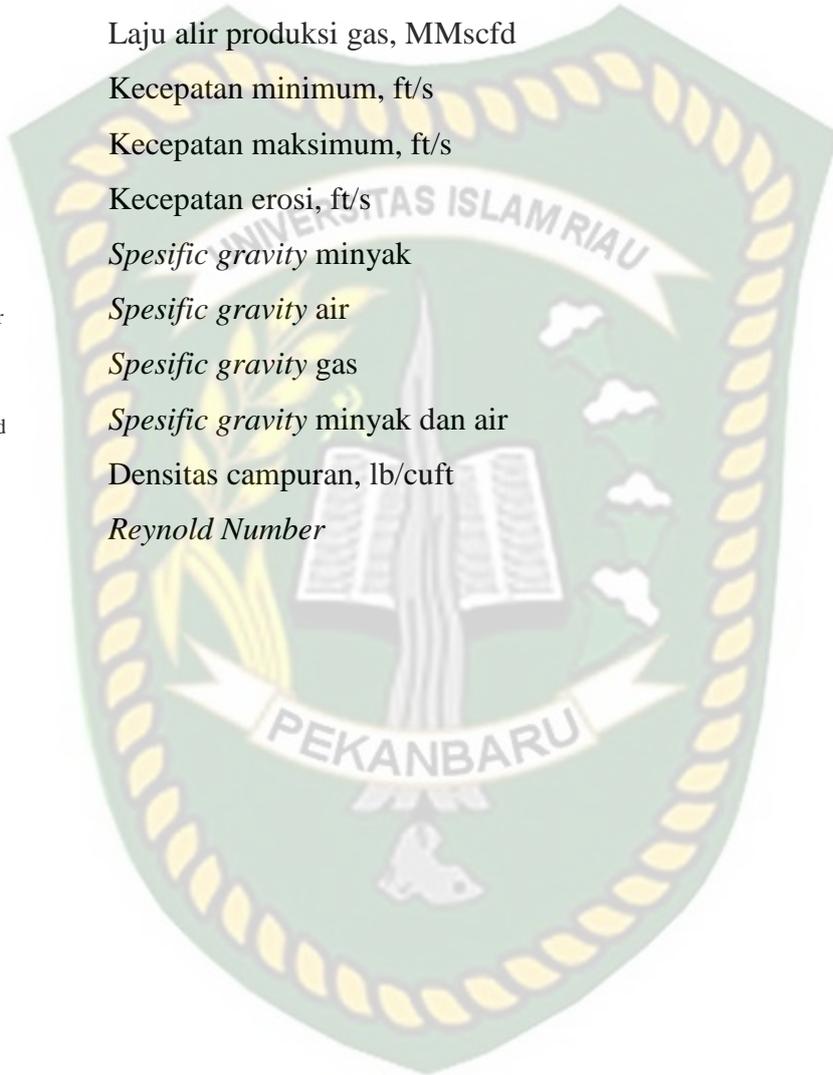
DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian.....	16
Tabel 4. 1 Data Sumur X Lapangan Y.....	19
Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Diameter Pipa.....	20
Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Bilangan Reynold.....	21
Tabel 4. 4 Nilai <i>Moody Friction Factor</i>	22
Tabel 4. 5 Perbandingan kehilangan tekanan pada setiap kecepatan dan diameter pipa.....	23



DAFTAR SINGKATAN

Q_o	Laju alir produksi minyak, bpd
Q_w	Laju alir produksi air, bpd
Q_g	Laju alir produksi gas, MMscfd
V_{min}	Kecepatan minimum, ft/s
V_{max}	Kecepatan maksimum, ft/s
V_e	Kecepatan erosi, ft/s
SG_{oil}	<i>Specific gravity</i> minyak
SG_{water}	<i>Specific gravity</i> air
SG_{gas}	<i>Specific gravity</i> gas
SG_{liquid}	<i>Specific gravity</i> minyak dan air
ρ_m	Densitas campuran, lb/cuft
Re	<i>Reynold Number</i>



DAFTAR SIMBOL

d	Diameter pipa, inch
L	Panjang Pipa, ft
ε	Kekasaran Pipa, inch
μ	Viskositas, cp
P	Tekanan, psi
T	Temperatur, °R
C	Konstanta Empirik
f	<i>Moody Friction Factor</i>
Z	Faktor kompresibilitas gas
R	Gas/liquid ratio, cuft/bbl
W	Laju Produksi Campuran, lb/hr



**PENENTUAN UKURAN PIPA BERDASARKAN LAJU ALIR
MAKSIMUM TERJADI EROSI DENGAN PERSAMAAN
EROSIONAL FLOW PADA PIPA SALUR SUMUR X
LAPANGAN Y**

ARYANDAKA PINANDITO

153210264

ABSTRAK

Pipa merupakan peralatan digunakan untuk memindahkan fluida dari satu tempat ke tempat yang lain. Dalam industri minyak dan gas, pipa adalah salah satu peralatan yang perlu diperhatikan agar produksi dapat berjalan dengan lancar. Salah satu permasalahan yang sering terjadi di pipa adalah erosi. Erosi menjadi perhatian karena dapat menyebabkan semakin parahnya korosi yang dapat mengurangi umur pipa salur di sumur X lapangan Y, sehingga perusahaan mengeluarkan biaya lebih untuk pergantian pipa.

Erosi disebabkan karena adanya campuran air, minyak, gas, dan gelembung yang mengalir dengan kecepatan tinggi di dalam pipa. Permasalahan ini dapat di atasi dengan menentukan ukuran diameter pipa yang tepat dengan menggunakan persamaan *erosional flow*. Penentuan ukuran diameter pipa dihitung berdasarkan laju alir maksimum terjadinya erosi. Penelitian ini penting untuk dilakukan karena dapat memperpanjang umur pipa pada sumur X lapangan Y dan mengurangi biaya pengeluaran perusahaan.

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan *erosional flow* didapatkan kecepatan alir terjadinya erosi adalah 40.64 ft/s. Untuk setiap kecepatan 10 ft/s, 15 ft/s, 40.64 ft/s, 50 ft/s, 60 ft/s didapatkan diameter ukuran pipa 3 inch, 2.5 inch, 1.6 inch, 1.4 inch, 1.3 inch dengan kehilangan tekanan sebesar 36.7 psi, 99 psi, 1117.2 psi, 1862 psi, 2094 psi. Berdasarkan hasil tersebut diameter pipa 3 inch dapat digunakan pada pipa salur sumur X lapangan Y.

Kata Kunci : Pipa, Erosi, Korosi, *Erosional Flow*

***DETERMINATION OF PIPE SIZE BASED ON THE MAXIMUM
FLOW THERE IS EROSION WITH THE EQUATION OF
EROSIONAL FLOW IN PIPE AT WELL X FIELD Y***

ARYANDAKA PINANDITO

153210264

ABSTRACT

Pipes are equipment used to move fluids from one place to another. In the oil and gas industry, pipes are one of the equipment that needs attention so that production can run smoothly. One of the problems that often occurs in pipes is erosion. Erosion is a concern because it can cause an increase in the severity of corrosion which can reduce the life of the pipelines in well X field Y, so the company spends more for pipe replacement.

Erosion is caused by a mixture of air, oil, gas and current flowing at high speed in the pipe. This problem can be overcome by determining the correct size of the pipe diameter using the erosion flow equation. Determination of the size of the pipe diameter is calculated based on the flow rate of erosion. This research is important to do because it can extend the life of pipes in well X field Y and company costs.

From the calculation using the erosional flow equation, it is found that the erosion work flow velocity is 40.64 ft / s. For each speed of 10 ft / s, 15 ft / s, 40.64 ft / s, 50 ft / s, 60 ft / s, a pipe diameter of 3 inch, 2.5 inch, 1.6 inch, 1.4 inch, 1.3 inch is obtained with a pressure loss of 36.7 psi, 99 psi, 1117.2 psi, 1862 psi, 2094 psi. Based on these results, a pipe diameter of 3 inches can be used in the well channel X field Y.

Keywords: Flowline, Erosion, Corrosion, Erosional Flow

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pipa merupakan sebuah alat berbentuk selongsong bundar yang digunakan untuk mengalirkan fluida, baik itu cairan atau gas. Pipa di dalam dunia perminyakan sangat penting untuk diperhatikan agar penggunaannya tepat dan memiliki umur yang lebih lama. Penentuan ukuran diameter pipa yang tepat dapat mengoptimalkan serta mengamankan fluida yang terproduksi. Dalam sistem perpipaan selalu ada masalah yang harus dihadapi sehingga membuat perusahaan mengeluarkan biaya lebih untuk menanganinya, salah satu masalah yang sering terjadi adalah erosi.

Erosi di lingkungan minyak dan gas bumi membahayakan investasi dan lingkungan. Metoda perawatan dan pemantauan sangatlah penting untuk menghindari kerusakan yang tidak diinginkan. Untuk mencapai hal tersebut diperlukan metode peramalan yang dapat secara akurat menghitung kecepatan erosi (Asmara, 2008). Mencegah erosi pada pipa adalah hal yang sangat penting pada proses produksi minyak dan gas. Pemilihan ukuran diameter pipa sangat penting diperhatikan karena hal ini menyangkut umur pemakaian pipa, ketahanan pipa terhadap fluida yang mengalir di dalamnya dan mencegah terjadinya erosi (Rita, Ariyon, & Ramdhani, 2017). Erosi yang terjadi pada bagian dalam pipa minyak bumi disebut korosi *internal*, yang biasanya disebabkan adanya campuran air, gas, minyak, partikel padat dan gelembung yang mengalir dengan kecepatan tinggi (Krisnanda, Santoso, & Nugroho, 2019). Sedangkan, korosi biasanya disebabkan adanya fluida yang mengalir atau diam pada bagian dalam pipa. Fluida yang mengalir dalam pipa yaitu minyak mentah akan mengandung CO₂, sehingga apabila terjadi kontak dengan air akan membentuk asam yang merupakan penyebab korosi (Sidiq, 2011).

Erosi dan korosi dalam pipa akan meningkat jika kecepatan aliran minyak meningkat (Utomo, 2009). Hal ini disebabkan kondisi campuran antara minyak

dan air yang membentuk emulsi. Jika semakin banyak air yang terkontak dengan dinding pipa maka korosi akan semakin meningkat.

Pada penelitian ini dilakukan perhitungan kecepatan erosi berdasarkan kecepatan alir maksimum terjadinya erosi dengan menggunakan persamaan *erosional flow* agar bisa menentukan ukuran diameter pipa yang tepat untuk digunakan. Pemilihan ukuran diameter pipa dinilai berpotensi untuk mengurangi laju erosi pada pipa, agar pipa memiliki masa pakai yang lebih lama.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Menghitung kecepatan terjadinya erosi dengan menggunakan persamaan *erosional flow*.
2. Menentukan ukuran diameter pipa yang tepat berdasarkan kecepatan alir maksimum terjadinya erosi.

1.3 Manfaat Penelitian

Memberikan pemahaman untuk menghitung kecepatan terjadinya erosi dan pemilihan ukuran diameter pipa yang tepat untuk mengatasi erosi agar masa pakai pipa lebih lama.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya difokuskan untuk menentukan ukuran diameter pipa berdasarkan kecepatan alir maksimum terjadinya erosi pada pipa dua fasa yang dapat mengurangi masa pakai pipa.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

“Dan mereka berkata: "Apakah bila kami telah menjadi tulang belulang dan benda-benda yang hancur, apa benar-benarkah kami akan dibangkitkan kembali sebagai makhluk yang baru? Katakanlah: Jadilah kamu sekalian batu atau besi, atau suatu makhluk dari makhluk yang tidak mungkin (hidup) menurut pikiranmu. Maka mereka akan bertanya: Siapa yang akan menghidupkan kami kembali? Katakanlah: Yang telah menciptakan kamu pada kali yang pertama. Lalu mereka akan menggeleng-gelengkan kepala mereka kepadamu dan berkata: Kapan itu (akan terjadi)? Katakanlah: Mudah-mudahan waktu berbangkit itu dekat,” Surah Al-Isra' Ayat 49-51.

2.1 Sistem Perpipaan

Sistem perpipaan merupakan instalasi pipa penyalur fluida baik itu minyak, gas atau air. Sistem perpipaan pada industri minyak dan gas merupakan pipa yang disambung satu sama lain, yang berfungsi untuk mengalirkan fluida dari satu tempat ketempat lainnya (Sulardi, 2019). Pada sistem perpipaan juga memiliki komponen komponen seperti, *elbow*, *valve*, *reducer*, *nozzle*, *support*, *tee*, isolasi.

Dari aspek pembentuknya, pipa biasa dibuat dari bahan dasar baja, *stainless steel*, *duplex* ataupun polimer seperti *polyethylene* dan *polypropylene* yang mulai digunakan pada sebagian pipa salur gas yang bertekanan rendah. Dari system jaringannya pipa dapat dikelompokan menjadi pipa alir dasar sumur dan pipa transmisi (Rahman, 2015).

Secara umum *pipe line* atau pipa transmisi dalam industri *oil* dan gas dibedakan menjadi tiga jenis (Pharris & Kolpa, 2007) :

1. *Export line* adalah pipa yang menyalurkan minyak atau gas olahan dari *platform* satu ke *platform* yang lain atau antara *platform* dengan *on -shore facility*.
2. *Flowline* adalah pipa yang menyalurkan fluida dari sumur produksi ke *separator* komponen yang pertama.

3. *Injection line* adalah pipa yang mengarahkan *liquid* atau gas untuk mendukung aktifitas produksi (contoh: air atau injeksi gas, *gas lift*, *chemical injection*).

2.2 Korosi

Korosi merupakan suatu penurunan kualitas logam karena adanya reaksi elektrokimia dengan lingkungannya yang membuat hilangnya logam pada bagian yang terpengaruh (Irwanto, Basir, & Pamuji, 2013).

Secara umum korosi dapat diklarifikasikan sebagai berikut (Sidiq, 2013) :

1. Korosi Seragam

Korosi seragam atau *uniform corrosion* merupakan bentuk korosi yang paling umum terjadi. Korosi yang terjadi terlihat merata di seluruh permukaan logam dengan intensitas yang sama. Salah satu contohnya adalah efek dari korosi atmosfer pada permukaan logam. Korosi seragam terjadi apabila seluruh bagian logam memiliki komposisi yang sama.



Gambar 2. 1 Korosi Seragam (Utomo, 2009)

2. Korosi Galvanik

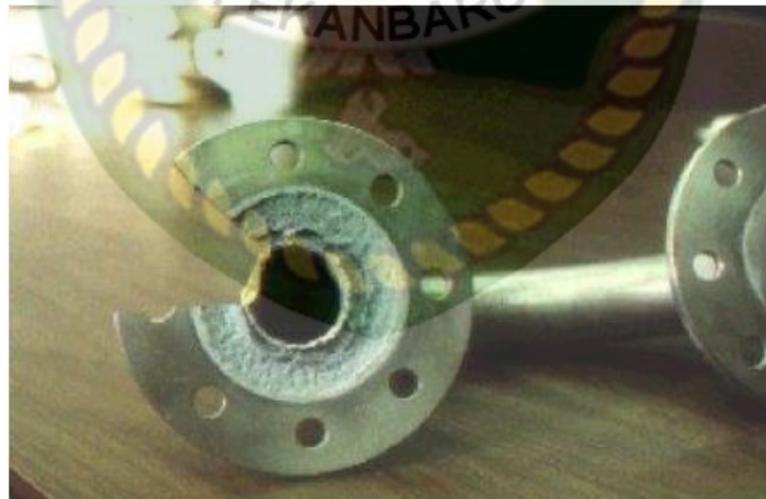
Korosi galvanic adalah korosi yang terjadi pada dua logam yang berbeda tersambung melalui elektrolit sehingga logam yang satu terkena korosi dan logam satunya tidak terkena korosi.



Gambar 2. 2 Korosi Galvanik (Utomo, 2009)

3. Korosi Celah

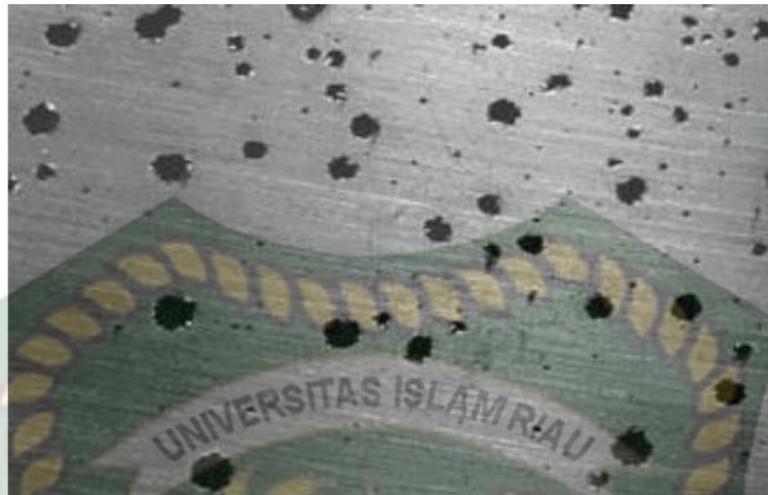
Korosi celah merupakan korosi yang terjadi pada daerah tertentu. Korosi celah terjadi disebabkan karena adanya larutan yang terperangkap di dalam celah yang membuat elektrolit yang terperangkap pada celah memiliki beda konsentrasi oksigen sehingga menimbulkan korosi.



Gambar 2. 3 Korosi Celah (Utomo, 2009)

4. Korosi Sumuran

Korosi sumuran adalah korosi yang terjadi pada daerah tertentu yang membentuk cekungan atau lubang.



Gambar 2. 4 Korosi Sumuran (Utomo, 2009)

5. Korosi Batas Butir (*intergranular corrosion*)

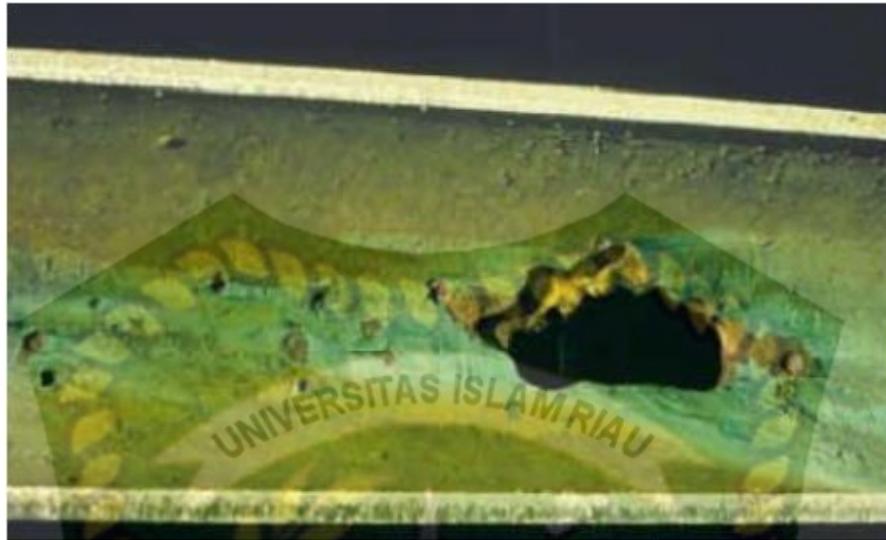
Korosi batas butir merupakan korosi yang disebabkan karena adanya segregasi pada batas butir.



Gambar 2. 5 Korosi Batas Butir (Irwanto et al., 2013)

6. Korosi Erosi

Korosi erosi terjadi akibat adanya fluida korosif yang mengalir dengan kecepatan tinggi sehingga menggerus lapisan pelindung. Ketika fluida mengalir dengan kecepatan tinggi maka akan terjadi erosi dan kemudian mempercepat terjadinya korosi.



Gambar 2. 6 Korosi Erosi (Utomo, 2009)

2.3 Erosi

Salah satu hal yang dapat menyebabkan kerusakan pada sistem perpipaan adalah erosi (W, Santoso, & Ariwiyono, 2018). Erosi merupakan kerusakan yang terjadi pada permukaan logam yang disebabkan oleh aliran fluida sehingga merusak lapisan pelindung. Erosi terjadi ketika logam bergesekan dengan fluida dan tergerus karena gerakan relatif antar muatan dan permukaan logam. Faktor utama terjadi erosi karena adanya efek-efek mekanik seperti pengausan, abrasi, dan gesekan. Sedangkan beberapa faktor yang mempengaruhi laju erosi adalah kecepatan fluida, viskositas fluida, dan massa jenis fluida (somawardi, 2014).

2.4 *Erosional Flow*

Erosi yang disebabkan oleh fluida terjadi karena butiran cairan menumbuk dinding pipa, sehingga dapat menimbulkan erosi yang dapat mengakibatkan semakin parah korosi. ketika kecepatan aliran yang tinggi, terjadinya erosi terhadap pipa baja juga sangat tinggi (Arnold & Steward, 1999).

2.4.1 Pipa Cairan

Kecepatan maksimum yang digunakan untuk menentukan ukuran pipa cairan adalah 15 ft/sec. Karena dari pengalaman menunjukkan batas ini dapat memperkecil kebisingan dan erosi. Sedangkan kecepatan minimum di pipa cairan adalah 3 ft/sec untuk menjaga agar tidak terjadinya pengendapan partikel (Madani

Sani, Huizinga, Esaklul, & Nestic, 2019). Untuk menentukan kecepatan fluida digunakan persamaan

$$V = 0.012 \frac{Q_l}{d^2}$$

Dimana V adalah Kecepatan fluida (ft/sec), Q_l adalah laju alir cairan (bpd) dan d adalah diameter pipa (in)

2.4.2 Pipa Gas

Untuk pipa gas, tekanan dan kecepatan harus dijaga agar gas mengalir dipipa. Kecepatan minimum pada pipa gas adalah 15 ft/sec untuk mencegah terjadinya pengendapan cairan. Sedangkan untuk kecepatan maksimum adalah 60 ft/sec untuk meminimalkan kebisingan dan 50 ft/sec untuk mencegah terjadi erosi. Untuk menentukan kecepatan alir gas digunakan persamaan

$$V = 60 \left(\frac{Q_g T Z}{d^2 P} \right)$$

Dimana Q_g adalah laju alir gas (MMscfd), T adalah temperatur ($^{\circ}R$), d adalah diameter pipa (in), P adalah Tekanan (psia), V adalah kecepatan gas (ft/sec), Z adalah faktor kompresibilitas gas.

2.4.3 Pipa Dua Fasa

Penentuan laju erosi pada pipa *flowline* dari sumur, *manifold*, dan *pipeline* dua fasa ditentukan dengan metode dua fasa. Sebagian besar pipa dua fasa beroperasi pada tekanan tinggi, kehilangan tekanan biasanya bukan menjadi batasan untuk menentukan diameter pipa. Namun, kehilangan tekanan harus diperhitungkan untuk beberapa pipa dua fasa yang panjang.

Disarankan agar kecepatan aliran minimum antara 10 – 15 ft/sec untuk mempertahankan aliran fluida tetap bergerak dan meminimalkan *slugging* pada separator atau peralatan lainnya. Kecepatan maksimum diatur 60 ft/sec untuk meminimalkan kebisingan dan 50 ft/sec untuk mencegah terjadi korosi CO_2 dan erosi. Menurut (Arnold & Steward, 1999) untuk aliran dua fasa persamaan umum kecepatan erosi adalah

$$V_e = \frac{C}{(\rho_m)^{1/2}}$$

dimana V_e adalah kecepatan erosi (ft/sec), ρ_m adalah densitas rata-rata fluida campuran (lb/cuft) dan C adalah konstanta empirik. Beberapa nilai C yang dipakai oleh API Recommended Practice 14E adalah 100 untuk *continuous service* dan 125 untuk *intermittent service*.

Densitas rata-rata fluida campuran dapat dinyatakan dengan persamaan

$$\rho_m = \frac{12409SG_{liquid}P + 2.7SG_{gas}RP}{198.7P + ZRT}$$

Dimana SG adalah *specific gravity*, R adalah *gas liquid ratio* (cuft/bbl), T adalah temperatur ($^{\circ}R$) dan P adalah tekanan (psi).

Diameter pipa dapat ditentukan, dengan menggunakan persamaan

$$d = \left[\frac{(11.9 + \frac{ZRT}{16.7P})Q_l}{1000V} \right]^{1/2}$$

Dimana V adalah kecepatan maksimum yang diperbolehkan atau kecepatan erosi (ft/sec)

2.5 Kehilangan Tekanan

Terjadinya penurunan tekanan saat fluida mengalir dari satu titik ke titik yang lain dengan tekanan tertentu melewati sistem perpipaan disebut kehilangan tekanan atau *pressure drop* (Yohana & Saputra, 2015). Secara umum kehilangan tekanan dibagi menjadi dua yaitu, kehilangan tekanan utama atau *major loss* dan *minor loss*. *Major loss* adalah kehilangan tekanan yang disebabkan oleh gesekan pada dinding pipa. Sedangkan *minor loss* adalah kehilangan tekanan yang disebabkan karena adanya sambungan, belokan, katup dan aksesoris lainnya (Almadya, Siswanto, & Fauzi, 2017). Berdasarkan API 14E kehilangan tekanan pada aliran dua fasa dapat ditentukan dengan persamaan

$$\Delta P = \frac{3,4 \times 10^{-6} f L W^2}{\rho_m d^5}$$

2.6 Reynold Number

Reynold Number atau bilangan reynold merupakan bilangan tak berdimensi yang menunjukkan perbandingan rasio gaya inersia dengan gaya

viskositas(Widodo, Suharno, & Salahudin, 2016). *Reynolds Number* dapat ditentukan dengan persamaan

$$Re = 1488 \frac{\rho DV}{\mu}$$

2.7 Regim Aliran

Jenis aliran fluida cair dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan nilai yang disebut *reynold number* yaitu, laminar, turbulen dan transisi. Aliran laminar adalah aliran dimana fluida mengalir di lapisan masing-masing dengan kecepatan konstan. Aliran dikatakan laminar apabila nilai $Re < 2000$. Aliran turbulen adalah aliran dimana partikel-partikel fluida tidak menentu karena putaran partikel antar lapisan. Aliran dikatakan turbulen apabila $Re > 2300$. Aliran Transisi adalah aliran peralihan dari laminar menuju turbulen. Aliran dikatakan transisi apabila $2000 < Re < 2300$ (Syahrul, Mechrans, Satrio, & Munawar, 2016).

2.8 State of The Art

Pada penelitian yang berjudul *Reprint of "Erosion prediction of liquid-particle two-phase flow in pipeline elbows via CFD-DEM coupling method"* yang diteliti oleh Jukai Chen, Yueshe Wang, Xiufeng Li, Renyang He, Shuang Han dan Yanlin Chen pada tahun 2015 membahas tentang prediksi erosi pada aliran multi fasa pada *elbow* dengan menggunakan metode CFD dan DEM. Dengan menhkitung interaksi antara partikel dan liquid, partikel dan partikel serta partikel dan dinding pipa. Kondisi aliran pada penelitian ini adalah turbulen. Dari hasil simulasi berdasarkan CFD dan DEM telah dilakukan prediksi erosi aliran dua fasa pada *elbow* 45°, 60° dan 90° di dapatkan maksimum erosi terjadi pada *elbow* 90° (Chen et al., 2015).

Pada penelitian yang berjudul *Erosion-Corrosion Mechanism and Comparison of Erosion-Corrosion Performance of API Steels* yang diteliti oleh Md. Aminul Islam dan Zoheir Farhat pada tahun 2017 membahas tentang pipa minyak dan gas yang terkena korosi erosi karena laju aliran yang tinggi. Penelitian ini juga membandingkan penggunaan pipa baja API X42, API X70 dan API X100 untuk mengetahui pipa yang lebih baik untuk meminimalisir terjadinya korosi

erosi. Ketika telah dilakukan penelitian didapatkan hasil bahwa pipa API X100 lebih tahan terhadap korosi dibandingkan dengan jenis pipa API lainnya (Islam & Farhat, 2017).

Pada penelitian yang berjudul *Erosion-Corrosion Evaluation of Two White Cast Irons Under Severe Conditions for Application in The Oil Sands industry* yang diteliti oleh Gerge Karafyllias, Edward Humphries dan Alexander Galloway pada tahun 2018 membahas tentang evaluasi penggunaan dua buah *white cast irons* dengan kondisi parah untuk pengaplikasian pada *sand oil*. Pada evaluasi antara 27% Cr (27WCL) dengan karbida kromium eutektik dan 30% Cr (30WCL) dengan karbida kromium primer serta volume karbida yang lebih tinggi daripada 27 WCL didapatkan hasil bahwa 27WCL lebih menunjukkan ketahanan terhadap erosi-korosi (Karafyllias, Humphries, & Galloway, 2018).

Pada Penelitian yang berjudul *Investigation on Erosion Due to Fine Particles in Multiphase Flow* yang diteliti oleh Tran Nguyet Ngo, Deng-Jr Peng, William Pao dan Hamdan Ya pada tahun 2018 membahas tentang erosi pada pipa produksi yang disebabkan oleh partikel-partikel halus dalam aliran multi fasa. Untuk memprediksi terjadinya erosi sehingga lebih akurat, dan melihat karakteristik erosi serta model aliran digunakan *Computer Fluid Dynamics* (CFD). Di penelitian ini digunakan *Multiphase Computer Fluid Dynamics* (MCFD) untuk memprediksi erosi yang disebabkan karena paertikel halus pada aliran multi fasa. Berdasarkan hasil dari penelitian erosi yang terjadi karena efek partikel halus, tergantung pola aliran fluida dalam pipa (Ngo, Peng, Pao, Ya, & Rohaizad, 2018)

Pada Penlitian yang berjudul *Evaluation of Erosion-Corrosion Behavior of N80 Steel Under High Velocity Wet Gas Condition* yang diteliti oleh yung Wang, Yunan Zhang, Jun Li, Dapeng Li, Guangqiang Cao dan Xiuyyun Wang pada tahun 2019 membahas tentang perilaku erosi-korosi terhadap baja N80 pada pipa gas basah dengan kecepatan aliran gas yang tinggi. Adapun beberapa hal yang dilihat sebagai parameternya adalah suhu, tekanan, dan tegangan geser. Koefisien tegangan geser sangat diperlukan untuk mengidentifikasi perilaku erosi-korosi pada pipa baja N80. Dari hasil penelitian didapatkan bahwa ketahanan baja N80 terhadap erosi-korosi menurun seiring meningkatnya suhu, tekanan parsial CO₂

dan kadar air. Ketahanan baja N80 juga akan menurun seiring dengan meningkatnya tegangan geser pada dinding pipa, ketika tegangan geser lebih besar dari 69.9 Pa maka proses ini akan dikendalikan oleh tegangan geser dinding pipa, ketika tegangan geser lebih kecil dari 69.9 Pa maka proses ini akan dikendalikan tegangan geser pada dinding pipa dan beberapa factor lainnya (Wang et al., 2019).



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan di PT. PERTAMINA EP ASSET 1 FIELD LIRIK. Metode yang digunakan adalah studi lapangan (*case study*). Adapun data yang diperoleh merupakan data sekunder, data tersebut berupa data fluida, data produksi dan data *surface facility*.

3.2 Metode Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan persamaan *erosional flow* untuk menentukan ukuran diameter pipa berdasarkan laju alir maksimum terjadinya erosi, sehingga terhindar dari kerusakan pada pipa seperti erosi dan menentukan ukuran diameter pipa yang tepat sesuai kondisi fluida di dalam pipa. Maka dengan metode ini masalah tersebut bisa diatasi dan dapat meningkatkan masa pakai pipa untuk mengalirkan fluida produksi.

3.2.1 Langkah Kerja untuk Pipa Dua Fasa

- a. Siapkan data pendukung seperti :

Specific gravity minyak SG_{oil}

Specific gravity air, SG_{water}

Specific gravity gas, SG_{gas}

Viscositas (cp)

Densitas Cairan (lb/ft^3)

Densitas Gas (lb/ft^3)

Gas Liquid Ratio, R (cuft/bbl)

Temperatur, T ($^{\circ}R$)

Tekanan, P (psia)

Laju Alir Produksi Q_{liquid} (bpd)

Laju Alir Produksi Q_{gas} (MMscfd)

Panjang Pipa (ft)

Pipe Material

- b. Tentukan Z faktor berdasarkan data P, T, dan SG_{gas}
 c. Tentukan densitas rata-rata campuran dengan persamaan

$$\rho_m = \frac{12409SG_{liquid}P + 2.7SG_{gas}RP}{198.7P + ZRT}$$

- d. Tentukan kecepatan erosi V_e dengan persamaan

$$V_e = \frac{C}{(\rho_m)^{1/2}}$$

- e. Tentukan diameter pipa dengan persamaan

$$d = \left[\frac{(11.9 + \frac{ZRT}{16.7P})Q_l}{1000V} \right]^{1/2}$$

- f. Cek kehilangan tekanan, untuk memastikan tekanan cukup untuk mendorong fluida
 g. Tentukan kehilangan tekanan dengan persamaan

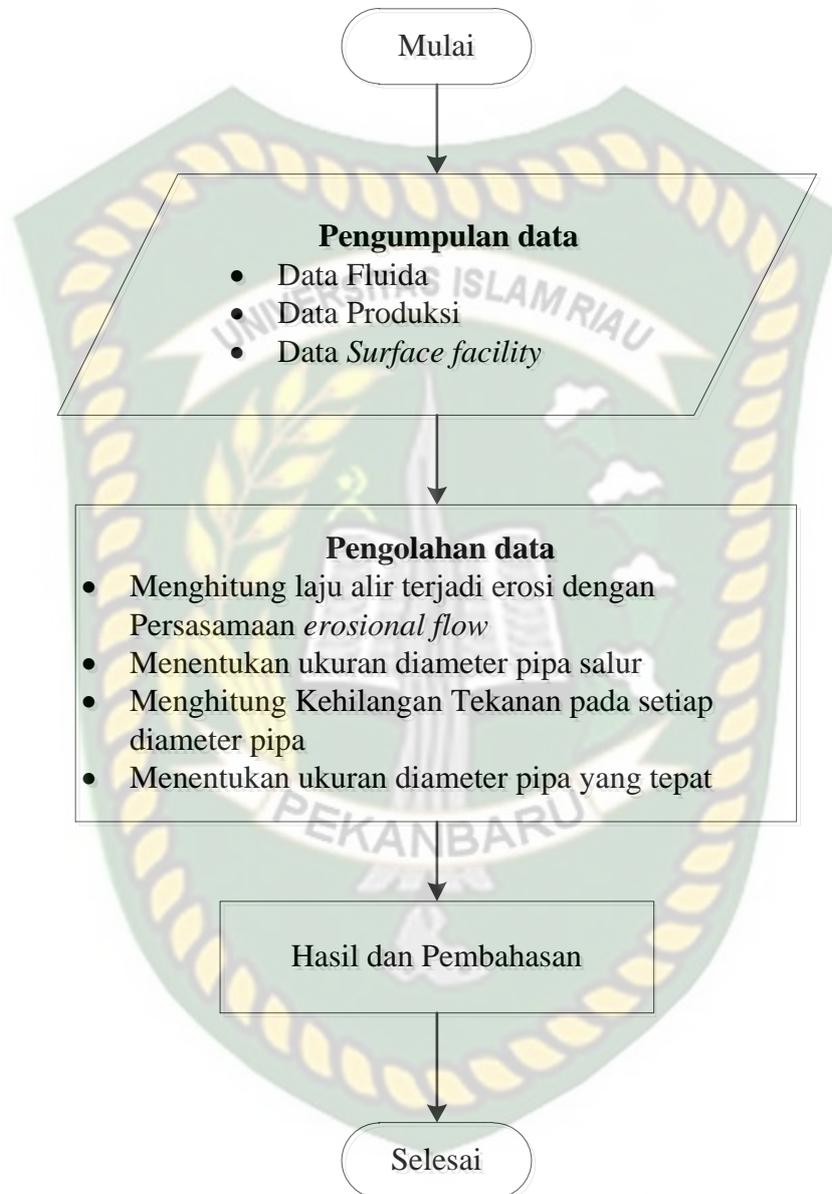
$$\Delta P = \frac{3,4 \times 10^{-6} f L W^2}{\rho_m d^5}$$

- h. Nilai f ditentukan dari *moody diagram*
 i. Persamaan Untuk Menghitung laju produksi campuran (W) adalah

$$W = 3180Q_g SG_{Gas} + 14.6Q_l SG_{Liquid}$$

- j. Pilih ukuran pipa yang memenuhi kriteria

3.3 Flow Chart



Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

3.4 Waktu Pelaksanaan Penelitian

Waktu Penelitian dimulai pada minggu ke-1 November 2020 sampai minggu ke-4 November 2020. Dapat dilihat pada *ganttt chart* dibawah ini

Tabel 3. 1 Jadwal Penelitian

No	Deskripsi kegiatan	November			
		1	2	3	4
1	Pengumpulan data				
2	Pengolahan data laju erosi dan penentuan ukuran pipa				
3	Hasil dan pembahasan data				
4	Penulisan laporan				

3.5 Sejarah Singkat Perusahaan

Pengelolaan Lapangan Minyak Lirik (Japura Blok) pertama kali dipegang oleh SVPM (*Standard Vaccum Petroleum Maatschappij*). SVPM merupakan perusahaan minyak asal amerika serikat yang berkantor pusat di 26th, *Broadway New York City*, sedangkan di Indonesia berkantor di Sungai Gerong, Palembang, Sumatera Selatan. Kegiatan eksplorasi dimulai tahun 1925, lalu pada tahun 1936 dilakukan pengeboran sumur eksplorasi pertama. Sumur pertama yang menghasilkan minyak adalah sumur LR-003. Kemudian pada tanggal 13 Maret 1941 pada sumur LS-10 dilakukan tes awal dan menghasilkan 850 BOPD dengan kadar air 0%.

Tahun 1959 SVPM berubah nama menjadi PT Stanvac Indonesia. Pada tanggal 28 November 1983 lapangan ini dikembalikan ke Pertamina yang meliputi struktur Lirik, Sago, Molek, Andan, Belimbing, Ukui, Pondak dan Pulaui. Kemudian, struktur Sago diserahkan ke JOB Pertamina – Lirik Petroleum pada tanggal 1 April 1994 dengan perjanjian kontrak EOR (*Enhanced Oil Recovery*).

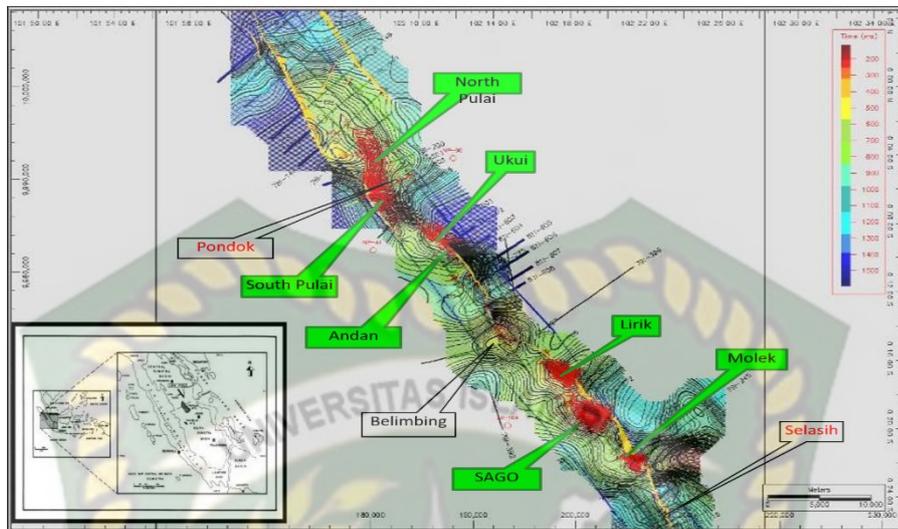
Masa kontrak berakhir pada bulan Maret 2006 dan namanya diubah menjadi Unit Bisnis EP (UBEP) Lirik.

Pada Oktober 2009, Pertamina menyerahkan lapangan operasionalnya kepada UBEP Lirik yang meliputi struktur Lirik, Molek, dan Sago pada Distrik I yang memiliki 25 sumur produksi yang menggunakan sistem *Sucker Rod Pump* (SRP) dan 47 sumur produksi yang menggunakan sistem *Electrical Submersible Pump* (ESP), serta struktur Andan, Ukui, South Pulai dan North Pulai pada Distrik II yang memiliki 16 sumur produksi yang menggunakan sistem *Sucker Rod Pump* (SRP) dan 16 sumur produksi yang menggunakan sistem *Electrical Submersible Pump* (ESP). sehingga UBEP Lirik mengelola total 104 sumur produksi.

Kemudian, pada Maret 2013 Unit Bisnis Pertamina EP Lirik berganti nama menjadi PT Pertamina EP Asset 1 Lirik Field, mengelola dua distrik operasional yaitu Distrik I dan Distrik II dengan struktur yang sama dengan sebelumnya. Pada Distrik I terdapat 51 sumur produksi menggunakan sistem ESP dan 20 sumur produksi menggunakan sistem SRP. Sedangkan di Distrik II terdapat 16 sumur produksi menggunakan sistem ESP dan 17 sumur produksi menggunakan sistem SRP. Dengan total 104 sumur produksi, Pertamina EP Lirik Field mendapatkan rata – rata produksi 2.097 barrel oil per day (BOPD).

3.6 Letak Geografis

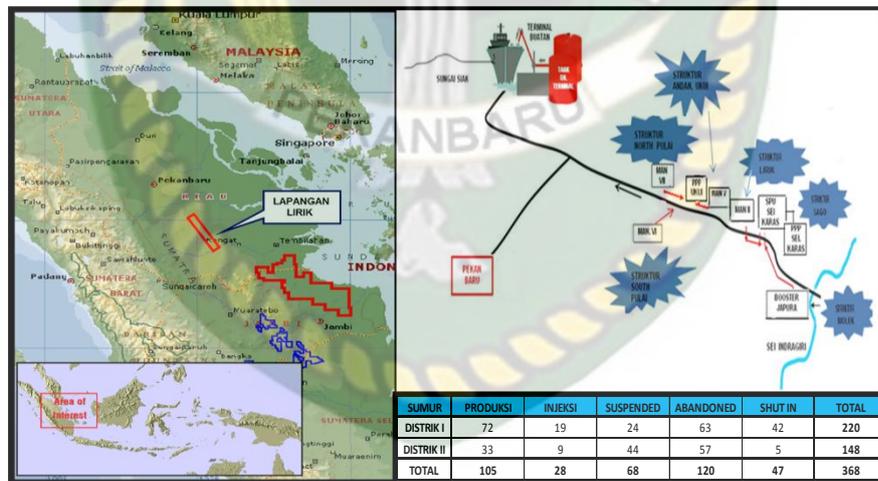
Lapangan yang dikelola oleh PT Pertamina EP Asset 1 lirik merupakan bagian dari struktur antiklin yang disebut sebagai *Lirik Trend*. Panjang dari struktur antiklin ini dari barat laut samudra tenggara sebesar 50 km dan lebar 10 km. Lapangan ini berlokasi di Provinsi Riau, berjarak 140 km dari arah tenggara Pekanbaru dan 200 km dari arah barat laut arah Jambi. Secara geografis, lapangan Lirik terletak pada $0^{\circ}17'$ LS dan $102^{\circ}16'$ BT. Wilayah kerja yang dimiliki oleh PT Pertamina EP Asset 1 Lirik meliputi tiga kabupaten, yaitu kabupaten Indragiri Hulu, Pelalawan dan Siak.



Gambar 3. 2 Letak Geografis Field Lirik

3.7 Persebaran Fasilitas Operasi Produksi Lirik Field

PT Pertamina EP Asset 1 Lirik mengelola dua distrik. Distrik I terdapat struktur Lirik, Molek dan Sago sedangkan pada Distrik II terdapat Struktur Andan & Ukui, Nira & South Pulau dan North Pulau.



Gambar 3. 3 Persebaran Fasilitas Operasi Produksi Lirik Field

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pipa merupakan salah satu peralatan yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari untuk menyalurkan fluida dari satu tempat ke tempat yang lain. Dalam industri perminyakan pipa juga digunakan untuk menyalurkan fluida baik itu fluida cair atau gas dari satu fasilitas produksi ke fasilitas produksi lainnya. Salah satu pipa yang digunakan pada industri migas adalah pipa salur (*flowline*), yaitu pipa yang berfungsi mengalirkan fluida dari sumur menuju fasilitas produksi (Maryani & Suseno, 2017). Agar produksi berjalan dengan baik, sistem perpipaan sangat penting untuk diperhatikan. Salah satu masalah yang sering menyebabkan terjadinya kerusakan pada pipa adalah erosi (Lin, Lan, Xu, Dong, & Barber, 2015). Erosi terjadi akibat fluida mengalir didalam pipa dengan kecepatan tinggi sehingga menggerus dinding pipa. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan kecepatan alir maksimum terjadinya erosi dan menentukan ukuran diameter pipa yang tepat agar tidak terjadi erosi.

4.1 Data Sumur X Lapangan Y

Laju alir sangat mempengaruhi terjadinya erosi pada pipa, karena ketika laju alir terlalu tinggi erosi akan terjadi dan apabila laju air terlalu rendah menyebabkan fluida tidak dapat mengalir. Sebelum menghitung laju alir maksimum terjadinya erosi di sumur X lapangan Y dibutuhkan data data penunjang. Berikut data-data penunjang

Tabel 4. 1 Data Sumur X Lapangan Y

Parameter	Sumur X	Unit
Laju Produksi Minyak (Q_o)	13	BPD
Laju Produksi Air (Q_w)	617	BPD
Laju Produksi Gas (Q_g)	1	MMSCFD
SG Minyak	0.87	
SG Air	1.05	

SG Gas	0.65	
Viskositas (μ)	21	CP
Tekanan (P)	365	PSI
Temperatur (T)	582	$^{\circ}$ R
Panjang Pipa	4920	Ft
Tipe Pipa	<i>Carbon Steel</i>	

Dari table 4.1 tersebut peneliti dapat menghitung laju alir maksimum terjadi erosi pada sumur X lapangan Y.

4.2 Laju Alir Terjadinya Erosi pada Sumur X Lapangan Y

Sebelum menghitung laju alir terjadinya erosi di butuhkan data faktor kompresibilitas gas (Z), *spesifik gravity liquid* (SG_L), *Gas Liquid Ratio* (R) dan densitas campuran (ρ_m). Nilai kompresibilitas gas (Z) adalah 0.95 berdasarkan nilai *spesifik gravity gas* (SG_G), tekanan (P) dan temperatur (T) yang didapat dari memplot grafik pada lampiran. Nilai *spesifik gravity liquid* (SG_L) adalah 1.046. Nilai *gas liquid ratio* (R) adalah 1587.3 cuft/bbl. Nilai densitas campuran (ρ_m) adalah 6.05 lb/cuft. Dari data tersebut di dapatkan laju alir terjadinya erosi adalah 40.64 ft/s.

4.3 Diameter Pipa Salur pada Sumur X Lapangan Y

Dari data $V_e = 40.64$ ft/s didapat diameter pipa (d) sebesar 1.6 inch, untuk menentukan ukuran diameter pipa (d) yang tepat, pada penelitian ini juga menghitung diameter pipa (d) pada kecepatan atau laju alir 10 ft/s, 15 ft/s, 50 ft/s dan 60 ft/s. Hasil perhitungan dengan beberapa kecepatan dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Diameter Pipa

Kecepatan Alir Fluida (V), ft/s	Diameter Pipa (D), inch
10	3
15	2.5
40.64	1.6

50	1.4
60	1.3

Dari tabel 4.2 di atas dapat di lihat, kecepatan atau laju alir berbanding terbalik dengan diameter pipa. Semakin kecil diameter pipa yang digunakan maka semakin besar ukuran kecepatannya. Pada tabel untuk kecepatan 10 ft/s diameter pipa yang didapatkan adalah 3 inch, kecepatan 15 ft/s diameter pipa yang didapatkan adalah 2.5 inch, kecepatan 40.64 ft/s diameter pipa yang didapatkan 1.6 inch, kecepatan 50 ft/s diameter pipa yang didapatkan adalah 1.4 inch, kecepatan 60 ft/s diameter pipa yang didapatkan adalah 1.3 inch. Penggunaan kecepatan atau laju alir 10 ft/s, 15 ft/s, 50 ft/s, 60 ft/s berdasarkan kecepatan yang di perbolehkan untuk menentukan diameter pipa dua fasa. 10 ft/s dan 15 ft/s adalah kecepatan minimum untuk menjaga fluida tetap bergerak dan memperkecil *slugging* sedangkan 50 ft/s dan 60 ft/s adalah kecepatan maksimum untuk mencegah terjadinya erosi.

4.4 Kehilangan Tekanan pada Setiap Diameter Pipa

Sebelum menghitung kehilangan tekanan ada data penunjang yang dibutuhkan untuk mengetahui regim alirannya laminar, turbulen atau transisi. Untuk mengetahui regime aliran diperlukan data bilangan reynold (R_e).

4.4.1 Regime Aliran dari Bilangan Reynold

Regim aliran dapat ditentukan dari nilai bilangan reynold (R_e). Jika $R_e < 2000$ maka alirannya laminar, $R_e > 2300$ maka alirannya adalah turbulen dan apabila $2000 < R_e < 2300$ maka alirannya adalah transisi. Nilai bilangan reynold (R_e) pada setiap diameter pipa dapat di lihat pada tabel 4.3

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Bilangan Reynold

Diameter Pipa (d), inch	Bilangan Reynold (R_e)
3	13562.2
2.5	16610.2
1.6	27340.5

1.4	30326
1.3	33220.4

Dari tabel bisa dilihat alirannya adalah turbulen karena nilai bilangan reynold (R_e) lebih dari 2300. Dari nilai bilangan reynold (R_e) dapat ditentukan nilai *moody friction factor* (f).

4.4.2 Nilai *Moody Friction Factor*

Nilai *moody friction factor* (f) dapat di tentukan dengan persamaan $f = \frac{64}{R_e}$ jika alirannya laminar, untuk aliran turbulen nilai *moody friction factor* (f) dapat ditentukan dengan menggunakan diagram moody pada lampiran. Berikut nilai *moody friction factor* (f) setiap diameter pipa (d) pada tabe 4.4

Tabel 4. 4 Nilai *Moody Friction Factor*

Diameter Pipa (d), inch	Moody Friction Factor (f)
3	0.0294
2.5	0.0288
1.6	0.0269
1.4	0.0267
1.3	0.0264

Dari tabel 4.4 dapat dilihat diameter pipa 3 inch nilai moody friction factornya adalah 0.0294, diameter pipa 2.5 inch nilai moody friction factornya adalah 0.0288, diameter pipa 1.6 inch nilai moody friction factornya adalah 0.0269, diameter pipa 1.4 inch nilai moody friction factornya adalah 0.0267, diameter pipa 1.3 inch nilai moody friction factornya adalah 0.0264. Nilai *moody friction factor* (f) ditentukan menggunakan diagram moody pada lampiran dengan memplot nilai bilangan reynold (R_e) dan nilai $\frac{\varepsilon}{d}$, dimana ε adalah nilai kekasaran pipa. Nilai kekasaran pipa pada penelitian ini adalah 0.0018 inch karena tipe pipa yang digunakan adalah *carbon steel*, Nilai ini di dapat dari tabel pada lampiran.

Kehilangan tekanan dapat dihitung dengan menggunakan data-data penunjang seperti Nilai *moody friction factor* (f), panjang pipa (L), laju produksi campuran (W), densitas campuran (ρ_m) dan diameter pipa (d). pada penelitian ini panjang pipa (L) yang digunakan adalah 4920 ft, laju produksi campuran (W) adalah 11691 lb/hr dan densitas campuran (ρ_m) adalah 6.05 lb/ft. Kehilangan tekanan di setiap diameter pipa dapat dilihat pada tabel

Tabel 4. 5 Perbandingan kehilangan tekanan pada setiap kecepatan dan diameter pipa

Kecepatan alir fluida (V), ft/s	Diameter Pipa (d), inch	Kehilangan Tekanan (ΔP), psi
10	3	36.7
15	2.5	99
40.64	1.6	1117.2
50	1.4	1862
60	1.3	2094

Dari hasil perhitungan untuk setiap diameter pipa 3 inch, 2.5 inch, 1.6 inch, 1.4 inch, 1.3 inch kehilangan tekanannya adalah 36.7 psia, 99 psia, 1117.2 psia, 1862 psia, 2094 psia. Untuk sumur X lapangan Y diameter pipa yang tepat digunakan adalah 3 inch, karena nilai kehilangan tekanannya hanya 36.7 psia dengan laju alir fluida 10 ft/s. Laju alir fluida harus lebih kecil dibandingkan laju alir fluida terjadinya erosi, Laju alir fluida terjadinya erosi adalah 40.64 ft/. Apabila laju alir fluida lebih besar dari laju alir erosi yang terjadi akan semakin cepat terjadinya erosi dan korosi. Diameter pipa 1.4 inch dan 1.3 inch tidak dapat digunakan karena laju alir fluidanya diatas laju alir erosi yaitu 50 ft/s dan 60 ft/s dan kehilangan tekanannya juga sangat besar melebihi tekanan yang masuk di pipa yaitu sebesar 365 psi. Pipa 2.5 inch memiliki laju alir fluida dibawah laju alir erosi tetapi kehilangan tekanannya besar, jadi tidak bisa digunakan pada sumur X lapangan Y. Jadi, diameter pipa yang digunakan pada sumur X lapangan Y adalah 3 inch dengan kecepatan alir fluida 10 ft/s dimana kecepatan alir ini memenuhi kriteria, 10 ft/s adalah kecepatan alir fluida minimum yang di perbolehkan agar

fluida dapat tetap bergerak dan memperkecil terjadinya *slugging*. Apabila kecepatan alir fluida dibawah kecepatan alir minimum maka fluida tidak akan dapat bergerak atau mengalir dengan baik.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dalam tugas akhir ini yaitu sebagai berikut:

1. Kecepatan erosi pada pipa dua fasa didapatkan sebesar 40.64 ft/s. Jika kecepatan alir lebih dari atau sama dengan 40.64 ft/s maka erosi akan terjadi.
2. Berdasarkan kecepatan terjadinya erosi maka, ukuran diameter pipa yang tepat di gunakan adalah 3 inch dengan kehilangan tekanan sebesar 36.7 psi. Kecepatan fluida untuk pipa 3 inch adalah 10 ft/s, kecepatan ini kurang dari kecepatan terjadinya erosi dan memenuhi kriteria kecepatan untuk menjaga fluida tetap mengalir.

5.2 Saran

Selama melakukan penelitian penentuan ukuran pipa berdasarkan laju alir maksimum terjadi erosi dengan persamaan *erosional flow* pada pipa salur sumur X lapangan Y. Peneliti menyarankan melakukan penelitian menentukan ukuran diameter pipa pada pipa satu fasa dan menghitung ketebalan pipa.

DAFTAR PUSTAKA

- Almadya, R., Siswanto, & Fauzi, M. (2017). *ANALISIS KEHILANGAN ENERGI PADA PIPA TRANSMISI SPAM KECAMATAN MEMPURA*. 4(2), 1–7.
- Arnold, K., & Steward, M. (1999). surface production operations. In *Butterworth-Heinemann* (Vol. 1).
- Asmara, Y. P. (2008). *Efek Kecepatan Aliran Minyak terhadap Kecepatan Korosi dalam Pipa di Lingkungan Minyak dan Gas Bumi*. 8, 61–68.
- Chen, J., Wang, Y., Li, X., He, R., Han, S., & Chen, Y. (2015). Reprint of “Erosion prediction of liquid-particle two-phase flow in pipeline elbows via CFD-DEM coupling method.” *Powder Technology*, 282, 25–31.
- Irwanto, D., Basir, Y., & Pamuji, M. (2013). *STUDI KOROSI PADA PIPA MENGGUNAKAN METODE IMPRESSED*. 1, 198–212.
- Islam, M. A., & Farhat, Z. (2017). Erosion-corrosion mechanism and comparison of erosion-corrosion performance of API steels. *Wear*, 376–377, 533–541.
- Karafyllias, G., Humphries, E., & Galloway, A. (2018). *Erosion-corrosion evaluation of two white cast irons under severe conditions for application in the oil sands industry*. (11405), 1–9.
- Krisnanda, L. R., Santoso, A., & Nugroho, F. (2019). *Analisa Laju Erosi pada Elbow Pipa Karena Partikel Pasir dalam Aliran Fluida Gas Menggunakan Simulasi CFD*. 8(2), 1–6.
- Lin, N., Lan, H., Xu, Y., Dong, S., & Barber, G. (2015). Effect of the gas-solid two-phase flow velocity on elbow erosion. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 26, 581–586.
- Madani Sani, F., Huizinga, S., Esaklul, K. A., & Nestic, S. (2019). Review of the API RP 14E erosional velocity equation: Origin, applications, misuses, limitations and alternatives. *Wear*, 426–427(October 2018), 620–636.
- Maryani, E., & Suseno, S. A. (2017). *Peningkatan Proses Produksi Minyak Dan*

- Gas Bumi Dengan Menurunkan Tekanan Hisap Kompresor.* (November), 15–24.
- Ngo, T. N., Peng, D. J., Pao, W., Ya, H., & Rohaizad, M. N. (2018). Investigation on erosion due to fine particles in multiphase flow. *Offshore Technology Conference Asia 2018, OTCA 2018.*
- Pharris, T., & Kolpa, R. (2007). Overview of the Design, Construction, and Operation of Interstate Liquid Petroleum Pipelines. *Argonne National Laboratory*, 108.
- Rahman, M. R. (2015). *Perencanaan modifikasi pipa penyalur minyak dengan adanya penambahan platform produksi.* 285–291.
- Rita, N., Ariyon, M., & Ramdhani, A. A. (2017). *ANALISA JARINGAN PEMIPAAN SUMUR INJEKSI MENGGUNAKAN APLIKASI PIPESIM UNTUK MENINGKATKAN INJEKTIVITAS SUMUR BERDASARKAN DATA LAPANGAN AL.* 181–193.
- Sidiq, M. F. (2011). *Analisa pengendalian laju korosi pada pipa minyak bumi lepas pantai.* X(1).
- Sidiq, M. F. (2013). *ANALISA KOROSI DAN PENGENDALIANNYA.* 3(1).
- somawardi. (2014). *Sinergisme konsentrasi nacl dan ukuran partikel terhadap korosi erosi pada baja karbon rendah.* (November), 1–5.
- Sulardi. (2019). *Inspeksi teknik sistem perpipaan industri pengolahan migas.* 2(1), 1–5.
- Syahrul, S., Mechram, S., Satrio, P., & Munawar, A. A. (2016). Simulasi Model Aliran Fluida Dan Kebutuhan Daya Pompa Pada Sistem Hidrodinamika. *Rona Teknik Pertanian*, 9(1), 40–49.
- Utomo, B. (2009). *Jenis korosi dan penanggulangannya.* 6(2), 138–141.
- W, M. R. N., Santoso, E., & Ariwiyono, N. (2018). *Pengaruh Erosi Akibat Slug Particle Terhadap Lifetime Jalur Pipa Distribusi Gas Hydrocarbon Pada Gas Metering Station.* 4.
- Wang, Y., Zhang, Y., Li, J., Li, D., Cao, G., & Wang, X. (2019). *Evaluation of Erosion-Corrosion Behavior of N80 Steel Under High Velocity Wet Gas Condition.* (13526), 1–11.

Widodo, S., Suharno, K., & Salahudin, X. (2016). Analisis Aliran Air dalam Pipa Bercabang. *Wahana Ilmuan*, 1, 77–84.

Yohana, E., & Saputra, I. A. (2015). Analisa Pressure Drop Dalam Instalasi Pipa Pt.Pertamina Drilling Services Indonesia Dengan Pendekatan Bingham Plastic. *Rotasi*, 17(4), 170.

