
ANALISA PENGARUH PENGENDAPAN WAX DI JARINGAN PIPA PADA SUMUR X MENGGUNAKAN OLGA SIMULATOR

Hafid Aslam S^{1*} dan Jati Arie Wibowo¹

¹ Program Studi Teknik Perminyakan, Universitas Pertamina

*EMAIL

101318088@
student.universitaspertamina.ac.id

KEYWORDS

*Wax, Wax appearance
temperature.*

ARTICLE HISTORY

Received: 24 March 2023

Accepted: 31 August 2024

HOW TO CITE

Aslam S, H., & Wibowo, J. A. (2024). Analisa Pengaruh Pengendapan Wax di Jaringan Pipa Pada Sumur X Menggunakan Olga Simulator. *Subsurface*, 02(02) 54-73.

ABSTRAK

Perancangan/penelitian ini membahas tentang *wax*, dengan tujuan menentukan parameter apa saja yang mempengaruhi pengendapan *wax* sepanjang jaringan pipa sumur X dan mengetahui posisi mulai terbentuknya pengendapan *wax* yang terjadi sepanjang jaringan pipa sumur X. Penyebab penurunan laju produksi salah satunya adanya sebuah endapan berasal dari kandungan crude oil tersebut akibat dari perubahan suhu dari *fluida* yang mengakibatkan terbentuknya endapan di sepanjang pipa produksi menuju *surface*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan data real lapangan dan data asumsi dari studi literatur. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, parameter yang berpengaruh terhadap adanya endapan *wax* pada sepanjang pipa *platform* WIDB-WIDP adalah temperatur yang menurun dibawah WAT 103,38°F. Dengan didukung dengan peningkatan ketebalan *wax* ketika nilai suhu *fluida* mencapai nilai suhu WAT. Serta adanya *back pressure* sepanjang aliran pipa pada sumur X yang menyebabkan *wax* terbentuk sebelum suhu *fluida* menyentuh nilai WAT. Dan komposisi dari *wax content* dapat mempengaruhi bentuk dan ketebalan dari *wax* pada aliran sumur X ini berdasarkan asumsi yang dibuat. Panjang pipa *flowline* pada *platform* WIDB-WIDP sepanjang 6082,02 ft. Posisi awal mula terbentuknya endapan *wax* terdapat pada pipa *flowline* yang memiliki geometri yang berbeda. Akibat perbedaan geometri inilah yang menyebabkan adanya akumulasi dari *wax*. Awal mula akumulasi *wax* ini terdapat pada titik pipa *flowline* 1501 ft. Terlihat juga adanya perubahan geometri pipa sepanjang *platform* WIDB-WIDP, yang menyebabkan terjadinya gesekan antara dinding pipa dan *fluida* yang dapat mengakibatkan terakumulasinya pengendapan *wax*.

© 2024 SUBSURFACE. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC)

PENDAHULUAN

Berbagai kendala dan masalah muncul dalam produksi minyak dan gas. Masalah yang umum terjadi adalah pembentukan dan penumpukan *wax* selama pengeboran, yang dapat mengganggu produksi minyak dan gas. Hal ini menyebabkan penurunan produksi sumur yang berkelanjutan. Kondisi ini

menimbulkan masalah tersendiri bagi teknologi produksi, terutama untuk produksi minyak. Tersumbatnya *flowline* akibat kontaminasi parafin merupakan salah satu masalah yang dapat terjadi dan dapat menurunkan produksi minyak. *Wax* yang menumpuk pada perforasi menyumbat jalur aliran minyak dan dapat merusak formasi jika tidak segera ditangani. Sumur produksi yang mengalami kerusakan formasi kurang produktif karena hambatan aliran dari batuan dasar ke lubang sumur. Pada saat produksi, hal ini terlihat dari penurunan produksi sumur secara tiba-tiba, meskipun semua sistem produksi masih berjalan dengan baik.

Sumur produksi yang mengalami kerusakan formasi menghasilkan indeks produktivitas yang lebih rendah karena adanya hambatan aliran dari formasi batuan ke sumur (Priyandoyo et al. 2007). Hal ini ditunjukkan dengan penurunan produksi yang cukup tajam, meskipun semua peralatan produksi masih beroperasi secara normal. Formasi batuan dapat rusak ketika material halus masuk ke dalam *fluida* selama perawatan dan perbaikan lubang sumur, dan terbentuknya endapan kristal/parafinat karena suhu lubang sumur yang lebih rendah. Hal ini tentu akan menimbulkan kerugian tersendiri karena membawa minyak ke permukaan. Inovasi solvent digunakan untuk meningkatkan kadar larutan endapan *wax* di sekitar lubang pengeboran sehingga laju alir cairan minyak kembali normal (Priyandoyo et al. 2007).

TINJAUAN PUSTAKA

WAX

Wax adalah molekul parafin yang biasa ditemukan dalam minyak bumi. Keadaan *wax* dalam reservoir di bawah permukaan tanah berbentuk cair karena *wax* menjadi cair dalam kondisi suhu tinggi. Ketika minyak muncul ke permukaan, suhu turun dan *wax* membeku. Endapan *wax* terjadi dan memiliki banyak dampak buruk yang terjadi pada operasi downhole dan permukaan, yang mengakibatkan kerugian ekonomi yang signifikan (Rashidi et al., 2016). Endapan *wax* di dalam lubang bor dapat menghalangi keluarnya minyak mentah dari pori-pori batuan reservoir. Hal ini menyebabkan beberapa kerugian, termasuk tidak hanya kerugian ekonomi, tetapi juga pengurangan kemampuan untuk mendistribusikan minyak mentah. Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk menghilangkan atau mencegah pembekuan *wax* pada perforasi (Wei et al, 2015).

Masalah *wax* sangat umum terjadi di industri minyak dan gas dan mengurangi aliran seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1** sebagai contoh masalah *wax*.



Gambar 1. Endapan Wax Paraffin (Hyne, 2011).

Wax adalah senyawa hidrokarbon (alkana) rantai panjang yang bersifat non polar dan dapat mengendap dengan cepat seiring dengan perubahan suhu (Ganeeva et al., 2016). Kristalisasi *wax* terjadi ketika suhu minyak mentah turun di bawah nilai WAT (*Wax appearance temperature*). Suhu kemunculan *wax* adalah suhu awal pembentukan kristal *wax* dalam minyak bumi, yang sering disebut titik awan/*cloud point* (Prasetyo dan Sudono, 2020). Sedangkan titik tuang/*pour point* adalah suhu terendah di mana minyak dapat dituang (White et al., 2018).

Minyak yang mengandung *wax* umumnya property yang diukur berupa:

- *Wax appearance temperature* (WAT)
WAT merupakan batasan suhu di mana molekul paraffin yang terdapat di dalam crude oil mulai memisahkan diri dan saling mengikat dengan molekul paraffin lainnya lalu mengalami kristalisasi dan mengendap, yang mana biasanya perilaku ini dapat diamati pada percobaan mikroskopis (Ajayi, 2013). Akibat dari molekul paraffin yang mulai berubah fasa menjadi solid, sifat likuiditas dari *fluida* tersebut mulai menurun karena suhu dari *fluida* tersebut yang terus menurun hingga berada dibawah nilai WAT, lalu kandungan solid dari *wax* pun akan semakin banyak terbentuk dan terkumpul. Proses kristalisasi dari *wax* terdiri dari dua jenis, yaitu makrokristalin dan mikrokristalin. Makrokristalin adalah kristalisasi *wax* yang terjadi pada molekul paraffin. Sedangkan mikrokristalin adalah proses kristalisasi *wax* yang umum terjadi pada komponen isoparaffin dan neptana (Abdurrahman et al., 2018)
- *Pour point temperature* (PP) atau *cloudpoint temperature* (CP)
Suhu awal pembentukan kristal *wax* pada minyak bumi mulai terjadi atau sering disebut dengan cloud point (Prasetyo & Sudono, 2020). Sedangkan pour point merupakan suhu terendah dimana minyak dapat tertuang (White et al., 2018).

Berdasarkan sifat fisikokimia minyak mentah dapat dibagi menjadi 4 fraksi utama: *saturates*, *aromatic*, *resin*, dan *asphaltenes* (SARA).

- *Saturates*
Hidrokarbon jenuh adalah hidrokarbon non polar tanpa ikatan rangkap, tetapi termasuk alkana rantai lurus dan bercabang. Asam lemak jenuh umumnya merupakan fraksi paling ringan dari minyak mentah, karena fraksi jenuh dalam minyak mentah biasanya menurun seiring dengan meningkatnya fraksi berat molekul. Wax merupakan sub-kelas dari saturate, wax mengendap sebagai padatan partikulat pada suhu rendah dan mempengaruhi sifat stabilitas emulsi pada crude oil (Aske, 2002).
- *Aromatic*
Aromatic mengacu pada benzena dan turunan strukturalnya. Aromatic umum pada semua crude oil dan sejauh ini sebagian besar aromatic mengandung rantai alkil dan cincin sikloalkana. Pola aromatic dengan berat molekul yang lebih tinggi dapat juga menjadi resin dan asphaltene (Aske, 2002).
- Resin
Fraksi ini terdiri dari molekul polar yang sering kali mengandung heteroatom seperti nitrogen, oksigen, dan sulfur. Fraksi resin didefinisikan secara operasional dan definisi umum resin adalah fraksi yang larut dalam alkana ringan seperti pentana dan heptana, tetapi tidak larut dalam propana

cair. Resin secara struktural mirip dengan aspal, tetapi lebih kecil. Asam naftenat umumnya diyakini sebagai bagian dari dekomposisi pitch (Aske, 2002).

- Asphaltene

Fraksi asphaltene sama halnya seperti resin didefinisikan sebagai pelarutan yaitu fraksi crude oil yang mengendap dalam alkana ringan seperti pentana, heksana atau heptana. Endapan ini larut dalam pelarut aromatik seperti toluena dan benzena. Fraksi asphaltene mengandung persentase terbesar dari heteroatom (O, S, N) dan logam (Ni, V, Fe) dalam crude oil (Aske, 2002)

KRISTALISASI PADA WAX

Penting untuk diperhatikan bahwa penumpukan wax bukanlah wax padat, melainkan gel yang terdiri atas kristal wax padat dan cairan yang terperangkap. Penumpukan wax ini akan mengeras seiring berjalannya waktu dalam proses yang disebut penuaan. Pemisahan komponen wax dari minyak menyebabkan perubahan pada sifat wax minyak, seperti gelasi dan peningkatan viskositas minyak. Wax mengandung n-parafin dengan berat molekul tinggi dan terdiri dari alkana rantai panjang dengan 20 hingga 50 atom karbon. Ketika suhu minyak berada di bawah *wax appearance temperature* (WAT), wax dapat mengendap sebagai fase padat. Ini adalah suhu di mana kristal wax pertama mulai terbentuk di dalam oli selama proses pendinginan. Kristalisasi biasanya merupakan proses di mana fasa padat dipisahkan dari larutan homogen dan fasa padat yang terpisah muncul sebagai kristal. Parafin (wax), komponen alami minyak bumi, tetap berada dalam larutan hingga suhu mencapai atau berada di bawah batas kelarutannya (M.A. Theyab, 2018). Wax minyak bumi terdiri dari wax parafin dengan 18 hingga 36 atom karbon (C18 hingga C36) dan wax naftenat dengan 30 hingga 60 atom karbon (C30 hingga C60). Suhu dan tekanan sangat memengaruhi kelarutan komponen wax dalam minyak mentah, dan komponen wax dalam minyak dapat berbentuk gas, cair, atau padat/kristal. Kristal yang terbentuk dari wax parafin berupa kristal mikrokristal, sedangkan kristal yang terbentuk dari wax naftenat berupa kristal mikrokristal (Elhadi dan Siddig, 2010).

MEKANISME DEPOSISI PADA WAX

Endapan wax dalam eksplorasi dan transportasi minyak selalu menjadi masalah utama yang menyebabkan banyak biaya operasi. Ketika minyak mentah ber-wax diangkut melalui jaringan pipa pada suhu lingkungan yang dingin, kristal wax terbentuk dan mengendap di dinding pipa dengan berbagai mekanisme (Islam, 2001). Penumpukan wax selama pengangkutan telah dipelajari baru-baru ini. Telah dilaporkan bahwa ada tiga mekanisme pengendapan wax selama pengangkutan minyak: difusi molekuler, difusi geser, dan difusi Brown. Pengukuran eksperimental (Creek dkk., 1999; Hsu dkk., 199) menunjukkan bahwa mekanisme difusi geser tidak secara signifikan mempengaruhi distribusi parafin, terutama dalam kondisi suhu tinggi dan aliran panas. Efek difusi Brown juga dapat diabaikan (Burger dkk., 1981). Oleh karena itu, difusi molekuler merupakan mekanisme utama pengendapan wax (Tran, Tran, Ly, & Tran, 2015).

SIMULASI DEPOSISI PAD WAX

Komposisi minyak, detail rig uji, dan parameter operasi memerlukan pemodelan deposit wax pipa. Untuk mengontrol penumpukan wax, simulasi numerik harus digunakan untuk memprediksi secara akurat jumlah wax di dalam pipa dan laju penumpukan wax. OLGA adalah simulator dinamis polifase yang digunakan untuk simulasi transien dan kondisi tunak. OLGA digunakan untuk menangani sumur,

selang, pipa, dan jaringan peralatan yang mencakup sistem produksi dari sumur hingga sistem produksi.

FAKTOR YANG MEMPENGARUHI DEPOSISI WAX

Keberadaan wax pada sistem yang mengalir telah di teliti oleh banyak peneliti. Berbagai metode telah digunakan dalam mempelajari tentang fenomena dari wax tersebut. Terdapat tiga faktor yang ikut mempengaruhi terhadap wax pada sistem yang mengalir yaitu laju alir, perbedaan temperatur, dan laju pendinginan (Birmingham, 1977).

- *Flowrate*
Pengaruh parameter laju alir terhadap laju pengendapan wax dapat menghasilkan efek yang berbeda bergantung kepada jenis aliran dari minyak itu sendiri. Jenis aliran dapat diidentifikasi melalui nilai Reynold Number. Pada kondisi aliran laminar, nilai dari Reynold Number menunjukkan angka kurang dari 2000.
- Perbedaan suhu dan pendinginan
Pengaruh parameter laju alir terhadap laju pengendapan wax dapat menghasilkan efek yang berbeda bergantung kepada jenis aliran dari minyak itu sendiri. Jenis aliran dapat diidentifikasi melalui nilai Reynold Number. Pada kondisi aliran laminar, nilai dari Reynold Number menunjukkan angka kurang dari 2000.
- Komposisi minyak
Komposisi minyak terdiri dari berbagai macam molekul yang berbeda diantaranya adalah: molekul ringan seperti metana yang dapat membentuk padatan hydrate pada suhu rendah dan tekanan yang tinggi serta molekul berat seperti alkana yang memiliki rantai panjang dan isoparafin yang dapat berubah fasa pada kondisi suhu yang rendah (Merino- Garcia et al., 2013; Zerpa et al., 2011; Merino-Garcia., 2010).
- Tekanan
Nilai *wax appearance temperature* (WAT) sangat dipengaruhi oleh tekanan minyak terutama tekanan bubble point. Pada saat kondisi minyak masih berada di atas tekanan bubble point, maka nilai WAT akan meningkat dan meningkatkan kemungkinan wax untuk terendapkan. Sebaliknya pada saat kondisi minyak berada di bawah tekanan bubble point, minyak akan berubah menjadi dua fasa (Eissa Mohyaldinn et al., 2019).
- Karakteristik pipa
Karakteristik pipa dapat mempengaruhi proses pengendapan wax dikarenakan karakteristik sangat erat hubungannya dengan gaya gesek yang dihasilkan antara pipa dan minyak. Semakin besar gaya friksi yang dihasilkan, maka semakin besar jumlah wax yang terendapkan. Besarnya gaya friksi yang dihasilkan bergantung kepada tingkat kekasaran yang terdapat pada dinding pipa serta ukuran diameter pipa (Eissa Mohyaldinn et al., 2019).

DATA DAN METODOLOGI

DATA

- Jenis Hidrokarbon
Tabel 1 berikut merupakan data jenis hidrokarbon dari data real lapangan yang digunakan untuk penyusunan penelitian ini

Tabel 1. Data jenis hidrokarbon.

Jenis Hidrokarbon	% massa
<i>N. Paraffins</i>	51,67
<i>Iso Paraffins</i>	1,47

- *Fluid Property*

Tabel 2 dan Tabel 3 berikut merupakan data *fluida* properti dari data real lapangan yang digunakan untuk penyusunan penelitian ini.

Tabel 2. Data komposisi minyak.

Komponen	% massa
C3	0
C4	0
C5	0
C6	0
C7	0
C8	0
C9	0
C10	0,01
C11	0,01
C12	0,47
C13	1,57
C14	2,16
C15+	95,78

Tabel 3. Data komposisi gas.

Komponen	% mol
Hydrogen Sulfida	0
Carbon Dioxide	2,66
Nitrogen	0,35
Methane	95,05
Ethane	1,12
Propane	0,44
Iso-Butane	0,1
n-Butane	0,04
Iso-Pentane	0,02
n-Pentane	0,01
Heksane	0,01
Heptana Plus	0,2

- Data Produksi

Tabel 4 dan Tabel 5 berikut merupakan data *production* pada WIDB-WIDP dari data real lapangan yang digunakan untuk penyusunan penelitian ini.

Tabel 4. Data produksi platform WIDB-WIDP.

Oil SG	Water SG	Gas SG	Qo (bopd)	Qw (bwpd)	Qg (Mscfd)
0,8560	1,0143	0,7206	768,91	98779,08	1537

Tabel 5. Data produksi platform WIDB-WIDP.

Total Prod (bfpd)	GOR (scf/stb)	WC	Massflow rate oil	Massflow rate water	Massflow rate gas	Total Massflow rate (lb/s)
99688,82	1998,93	99,23%	2,666325802	405,8688	0,980874	409,52

- *Pipeline Data*

Tabel 6 berikut merupakan data *pipeline platform* WIDB-WIDP dari data real lapangan yang digunakan untuk penyusunan penelitian ini.

Tabel 6. Data Pipeline platform WIDB-WIDP.

OD (In)	Wall Thickness (In)	Length (m)	Depth (m)	Outgoing Pressure (psig)	Incoming Pressure (psig)	Outgoing Temperature (F)	Incoming Temperature (F)
16,00	0,437	1948	21,33	150	120	145	126

- *Data Pipe Diagram*

Tabel 7 berikut merupakan data pipe diagram *platform* WIDB-WIDP dengan menggunakan data X,Y (Start x=0, y=19ft) dari data real lapangan yang digunakan untuk penyusunan penelitian ini.

Tabel 7. Pipe Diagram Platform WIDB-WIDP.

WIDB	WIDP	WIDB	WIDP
Measured distance (ft)	Elevation (ft)	Measured distance (ft)	Elevation (ft)
0	-75,45932	3100,684	-75,45932
119,2536	-75,45932	3219,938	-75,45932
238,5524	-72,17848	3339,191	-75,45932
357,806	-72,17848	3458,445	-75,45932
477,0596	-72,17848	3577,699	-75,45932
596,3132	-72,17848	3696,952	-75,45932
715,5668	-72,17848	3816,206	-75,45932
834,8204	-72,17848	3935,46	-75,45932
954,074	-72,17848	4054,713	-75,45932
1073,328	-72,17848	4173,967	-75,45932
1192,581	-72,17848	4293,22	-75,45932
1311,835	-72,17848	4412,474	-75,45932
1431,088	-72,17848	4531,728	-75,45932
1550,342	-72,17848	4650,981	-75,45932
1669,596	-72,17848	4770,235	-75,45932
1788,894	-75,45932	4889,488	-75,45932
1908,148	-75,45932	5008,742	-75,45932
2027,402	-75,45932	5127,996	-75,45932
2146,655	-75,45932	5247,249	-75,45932
2265,909	-75,45932	5366,503	-75,45932
2385,163	-75,45932	5485,756	-75,45932
2504,416	-75,45932	5605,01	-75,45932
2623,67	-75,45932	5724,264	-75,45932
2742,923	-75,45932	5843,517	-75,45932
2862,177	-75,45932	5962,771	-75,45932
2981,431	-75,45932	6082,025	-75,45932

- Data *Environment*

Tabel 8 berikut merupakan data environment *platform* WIDB-WIDP dari data real lapangan yang digunakan untuk penyusunan tugas akhir ini.

Tabel 8. Data environment.

Parameter	Value
Air temperature	86 °F
Sea surface temperature	82 °F
Seabed temperature	77 °F
Wind velocity	10 ft/s
Ocean current speed	3 ft/s

- Data *Coating*

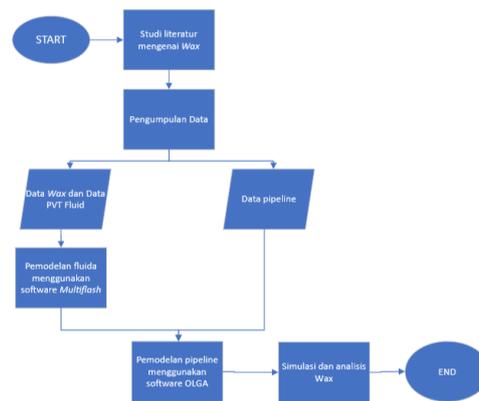
Tabel 9 berikut merupakan data *coating platform* WIDB-WIDP dari data real lapangan yang digunakan untuk penyusunan tugas akhir ini.

Tabel 9. Data coating.

Material	Heat Capacity (J/kg.C)	Thermal Conductivity (W/m.C)	Density (kg/m3)
Carbon Steel	500	50	7850

METODOLOGI

Gambar 2 berikut merupakan alur penelitian yang dilakukan penulis.



Gambar 2. Flowchart software Multiflash.

Penelitian ini diawali dengan melakukan studi literatur mengenai wax dan mencari data berupa, data yang dicari seperti data PVT fluida yang sesuai dengan data yang dibutuhkan untuk mendukung penelitian.

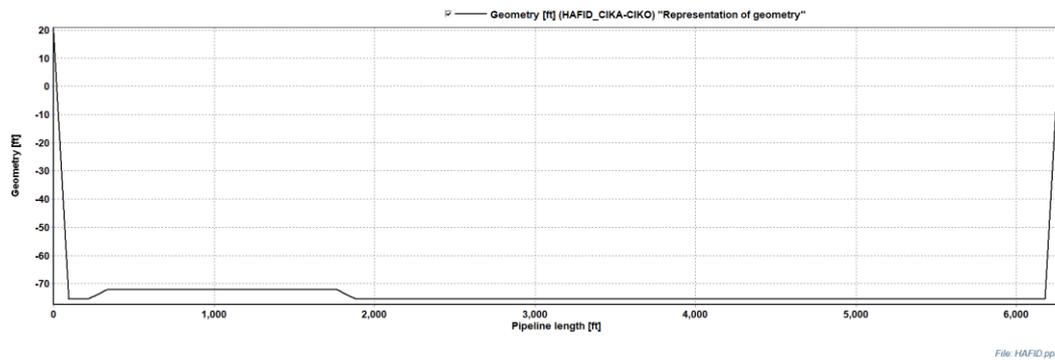
Setelah itu pemodelan dengan memasukkan data dengan menggunakan Software Multiflash agar dapat dijalankan dengan software Olga Simulator.

Selanjutnya, dilakukan simulasi data untuk analisis wax pada Olga Simulator dengan memasukkan data-data pendukung, kemudian dilakukan verify dan run batch untuk mendapatkan grafik sesuai dengan data PVT yang digunakan.

Didapatkan hasil grafik-grafik yang dibutuhkan untuk kemudian dianalisis.

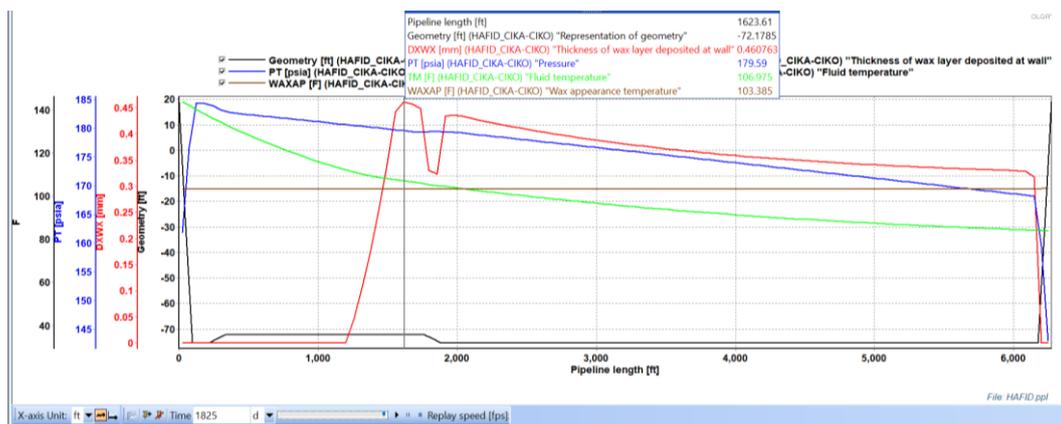
HASIL DAN DISKUSI

Penelitian ini dilakukan di sumur X dengan platform WIDB menuju platform WIDP dengan fluida yang terdapat pada pipa terdapat 2 jenis fasa, yaitu cairan dan gas. Problematika yang sering terjadi di sepanjang pipa adanya penurunan produksi crude oil, hal tersebut dikarenakan pengaruh dari congeal atau biasa disebut minyak beku. Pada Gambar 3 ini penelitian dilakukannya pemodelan pipa dengan menggunakan simulator OLGA agar nantinya dapat mengetahui posisi dimana minyak beku atau wax ini dapat terbentuk di sepanjang pipa produksi pada platform WIDB menuju platform WIDP.

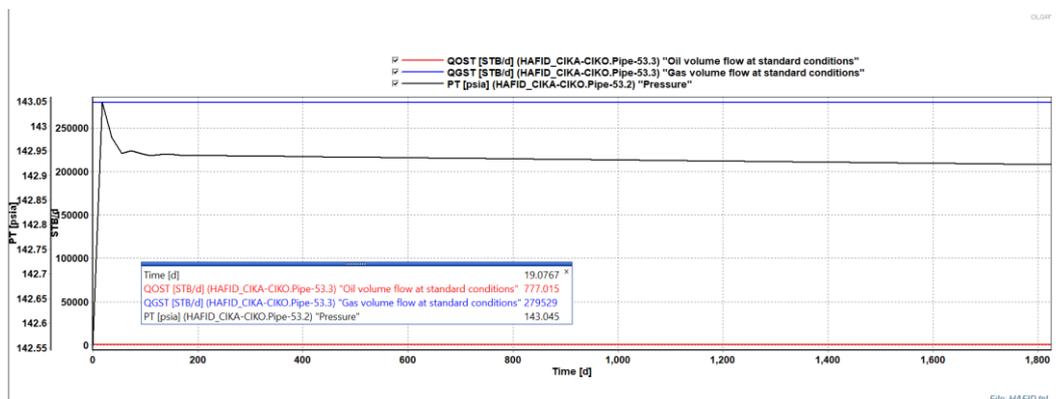


Gambar 3. Konfigurasi *platform* dan *pipeline* di Lapangan X

Uji simulasi telah dilakukan dengan parameter yang digunakan yang menjadi *screening* awal dalam pengerjaan laporan ini. Selanjutnya parameter *temperature*, *thickness of wax*, dan *flow rate* dari simulasi *fluida* yang dialirkan sepanjang pipa dengan Panjang 6082,02 ft. Pemodelan ini dianalisis dengan waktu simulasi selama 5 tahun atau 1825 hari dengan melihat apakah terdapat endapan wax di sepanjang pipa produksi (**Gambar 4**).



Gambar 4. Grafik dari *temperature*, *thickness of wax* sepanjang pipa hari ke-1825.

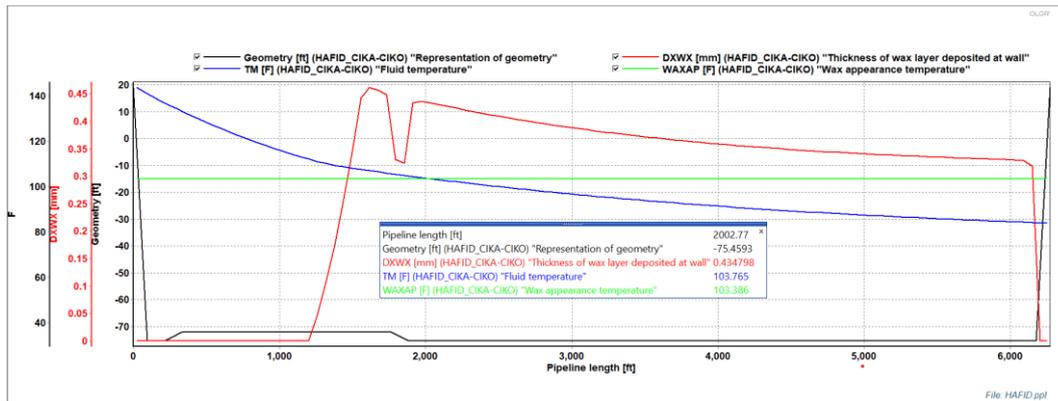


Gambar 5. Grafik flowrate minyak dan gas, dan *pressure* terhadap waktu.

Kondisi pada pipa, berdasarkan **Gambar 4** teridentifikasi adanya pengendapan wax mencapai puncak tertinggi ketebalannya 0,46 mm pada Panjang pipa ke 1623,61 ft. Pengendapan ini tidak terlalu

mempengaruhi *flowrate* produksi pada **Gambar 5**, tetapi hal tersebut juga harus di cegah agar nantinya pengendapan *wax* yang dibiarkan terlalu lama ini tidak mengganggu jalannya produksi.

Terdapat penurunan *temperature* pada **Gambar 4**, kondisi ini dapat mempengaruhi terbentuknya kristalisasi pada *fluida* minyak. Dan apabila terjadi penurunan suhu dibawah nilai *Wax appearance temperature* (WAT) dapat menyebabkan terjadinya *fluida* menjadi padat atau mengendap didalam pipa menurut Kurnianto & Prasetyo, 2018. Berdasarkan simulasi, diidentifikasi pada sepanjang pipa mulai 2002,77 ft mulai mengalami penurunan *temperature fluida* hingga berpotongan dengan nilai *Wax appearance temperature* (WAT), menandakan pada komposisi berat C15+ dapat terendapkan dan terpesipitasi dilihat dari **Gambar 6** dibawah ini.



Gambar 6. Grafik perpotongan antara *temperature fluida* dengan WAT.

Salah satu langkah pencegahan dan meminimalisir agar tidak terjadinya pengendapan *wax* adalah dengan metode injeksi inhibitor, *thermal insulation*, dan metode *pigging*. Perbedaan antara ketiga metode ini adalah *thermal insulation* dengan cara penambahan panas, salah satu contohnya dengan injeksi air panas, solar panas, atau gas injection yang dapat meminimalisir dan menghindari adanya pengendapan *wax*. Sedangkan injeksi inhibitor ia adalah zat pelarut, yang berfungsi untuk mengatasi pengendapan *wax* sepanjang pipa produksi yang timbul karena adanya penurunan tekanan dan *temperature* karena adanya kelarutan *wax* dalam *crude oil*. Lalu, *pigging* berfungsi setelah adanya penghilangan *wax* ia bertugas untuk membersihkan sisa-sisa endapan *wax* yang masih terdapat pada pipa produksi.

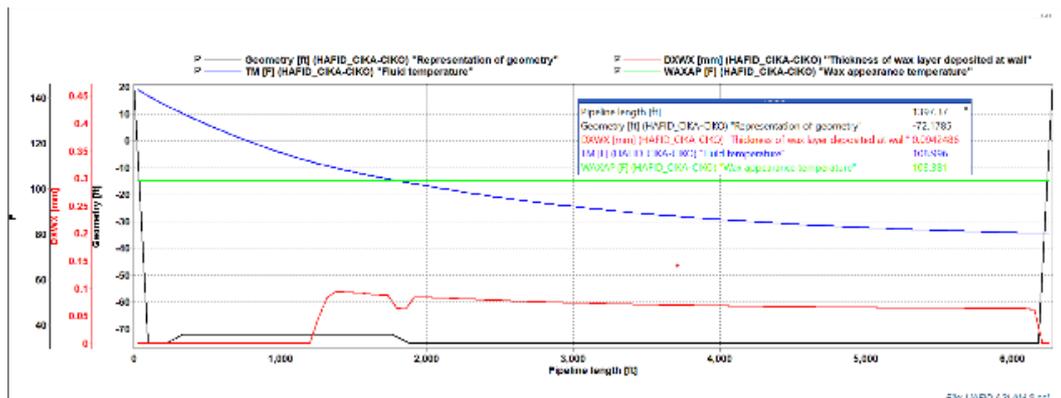
Simulasi dari Pemodelan Deposition Wax

Berdasarkan pemodelan yang telah dilakukan, parameter yang berpengaruh terhadap adanya endapan *wax* pada pipa yaitu, *pressure*, *temperature*, dan kondisi *ambient temperature* (*temperature* lingkungan). Simulasi ini dilakukan di sumur X pada *platform* WIDB – *platform* WIDP pada laju alir 768,91 bopd untuk beberapa *timestep* (365, 730, 1095, 1460 dan 1825 hari). Dengan *incoming temperature* yang digunakan 126°F dan *outgoing temperature* yang digunakan 145°F. Dengan Tabel 10 data invorentment yang digunakan pada penelitian ini (**Tabel 10**),

Tabel 10. Data involvement.

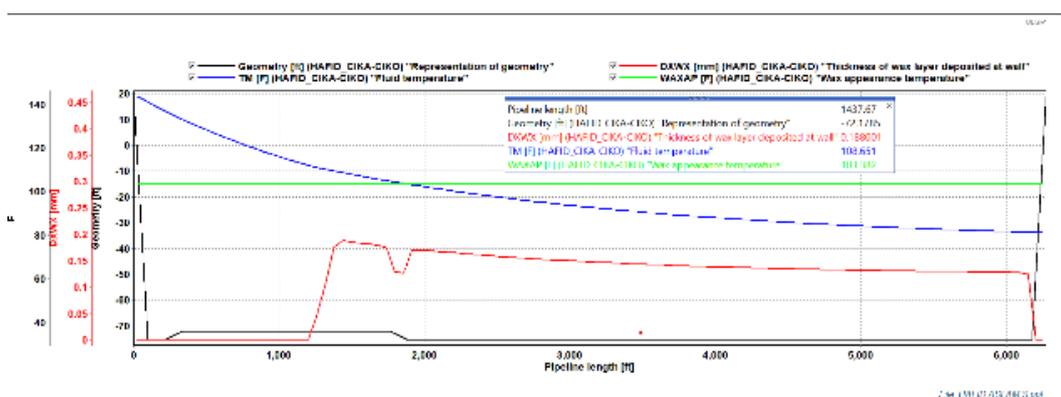
Parameter	Value
Air temperature	86 °F
Sea surface temperature	82 °F
Seabed temperature	77 °F
Wind velocity	10 ft/s
Ocean current speed	3 ft/s

dan berikut ini merupakan gambar dari grafik pemodelan dari masing-masing *time step*:



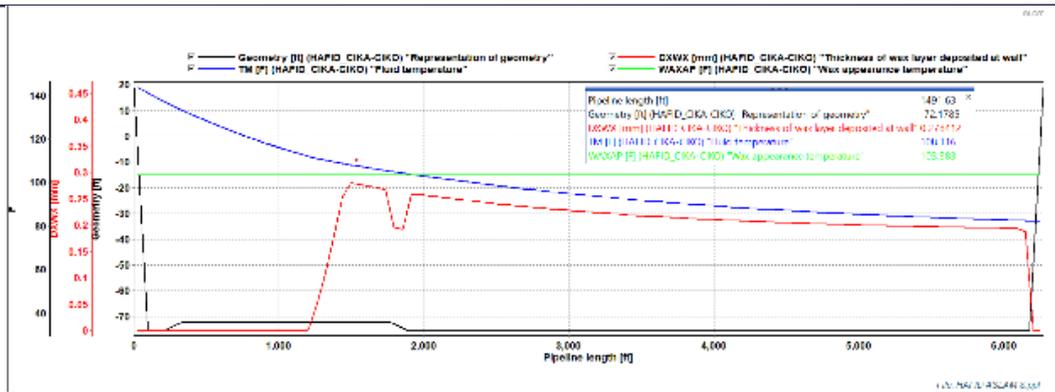
Gambar 7. Ketebalan wax setelah 365 pada laju alir 768,91 bopd.

Gambar 7, terlihat bahwa pengendapan wax terjadi pada lokasi pipa 1397,37 ft. dalam grafik diatas meliputi *fluid temperature*, *fluid pressure*, *thickness of wax*, dan *wax appearance temperature* dalam waktu 365 hari. Ketika suhu dari *fluida* menurun menuju WAT sebesar 108,99°F menuju suhu WAT 103,38°F ketebalan mulai terbentuk mencapai nilai 0,09 mm. Ketebalan deposisi wax terus menurun karena gradien temperature antara dinding internal pipa minyak dan pusat penampang aliran secara bertahap menurun dengan semakin jauh jarak pipa (Jung,aLee, & Lim, 2014)



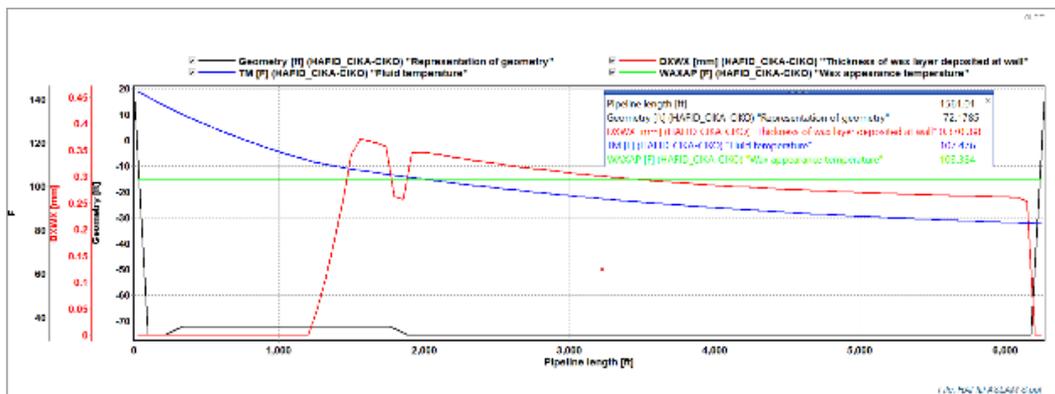
Gambar 8. Ketebalan wax setelah 730 pada laju alir 768,91 bopd.

Sedangkan pada **Gambar 8**, terlihat bahwa pengendapan wax naik signifikan terjadi pada lokasi pipa 1437,67 ft. dalam grafik diatas meliputi *fluid temperature*, *fluid pressure*, *thickness of wax*, dan *wax appearance temperature* dalam waktu 730 hari. Ketika suhu dari *fluida* menurun menuju WAT sebesar 108,65°F menuju suhu WAT 103,38°F ketebalan mulai terbentuk mencapai nilai 0,18 mm.



Gambar 9. Ketebalan wax setelah 1095 pada laju alir 768,91 bopd.

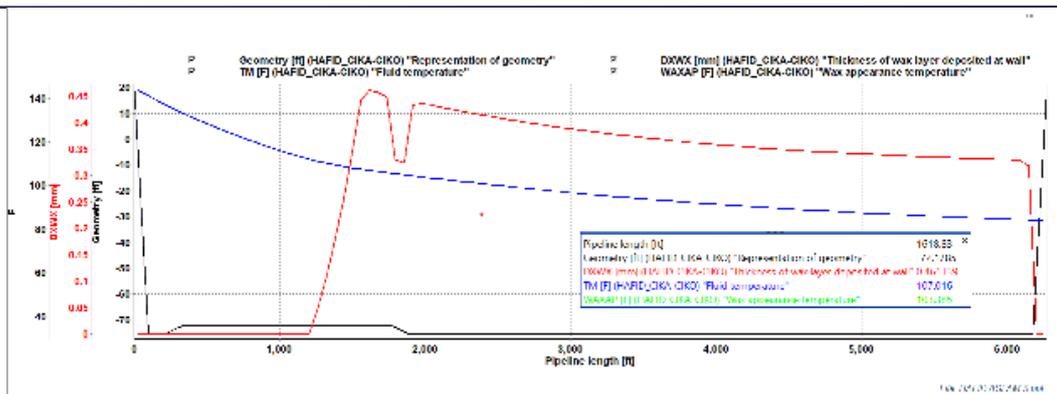
Pada tahun ke-3 terlihat pada Gambar 9, terlihat bahwa pengendapan wax naik signifikan terjadi pada lokasi pipa 1491,63 ft. Dalam grafik diatas meliputi fluid temperature, fluid pressure, thickness of wax, dan wax appearance temperature dalam waktu 1095 hari. Ketika suhu dari fluida menurun menuju WAT sebesar 108,11°F menuju suhu WAT 103,38°F ketebalan mulai terbentuk mencapai nilai 0,27 mm.



Gambar 10. Ketebalan wax setelah 1460 pada laju alir 768,91 bopd.

Pada tahun ke-4 terlihat pada Gambar 10, terlihat bahwa pengendapan wax naik signifikan terjadi pada lokasi pipa 1561,01 ft. dalam grafik diatas meliputi fluid temperature, fluid pressure, thickness of wax, dan wax appearance temperature dalam waktu 1460 hari. Ketika suhu dari fluida menurun menuju WAT sebesar 107,47°F menuju suhu WAT 103,38°F ketebalan mulai terbentuk mencapai nilai 0,37 mm.

Pada tahun ke-5 ini terlihat pada Gambar 11, terlihat bahwa pengendapan wax naik signifikan terjadi pada lokasi pipa 1618,83 ft. Dalam grafik diatas meliputi fluid temperature, fluid pressure, thickness of wax, dan wax appearance temperature dalam waktu 1825 hari. Ketika suhu dari fluida menurun menuju WAT sebesar 107,01°F menuju suhu WAT 103,38°F ketebalan mulai terbentuk mencapai nilai 0,46 mm. Pada tahun terakhir ini juga terlihat penurunan ketebalan wax, lalu kembali terjadi kenaikan ketebalan wax dengan adanya penurunan suhu fluida menuju WAT.



Gambar 11. Ketebalan wax setelah 1825 pada laju alir 768,91 bopd.

Pada Tabel 11 diatas setelah diadakannya simulasi terlihat bahwa tiap tahun ketebalan wax pada pipa produksi akan meningkat dengan rata-rata peningkatan ketebalan pertahun sebesar 0,09 mm. Dengan didukung dengan rata-rata penurunan suhu pertahun yang ikut menurun sebesar 0,49°F. Parameter tekanan dalam proses pengendapan wax bukan merupakan faktor utama yang mempengaruhi, namun tetap perlu diperhatikan karena masih tetap membawa pengaruh walaupun hanya sedikit (Kang et al., 2014). Sedangkan perbedaan *temperature* juga salah satu factor yang mempengaruhi terbentuknya wax. Perbedaan antara suhu bulk dari minyak dan suhu permukaan merupakan factor pembentukan wax. Terlihat di gambar grafik setiap tahunnya pembentukan wax berada pada bentuk geometri pipeline yang berubah.

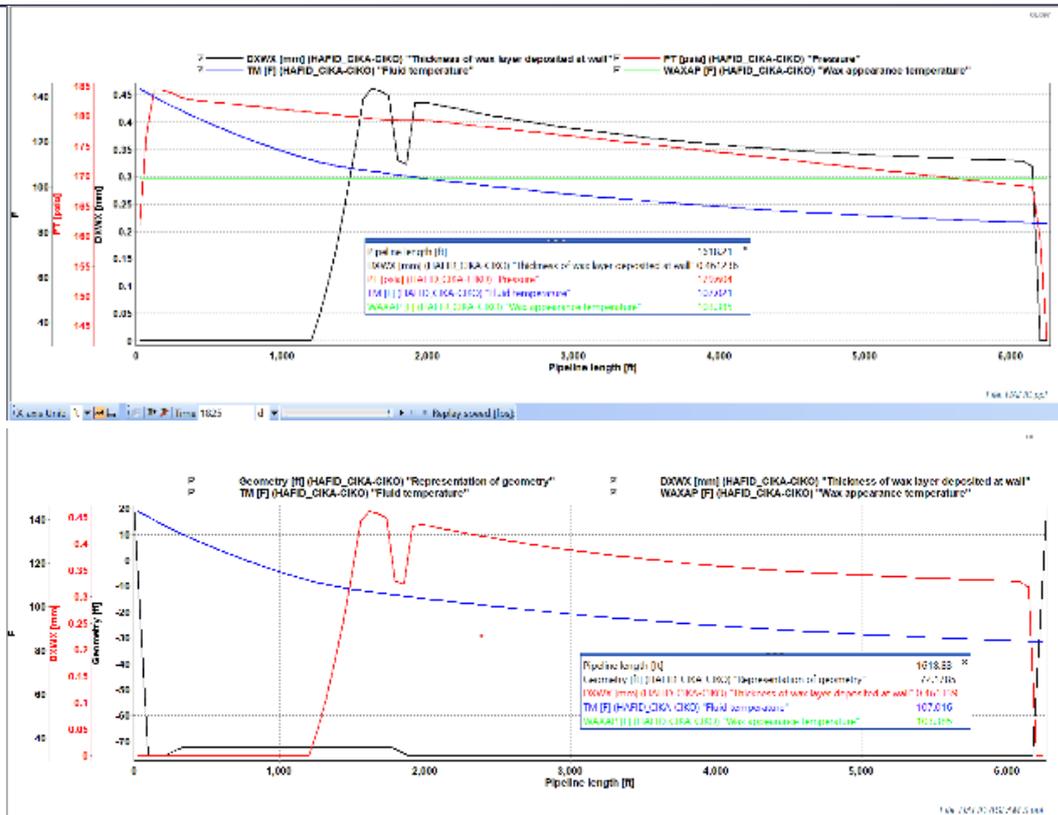
Tabel 11. Data Temperature, Tekanan, Ketebalan Wax dan WAT Tiap Tahun.

Tahun ke-	Temperatur fluida (F)	Ketebalan wax (mm)	WAT (°F)	Awal kemunculan Wax pada
tahun ke-1	108,99	0,09	103,38	1397,37
tahun ke-2	108,65	0,18	103,38	1437,67
tahun ke-3	108,11	0,27	103,38	1491,63
tahun ke-4	107,47	0,37	103,38	1561,01
tahun ke-5	107,01	0,46	103,38	1618,83
Rata-rata kenaikan pertahun	0,495	0,0925	103,38	1501,302

Simulasi ini juga dilakukan dengan asumsi menurunkan suhu dari ambient *temperature* sebesar 5°F. Asumsi ini dilakukan, apakah dengan penurunan suhu dapat mempengaruhi ketebalan wax di tahun ke-5 atau hari ke-1825. Ditunjukkan oleh Tabel 12 dan Gambar 12 sebagai berikut:

Tabel 12. Data Invorenment dengan penurunan *temperature* 5°F.

Parameter	Value
Air temperature	81 °F
Sea surface temperature	78 °F
Seabed temperature	72 °F



Gambar 12. Grafik dari *temperature, thickness of wax* sepanjang pipa hari ke-1825 setelah perubahan *ambient temperature* (atas) dan grafik ketebalan *wax* pada Tahun ke-5 (bawah).

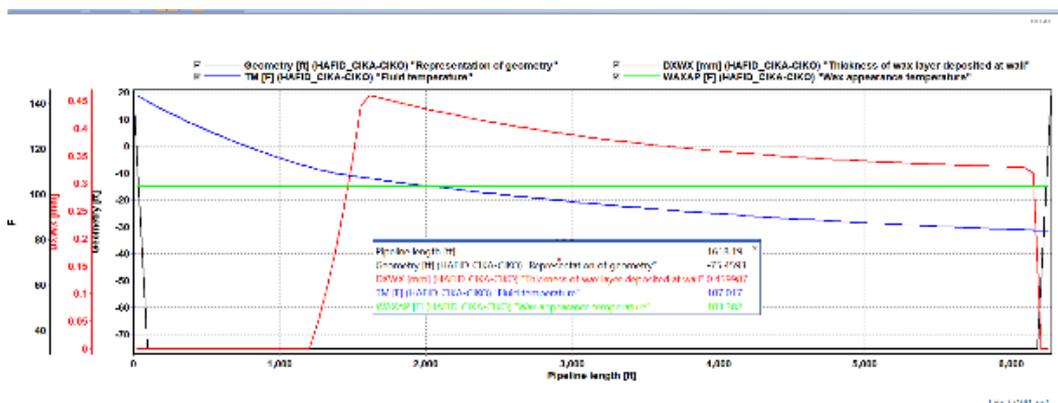
Setelah dilakukan penggantian nilai suhu *ambient temperature* sebesar 5°F. Didapatkan grafik terbaru, setelah dianalisa ketebalan *wax*, temperatur *fluida*, dan tekanan *fluida* tidak berubah nilainya. Dapat disimpulkan perubahan nilai suhu *ambient* pada case ini tidak berpengaruh terhadap nilai etebalan *wax*, temperatur *fluida*, dan tekanan *fluida*. Diasumsikan bahwa *fluida* pada sumur X ini sudah dilakukannya injeksi inhibitor, thermal insulation, dan metode pigging. Yang membuat ketebalan *wax* pada pipa konstan dibawah 0,5 mm.

Pada kasus pada sumur X terlihat pada **Gambar 12** ini terdapat permasalahan dimana endapan *wax* terbentuk sebelum suhu *fluida* sumur X menyentuh nilai WATnya. Penyebabnya adalah adanya back *pressure* yang terjadi sepanjang aliran pada pipa. Back *pressure* terjadi adanya tekanan yang melawan aliran pada peralatan yang dialiri *fluida* yang menyebabkan adanya endapan *wax* sebelum suhu *fluida* menyentuh nilai WAT. Pada sumur X ini juga terdapat perbedaan geometri pipa yang menyebabkan adanya perbedaan friksi (gesekan) antara *fluida* dengan dinding pipa sepanjang sumur X. Friksi (gesekan) ini menyebabkan terakumulasinya *wax* pada dinding pipa aliran pada *platform* WIDB-WIDP. Walaupun nilai back *pressure* pada aliran di sepanjang pipa tidak diketahui, namun hal ini umum terjadi terutama pada pipa bawah laut (Ageh, E., et. al., 2010)

Tabel 13 diasumsikan juga perubahan geometri dari aliran pipa *platform* WIDB-WIDP. Yaitu dengan data sebagai berikut:

Tabel 13. Tabel asumsi *pipe diagram platform* WIDB-WIDP.

WIDB	WIDP	WIDB	WIDP
Measured distance (ft)	Elevation (ft)	Measured distance (ft)	Elevation (ft)
0	-75,45932	3100,684	-75,45932
119,2536	-75,45932	3219,938	-75,45932
238,5524	-75,45932	3339,191	-75,45932
357,806	-75,45932	3458,445	-75,45932
477,0596	-75,45932	3577,699	-75,45932
596,3132	-75,45932	3696,952	-75,45932
715,5668	-75,45932	3816,206	-75,45932
834,8204	-75,45932	3935,46	-75,45932
954,074	-75,45932	4054,713	-75,45932
1073,328	-75,45932	4173,967	-75,45932
1192,581	-75,45932	4293,22	-75,45932
1311,835	-75,45932	4412,474	-75,45932
1431,088	-75,45932	4531,728	-75,45932
1550,342	-75,45932	4650,981	-75,45932
1669,596	-75,45932	4770,235	-75,45932
1788,894	-75,45932	4889,488	-75,45932
1908,148	-75,45932	5008,742	-75,45932
2027,402	-75,45932	5127,996	-75,45932
2146,655	-75,45932	5247,249	-75,45932
2265,909	-75,45932	5366,503	-75,45932
2385,163	-75,45932	5485,756	-75,45932
2504,416	-75,45932	5605,01	-75,45932
2623,67	-75,45932	5724,264	-75,45932
2742,923	-75,45932	5843,517	-75,45932
2862,177	-75,45932	5962,771	-75,45932
2981,431	-75,45932	6082,025	-75,45932

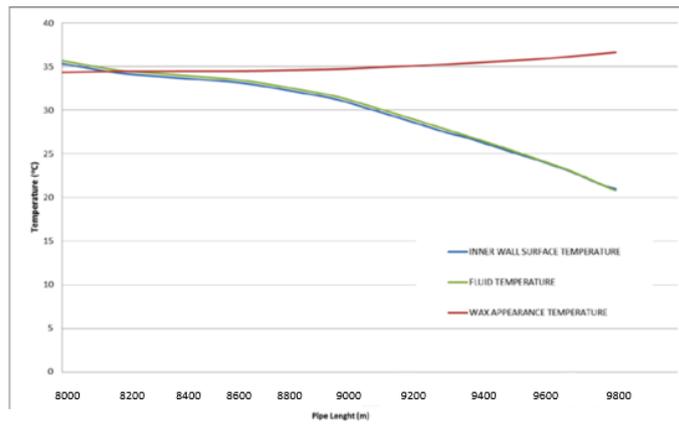


Gambar 13. Grafik asumsi *pipe diagram platform* WIDB-WIDP.

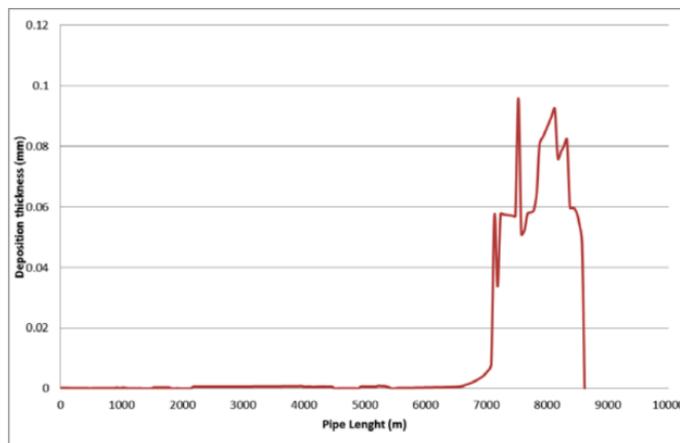
Pada **Gambar 13** dihasilkan bahwa, geometri sepanjang mempengaruhi tebalnya endapan wax. Adanya perubahan bentuk grafik ketebalan wax ini, terjadi akibat adanya *backpressure* yang terjadi

pada aliran pipa menuju *platform* WIDP. Setelah dilakukannya asumsi perubahan nilai geometri. Grafik ketebalan wax berubah mengikuti bentuk geometri pipa.

Pada **Gambar 14** dan **Gambar 15** merupakan grafik perbandingan dengan data real lapangan. Lapangan ini terletak pada ladang laut dalam yang kecil timur laut Brazil. Sebagai standar, operator lepas pantai minyak menentukan isolasi termal pada jalur aliran produksi untuk memungkinkan aliran *fluida* mengalir pada suhu yang lebih tinggi dari WAT hingga ke fasilitas topside. Menurut standar Petrobras, WAT diukur dengan kalorimetri dengan laju pendinginan 1°C/menit. Selain itu, WAT ditetapkan sebagai nilai yang sesuai dengan suhu di mana fraksi massa padatan (*wax*) sama dengan 0,1% (Fleming, 2013). Kita dapat melihat bahwa kondisinya mendukung pengendapan *wax*: suhu permukaan dinding di bawah WAT dan di atas suhu lingkungan eksternal. **Gambar 14** menyajikan secara rinci wilayah di mana pengendapan diharapkan terjadi dan, sekali lagi, itu dimungkinkan untuk memeriksa bahwa suhu bulk *fluida* lebih tinggi dari wall surface temperature, sehingga memungkinkan suhu gradien yang dibutuhkan untuk menyimpan *wax*. Suhu bulk *fluida* adalah pencampuran *fluida* secara adiabatik dari penampang melintang tertentu pada saluran akan menghasilkan beberapa temperatur kesetimbangan yang secara akurat mencerminkan temperatur rata-rata *fluida* yang bergerak. *Fluida* menuju *platform* dengan suhu 19°C (66°F) yang berada 16°C (29°F) di bawah WAT, jauh di dalam selubung fase padat *wax*. Pada grafik ini juga ditemukan persamaan kasus yang menimbulkan endapan *wax* sebelum suhu *fluida* dibawah WAT.



Gambar 14. Grafik *fluid temperature* dengan WAT (Fleming,2013).



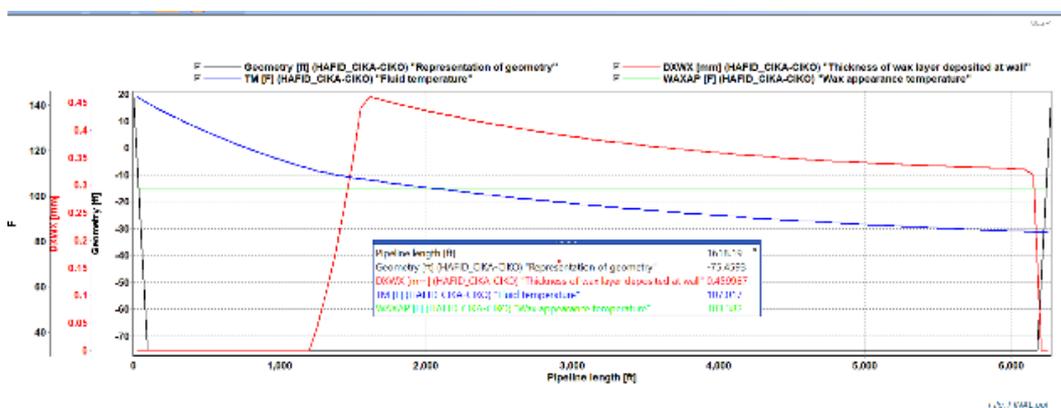
Gambar 15. Grafik ketebalan wax (Fleming,2013).

Tabel 14 disimulasi ini juga, di lakukan perubahan nilai wax content pada sumur X. Apakah nilai wax content berpengaruh terhadap ketebalan wax pada tahun ke-5. Berikut merupakan data asumsi dari wax content pada tabel dibawah ini.

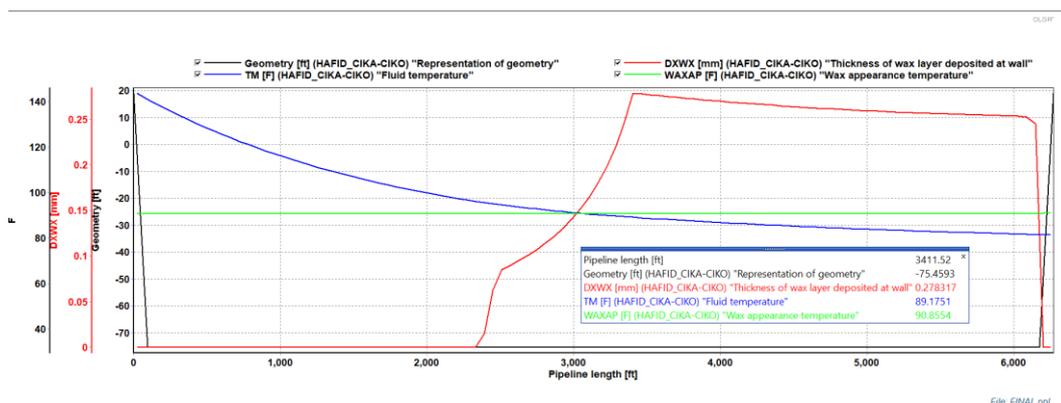
Tabel 14. Asumsi wax content.

Jenis Hidrokarbon	% massa
Wax Content	53,14
Asumsi Wax Content	30

Dan pada **Gambar 16** dan **Gambar 17** terlihat perbedaan antara wax content 53,14 % dan 30%. Dapat disimpulkan akibat dari molekul paraffin yang mulai berubah fasa menjadi solid, sifat likuiditas dari *fluida* tersebut mulai menurun karena suhu dari *fluida* tersebut yang terus menurun hingga berada dibawah nilai WAT, lalu kandungan solid dari wax pun akan semakin banyak terbentuk dan terkumpul. Semakin berat *fluida*, semakin besar kemungkinan bisa terbentuk wax pada aliran pipa.



Gambar 16. Grafik ketebalan wax, setelah asumsi wax content.



Gambar 17. Grafik ketebalan wax, setelah asumsi wax content.

KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan dapat disimpulkan berdasarkan tujuan yang telah dirancang dengan menggunakan OLGA Simulator, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, parameter yang berpengaruh terhadap adanya endapan wax pada sepanjang pipa platform WIDB-WIDP adalah temperatur yang menurun dibawah WAT 103,38°F. Dengan didukung dengan peningkatan ketebalan wax ketika nilai suhu fluida mencapai nilai suhu WAT. Serta adanya *back pressure* sepanjang aliran pipa pada sumur X yang menyebabkan wax terbentuk sebelum suhu fluida menyentuh nilai WAT. Dan komposisi dari wax content dapat mempengaruhi bentuk dan ketebalan dari wax pada aliran sumur X ini berdasarkan asumsi yang dibuat.
2. Panjang pipa *flowline* pada *platform* WIDB-WIDP sepanjang 6082,02 ft. Posisi awal mula terbentuknya endapan wax terdapat pada pipa *flowline* yang memiliki geometri yang berbeda. Akibat perbedaan geometri inilah yang menyebabkan adanya akumulasi dari wax. Awal mula akumulasi wax ini terdapat pada titik pipa *flowline* 1501 ft. Terlihat juga adanya perubahan geometri pipa sepanjang *platform* WIDB-WIDP, yang menyebabkan terjadinya gesekan antara dinding pipa dan fluida yang dapat mengakibatkan terakumulasinya pengendapan wax.

DAFTAR PUSTAKA

- Birmingham, B. (1977). *Deposition of Paraffin Wax from Kerosene in Cooled Heat Exchanger Tubes*, (Vol. 55), (pp. 381-385). The Canadian Journal of Chemical Engineering
- Elhadi, M. A. Y., & Siddig, M. H. (2010). *The Effect of Thermal and Chemical Treatments on The Restart of The GNPOC Crude-Oil Pipeline (Waxy Crude)*. Sudan Engineering Society Journal, 56(55), 9–16.
- F. Fleming; J. R. Montesanti, R. Camargo, M. Gonçaves. (2013). *Lessons Learned on Wax Issues from Deep Offshore Brazil*. Brazil. Offshore Technology Conference
- Ganeeva, Y. M., Yusupova, T. N., & Romanov, G. V. (2016). *Waxes in asphaltenes of crude oils and wax deposits*. Petroleum Science, 13(4), 737–745.
- Kang, P. S., Lee, D. G., Lim, J. S. (2014). *Status of Wax Mitigation Technologies in Offshore Oil Production*. Presented at The Twenty-fourth International Ocean and Polar Engineering Conference, Busan, Korea. 15 – 20.
- Prasetyo, A., & Sudono, S. (2020). *Klasifikasi dan identifikasi material terhadap pengendapan wax pada sumur minyak*. *Journal of Applied Science (Japps)*, 2(1), 031–049. <https://doi.org/10.36870/japps.v2i1.160>
- Priyandoyo, H., Agus, A., & D. Andrico. (2007). *Upaya Peningkatan Produksi Minyak di Sumur Produksi Parafinik Unit Bisnis EP Lirik – Riau Menggunakan Inovasi Solvent dan Surfactant*. Proceeding Simposium Nasional IATMI at UPN Veteran, Yogyakarta.
- Rashidi, M., College, A., Mombekov, B., Petronas, U. T., & Marhamati, M. (2016). *A Study of a Novel Inter Pipe Coating Material for Paraffin Wax Deposition Control and Comparison of the Results with Current Mitigation Technique*.
- Tran, N. C., Tran, N. H., Ly, D. V., & Tran, N. T. (2015). *A Simulating Application of Well Production Allocation to Optimize Wax Formation and Pigging Frequency in Subsea Pipeline for a Gas-Condensate Field*. Society of Petroleum Engineers. <https://doi.org/doi:10.2118/176333-MS>

Wei, F., Acosta, E., Gawas, K., & Krishnamurthy, P. (2015). Targeting High

Molecular Weight Wax. SPE Journal, (April), 13–15

White, M., Pierce, K., & Acharya, T. (2018). *A review of wax formation/mitigation technologies in the petroleum industry*. SPE Production and Operations, 33(3), 476–485.
<https://doi.org/10.2118/189447-pa>

