

## Kajian Numerik Wax Deposition pada Crude Oil Pipeline dari Central Processing Area (CPA) ke Palang Station di JOB P-PEJ

M. Dzikri Sidiq M.<sup>1\*</sup>, Mardi Santoso<sup>2</sup>, Burniadi Moballa<sup>3</sup>

Program studi D-IV Teknik Perpipaan, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>1\*</sup>

Program studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>2</sup>

Program studi D-III Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia<sup>3</sup>

E-mail: [dzikri.sidiq@gmail.com](mailto:dzikri.sidiq@gmail.com)<sup>1\*</sup>; [mardisantoso@ppns.ac.id](mailto:mardisantoso@ppns.ac.id)<sup>2\*</sup>; [burniadi@gmail.com](mailto:burniadi@gmail.com)<sup>3\*</sup>;

---

**Abstract** – In the process of transporting crude oil using a pipeline, there are often troubling problems in this process. One of the most common problems is the reduced internal pipe diameter and the blockage the flow of crude oil due to wax deposition. Blockage flow of crude oil can reduce flow rate, equipment damage, and discontinue the production activities. Basically the wax will remain dissolved in crude oil because of thermal equilibrium. When thermmal equilibrium begins to disrupt, such as the temperature or pressure changes, the paraffins and other elements with high molecular weight will crystallize and begin to settles. In the case of the CPA-Palang Station pipeline system occurs the wax crystallization resulting wax deposition. The occurrence of wax deposition can be proved from the sediment carried by the pig during the pigging process. Therefore in this final project will be mapping the distribution of temperature, velocity and pressure along the pipeline. And after that can know the characteristics of wax deposition that occur along the pipeline of the modeling results done.

**Keyword:** pipeline, crude oil, wax, wax deposition, pigging

---

### Nomenclature

$Q_{bypass}$	= Flow rate bypass
$C_d$	= Discharge coefficient (0.7)
$\Delta P$	= Tekanan diferensial pig
(kg/m.s <sup>2</sup> )	
$\rho$	= Massa jenis minyak (kg/m <sup>3</sup> )
$A$	= Luasan bypass (m <sup>2</sup> )

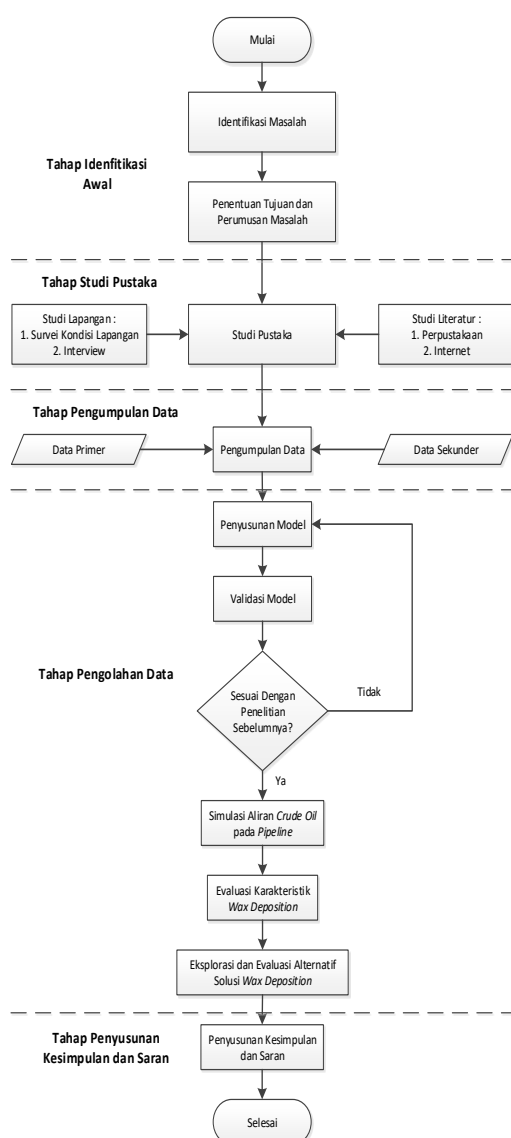
### 1. PENDAHULUAN

JOB Pertamina – Petrochina East Java (JOB P-PEJ) adalah salah satu perusahaan jointventure antara PT. PERTAMINA (Persero) dengan PetroChina East Java Ltd., yang bergerak dibidang eksploitasi dan produksi minyak dan gas di Indonesia. Proses eksploitasi yang dilakukan oleh JOB P-PEJ dimulai dari keluarnya crude oil dari setiap sumur migas. Lalu crude oil akan diolah pada sistem pengolahan yang di pusatkan di Central Processing Area (CPA) di Lapangan Mudi. Dan hasil pengolahan tersebut crude oil akan dikirim melalui pipeline menuju kapal Floating Storage & Offloading (FSO). Pada proses pengiriman crude oil menuju kapal FSO disalurkan menggunakan pipeline dengan diameter 10” dari Central Processing Area (CPA) ke Palang Station. Pada proses transportasi crude oil menggunakan pipeline seringkali terjadi masalah yang mengganggu dalam proses

tersebut. Salah satu masalah yang sering kali terjadi adalah berkurangnya diameter internal pipa dan tersumbatnya aliran crude oil akibat pengendapan wax. Tersumbatnya aliran crude oil dapat mengurangi laju aliran, equipment breakdowns, hingga dapat menghentikan kegiatan produksi.

Pada kasus yang terjadi di sistem pipeline CPA-Palang Station terjadi pengkristalan wax yang mengakibatkan wax deposition. Terjadinya wax deposition tersebut dapat dibuktikan dari adanya endapan yang terbawa oleh pig saat proses pigging yang rutin dilakukan. Maka dari itu pada pengerjaan tugas akhir ini akan dilakukan pemodelan wax deposition yang terjadi sepanjang pipeline. Dan setelah itu dapat diketahui ketebalan wax yang terjadi sepanjang pipeline tersebut dari hasil pemodelan yang dilakukan.

## 2. METODOLOGI



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Wax (lilin) dapat didefinisikan sebagai komponen minyak mentah yang tetap terlarut sampai terjadi perubahan keseimbangannya, biasanya oleh perubahan parameter suhu dan tekanan. Pada dasarnya wax akan mengendap saat suhu mengalami penurunan sehingga dapat menyebabkan kegagalan selama proses produksi minyak, selama proses transportasi, atau selama penyimpanan. Karena dengan adanya *solid wax* tersebut dapat menyebabkan berkurangnya produksi yang dihasilkan, mengurangi diameter pipa, dan meningkatkan kebutuhan daya pompa, sehingga berdampak negatif pada biaya produksi di lapangan minyak dan gas bumi.

Kehilangan panas sering disebut sebagai faktor dominan dalam terjadinya *wax fouling*, karena wax akan mulai mengendap pada saat suhu turun di bawah *cloud point* (*wax appearance temperature*, WAT). Namun, faktor

lain seperti komposisi *crude oil*, rasio minyak-gas, rasio minyak-air, tekanan, laju aliran, dan kekasaran permukaan pipa juga dapat berkontribusi pada terjadinya *wax fouling*. *Wax appearance temperature* adalah suhu yang sedikit lebih rendah (biasanya 1-5°C lebih rendah) daripada *cloud point* dan merupakan titik di mana sebagian besar wax akan mengkristal.

Umumnya, wax adalah alkana yang relatif tinggi berat molekulnya > C18, yang mengendap sebagai padatan karena terjadi perubahan kesetimbangan termodinamika, sehingga suhu turun di bawah *cloud point*. Jenis unsur kimia nonpolar, seperti alkana sangat mudah berikatan satu sama lain yang disebabkan kekuatan antarmolekul *Van der Waal*, yang efektif terjadi saat jarak yang sangat kecil yang menghasilkan polarisasi induksi elektron di dalam molekul. Kekuatan *Van der Waal* akan meningkat pada saat peningkatan ukuran molekul, namun faktor lain juga menghasilkan efek lain pada *melting point*. Alkana yang bercabang lebih berbentuk *spherical* daripada alkana rantai lurus dan akibatnya memiliki luas permukaan yang lebih kecil, dan akibatnya *melting point*-nya lebih rendah.

Terbentuknya kristal wax melalui (1) *nucleation* dan (2) *growth*, pada urutan tersebut namun juga dapat terjadi jika *nucleation* dan *growth* terjadi bersamaan dalam sistem minyak, dengan salah satu mendominasi pada waktu tertentu. Seiring ketika mendekati batas kelarutan, molekul wax membentuk gugus yang membesar dan menjadi stabil saat mencapai ukuran kritis tertentu tergantung pada kondisi yang berlaku. Namun gugus tersebut akan kembali larut saat ukuran kritis tidak tercapai dan menjadi tidak stabil. Bagian yang mencapai ukuran kritis akan memiliki peningkatan jumlah molekul, yang menyebabkan peningkatan ukuran kristal.

*Deposition of wax gel* dapat dijelaskan dengan lima tahap proses sebagai berikut: (1) *gelation of the waxy oil* atau pembentukan lapisan gel baru pada permukaan yang dingin, (2) *diffusion of waxy hydrocarbons* saat nilai *carbon numbers* lebih besar dari pada *critical carbon number* dari lapisan gel terhadap *crude oil*, (3) *internal diffusion* saat minyak terperangkap, (4) *precipitation of the waxy hydrocarbons* saat minyak terperangkap, dan (5) *counter diffusion of de-waxed oil*, hidrokarbon dengan *carbon number* lebih rendah dari *critical carbon number* lepas dari lapisan gel deposit. Tahap 3, 4, dan 5 diperkirakan menjadi penyebab atas peningkatan kandungan wax padat di *gel deposit*.

## 2.1 OLGA's Wax Deposition Matzain Model

*Matzain model* adalah model semi empiris yang menggabungkan mekanisme *wax reducing*, yang dikenal sebagai *shear stripping*. Selain difusi molekuler menggunakan *shear dispersion* untuk mensimulasikan *wax deposition*. Dalam model tersebut *shear dispersion* dianggap *minor importance* sehubungan dengan model RRR. Laju pembentukan *wax* dihitung dengan modifikasi empiris hukum *Fick* pada Persamaan 1:

$$\frac{d\delta}{dt} = \frac{\Pi_1}{1+\Pi_2} D_{wo} \left[ \frac{dc_w}{dT} \frac{dT}{dr} \right] \quad (1)$$

Dimana:

- $\delta$  = ketebalan lapisan *wax* yang mengendap pada dinding (m)
- $D_{wo}$  = koefisien difusi dihitung dengan korelasi *Wilke* dan *Chang*
- $C_w$  = konsentrasi dari *wax* pada larutan (weight %)
- $r$  = jarak radius pipa (m)
- $T$  = suhu fluida (°C)

Persamaan 1 adalah korelasi empiris yang digunakan untuk  $\Pi_1$ , yang memperhitungkan efek porositas pada laju pembentukan *wax* dan mekanisme penyempurnaan deposisi lainnya yang tidak dipertimbangkan oleh koefisien difusi.

$$\Pi_1 = \frac{C_1}{1-C_L/100} \quad (2)$$

Dimana:

- $C_1$  = 15
  - $C_L$  = jumlah minyak yang terperangkap pada lapisan *wax*, seperti pada Persamaan 3.
- $$C_L = 100 \left( 1 - \frac{N_{Re}^{0.15}}{8} \right) \quad (3)$$

Parameter dimensi  $N_{Re}$  adalah fungsi radius efektif dalam pipa:

$$N_{Re} = \frac{\rho_{oil} v_{oil} 2r_s}{\mu_{oil}} \quad (4)$$

Dimana:

- $N_{Re}$  = nilai *Reynolds number*
  - $v_{oil}$  = kecepatan minyak (m/s)
  - $\rho_{oil}$  = massa jenis minyak (kg/m<sup>3</sup>)
  - $r_s$  = jari-jari pipa bagian dalam saat ini (m)
  - $\mu_{oil}$  = viskositas minyak (Pa.s)
- $\Pi_2$  untuk menghitung efek batasan *wax* oleh *shear stripping* dan didefinisikan dalam Persamaan 5:

$$\Pi_2 = 1 + C_2 N_{SR}^{C_3} \quad (5)$$

Dimana:

- $C_2$  = 0,055
- $C_3$  = 1.4
- $N_{SR}$  = rezim aliran bergantung bilangan *Reynolds*, dihitung untuk setiap rezim seperti yang ditunjukkan di bawah ini:
- $N_{SR} = \frac{\rho_{oil} v_{oil} \delta}{\mu_{oil}}$  Satu fase dan *stratified wavy flow*
- $N_{SR} = \frac{\rho_{mix} v_{oil} \delta}{\mu_{oil}}$  *Bubble and slug flow*
- $N_{SR} = \frac{\sqrt{\rho_{mix} \rho_{oil} v_{oil} \delta}}{\mu_{oil}}$  *Annular flow*

Dimana:

- $N_{SR}$  = rezim aliran bergantung bilangan *Reynolds*
- $v_{oil}$  = kecepatan minyak (m/s)
- $\rho_{oil}$  = massa jenis minyak (kg/m<sup>3</sup>)
- $\rho_{mix}$  = massa jenis campuran fluida (kg/m<sup>3</sup>)
- $\delta$  = ketebalan lapisan *wax* yang mengendap pada dinding (m)
- $\mu_{oil}$  = viskositas minyak (Pa.s)

Ekspresi ini menunjukkan bahwa efek *shear stripping* telah dimodelkan sebagai faktor penting pada ketebalan lapisan *wax*, kondisi aliran dan sifat fluida yang mengalir. Gradien termal untuk *sub-layer* laminar pada pengendapan diberikan oleh Persamaan 6:

$$\frac{dT}{dr} = \frac{(T_b - T_{ws})}{k_{oil}} h_h \quad (6)$$

Dimana:

- $k_{oil}$  = *thermal conductivity* minyak (W/m-°C)
- $h_h$  = koefisien perpindahan panas didalam pipa (W/m<sup>2</sup>-°C)
- $T_b$  = suhu *bulk fluid* (°C)
- $T_{ws}$  = suhu permukaan endapan (°C)

## 2.2 Validasi

Validasi adalah proses penentuan sejauh mana pemodelan bisa mempresentasikan keakuratan dari sudut pandang dunia nyata menggunakan model yang dimaksud. Proses dari validasi terdiri dari dua kuantitas yaitu *input uncertainty* dan *physical model uncertainty*. *Input uncertainty* dapat diestimasi melalui analisis sensitivitas atau analisis ketidakpastian. Ini melibatkan beberapa uji coba model dengan nilai input data yang berbeda yang diambil sampel dari distribusi probabilitas berdasarkan nilai rata-rata dan variasi yang diharapkan. Variasi yang diamati dari jumlah target yang ditargetkan dapat digunakan untuk

menghasilkan batas atas dan bawah untuk kisaran yang diharapkan dan, karenanya, merupakan ukuran yang berguna dari *input uncertainty*. Dalam analisis sensitivitas, pengaruh variasi pada setiap item data masukan dipelajari secara individual. Dengan demikian, uji akhir model adalah dengan membandingkan antara *output* dan data eksperimennya.

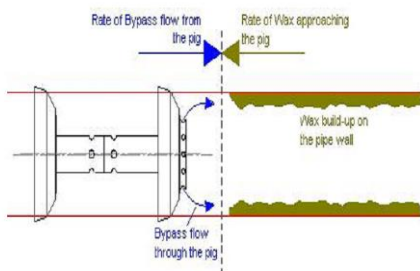
**2.3 Heat Transfer**

Energi panas ditransfer melalui salah satu atau kombinasi dari tiga cara. Bila gradien suhu terjadi pada media yang tidak bergerak (dapat berupa gas, cairan atau padatan) disebut konduksi. Jika perbedaan suhu terjadi antara permukaan objek dan fluida yang bergerak disebut konveksi. Dan jika perbedaan suhu antara permukaan padat memancarkan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik disebut radiasi.

**2.4 Pigging dengan Bypass Model**

*Pigging* dengan *bypass model* adalah salah satu metode *pigging* menggunakan jenis *pig* yang memiliki lubang *bypass*. Lubang *bypass* ini digunakan untuk mengalirkan aliran dari belakang *pig* ke depan *pig*, seperti pada Gambar 1. Penelitian yang dilakukan (O'Donoghue, 2004) memberikan persamaan aliran *bypass* pada *pig* sebagai berikut:

$$Q_{bypass} = C_d \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho}} A \tag{7}$$



Gambar 1. Penampang Mekanisme Pigging dengan Bypass Model (O'Donoghue, 2004)

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1 Tabel**

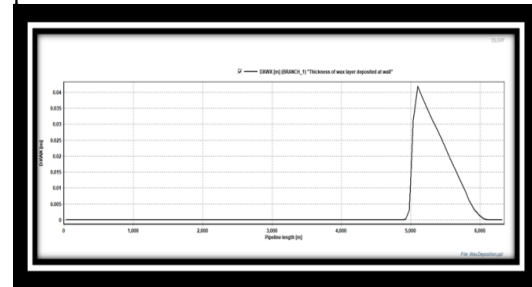
Tabel 3.1 Total Volume dan Massa dari Wax Deposit Sepanjang Pipeline

Running (Hari)	Total Volume Wax		Total Massa Wax
	(m3)	(liter)	(kg)
14	0.012839	12.8	11.6
28	0.02573	25.7	23.2
42	0.037383	37.4	33.6
56	0.048138	48.1	43.3

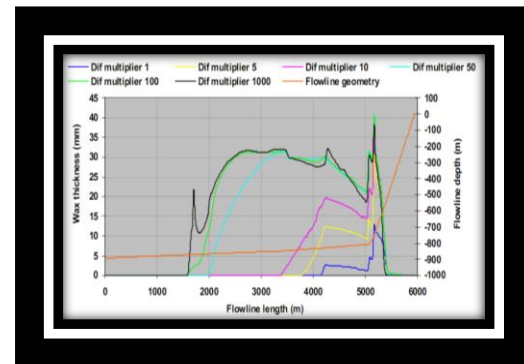
Sumber : Dokumen Penulis

**3.2 Hasil Pemodelan Penelitian Sebelumnya**

Setelah memasukan data lapangan dan variabel *wax deposition* dari penelitian yang dilakukan oleh (Noville dan Naveira, 2012). Didapatkan hasil pemodelan *wax deposition* yang dapat dilihat pada Gambar 2. Pemodelan dilakukan tanpa variasi pada nilai *diffusion coefficient multiplier*. Sedangkan *wax deposition profile* dari penelitian yang dilakukan oleh (Noville dan Naveira, 2012) dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Wax Deposition Profile Hasil Pemodelan

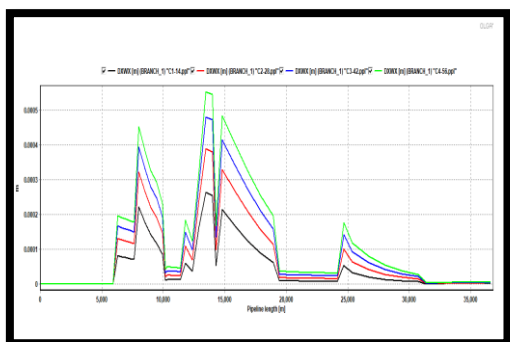


Gambar 3. Wax Deposition Profile Penelitian Sebelumnya

Pada Gambar 2 dan Gambar 3 dapat dilihat bahwa ketebalan *wax deposition* sebesar 40 mm dan terjadi pada kilometer ke-5 dari total panjang *pipeline*. Meskipun juga dapat dilihat bahwa grafik dari *wax deposition profile* hasil pemodelan dan *wax deposition profile* penelitian sebelumnya berbeda. Perbedaan tersebut dikarenakan perbedaan versi dari software yang digunakan dan terbatasnya data lapangan yang dimiliki.

**3.3 Hasil Pemodelan**

Setelah memasukan data lapangan yang ada pada *pipeline CPA-Palang Station* tanpa merubah variabel-variabel yang ada pada model *wax deposition*. Didapatkan hasil ketebalan dari *wax deposition* yang ditunjukkan pada dan Gambar 4.



Gambar 4. Ketebalan Wax Setiap Variasi Lama Pemodelan

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan antara lain sebagai berikut:

1. Suhu pada *inlet pipeline* adalah sebesar 65°C dengan viskositas sebesar 2,75 Pa.s. Suhu akan menurun hingga mencapai nilai *wax appearance temperature* (WAT) sebesar 52°C pada titik +5000 m dari *inlet*, kemudian suhu akan terus menurun hingga mencapai suhu 25°C pada *outlet*. Penurunan suhu tersebut akan mengakibatkan kenaikan viskositas fluida, sehingga pada *outlet* pipa didapatkan nilai viskositas sebesar 7,625 Pa.s. Sedangkan tekanan fluida pada *inlet* adalah sebesar 10,5 bara dan mengalami fluktuatif sepanjang *pipeline*. Nilai tekanan terbesar adalah 10,5 bara pada intel dan terendah 6,625 bara di titik -15000 m dari *inlet*, sedangkan pada *outlet* tekanannya sebesar 8,5 bara.
2. Dari pengolahan data hasil pemodelan didapatkan laju pengendapan wax sebesar  $1,8799 \times 10^{-5}$  m/day sehingga pada pemodelan selama 56 hari menghasilkan nilai volume dari wax sebesar 48,1 liter dengan berat 43,3 kg.
3. Penggunaan metode *pigging* dengan *bypass* model menghasilkan lama interval antar *pigging* yang dibutuhkan adalah 5,8 tahun. Sehingga laju pengendapan wax dapat dikurangi dengan menggunakan metode pembersihan secara mekanis yaitu dengan metode *pigging* dengan *bypass* model tersebut.

#### 5. UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini, melalui kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Mardi Santoso, ST., M.Sc.Eng selaku dosen pembimbing.

2. Bapak Burniadi Moballa, ST., M.sc selaku dosen pembimbing.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bai Yong. (2010). *Subsea Engineering Handbook*. Elsevier Inc, UK.
- [2] Duan, J. (2016). *Numerical Prediction of Wax Deposition in Oil-Gas Stratified Pipe Flow*. Elsevier Inc, UK.
- [3] Eva dan Widayiswara (2016). Alternatif Strategi Penanggulangan Masalah Waxy Parafin pada Tubing Sumur yang Memproduksi Minyak Parafinik. Forum Teknologi, Vol.2, No.1, Cepu.
- [4] Giacchetta, G. (2017). *Pipeline Wax Deposition Modeling: A Sensitivity Study on Two Commercial Software*. Elsevier Inc, UK.
- [5] Gong, J. (2011). *Wax Deposition in the Oil/Gas Two-Phase Flow for a Horizontal Pipe*. Elsevier Inc, UK.
- [6] Henry Liu. (2003). *Pipeline Engineering*. CRC Press LCC, Florida.
- [7] James G. Speight. (2015). *Fouling in Refineries*. Elsevier Inc, UK.
- [8] Kusuma, George E., ST. Msc.Eng., (2015). *Desain Perpipaan Thermal untuk Politeknik*. Jurusan Teknik Permesinan Kapal, PPNS, Surabaya
- [9] Noville, I. dan Naveira, L. (2012). *Comparison Between Real Field Data and the Results of Wax Deposition Simulation*. Elsevier Inc, UK.

**(HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN)**