

**ANALISIS PENCEGAHAN DAN PENANGGULANGAN WAX
DEPOSITE YANG TERBENTUK DI DALAM MAINLINE OLEH WAX
CRUDE OIL PADA PROSES TRANSPORTASI DENGAN BANTUAN
HORIZONTAL PUMP SYSTEM**

TUGAS AKHIR

Diajukan guna penyusunan tugas akhir Program Studi Teknik Perminyakan

Oleh

RAINOF GUNAWAN

NPM 153210178



PROGRAM STUDI TEKNIK PERMINYAKAN

UNIVERSITAS ISLAM RIAU

PEKANBARU

2021

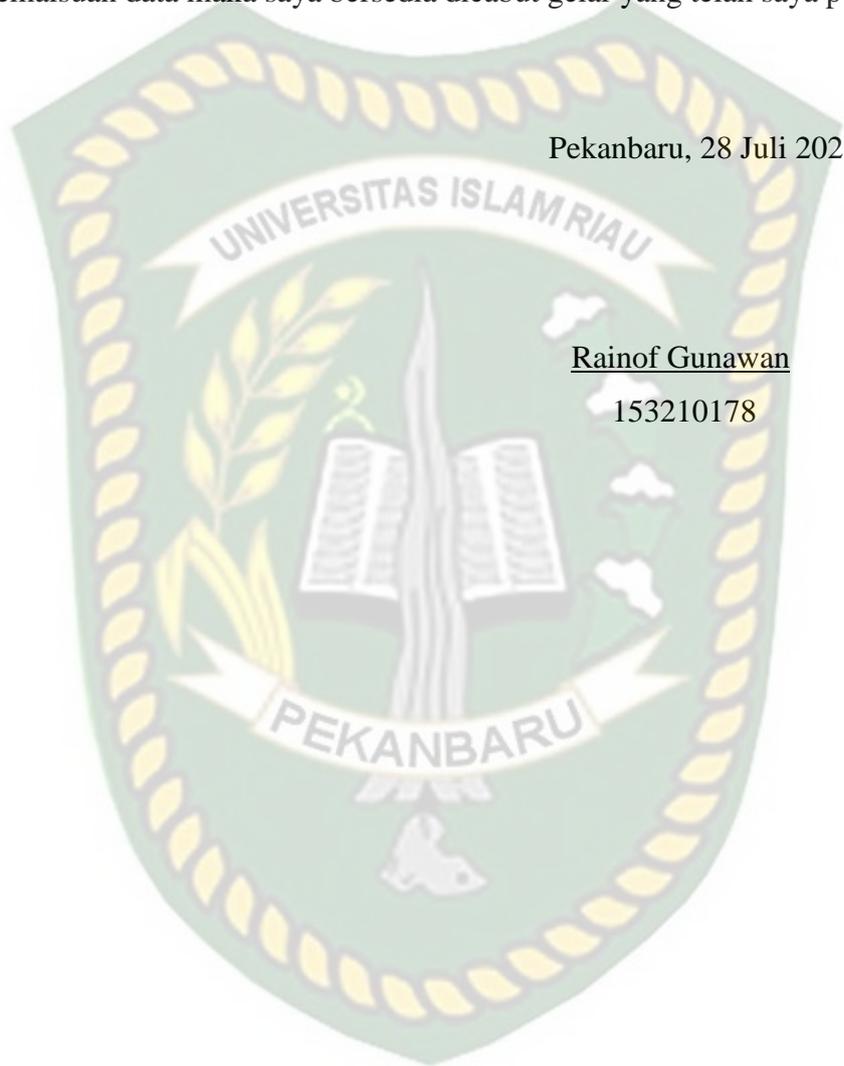
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

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 terdapat unsur penipuan atau pemalsuan data maka saya bersedia dicabut gelar yang telah saya peroleh.

Pekanbaru, 28 Juli 2021

Rainof Gunawan

153210178



KATA PENGANTAR

Rasa syukur selalu terucap kepada Tuhan Yang Maha Esa atas Rahmat dan limpahan nikmat 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. Peneliti menyadari bahwa banyak pihak yang telah membantu dan mendorong secara moral ataupun material untuk menyelesaikan tugas akhir ini serta memperoleh ilmu pengetahuan selama perkuliahan. Oleh karena itu peneliti ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua, Ayah Masnur dan Ibu Jasmiati, dan kakak dan abang saya: Muzeliati, Rama Masneri, Indra Mulyadi dan serta keluarga besar yang memberikan dukungan penuh moril maupun materil sampai penyelesaian tugas akhir ini.
2. Ibu Novrianti, S.T., M.T. selaku pembimbing akademik yang telah memberikan arahan, nasihat, dan penyemangat selama menjalani perkuliahan.
3. PT. SPR Langgak yang telah memberikan kesempatan untuk pengambilan data dan bimbingan untuk tugas akhir saya.
4. Teman-teman kos yang memberikan banyak bantuan moril selama penyelesaian tugas akhir ini, khususnya untuk, Michael Yulinada, Khairun Nufuz, Eggi Septi Yulianto, Harry Subakti, Wahyu Illahi, Luigy Aditia Pradana, Mulyadi, Febri Aidira, Riat Susanto, Ernado Lingga Wijaya, Wahyu Setiawan, Shandi Putra, Yogi Rahmad Desandi, Idham Ilham Palevi, dan Adrico Fauzan (JKKP69).

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

Pekanbaru, 28 Juli 2021

Rainof Gunawan

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	2
KATA PENGANTAR	4
DAFTAR ISI	5
DAFTAR GAMBAR	7
DAFTAR TABEL	8
DAFTAR SIMBOL.....	9
DAFTAR SINGKATAN	10
ABSTRACT.....	11
<i>ABSTRACT</i>	12
BAB I.....	13
PENDAHULUAN	13
1.1 LATAR BELAKANG.....	13
1.2 TUJUAN PENELITIAN	14
1.3 MANFAAT PENELITIAN.....	14
1.4 BATASAN MASALAH	14
BAB II.....	15
TINJAUAN PUSTAKA.....	15
2.1 <i>STATE OF THE ART</i>	16
2.2 <i>WAX DEPOSITE</i> DI LAPANGAN LANGGAK	18
2.3 HORIZONTAL PUMP SYSTEM (HPS).....	18
BAB III	20
METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1 URAIAN METODOLOGI PENELITIAN	20
3.2 ALUR PENELITIAN	21
3.3 STUDI LAPANGAN	21

3.4	WAKTU PENELITIAN.....	22
BAB IV.....		23
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		23
4.1	TEKANAN.....	24
4.2	TEMPERATUR.....	28
BAB V.....		33
KESIMPULAN DAN SARAN.....		33
5.1	KESIMPULAN.....	33
5.2	SARAN.....	33
DAFTAR PUSTAKA.....		34



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Nilai friction factor berdasarkan sudut (McAllister, 2013)	16
Gambar 2. 2 Alur Transportasi Minyak.....	19
Gambar 3.1 Flow Chart	21
Gambar 4.1 Topografi mainline PT.SPR Langgak menuju PT.Chevron Pacific Indonesia field Petapahan	24
Gambar 4.2 Diagram fasa air (Brown., 2000).....	29



DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Parameter Penelitian.....	20
Tabel 3. 2 Waktu Penelitian	22
Tabel 4. 1 <i>Pressure drop</i> yang dipengaruhi laju alir dan elevasi	25
Tabel 4.2 Perhitungan <i>pressure drop</i> total dengan laju alir yang berbeda.....	26
Tabel 4. 3 Penurunan Temperatur yang dipengaruhi lingkungan	29
Tabel 4.4 Penurunan Temperatur dengan laju alir yang berbeda.....	30

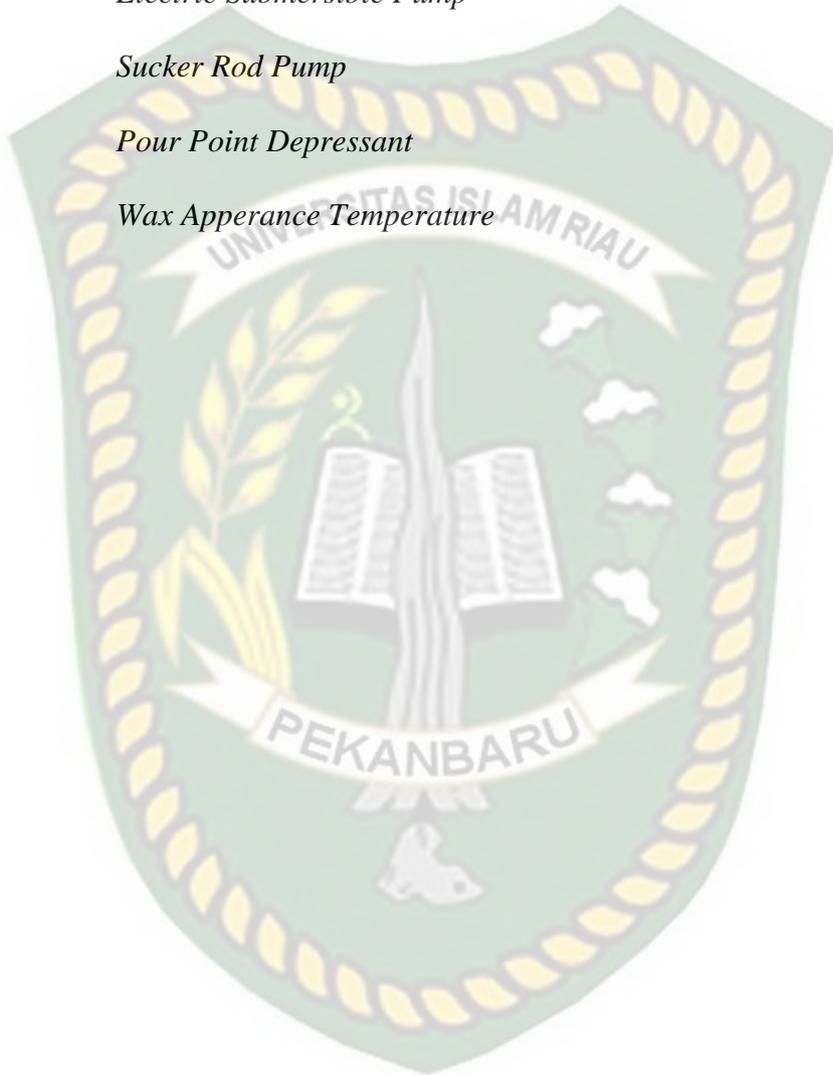


DAFTAR SIMBOL

T_0	Temperatur awal minyak keluar °C
T_1	Temperatur lingkungan °C
T_2	Temperatur akhir minyak °C
C_p	Specific heat capacity, $Kcal(kg^{\circ}C)$
D	Dimeter outside <i>inc</i>
L	Panjang pipa <i>m</i>
Q	Jumlah aliran $m^3/jam = Bbl/day$
K	Koefisien pemisahan panas fluida dari pipa, $Kcal/m^2jam/^{\circ}C$
d	Diameter Inside <i>inc</i>
P	<i>Pressure drop psi/mile</i>
Z	Absolute viscosity, Cp
s	Specific gravity
r	Reynolds number modified R/7742
R	Reynolds number
fr	Friction Factor
ν	Viskositas Kinetik (cst)
π	Pi

DAFTAR SINGKATAN

HPS	<i>Horizontal Pump System</i>
GS	<i>Gathering Station</i>
ESP	<i>Electric Submersible Pump</i>
SRP	<i>Sucker Rod Pump</i>
PPD	<i>Pour Point Depressant</i>
WAT	<i>Wax Apperance Temperature</i>



**ANALISIS PENCEGAHAN DAN PENANGGULANGAN WAX DEPOSITE
YANG TERBENTUK DI DALAM MAIN LINE OLEH WAX CRUDE OIL
PADA PROSES TRANSPORTASI DENGAN BANTUAN HORIZONTAL
PUMP SYSTEM**

RAINOF GUNAWAN

153210178

ABSTRACK

Wax merupakan salah satu permasalahan yang terjadi didalam *mainline* selama transportasi *crude oil* dari GS PT SPR Langgak menuju GS PT Chevron Pacific Indonesia *field* Petapahan. *Deposite wax* ini menyebabkan permasalahan yang serius jika tidak ditangani dengan tepat. Metode yang dilakukan untuk pencegahan *wax* adalah penggunaan *Horizontal Pump System*(HPS). Penggunaan HPS ini perlu dianalisis *pressure drop* dan penurunan temperatur yang terjadi sepanjang *mainline*. Analisis *pressure drop* dilakukan dengan persamaan Shell/MIT, dan analisis penurunan temperatur dilakukan dengan metode karge. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, *pressure drop* yang terjadi sepanjang 10 km *mainline* adalah 26,108 psi, dengan sedikitnya *pressure drop* yang terjadi, membuktikan bahwa minyak yang di transportasikan bisa mengalir sampai tujuan tanpa terjadi permasalahan *wax*. Selanjutnya penurunan temperatur yang terjadi pada lingkungan 35°C adalah 13,608°C, Sedangkan penurunan temperatur yang terjadi di lingkungan 25°C adalah 18,062°C, dengan hasil ini penurunan temperatur yang terjadi selama transportasi masih berada diatas WAT, hal ini membuktikan bahwa *wax* belum terbentuk walaupun terjadi penurunan temperatur.

Kata Kunci : *Wax*, *Horizontal Pump System*, *pressure drop*, penurunan temperatur

**ANALYSIS OF WAX DEPOSITE PREVENTION AND MANAGEMENT
FROM IN MAINLINE BY WAX CRUDE OIL IN TRANSPORTATION
PROCESS WITH HORIZONTAL PUMP SYSTEM ASSISTANCE**

RAINOF GUNAWAN

153210178

ABSTRACK

Wax is one of the problems that occurs in the mainline during the transportation of crude oil from GS PT SPR Langgak to GS PT Chevron Pacific Indonesia in the field Petapahan. Deposit waxes These cause serious problems if not handled properly. The method used for prevention wax is the use of Horizontal Pump Systems(HPS). Using this HPS, it is necessary to analyze the pressure drop and temperature drop that occurs along the mainline. The analysis was pressure drop carried out using the Shell/MIT equation, and the temperature drop analysis was performed using the karge method. Based on the results of the research conducted, the pressure drop that occurs along the 10 km mainline is 21.05 psi, with the least pressure drop that occurs, proving that the transported oil can flow to its destination without problems wax. Furthermore, the decrease in temperature that occurs in the environment 35°C is 14,102°C , while the decrease in temperature that occurs in the environment 25°C is 18,717°C, with this result the decrease in temperature that occurs during transportation is still above WAT, this proves that the wax has not been formed even though there is a decrease in temperature.

Key Words: *Wax, Horizontal Pump System, Pressure drop, temperature drop*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Transportasi *wax crude oil* membutuhkan fasilitas atau perangkat yang lebih kompleks dan mahal dalam industri perminyakan (Agarwal, Kumar, Shah, & Sircar, 2018; Aiyejina, Chakrabarti, Pilgrim, & Sastry, 2011; Bilderback Ca & Mcdougall La, 1969; Garcia-James, Pino, Marin, & Maharaj, 2012; Reistle, 1927). Media utama yang digunakan sebagai alat penunjang dalam kegiatan transportasi ialah pipa. Sistem pemipaan yang baik akan memberikan efisiensi terhadap waktu dan biaya yang diperlukan saat pengiriman minyak (Agarwal et al., 2018). Permasalahan yang terjadi di dalam pipa selama transportasi pada umumnya ialah *wax deposite*. Pada umumnya *wax deposite* Terjadi di sepanjang dinding pipa ketika suhu turun dibawah titik WAT atau *cloud point* (Aiyejina et al., 2011; Huang, Zheng, & Fogler, 2016; Sarica & Panacharoensawad, 2012; Sun, Naderi, & Firoozabadi, 2019). *Wax deposite* merupakan salah satu masalah aliran dengan *cost* besar yang dihadapi dalam produksi dan transportasi *crude oil*. Hal ini dapat menyebabkan kerugian produksi yang drastis dan akhirnya kerugian ekonomi yang besar bagi perusahaan perusahaan E&P (Agarwal et al., 2018).

Masalah yang diangkat pada penelitian ini ialah pada pengiriman *crude oil* dari *gathering station* PT.SPR Langgak menuju *gathering station* PT. Chevron Pasific Indonesia *field* Petapahan. *Crude oil* yang diproduksi dari lapangan PT. Langgak memiliki kandungan *wax* yang banyak, sehingga sangat mudah terbentuk *wax deposite*, dan juga bersifat kental dan sulit mengalir.

Untuk mengatasi permasalahan pada pengiriman minyak ini digunakan metode tambahan, yaitu *horizontal pump system*(HPS). HPS itu masuk kedalam kategori penanggulangan *wax* dengan metode *mechanical*. Walaupun masuk kedalam metode *mechanical*, HPS juga memakai metode *thermal*. Metode *thermal* yang digunakan pada HPS ini ialah menggunakan air panas yang berfungsi untuk menjaga temperatur *crude oil* yang berada didalam *mainline*, sehingga temperatur *crude oil* tidak berada dibawah WAT

Dalam penggunaan HPS, *pressure drop* dan penurunan temperatur perlu dianalisis. Penurunan tekanan dan penurunan temperatur yang signifikan dapat

menyebabkan *wax* deposit di dalam *mainline*. Untuk mengetahui keberhasilan selama transportasi dari PT. SPR Langgak menuju PT. Chevron Pacific Indonesia *field* Petapahan, perlu dianalisis pengaruh *pressure drop* dalam pembentukan *wax*, dan analisis pengaruh penurunan temperatur terhadap pembentukan *wax*. Diharapkan pada penelitian ini dapat mengetahui keberhasilan penggunaan HPS dalam pencegahan terbentuknya *wax* selama transportasi crude oil di dalam *mainline*.

1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan Penelitian yang dapat diambil dari Penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis penurunan tekanan terhadap terjadinya *wax* pada proses transportasi minyak dengan bantuan HPS
2. Menganalisis pengaruh penurunan temperatur terhadap *wax* pada proses transportasi minyak dengan bantuan HPS

1.3 MANFAAT PENELITIAN

Adapun manfaat yang dapat diambil dalam penelitian ini adalah mengetahui keberhasilan HPS dalam mencegah *deposite wax* saat transportasi di dalam *mainline* dan mengetahui pengaruh temperatur dan tekanan terhadap terbentuknya *wax*. Serta dapat dijadikan karya ilmiah yang dapat dipublikasikan secara nasional.

1.4 BATASAN MASALAH

Batasan masalah yang dibuat pada penelitian adalah hanya pada analisis proses transportasi *wax crude oil* menggunakan bantuan HPS dari *Gathering Station* PT. SPR Langgak ke *Gathering Station* PT. Chevron Pacific Indonesia *field* Petapahan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Ilmu pengetahuan dan teknologi perminyakan berkembang setiap harinya, hal ini sesuai dengan isi surat Al Baqarah Ayat 164 yang Artinya :“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi, silih bergantinya malam dan siang, bahtera yang berlayar di laut membawa apa yang berguna bagi manusia, dan apa yang Allah turunkan dari langit berupa air, lalu dengan air itu Dia hidupkan bumi sesudah mati (kering)-nya dan Dia sebarkan di bumi itu segala jenis hewan, dan pengisaran angin dan awan yang dikendalikan antara langit dan bumi; sungguh (terdapat) tanda-tanda (keesaan dan kebesaran Allah) bagi kaum yang memikirkan”. Berdasarkan ayat diatas bahwa kita sebagai manusia harus terus memikirkan inovasi-inovasi yang dapat menunjang kehidupan manusia terkhusus didalam bidang perminyakan.

Wax crude oil yang didapat dapat dari hasil produksi PT. SPR Langgak mudah mengalami pengkristalan atau mudah terjadinya *deposit wax* pada saat tranportasi *crude oil*. Penelitian yang akan diangkat adalah mecegah adanya *wax deposit wax* yang akan terjadi pada *mainline*, yang mana proses pengiriman yang dilakukan didalam *mainline* cukup jauh. Pengiriman *crude oil* dari PT. Sarana Pembangunan Riau Langgak kepada PT. Chevron Pacific Indonesia *field* Petapahan sekitar 40 km, sehingga untuk pengiriman *crude oil* membutuhkan bantuan alat tambahan agar *crude oil* didalam *mainline* tidak mengkristal dan menghambat proses pengiriman dari *crude oil*, namun pada penelitian ini hanya menghitung sampai 10 km, dikarenakan 30 km selanjutnya adalah *mainline* bersama perusahaan lainnya. Adapun faktor yang mempengaruhi terjadinya *wax* adalah dengan penurunan tekanan dan penurunan temperatur. Pada penelitian ini menghitung *pressure drop* dengan aliran *turbulence* dengan rumus yang dipakai : Rumus Shell/MIT (McAllister, 2013) :

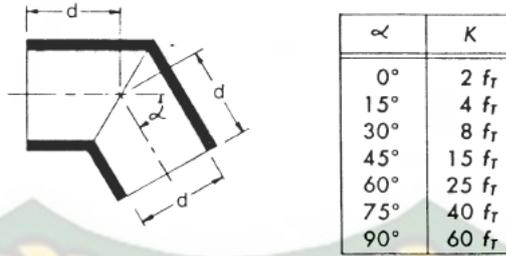
$$P = (0,241 fsQ^2)/d^5 \dots\dots\dots(1)$$

$$f = 0,0018 + 0,00662 \times \left(\frac{1}{r}\right)^{0,355} \dots\dots\dots(2)$$

$$r = 0,0119Q/dv \dots\dots\dots(3)$$

Perhitungan *Pressure drop* yang di pengaruhi oleh elevasi bisa berpatokan dengan nilai *Mitre Bends* berikut,

MITRE BENDS



Gambar 2.1 Nilai *friction factor* berdasarkan sudut (McAllister, 2013)

Faktor tertentu yang mempengaruhi penurunan tekanan di sepanjang garis aliran adalah diameter pipa, kekasaran pipa, elevasi dan sifat fluida seperti densitas fluida, dan viskositas fluida (Shiu, 2013). Tekanan yang perlu diperhatikan pada penelitian ini ialah penurunan tekanan yang terjadi sepanjang *mainline* 10 km. fluida didalam pipa akan mengalir jika penurunan tekanan lebih kecil dari tekanan awal (Herianto, 2018), oleh karena itu dibutuhkan tekanan yang cukup dan tidak memiliki *pressure drop* yang terlalu besar selama transportasi.

Analisi temperatur yang dilakukan perlu memperhatikan nilai WAT, karena *wax* mulai terbentuk dibawah WAT. Oleh sebab itu pada penelitian ini juga menghitung penurunan temperatur yang terjadi sepanjang transportasi, dengan rumus metode karge (Herianto, 2018):

$$\frac{T_0 - T_1}{T_2 - T_1} = e^z \dots\dots\dots(4)$$

$$T_2 = \frac{T_0 - T_1}{e^z} + T_1 \dots\dots\dots(5)$$

$$z = \frac{2,54 \times \pi \times K \times L}{Q \times C_p \times 10^5} \dots\dots\dots(6)$$

2.1 STATE OF THE ART

Pada penelitian (Arisya, Juniati, Sari, & Ulfah, 2018) *Shipping line* merupakan pipa yang menjadi transportasi minyak yang di pompakan dari *shipping line tank* besar GS (stasiun pengumpul minyak area Bangko FMT) menuju *shipping line* HCT, Dumai (stasiun pengumpul terakhir sebelum di pasarkan). *Wax* merupakan salah satu permasalahan terbesar yang dihadapi pada saat pengiriman minyak ke Dumai karena menyebabkan tidak mengalirnya minyak di dalam pipa sehingga

operator harus mematikan beberapa sumur produksi akibat tekanan yang meningkat terus menerus dan berdampak pada penurunan produksi. Pada penelitian ini menggunakan bahan kimia yang langsung diinjeksikan ke dalam jalur pipa-pipa minyak dengan menggunakan bantuan pompa. Bahan kimia yang dipilih pada penelitian ini *Pour Point Depressant*. Penambahan PPD diperlukan agar tidak terjadinya pemborosan pada zat kimia. Penambahan dosis bahan kimia *pour point depressant* yang berbeda pada suhu yang sama memberikan dampak menurunnya viskositas *crude oil* meskipun kurang signifikan. Penggunaan *pour point depressant* yang semakin banyak mengakibatkan nilai dari viskositas semakin rendah. (Arisya et al., 2018)

Pada penelitian (ristyohadi ,2017) *Steam* adalah sumber energi yang banyak dipakai dalam dunia industri modern saat ini *Petro Chemical, Oil and Gas, Healt and Food, fertilliser*. Untuk memenuhi kebutuhan akan *steam* diperlukan adanya jaringan pipa distribusi atau *pipe line steam* dari PT. Kaltim Daya Mandiri hingga *metering station* yang ada di PT. Kaltim Nitrate Indonesia. Untuk mengurangi perpindahan panas yang terjadi, di sepanjang jalur distribusi di pasang lapisan pelindung panas (*Insulation*). Namun demikian karena sifat *steam* yang mudah kehilangan panas karena konduksi, konveksi dan radiasi maka terjadi perpindahan panas secara simultan yang mengakibatkan *steam* mengalami kondensasi atau perubahan fase dari uap kering menjadi uap basah atau cairan. Dari hasil penelitian didapatkan penyebab terjadinya kehilangan *steam* dan penurunan temperature pada jaringan pipa distribusi atau *pipeline steam* adalah penurunan temperatur karena perubahan fase dan kondisi *steam* yang bocor.

Pada penelitian (Ardiansyah et al., 2019) Masalah *deposite wax* adalah masalah penting bagi perusahaan minyak, karena dapat menghambat transportasi minyak, oleh karena itu perawatan dilakukan untuk mencegah terjadinya *wax*. Perawatan *wax* ditangani dengan dua metode: solvabilitas atau dispersi. Pelarut yang digunakan untuk melarutkan *wax* dengan memecah kisi kristal, dispersan mencegah aglomerasi mereka. LGK14 menyuntikkan 264 galon parasol berat, kemudian direndam selama 12 jam, dan kemudian disuntikkan air dari GS sebanyak 20 bbls. Hasil penelitian menunjukkan bahwa injeksi parasol berat dalam sumur minyak dengan kadar *wax* tinggi bervariasi. Di sumur LGK 25 produksi minyak

mengalami peningkatan, sedangkan untuk sumur LGK 14 minyak setelah perawatan menurun. Hal ini dapat disebabkan oleh kondisi sumur dan tahapan injeksi yang dilakukan. Faktor-faktor tertentu yang mempengaruhi keberhasilan injeksi parasol di dua sumur di lapangan Langgak adalah tahap pekerjaan, tipe pompa, ketebalan formasi, dan volume injeksi.

2.2 WAX DEPOSITE DI LAPANGAN LANGGAK

Pada penelitian (Musnal, 2015) *wax* di *pipeline* adalah masalah besar yang dihadapi oleh PT.SPR Langgak di pemipaan *crude oil* dari sumur produksi ke unit pemrosesan minyak yang disebabkan oleh penurunan suhu minyak. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempelajari pengaruh suhu lingkungan terhadap suhu fluida dalam pipa, mempelajari pengaruh kecepatan angin terhadap suhu fluida dipipa dan untuk menentukan lokasi terjadinya *congeal* di pipa PT.SPR Langgak.

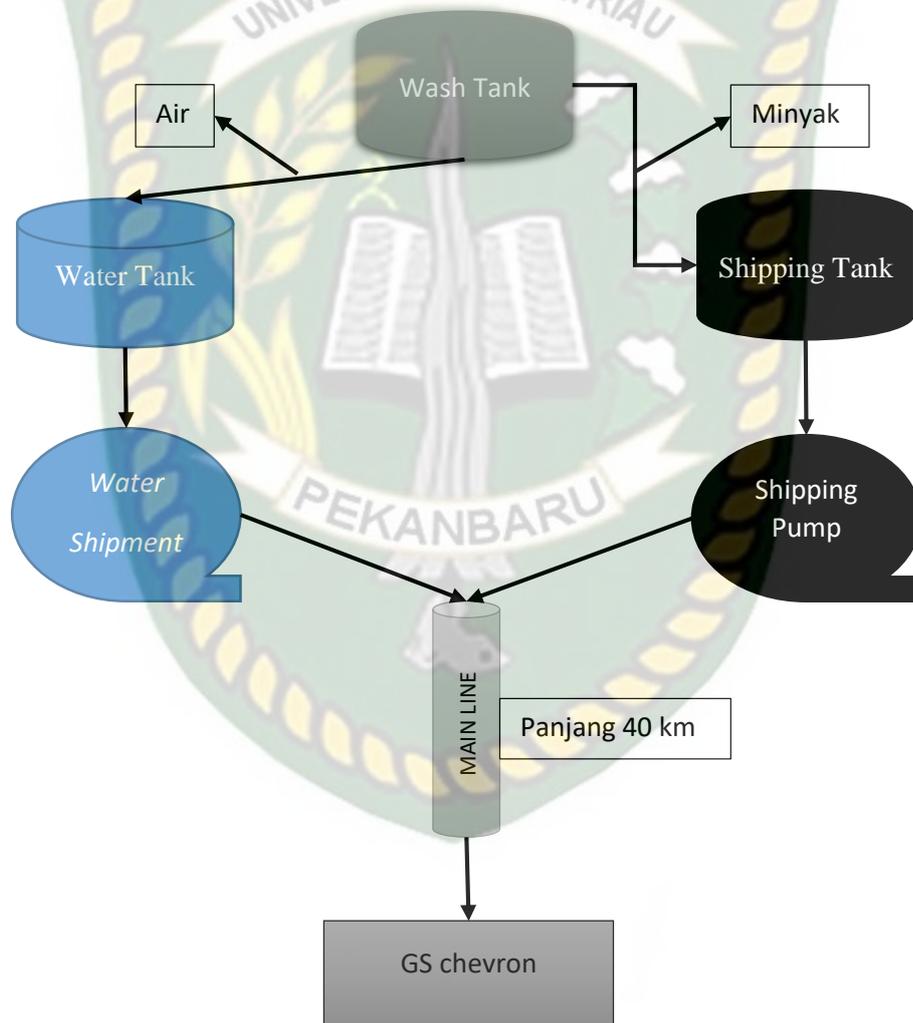
Dalam kasusnya, masalah pipa *crude oil* disebabkan oleh aliran minyak menyusut, yang dapat mengurangi produksi *crude oil*. Penyempitan lubang pipa yang sering terjadi karena pengaruh *congeal*, tetapi beberapa kasus juga menemukan pembentukan endapan yang disebut kerak (skala) di pipa (Syahri & Sugiarto, 2008).

Penelitian tentang masalah ini sebagian besar telah dilakukan pada jaringan pipa horizontal, tetapi hanya terbatas pada perawatan (Arisya et al., 2018) Atau hanya menambahkan platform ke minyak dan jaringan pipa (Syahri & Sugiarto, 2008). Oleh karena itu, penulis mengangkat masalah ini untuk menjelaskan pengaruh penurunan suhu lingkungan terhadap terbentuknya *wax*. Untuk menjelaskan efek ini, perlu membuat model aliran minyak di pipa PT.SPR Langgak. Parameter utama terdiri dari suhu fluida, suhu pipa, tekanan, viskositas dan kepadatan. Parameter utama diukur berdasarkan akumulasi waktu rata-rata harian.

2.3 HORIZONTAL PUMP SYSTEM (HPS)

HPS menggunakan pompa ESP *Combined*. HPS memberikan perawatan yang rendah, solusi hemat biaya untuk berbagai kebutuhan penanganan fluida. Produk ini terdiri dari serangkaian pompa sentrifugal multi-tahap yang dipasang secara horizontal, dirancang untuk tekanan tinggi / laju aliran sedang, dan cocok untuk berbagai aplikasi industri tugas berat. Setiap Unit HPS biasanya terdiri dari

penggerak utama(biasanya motor listrik dua kutub atau mesin diesel). Sejak pengembangan horizontal sistem pemompaan permukaan pada pertengahan-1980an, desain tersebut telah terbukti menjadi alternatif yang hemat biaya untuk casing split, turbin, dan pompa *positive displacement* desain dalam banyak aplikasi. Jika dibandingkan dengan pompa alternatif lain, HPS menawarkan keandalan yang tinggi, biaya modal yang lebih rendah, fleksibilitas desain, tepat waktu pengiriman, dan perawatan minimal (Calgary, 2008; Hercules, 2019). Berikut alur dari penggunaan *HPS* yang dimulai dari *wash tank* dan sampai ke *mainline* yang membuat terjadinya aliran *turbelence*



Gambar 2. 2 Alur Transportasi Minyak

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 URAIAN METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian *field research*, data yang digunakan adalah data sekunder yang berasal dari SPR Langgak. Penelitian ini dilakukan selama 3 bulan. Berikut langkah-langkah yang dilakukan untuk penelitian tugas akhir: adapun data yang digunakan pada penelitian ini adalah:

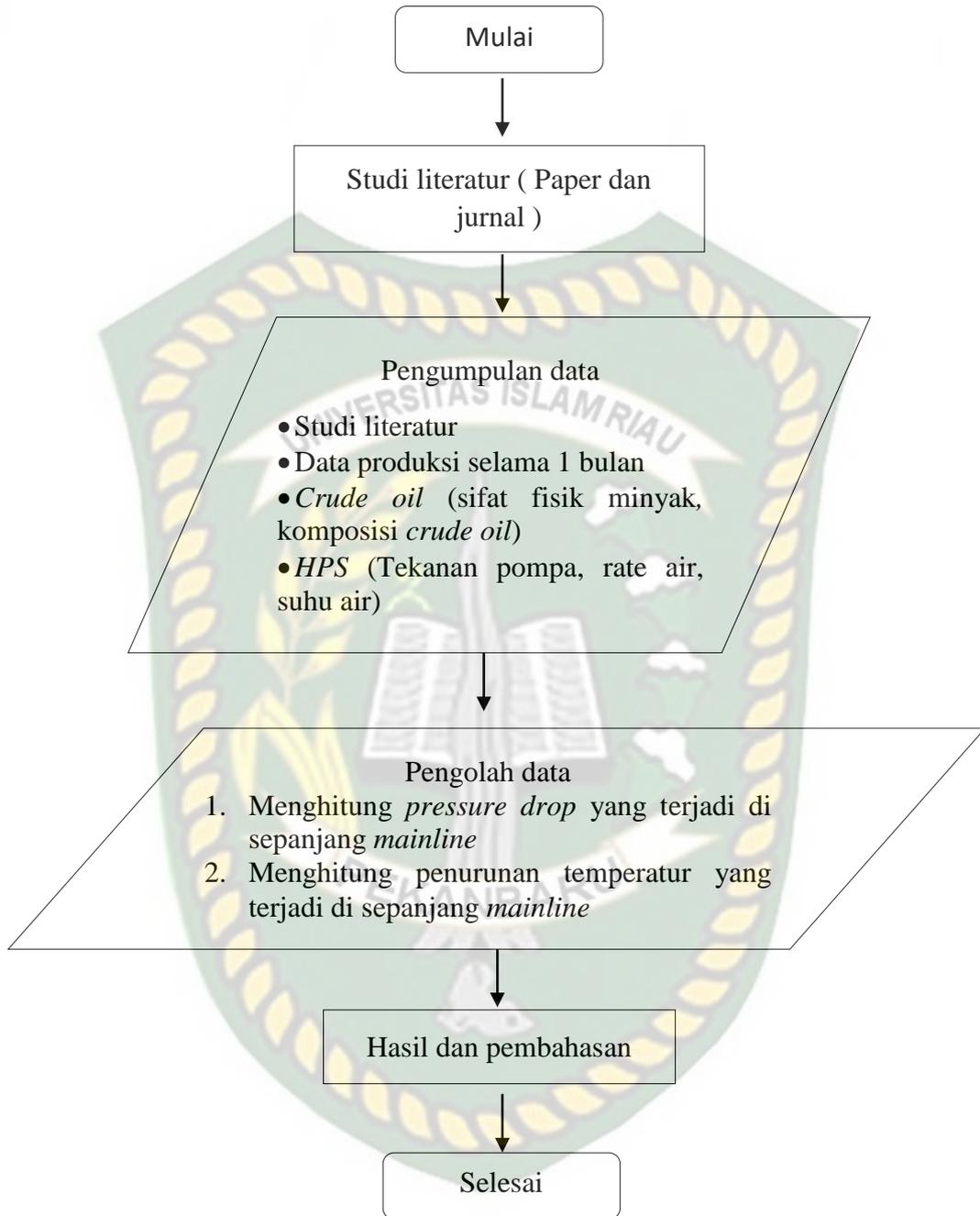
1. Mengumpulkan data sekunder *history* produksi selama 1 bulan, data *fluid properties*, jenis pompa yang digunakan dan spesifikasi *pipeline*.
2. Menganalisis konsep dasar pengaruh *HPS* terhadap terbentuknya *wax deposite*.
3. Mengolah data sekunder untuk mengetahui *pressure drop* menggunakan persamaan (1).
4. Pengolahan data juga dilakukan untuk menganalisis penurunan temperatur selama transportasi minyak di *mainline* dengan persamaan(4).
5. Menarik suatu kesimpulan dari hasil penelitian.

Parameter yang digunakan pada penelitian ini adalah:

Tabel 3. 1 Parameter Penelitian

Parameter	Satuan
Q	Laju alir (bbl/day)
fr	Friction factor
P	<i>Pressure drop</i> , (psi/mile)
d	Diameter inside, (inch)
R	Reynolds number
S	Specific gravity (sg)
K	Koefisien pemisahan panas fluida dari pipa, Kcal/m ² ·jam/°C
ν	Viskositas kinetik (cst)
L	Panjang pipa (km)
T ₀	Temperatur awal minyak keluar (°C)
T ₁	Tempartur lingkungan (°C)
T ₂	Temperatur akhir minyak (°C)
D	Diameter outside (inch)
Cp	Specific heat capacity, Kcal(kg°C)

3.2 ALUR PENELITIAN



Gambar 3.1 Flow Chart

3.3 STUDI LAPANGAN

Data pada penelitian ini diambil dari PT SPR Langgak, Lapangan langgak berada di Ujung Batu, Kabupaten Rohul, dengan memiliki 33 sumur, dengan memiliki 26 sumur aktif, 1 sumur air untung penggunaan *Horizontal Pump System* dan 6 sumur yang sudah tidak berproduksi.

3.4 WAKTU PENELITIAN

Waktu Penelitian dilaksanakan seperti rincian pada tabel dibawah ini.

Tabel 3. 2 Waktu Penelitian

No.	Deskripsi Kegiatan	Mei				Juni				Juli			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Studi Literatur	■	■	■									
2.	Pengumpulan data penelitian				■	■	■						
3.	Analisis data						■	■	■				
4.	Hasil dan pembahasan									■	■	■	
5.	Sidang Tugas Akhir												■

BAB IV

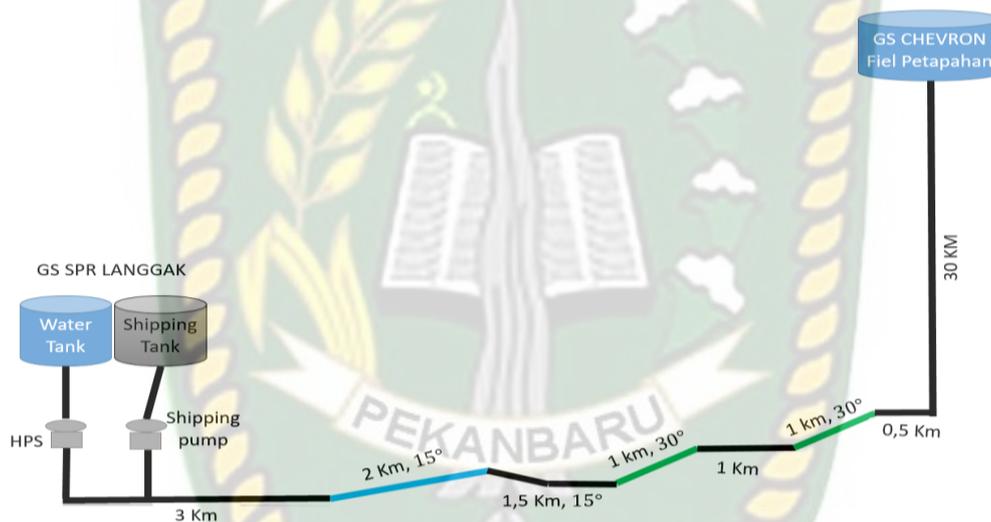
HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini metode pencegahan terbentuknya *wax* pada *mainline* ialah menggunakan *Horizontal Pump System* (HPS). HPS ini merupakan pencegahan *wax* dengan metode mekanik sekaligus thermal. HPS ini juga merupakan pompa ESP *combined*, yang mana posisi dari ESP ini ialah horizontal, bukan vertikal seperti pompa ESP pada umumnya, dan juga HPS ini tidak menggunakan *intake* dan *protector*.

Dengan menggunakan HPS ini ada beberapa faktor yang harus diperhatikan yaitu tekanan, dan temperatur. Tekanan yang diperhatikan bertujuan untuk menjaga minyak dan air sampai ke GS Chevron, dan juga tekanan pada transportasi di *mainline* tidak boleh lebih dari 600 psi atau tidak boleh melebihi dari kemampuan pipa. Pada saat pengiriman minyak dari GS SPR Langgak ke GS Chevron Pacific Indonesia *field* Petapahan, jumlah air dan minyak harus diperhatikan, perbandingan minimal antara minyak dan air ialah 1:10, nilai perbandingan ini didapat dari analisis data di perusahaan. Pengiriman air menggunakan HPS beroperasi selama 24 jam/ hari, sedangkan pengiriman minyak menggunakan *Shipping pump* beroperasi selama 2 jam/ hari.

Untuk mencegah tidak mengkrystalnya minyak pada dinding pipa dibutuhkan temperatur diatas WAT, dan tekanan yang cukup untuk membuat minyak mengalir selama transportasi (Garcia-James et al., 2012). Pada penelitian (Hsu, 1994) melakukan percobaan *loop* aliran tekanan tinggi dengan *waxy crude oil* untuk mempelajari pengaruh air pada deposisi parafin di bawah kondisi aliran turbulen. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengendapan *wax* berkurang secara signifikan dengan penambahan air. Oleh karena itu pada penelitian ini dengan menanggulangi terbentuknya *wax* pada pipa menggunakan bantuan penambahan air saat pengiriman dengan tekanan yang tinggi dan temperatur diatas WAT. Namun sebelum dilakukan perhitungan, harus mengetahui topografi *mainline* PT. SPR Langgak GS CPI *field* Petapahan. Adapun faktor faktor alami yang menyebabkan terbentuknya *deposite wax* dikarenakan topografi seperti:

1. Temperatur permukaan yang mempengaruhi temperatur dalam pipa di permukaan. Perubahan temperatur akan lebih tampak apabila cuaca hujan, yang menyebabkan temperatur lingkungan yang rendah, sehingga *deposit wax* didalam *mainline* akan lebih cepat terjadi.
2. Jarak transportasi yang terlalu jauh menyebabkan *pressure drop* dan penurunan temperatur lebih banyak, sehingga membuat tekanan menjadi rendah dan temperatur mencapai dibawah WAT, sehingga mengakibatkan mulai terbentuknya *wax deposit* pada *mainline*.
3. Adanya elevasi pada lingkungan, yang menyebabkan penurunan temperatur lebih besar.



Gambar 4.1 Topografi mainline PT.SPR Langgak menuju PT.Chevron Pacific Indonesia field Petapahan

Dari topografi diatas dapat diketahui bahwa Transportasi *Crude oil* dari PT. SPR LANGGAK menuju PT.Chevron Pacific Indonesia *field* Petapahan berjarak 40 KM, akan tetapi pada penelitian ini hanya menganalisis 10 Km saja, dikarenakan 30 Km selanjutnya adalah *mainline* bersama yang terdiri dari Osam, Kasikan, Tarantam Punya BOB, Suram punya CPI, dan Lindai punya PHE.

4.1 TEKANAN

Fluida dalam pipa akan mengalir jika terdapat perubahan tekanan dan akan mempengaruhi kecepatan alir serta besarnya hambatan (*friction factor*) didalam pipa. Pembentukan *deposit wax* lebih lambat terbentuk pada laju alir yang tinggi, karena partikel selalu didorong oleh aliran minyak, sehingga terlambat untuk

menempel pada dinding pipa (Salmi, 2015), karena pada dasarnya fluida didalam pipa akan mengalir jika penurunan tekanan lebih kecil dari tekanan awal (Herianto, 2018)

Faktor tertentu yang mempengaruhi penurunan tekanan di sepanjang garis aliran adalah diameter pipa, kekasaran pipa, elevasi dan sifat fluida seperti densitas fluida, dan viskositas fluida (Shiu, 2013). Tekanan yang perlu diperhatikan pada penelitian ini ialah penurunan tekanan yang terjadi sepanjang *mainline* 10 km. Dengan tujuan untuk mencegah terjadinya *wax deposite* selama transportasi, maka akan dilakukannya menghitung *pressure drop* dengan rumus Shell/MIT yang terdapat pada persamaan (1) (McAllister, 2013), yang mana pada rumus ini harus mengetahui aliran yang terjadi pada *mainline* sebelum melakukan perhitungan. Perhitungan pertama yang dilakukan adalah menentukan aliran yang terjadi pada *mainline*.

Hasil dari perhitungan pertama mendapatkan hasil *reynold number modified* $R/7742$ adalah 0,795, dengan itu didapatkan bahwa aliran pada penelitian ini adalah aliran turbulen, karena aliran itu bisa dikatakan aliran turbulen jika nilai R_m lebih besar dari 0,4. Untuk perhitungan nilai Reynold number, didapatkan 6154, dengan nilai ini juga membuktikan bahwa aliran yang terjadi adalah turbulen, karena syarat terjadinya aliran tubulen adalah $R > 4000$. Semakin besar bilangan reynold, maka semakin besar juga aliran fluidanya (Kasie, 2008). Oleh karena itu perhitungan pada penelitian ini juga mengasumsikan nilai perbandingan minyak dan air yang dimulai 1:10 sampai dengan 1:50, yang bertujuan untuk mengetahui besar *pressure drop* yang terjadi yang diakibatkan banyaknya laju alir. Oleh karena itu hasil perhitungan ditampilkan dalam bentuk tabel berikut.

Tabel 4. 1 *Pressure drop* yang dipengaruhi laju alir dan elevasi

No	Laju Alir (bbl/day)	Horizontal (psi/km)	Elevasi 15° (psi/km)	Elevasi 30° (psi/km)
1	5533	0,428	1,712	3,424
2	7876	0,867	3,469	6,938
3	10563	1,560	6,240	12,480
4	15593	3,399	13,598	27,196

5	18108	4,584	18,338	36,676
6	20623	5,946	23,785	47,571
7	23138	7,485	29,941	59,881
8	25653	9,201	36,803	73,606

Dari perhitungan diatas menunjukkan bahwa dengan jarak yang sama 10 km, dengan lajur alir yang berbeda. Hasil ini membuktikan kalau dengan tingginya laju alir maka bisa menyebabkan wax terbentuk, karena *pressure drop* yang tinggi dan menyebabkan tekanan aliran semakin rendah. Tekanan akan berbanding lurus dengan laju alir (Kasie, 2008), yang mana besarnya laju alir bisa menyebabkan *pressure drop* semakin besar. Fluida didalam pipa akan mengalir jika terdapat perubahan tekanan dan akan mempengaruhi kecepatan alir serta hambatan didalam pipa air (Salmi, 2015).

Selanjutnya perhitungan *pressure drop* yang terjadi pada *mainline* dengan keadaan horizontal adalah 0,867 *psi/km*, sedangkan *pressure drop* di *mainline* dalam keadaan dipengaruhi elevasi 30° adalah 6,240 *psi/km* dan *pressure drop* di *mainline* dalam keadaan dipengaruhi elevasi 15° adalah 3,469 *psi/km*. Pipa lurus pada pipa menyebabkan kehilangan tekanan yang besar karena terdapat gaya friksi didalamnya antara fluida dengan dinding pipa (Syahri & Sugiarto, 2008). Perhitungan selanjutnya bisa mendapatkan hasil *pressure drop* dengan berdasarkan topografi *mainline* SPR Langgak, hasil perhitungan ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 4.2 Perhitungan *pressure drop* total dengan laju alir yang berbeda

Laju Alir (bbl/day)	3 km H (psi)	2 km 15° (psi)	1,5 km H (psi)	1 km 30° (psi)	1 km H (psi)	1 km 30° (psi)	0,5 km H (psi)	Total P (psi)
5533	1,284	3,424	0,642	3,424	0,428	3,424	0,214	12,841
7876	2,602	6,938	1,301	6,938	0,867	6,938	0,434	26,018
10563	4,680	12,480	2,340	12,480	1,560	12,480	0,780	46,800
15593	10,198	27,196	5,099	27,196	3,399	27,196	1,700	101,983
18108	13,753	36,676	6,877	36,676	4,584	36,676	2,292	137,534

20623	17,839	47,571	8,920	47,571	5,946	47,571	2,973	178,391
23138	22,455	59,881	11,228	59,881	7,485	59,881	3,743	224,554
25653	27,602	73,606	13,801	73,606	9,201	73,606	4,600	276,023

Dari perhitungan diatas didapatkan *pressure drop* total yang terjadi dengan jarak dan elevasi yang sama, tapi dengan laju alir yang berbeda perbandingan antara air dan minyak. Total *pressure drop* yang didapat pada laju alir lapangan adalah 26,108 *psi/km*. Penurunan tekanan yang besar yang dapat menghambat laju aliran fluida (Herianto, 2018). Dengan jarak yang sama, didapatkan bahwa laju alir yang banyak menyebabkan *pressure drop* yang besar, karena debit air yang besar dapat mempengaruhi *pressure drop* (Kasie, 2008). Berdasarkan perhitungan, *pressure drop* yang terjadi selama transportasi kecil, maka ini bisa membuktikan bahwa minyak yang di transportasikan bisa mengalir dengan lancar tanpa ada hambatan dari tekanan, karena tekanan untuk transportasi mainline cukup tinggi. Dengan cukupnya tekanan selama transportasi bisa mencegah terbentuknya *wax* pada dinding pipa (Salmi, 2015).

Faktor utama yang membuat *pressure drop* menjadi besar adalah laju alir. Perhitungan pada penelitian ini menunjukkan bahwa besarnya laju alir maka akan menyebabkan nilai reynold besar, *pressure drop* besar, dan juga *pressure drop* yang dipengaruhi elevasi menjadi lebih besar. Dengan hasil ini, menunjukkan perlunya memperhatikan jumlah laju alir selama transportasi, untuk mencegah terjadinya *pressure drop* yang tinggi, dan juga menjamin selama transportasi tidak kekurangan tekanan pada aliran untuk mengalirkan fluida.

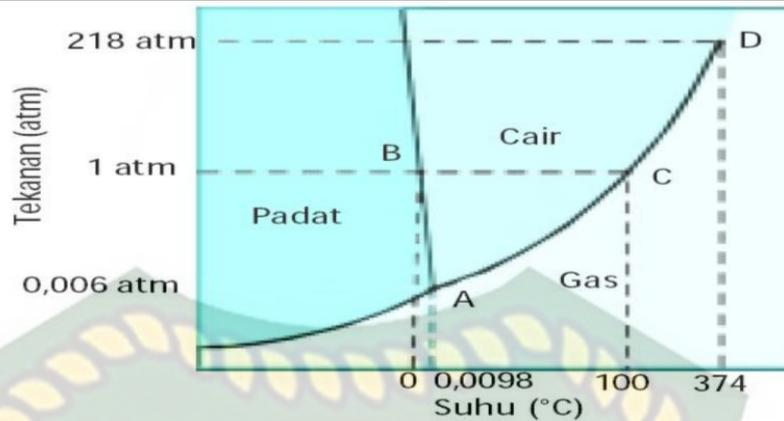
Apabila dilapangan ditemukan perubahan tekanan yang tidak wajar berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka menandakan adanya permasalahan yang terjadi pada *mainline*, baik tekanan yang turun secara signifikan ataupun tekanan yang naik saat pengiriman. Kondisi tekanan yang berkurang secara signifikan menandakan adanya kebocoran di *mainline* (Kasie, 2008). Sedangkan kondisi tekanan yang naik cukup signifikan menandakan adanya terbentuknya *wax*. Terbentuknya *wax* dimulai dengan mengecilnya ruang pada aliran *mainline* (Mirazizi, Shang, & Sarica, 2012). Oleh karena itu, penanggulangan *wax* bisa

dilakukan dengan cara menggunakan HPS dengan menaikkan temperatur air saat pengiriman dan juga menaikkan tekanan pengiriman pada HPS, dengan syarat menaikkan tekanan pengiriman tidak boleh lebih dari kemampuan pipa, yaitu 600 psi. Jika cara ini tidak berhasil, maka cara penaggulangan *wax* yang digunakan ialah pigging, yang berfungsi mendorong fluida dari dalam *mainline* sampai fluida yang mengalami *wax* bisa terdorong dan mengalir kembali.

4.2 TEMPERATUR

Penurunan temperatur alir merupakan faktor utama yang menyebabkan kecenderungan terjadi pembekuan minyak. Apabila temperatur alir minyak turun dibawah *cloud point*, maka akan terjadi *deposite wax* pada *mainline* (Salmi, 2015). Temperatur *cloud point* adalah temperatur dimana suatu cairan tetap dapat dituang (masih memiliki sifat seperti fluida) (Herianto, 2018). Karena komponen *wax* yang tinggi didalam *crude oil* pada lapangan ini, mengakibatkan *wax* akan mulai terbentuk jika menyentuh nilai WAT, yang mana nilai WAT adalah 45°C dan nilai Cloud Point 40,556°C

Temperatur sangat berperan dalam proses transportasi minyak. Pada penelitian ini transportasi minyak dibantu dengan air, yang bertujuan agar suhu dari minyak bisa terjaga selama transportasi. Temperatur air pada saat transportasi adalah 65,556°C. Karena pengiriman air dilakukan selama 24 jam/hari maka, harus selalu menjaga temperatur air yang di transportasikan harus berada diatas dari nilai WAT. Untuk menjamin suhu air tidak mengami penguapan/ berubah fasa, dan menyebabkan jumlah air yang berkurang, maka perlu acuan dengan melihat diagram fasa air sebagai berikut:



Gambar 4.2 Diagram fasa air (Brown., 2000)

Gambar di atas merupakan diagram fasa air untuk suatu nilai tekanan dan temperatur. Fasa air bergantung pada kondisi tekanan dan temperturnya. Dilapangan diketahui bahwa memiliki tekanan 1 atm dan temperatur air yang dimiliki adalah 65,556 °C. Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa fasa yang terjadi adalah air masih berbentuk cair. Titik didih air yaitu 100°C, yang berarti kemungkinan air berubah fasa menjadi uap masih cukup jauh, sehingga air selama pengiriman tidak berkurang karena mengalami penguapan atau berubah fasa menjadi gas.

Perhitungan penurunan temperatur yang terjadi sepanjang *mainline* dipengaruhi oleh lingkungan ini menggunakan rumus metode karge (4) (Herianto, 2018), dan berikut hasil dari perhitungan yang dimulai dari temperatur lingkungan 19°C sampai 35°C.

Tabel 4. 3 Penurunan Temperatur yang dipengaruhi lingkungan

Data Laju Alir		
Temperatur Lingkungan (°C)	Temperatur Akhir Minyak (°C)	Penurunan Temperatur (°C)
19	44,822	20,734
20	45,267	20,289
21	45,713	19,843
22	46,158	19,398

23	46,604	18,952
24	47,049	18,507
25	47,494	18,062
26	47,940	17,616
27	48,385	17,171
28	48,830	16,726
29	49,276	16,280
30	49,721	15,835
31	50,166	15,390
32	50,612	14,944
33	51,057	14,499
34	51,502	14,054
35	51,948	13,608

Dari Table diatas, didapatkan hasil bahwa penurunan temperatur dipengaruhi oleh temperatur lingkungan, yang mana jika temperatur lingkungan semakin kecil, maka penurunan temperatur akan semakin besar. Penurunan temperatur yang dipengaruhi lingkungan itu akan berjalan lancar jika temperatur lingkungan tidak kurang dari (20°C), karena nilai temperatur akhirnya masih diatas WAT, dan penurunan temperatur yang terjadi pada lingkungan 20°C adalah $20,289^{\circ}\text{C}$. Namun dilapangan, temperatur lingkungan hanya berada pada 25°C sampai dengan 35°C . Dari perhitungan didapatkan bahwa temperatur akhir minyak yang dipengaruhi lingkungan 25°C dan 35°C adalah $47,494^{\circ}\text{C}$ dan $51,948^{\circ}\text{C}$. Dengan hasil ini membuktikan penurunan temperatur yang terjadi di sepanjang *mainline* 10 km tidak menyebabkan terbentuknya *wax*. Selanjutnya penelitian ini juga membandingkan jumlah air dan minyak terhadap penurunan temperatur yang terjadi didalam *mainline*, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh laju aliran terhadap penurunan temperatur, perhitungan dilakukan dengan perbandingan minyak dan air 1:10 dan perbandingan minyak dan air 1:20 dalam tabel berikut.

Tabel 4.4 Penurunan Temperatur dengan laju alir yang berbeda

Temperatur Lingkungan (°C)	Laju Alir 1:10		Laju Alir 1:20	
	Temperatur Akhir Minyak (°C)	Penurunan Temperatur (°C)	Temperatur Akhir Minyak (°C)	Penurunan Temperatur (°C)
19	39,118	26,438	48,999	16,557
20	39,686	25,870	49,355	16,201
21	40,254	25,302	49,710	15,846
22	40,822	24,734	50,066	15,490
23	41,390	24,166	50,422	15,134
24	41,958	23,598	50,777	14,779
25	42,526	23,030	51,133	14,423
26	43,093	22,463	51,489	14,067
27	43,661	21,895	51,844	13,712
28	44,229	21,327	52,200	13,356
29	44,797	20,759	52,555	13,001
30	45,365	20,191	52,911	12,645
31	45,933	19,623	53,267	12,289
32	46,501	19,055	53,622	11,934
33	47,069	18,487	53,978	11,578
34	47,636	17,920	54,334	11,222
35	48,204	17,352	54,689	10,867

Dari tabel diatas diketahui bahwa dengan tingginya perbandingan atau tingginya laju alir yang dilakukan selama transportasi minyak, bisa menyebabkan penurunan temperatur semakin sedikit. Pembentukan *wax* lebih lambat terbentuk pada laju alir yang tinggi, karena partikel selalu di dorong oleh aliran minyak, sehingga terlambat untuk menempel pada dinding pipa (Salmi, 2015). Penurunan temperatur merupakan faktor utama penyebab terbentuknya *wax* (Herianto, 2018). Temperatur minyak mentah yang ditransportasi selama transportasi akan mengalami kehilangan sebagian panasnya, yang menyebabkan penurunan

temperatur alirnya (Salmi, 2015). Tujuan dari perawatan *wax* adalah untuk mempertahankan panas dalam aliran minyak agar tetap stabil diatas titik tuangnya, sehingga minyak tidak membeku dan tidak terbentuk endapan *wax* di sepanjang garis alir dan minyak terus ke pengumpul (Herianto, 2018).

Faktor utama yang menyebabkan penurunan temperatur semakin tinggi adalah laju alir, sama dengan penurun tekanan. Akan tetapi laju alir mempunyai pengaruh perbedaan terhadap tekanan dan temperatur yaitu, semakin besar laju alir maka semakin besar juga penurunan tekanan yang terjadi, Sedangkan untuk temperatur, semakin besar laju alir, maka penurunan temperatur yang terjadi akan semakin sedikit. Dengan besarnya laju alir pada saat transportasi, menyebabkan temperatur selama pengiriman bisa terjaga. Dari hasil ini penelitian ini, diperlukan laju alir yang tinggi selama transportasi, sehingga tidak terjadinya penurunan temperatur yang bisa menyebabkan nilai temperatur dibawah nilai WAT. Namun jumlah laju alir yang besar, bisa membuat penurunan tekanan menjadi lebih besar, oleh karena itu dibutuhkan laju alir yang cukup untuk mencegah agar penurunan tekanan tidak terlalu besar, dan penurunan temperatur yang tidak terlalu besar.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dipaparkan sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa

1. *Pressure drop* yang terjadi pada 10 km adalah 26,108 psi, dengan hasil ini membuktikan bahwa *pressure drop* yang dialami selama transportasi sedikit, karena masih memiliki tekanan yang cukup untuk mengalirkan fluida. Laju alir yang besar menyebabkan *pressure drop* semakin tinggi, oleh karena itu jumlah perbandingan antara air dan minyak perlu diperhatikan agar *pressure drop* tidak terlalu besar, dan menyebabkan *wax*.
2. Penurunan temperatur yang terjadi pada *mainline* dengan kondisi lingkungan 35°C adalah 13,608°C, sedangkan penurunan temperatur dengan kondisi lingkungan 25°C adalah 18,062°C. Hasil ini menunjukkan bahwa penurunan temperatur tidak berpengaruh terhadap terbentuknya *wax*, karena temperatur akhir transportasi masih di atas nilai WAT. Laju alir yang besar menyebabkan penurunan temperatur semakin kecil, oleh karena itu dibutuhkan laju alir yang cukup besar, tapi tidak menyebabkan *pressure drop* yang terjadi terlalu besar.

5.2 SARAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, penulis menyarankan beberapa hal untuk penelitian selanjutnya,

1. Menghitung kerugian dari penggunaan HPS karena saat transportasi *crude oil* menggunakan air yang langsung dari *water tank*, yang masih mengandung banyak *crude oil*.
2. Menentukan laju alir yang ideal untuk transportasi *crude oil* didalam *mainline*, agar mendapatkan *pressure drop* yang rendah dan penurunan temperatur yang rendah.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, J. R., Kumar, S., Shah, S. N., & Sircar, A. (2018). Characterization and wax mass flux analysis of Bakrol field India crude oil. *Offshore Technology Conference Asia 2018, OTCA 2018*. <https://doi.org/10.4043/28237-ms>
- Aiyejina, A., Chakrabarti, D. P., Pilgrim, A., & Sastry, M. K. S. (2011). Wax formation in oil pipelines: A critical review. *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 37, pp. 671–694.
<https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2011.02.007>
- Ardiansyah, F., Erfando, T., Noerhadi, Efriza, I., Rahmatan, B., & Oktavia, C. (2019). Evaluation of Heavy Paraffin Solvent Injection in Langgak Oil Field. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 536(1).
<https://doi.org/10.1088/1757-899X/536/1/012008>
- Arisya, V., Juniati, R., Sari, E., & Ulfah, M. (2018). *Penggunaan Pour Point (Ppd) Dalam Mengatasi Minyak Beku (Congeal) Pada Shipping Line Bangko - Dumai*. (19).
- Bilderback Ca, & Mcdougall La. (1969). Complete Paraffin Control in Petroleum Production. *J Petroleum Technology*, 21(9), 1151–1156.
<https://doi.org/10.2118/2175-pa>
- Calgary (Ed.). (2008). Horizontal Pumping System (HPS). In *QMS Registered*. Edmonton: 2008.
- Garcia-James, C., Pino, F., Marin, T., & Maharaj, U. (2012). Influence of resin/asphaltene ration on paraffin wax deposition in crude oils from barrackpore oilfield in Trinidad. *Society of Petroleum Engineers - SPETT Energy Conference and Exhibition 2012*, 196–207.
- Hercules. (2019). *Summit ESP ® Tiger Shark ® II Advanced Extended-Range Pumps*. Tiger Shark.
- Herianto, H. (2018). Paraffin Problem Treating Along The Flowline(Study Case: From Wellhead “X” To The Separator). *SINERGI*, 22(2), 120.
<https://doi.org/10.22441/sinergi.2018.2.008>

- Hsu, J. J. C. an. S. *hsu1994.pdf* ., (1994).
- Huang, Z., Zheng, S., & Fogler, H. S. (2016). *Wax Deposition*. In *Wax Deposition*. <https://doi.org/10.1201/b18482>
- Kasie. *Penurunan Tekanan Pada Pipa Lurus* ., (2008).
- McAllister, E. W. (2013). *Pipeline Rules of Thumb Handbook: A Manual of Quick, Accurate Solutions to Everyday Pipeline Engineering Problems*. In *Pipeline Rules of Thumb Handbook: A Manual of Quick, Accurate Solutions to Everyday Pipeline Engineering Problems*. <https://doi.org/10.1016/C2013-0-00277-0>
- Mirazizi, H. K., Shang, W., & Sarica, C. (2012). Experimental investigation of paraffin deposition under turbulent flow conditions. *8th BHR Group Multiphase Technology North American Conference (Banff, Canada, 6/20-22/2012) Proceedings*.
- Musnal, A. (2015). Issn 2540 - 9352. *Jurnal of Earth Energi Engineering*, 4(2), 70–77.
- Reistle, C. E. (1927). Summary of Existing Information on Handling Congealing Oils and Paraffin. *Transactions of the AIME*, 77(01), 227–252. <https://doi.org/10.2118/927227-g>
- Ristyohadi, A. (2017). *Analisis Kehilangan Steam Dan Penurunan Temperatur*. 6(2), 123–135.
- Salmi, R. (2015). *Analisa Penanggulangan Problem Congeal Oil di Sepanjang Tubing dan Flowline dengan Penggunaan Solvent Pada Lapangan Delta. UIR*.
- Sarica, C., & Panacharoensawad, E. (2012). Review of paraffin deposition research under multiphase flow conditions. *Energy and Fuels*, 26(7), 3968–3978. <https://doi.org/10.1021/ef300164q>
- Shiu, K. C. (2013). *Predicting Temperature in Flowing Oil Wells_P.Pdf*. (78).
- Sun, M., Naderi, K., & Firoozabadi, A. (2019). Effect of crystal modifiers and