



## Laju Pengendapan dan Konsentrasi Hidrokarbon di Sedimen Perairan Sungai Donan

Yanny Handayani

Balai Besar Pengujian Minyak Dan Gas Bumi LEMIGAS

Jl. Ciledug Raya Kav. 109 Cipulir, Kebayoran Lama Jakarta Selatan, 12230, Indonesia.

### ABSTRAK

#### Artikel Info:

Naskah Diterima:

12 Maret 2023

Diterima setelah

perbaikan:

24 Maret 2023

Disetujui terbit:

30 Mei 2023

Tujuan penelitian ini adalah menghitung sebaran hidrokarbon di permukaan perairan, ketebalan hidrokarbon di permukaan perairan dan laju pengendapan konsentrasi hidrokarbon di sedimen dengan pendekatan model hidrodinamika menggunakan Persamaan Stokes. Metode pelaksanaan dilakukan sampling in situ maupun ex situ pada tujuh stasiun sejak Mei sampai Juni 2010. Laju pengendapan hidrokarbon kecepatan 0,0054 m/detik, proses pengendapannya berkisar 15,43 menit dengan ketebalan rerata lapisan minyak 0,047 mikrometer, volume minyak yang tumpah di perairan sekitar 102 mililiter dengan jarak distribusi sebaran minyak di permukaan air 281,63 meter.

### ABSTRACT

#### Kata Kunci:

perairan

laju pengendapan

hidrokarbon

*The purpose of this study was to calculate the distribution of hydrocarbons on the surface of the water, the thickness of the hydrocarbons on the surface of the water and the deposition rate of the concentration of hydrocarbons in the sediments with a hydrodynamic modeling approach using the Stokes Equation. The method of implementation was carried out by in situ and ex situ sampling at seven stations from May to June 2010. The speed of hydrocarbon deposition was 0.0054 m/sec, the deposition process was around 15.43 minutes with an average oil layer thickness of 0.047 micrometers, the volume of oil spilled in water around 102 milliliters with a distribution distance of the distribution of oil on the water surface of 281.63 meters.*

© LPMGB - 2023

### PENDAHULUAN

Keberadaan industri kilang minyak Pertamina pada sekitar Sungai Donan berpotensi memberikan pengaruh langsung maupun tidak langsung khususnya terhadap kualitas air sungai. Kilang minyak berada di tepian sungai sehingga air limbah akan dibuang dan disalurkan ke perairan sungai di tepi kilang tersebut yaitu Sungai Donan (Lufty et al. 2016). Tumpahan minyak di perairan akan mengalami fotooksidasi, evaporasi, emulsifikasi, disolusi, adsorpsi, sedimentasi, dan degradasi. Proses itu terjadi secara alami yang dipengaruhi oleh

jumlah dan karakter minyak (Syafrizal et al. 2020). Karakteristik sifat minyak mentah mempunyai massa jenis lebih kecil dibandingkan dengan massa jenis air laut yang mengakibatkan minyak mentah terapung di permukaan laut. Sifat fisika air laut yaitu arus laut menyebabkan minyak mentah yang terapung di permukaan laut menyebar ke arah yang cenderung sama dengan arah arus. Minyak mentah yang tersebar di permukaan air memiliki ketebalan yang berbeda karena adanya proses pelapukan seperti penguapan dan perlapisan (Maya Eria Br Sinurat et al. 2016). Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan mengenai sebaran hidrokarbon dengan pendekatan permodelan hidrodinamika variasi pasang surut (Arintika et al. 2015) diprediksi ada proses laju sedimen hidrokarbon. Dalam perairan

Korespondensi:

E-mail: [yanny.handayani@esdm.go.id](mailto:yanny.handayani@esdm.go.id) (Yanny Handayani)

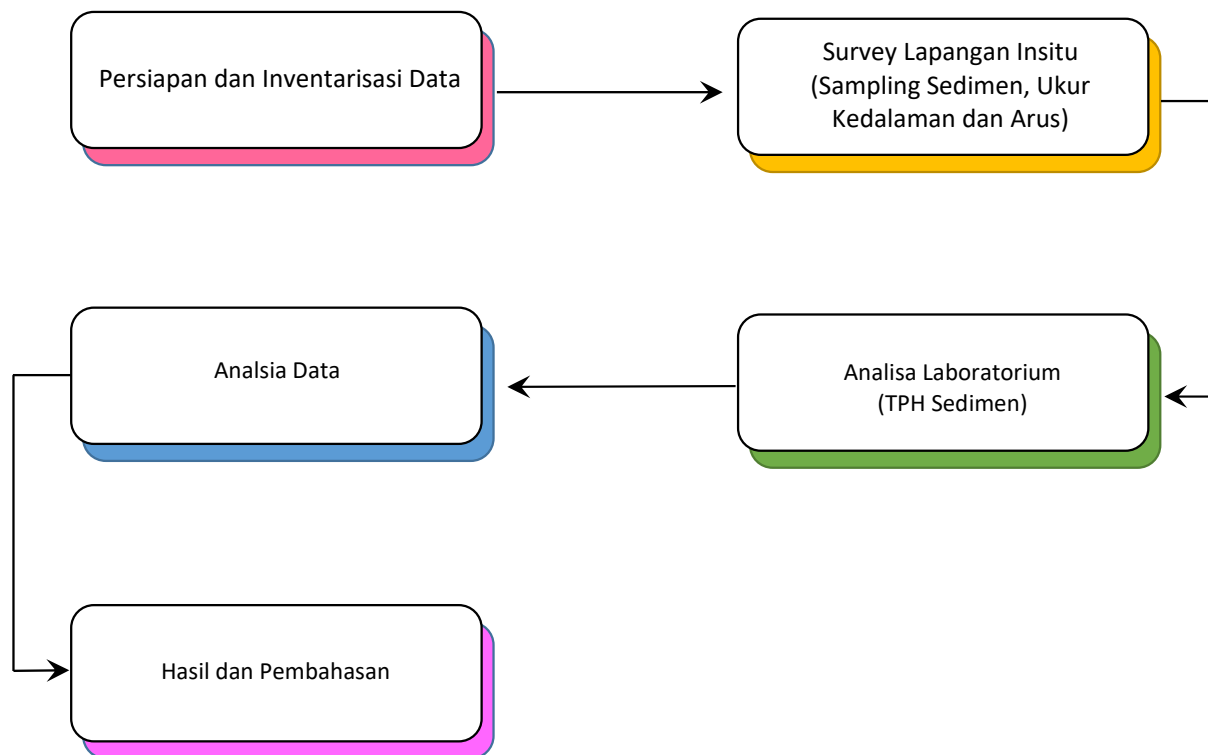
sungai, partikel – partikel padat seperti sedimen dan lumpur dapat mengendap di dasar sungai karena gaya gravitasi dan gaya resistensi yang diterima oleh partikel tersebut saat melalui aliran air. Persamaan Stokes dapat digunakan dalam perairan sungai memprediksi tingkat pengendapan partikel padat dalam perairan sungai berdasarkan ukuran partikel, viskositas air, dan kecepatan aliran (Juhantoro et al. 2012). Pengendapan partikel padat dalam perairan sungai juga dipengaruhi oleh faktor – faktor lain seperti konsentrasi zat terlarut, tingkat keasaman (pH), tingkat energi (kecepatan aliran), angin, suhu (Srijati et al. 2017).

### BAHAN DAN METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuantitatif (Arintika et al. 2015), teknik penelitian yang digunakan dengan melakukan survei *in situ* dan *ex situ*, sampel air dan sedimen di uji di laboratorium. Untuk mendapatkan data-data penelitian pada tujuh stasiun sejak Mei sampai Juni

2010 dengan memperhatikan kondisi pasang surut (DENHIDROS). Data-data tersebut diolah dan ditampilkan dalam bentuk gambar, grafik, ataupun tabel.

Untuk menghitung ketebalan minyak yang tersebar di perairan, dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan Stokes atau hukum Stokes, yang menggambarkan hubungan antara kecepatan sedimentasi partikel dengan ukuran, bentuk, dan densitas partikel tersebut dalam medium cair. Dalam hal ini, minyak yang terdispersi di permukaan perairan dianggap sebagai partikel dan rumus Stokes dapat digunakan untuk menghitung kecepatan sedimentasi partikel atau ketebalan minyak di permukaan perairan. Metode ini melibatkan pengambilan sampel air dari permukaan perairan yang terdampak oleh tumpahan minyak. Kemudian, sampel tersebut dianalisis di laboratorium untuk mengetahui jumlah minyak yang terkandung di dalamnya.



Gambar 1  
Diagram alur kegiatan

Laju Pengendapan dan Konsentrasi Hidrokarbon di Sedimen Perairan Sungai Donan  
(Yanny Handayani)

- Perhitungan ketebalan minyak dengan menggunakan rumus persamaan Stokes (Patrick Chassaing, 2010) sebagai berikut;

$$T = C / (\rho \times g) \dots \dots \dots (2)$$

T = ketebalan minyak (m)  
C = konsentrasi minyak di permukaan perairan (mg/l atau ppm)  
 $\rho$  = densitas minyak (kg/m<sup>3</sup>)  
g = percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

Densitas minyak dapat bervariasi tergantung pada jenis minyak yang tumpah. Sebagai contoh, densitas minyak mentah /crude oil, 32.6° API adalah 862 kg/m<sup>3</sup>

- Perhitungan volume minyak yang tumpah di perairan dengan menggunakan rumus ( Steven C. Chapra 1997);

$$V = A \times T \dots \dots \dots (3)$$

Dengan nilai luas permukaan perairan yang terkena tumpahan minyak (A).

$$A = \text{panjang} \times \text{lebar} \dots \dots \dots (4)$$

Dengan menggunakan metode ini, maka dapat dihitung ketebalan minyak yang tersebar di permukaan perairan yang terdampak oleh tumpahan minyak. Rumus ini didasarkan pada asumsi bahwa tumpahan minyak memiliki ketebalan yang seragam di seluruh luas permukaan perairan yang terkena tumpahan.

Tabel 1  
Stasiun sampling

Stasiun	Waktu (WIBB)	Lokasi	Posisi
1	9.05	Sebelum Pabrik Semen PT. HOLCIM	S : 07°40'37" E : 109°00'45"
2	10.17	Pertemuan 2 sungai (setelah PT. HOLCIM)	S : 07°41'10" E : 109°00'03"
3	11.07	Sebelum Pertamina	S : 07°41'25" E : 108°59'45"
4	12.28	Efluen Pertamina	S : 07°41'44" E : 108°59'31"
5	13.05	Setelah Efluen	S : 07°42'42" E : 108°59'35"
6	13.39	Sebelum Pelabuhan bongkar muat	S : 07°43'7" E : 108°59'47"
7	14.37	Pelabuhan	S : 07°43'57" E : 108°59'25"

- Persamaan Thomann and Mueller adalah persamaan empiris yang digunakan untuk memprediksi jarak distribusi sebaran minyak di permukaan air (Robert V. Thomann & John A. Mueller 1987). Persamaan ini dinyatakan sebagai;

$$L = 1.34 \times Q^{(0.574)} \times V^{(-0.309)} \times W^{(-0.143)} \dots (1)$$

dimana:

L : jarak distribusi sebaran minyak di permukaan air (m)  
Q : debit air (m<sup>3</sup>/detik)  
V : kecepatan aliran air (m/detik)  
W: lebar sungai (m)

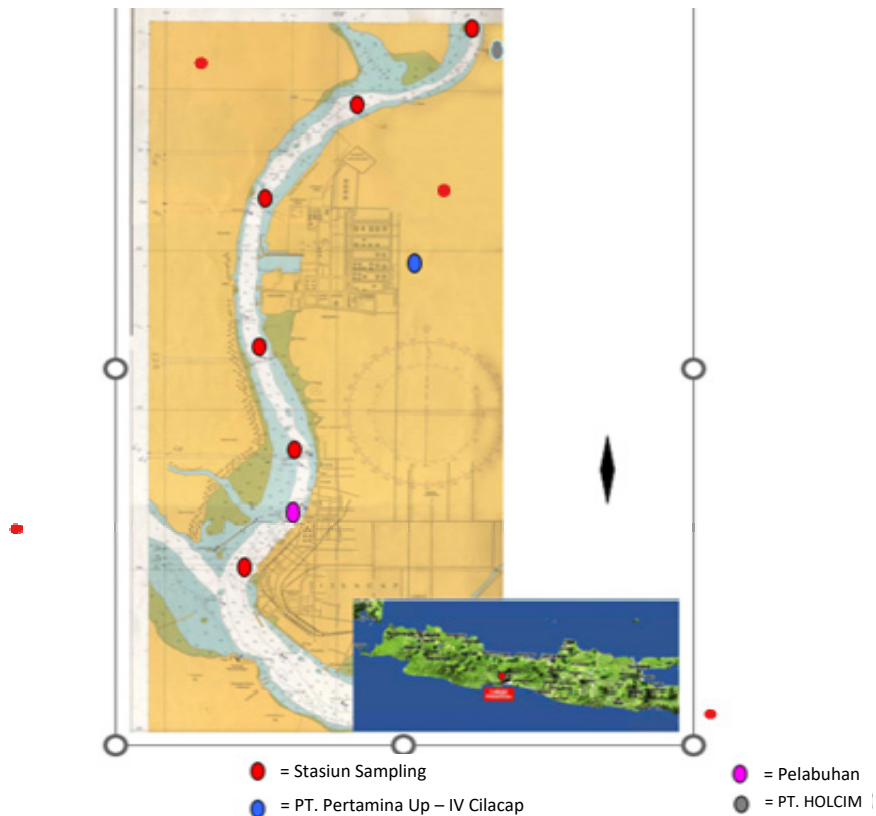
- Laju sedimentasi dengan Persamaan Stokes (Patrick Chassaing, 2010) sebagaimana berikut:

$$V = \frac{d^2 (\rho_s - \rho_f) g}{18\eta} \dots \dots \dots (4)$$

Dimana :

V = laju endap (cm/det)  
d = diameter partikel minyak ( 70 μm = 0,07 cm )  
 $\rho_f$  = densitas fluida (biasanya 1,03 g/cm<sup>3</sup>)  
 $\rho_s$  =densitas partikel (biasanya 1,230 g/cm<sup>3</sup>) (SI metric.co.uk Specific Gravity of Liquid.  
 $\eta$  = viskositas fluida (=0,014 poise pada t = 10 °C, dan 1,0.10<sup>-3</sup> poise pada t = 20°C)  
g = gravitasi (= 980 cm.det<sup>-2</sup>)

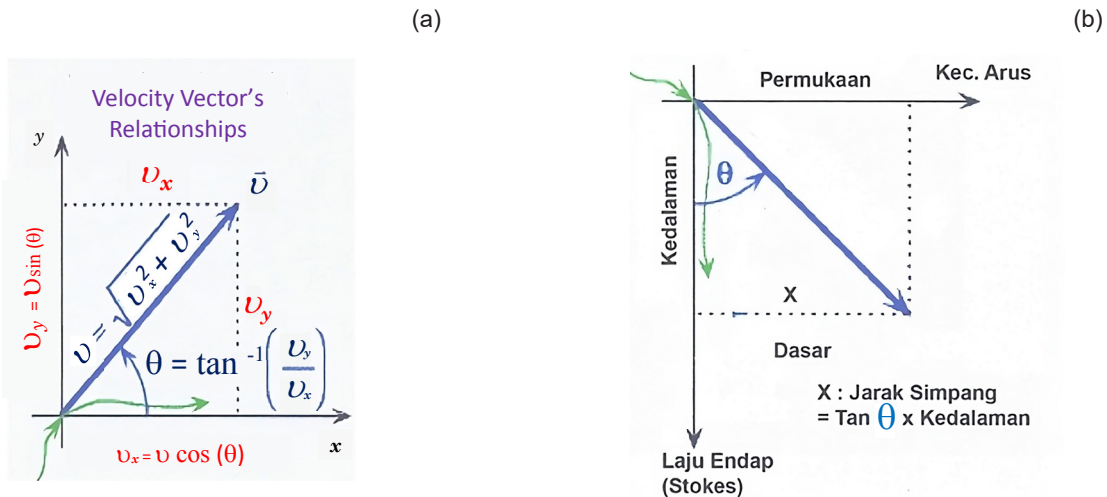
Peta Lokasi survey sebagai berikut:



Gambar 2  
Peta lokasi Sampling sungai Donan

Tabel 2  
Karateristik fisik perairan sungai Donan

Stasiun	Kedalaman	Lebar Sungai L (m)	Luas Penampang A (m <sup>2</sup> )	Kec.Arurus m/detik		Debit (Q) m <sup>3</sup> /detik	
	H (m)			Mei	Juni	Mei	Juni
1	4,3	375	1575	0,26	0,14	336,8	180,13
2	5,1	420	2142	0,32	0,11	669,5	225,12
3	2,2	420	924	0,28	0,14	712,8	356,40
4	7,2	330	2376	0,3	0,14	1032,8	481,97
5	2,9	290	841	0,28	0,17	1086,7	659,78
6	3,1	500	1567	0,25	0,17	1189,4	808,79
7	10,2	840	5124	0,3	0,17	1462,2	828,58



Gambar 3  
Vektor kecepatan

### HASIL DAN DISKUSI

Konsentrasi Hidrokarbon air pada bulan Mei berada pada Stasiun 3 (sebelum outlet Pertamina) sebesar 0,52 mg/l. Bulan Juni Hidrokarbon pada Stasiun 3 sebesar 0,29 mg/l, memperlihatkan adanya sebaran minyak mentah di permukaan. Kedalaman sungai dilakukan pengukuran pada beberapa titik yang tersebar di sepanjang sungai menggunakan alat ukur pita pengukur kedalaman sungai. Setelah pengukuran selesai dilakukan, kedalaman pada tiap titik pengukuran dijumlahkan dan kemudian dibagi dengan jumlah titik pengukuran. Dengan demikian didapatkan rata-rata kedalaman Sungai Donan rerata 5 m. Sedangkan jarak antara Stasiun 1 (hulu) sampai Stasiun 7 (hilir) sekitar 7,95 km.

- Dengan konsentrasi minyak di perairan rata-rata di Bulan Mei dan Juni sebesar 0,405 mg/L (Stasiun 3) dan percepatan gravitasi bumi sebesar 9,81 m/s<sup>2</sup>, maka perhitungan ketebalan lapisan minyak adalah;

$$T = C / (\rho \times g)$$

$$= 0,405 \text{ mg/L} / (862 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2)$$

$$= 4,7 \times 10^{-8} \text{ meter (0,047 mikrometer).}$$

Ketebalan minyak yang dihasilkan dari konsentrasi minyak sebesar 0,405 mg/L dengan densitas minyak sebesar 862 kg/m<sup>3</sup> adalah sekitar 0,047 mikrometer.

$$\text{Luas permukaan perairan Sungai Donan (A)}$$

$$= \text{panjang sungai} \times \text{lebar sungai (rata-rata)}$$

$$= 4,8 \text{ km} \times 0,476 \text{ km}$$

$$= 2.179,2 \text{ m}^2 \text{ (dari Stasiun 3 sampai Stasiun 7)}$$

- Menghitung volume minyak yang tumpah di perairan;

$$V = A \times T$$

$$V = 2.179,2 \text{ m}^2 \times 4,7 \times 10^{-8} \text{ m}$$

$$V = 0,000102 \text{ m}^3$$

Volume minyak yang tumpah dari mulai Stasiun 3 sampai Stasiun 7 adalah sekitar 0,000102 meter kubik atau sekitar 102 mililiter.

- Jarak distribusi sebaran minyak di permukaan air adalah;

$$L = 1,34 \times (534)^{0,574} \times (0,21)^{-0,309} \times (2,2)^{-0,143}$$

$$L = 1,34 \times 156,67 \times 2,478 \times 0,590 \text{ L}$$

$$= 281,63 \text{ meter}$$

Konsentrasi hidrokarbon tinggi pada sedimen bulan Mei berada pada Stasiun 7 sebesar 11.520 mg/kg, Bulan Juni pada Stasiun 3 yaitu sebesar 5100 mg/kg.

- Perhitungan Laju endap hidrokarbon sedimen Persamaan Stokes sebagai berikut :

$$v = \frac{(0,007 \text{ cm})^2 \cdot (1,230 \text{ g/cm}^3 - 1,03 \text{ g/cm}^3) \cdot 980 \text{ cm/detik}^2}{18,10 \cdot 10^{-3}}$$

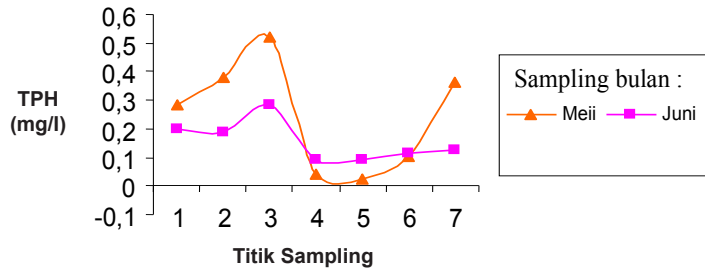
$$= 0,54 \text{ cm/detik}$$

Kedalaman sungai rerata 5 m, atau kedalaman sungai 500 cm.

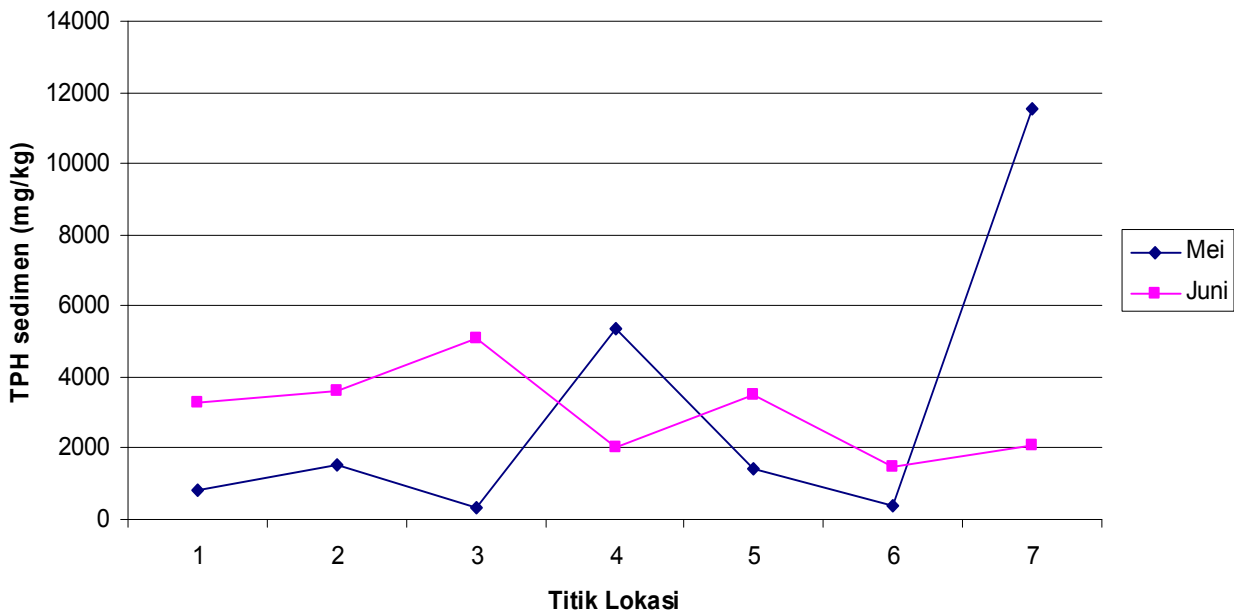
$$\frac{500 \text{ cm}}{0,54 \text{ cm/detik}} = 925,926 \text{ detik/60} = 15,43 \text{ menit}$$

Laju pengendapan hidrokarbon ke sedimen dengan kecepatan arus 0,0054 m/detik, terjadi pengendapan pada durasi waktu sekitar 15,43 menit. Menghitung laju sedimentasi berdasarkan vektor

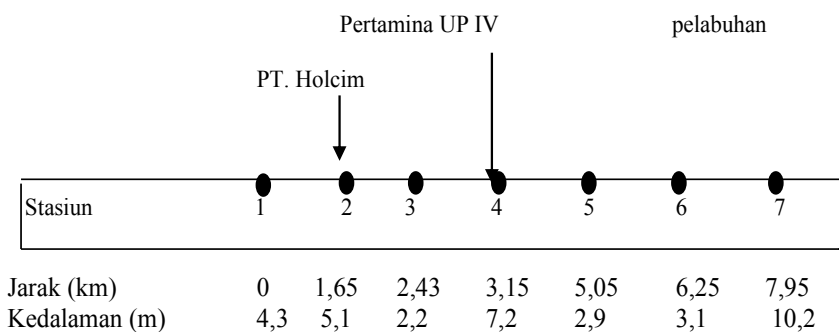
kecepatan dimana antara kecepatan arus dengan kecepatan laju endap dengan Persamaan Stokes, maka sudut kelandaiannya terdapat pada Tabel 3 ( bulan Mei ) dan 4 ( bulan Juni ).



Gambar 4  
Konsentrasi hidrokarbon di perairan sungai donan bulan Mei – Juni 2010



Gambar 5  
Konsentrasi hidrokarbon di Sedimen



Gambar 6  
Jarak tiap stasiun lokasi

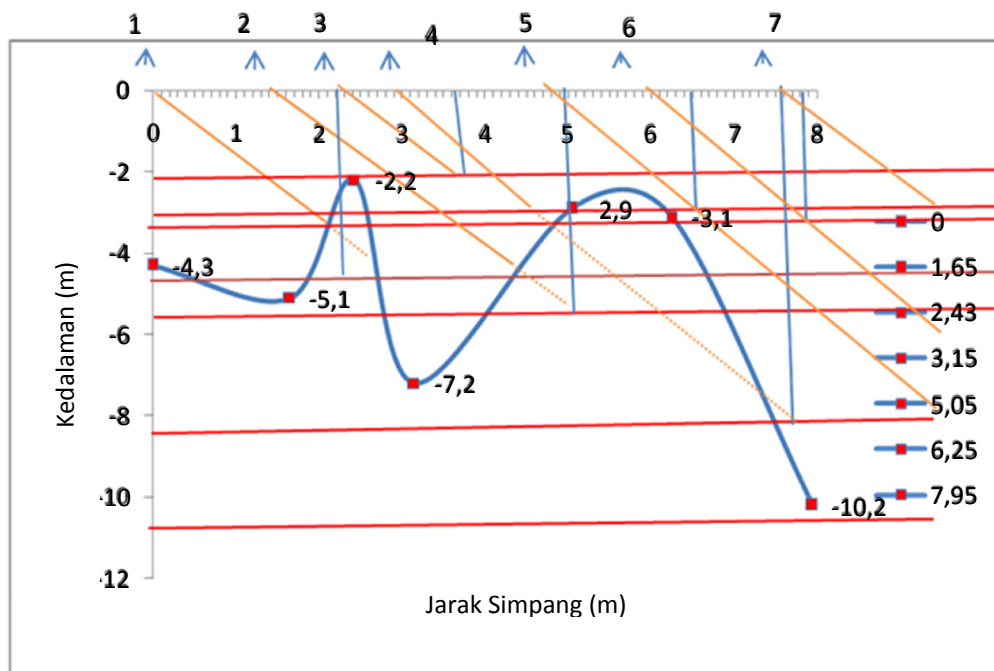
Pada Stasiun 2 dan Stasiun 4 dengan kondisi dasar sungai tidak merata, Hidrokarbon terakumulasi dipengaruhi arus pasang surut sebagai salah satu faktor yang menyebabkan konsentrasinya tinggi.

Laju sedimentasi hidrokarbon akibat tumpahan minyak di perairan dapat memiliki dampak yang signifikan pada biota laut. Beberapa dampak tersebut meliputi:

- Kerusakan Hidrokarbon Terlarut: Sebagian hidrokarbon dalam tumpahan minyak dapat larut dalam air dan terbawa oleh arus air, menyebabkan kontaminasi hidrokarbon pada lingkungan hidup biota laut. Ini dapat meng-

ganggu sistem pernapasan, fisiologi, dan perkembangan biota laut.

- Efek Ekosistem dan Rantai Makanan: Dampak sedimentasi hidrokarbon juga dapat terjadi pada tingkat ekosistem dan rantai makanan. Hidrokarbon dapat mencemari plankton, fitoplankton, dan zooplankton, yang merupakan dasar rantai makanan di perairan. Hal ini dapat mengganggu keseimbangan ekosistem dan menyebabkan efek negatif pada organisme yang bergantung pada rantai makanan tersebut, termasuk ikan, burung laut, dan mamalia laut.



Gambar 7

Contoh Jarak simpang Laju Pengendapan Hidrokarbon di Sedimen Pada Bulan Mei 2010

Untuk mengatasi dampak ini dan menjaga kesehatan biota laut, tindakan yang harus dilakukan meliputi:

- Pemantauan Lingkungan: Pemantauan rutin terhadap kualitas air dan biota laut perlu dilakukan untuk mengidentifikasi dampak hidrokarbon dan mengambil tindakan yang diperlukan.
- Pengembangan Metode Penanganan: Perlu dikembangkan metode penanganan yang efektif untuk mengurangi sedimentasi hidrokarbon dan meminimalkan dampaknya terhadap biota laut. Penggunaan teknologi dan

teknik inovatif untuk mengatasi tumpahan minyak dan menghitung laju pengendapan sedimen dengan melibatkan berbagai disiplin ilmu seperti geologi, oceanografi, dan lingkungan untuk memahami proses pengendapan hidrokarbon, memantau tingkat endapan, dan mengevaluasi dampak lingkungan.

- Kebijakan Perlindungan Lingkungan: Keputusan Menteri Negara lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut. Dengan mengambil tindakan yang tepat, diharapkan dapat meminimalkan dampak sedimentasi hidrokarbon.

Tabel 3  
Perhitungan jarak simpang laju hidrokarbon bulan Mei 2010

Kecepatan Stokes (Vst) m/dt	Kecepatan Arus (Va) m/dt	Kecepatan endap $\sqrt{vst^2 + va^2}$ m/dt	Slope ( $\theta$ ) = $\tan^{-1}$ (Va/Vst)	Jarak simpang (m) $x = \tan \theta \times dept$
0,0054	0,26	0,260056071	0,608351901	2,994814581
0,0054	0,32	0,320045559	-2,174701058	3,551989386
0,0054	0,28	0,280052067	-0,015574327	1,532230716
0,0054	0,3	0,300048596	-0,651863493	5,014573251
0,0054	0,28	0,280052067	-0,015574327	2,019758671
0,0054	0,25	0,250058313	-0,918979893	2,159052372
0,0054	0,3	0,300048596	-0,651863493	7,103978773

Tabel 4  
Perhitungan jarak simpang laju endap hidrokarbon bulan Juni 2010

Kecepatan Stokes (Vst) m/dt	Kecepatan arus (Va) m/dt	Slope ( $\theta$ ) = $\tan^{-1}$ (Va/Vst)	kecepatan endap (m/dt) $\sqrt{vst^2 + va^2}$	Jarak simpang (m) $x = \tan \theta \times depth$
0,0054	0,14	0,984546946	0,140104104	4,233551867
0,0054	0,11	0,050023541	0,110132466	0,255120059
0,0054	0,14	0,984546946	0,140104104	2,166003281
0,0054	0,14	0,984546946	0,140104104	7,08873801
0,0054	0,17	15,23252131	0,170085743	44,17431181
0,0054	0,17	15,23252131	0,170085743	47,22081607
0,0054	0,17	15,23252131	0,170085743	155,3717174

## KESIMPULAN DAN SARAN

- Perhitungan laju sedimentasi hidrokarbon persamaan Stokes, dengan kecepatan arus 0,0054 m/detik, terjadi pengendapan pada durasi waktu 15,43 menit. Faktor yang mempengaruhi sedimentasi diantaranya yaitu debit sungai, pasang surut, dan arus laut.
- Perhitungan ketebalan lapisan minyak di perairan Sungai Donan adalah 0,047 mikrometer. Volume minyak yang tumpah 102 mililiter, Jarak distribusi sebaran minyak di perairan sungai 281,63 meter.
- Penelitian ini dapat memberikan informasi tentang seberapa cepat hidrokarbon terendap di dasar perairan, memberikan pemahaman tentang tingkat akumulasi konsentrasi hidrokarbon dalam sedimen perairan tersebut dan potensi dampaknya terhadap lingkungan dan biota perairan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT. Pertamina *Refinery Unit IV*, Cilacap - Jawa Tengah, yang mendukung penelitian ini. Selanjutnya terima kasih kepada Bapak Ir. Rida Mulyana selaku Kepala Pusat Penelitian dan Pengembangan Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS" (2010), Bapak Drs. Abdul Haris, M.Si selaku KP3 Teknologi Proses, Ketua Kelompok, Kepala Laboratorium serta teman teman di Analitik dan Kimia Terapan di Bidang Proses/DPMP, yang telah mendukung dalam pelaksanaan analisa di Laboratorium dan juga terima kasih kepada Bapak Irwandi Bachtar yang telah membantu penelitian ini.



## DAFTAR ISTILAH/SINGKATAN

Simbol	Definisi	Satuan
TPH	Total Petroleum Hidrokarbon	mg/L
Ppm	Part per Million atau Bagian per Sejuta Bagian	mg/Kg
$\mu\text{m}$	Mikrometer	
Driling	Aktifitas Pemboran	
Holding Basin	Pengolahan Buangan untuk Menahan agar Minyak tidak terbawa ke badan air Penerima	
DISHIDROSAL	Dinas Hidro-Oceanografi Angkatan Laut	
Viskositas Fluida	Sebuah Tingkatan Kepekatan Fluida Zat yang dapat Mengalir yang mempunyai Partikel Yang mudah bergerak dan berubah bentuk tanpa Pemisahan Massa dan dapat dengan mudah mengikuti bentuk ruang	
Effluent	Limbah cair, gas, atau uap yang dihasilkan oleh proses industry yang dapat mencemati lingkungan jika tidak diolah dengan baik sebelumnya	

## KEPUSTAKAAN

- Muhammad Fuad, Dwi Endah Rachmawati, Leni Herlina, D. I. S. dan R. I. A., & Balai Besar Pengujian Minyak dan Gas Bumi LEMIGAS.** (2022). Pengembangan Metode Identifikasi Karakteristik Minyak Berat Hasil Ekstraksi Oil Sand Iliran High Dengan Formula Perhitungan Berdasarkan Komposisi Elementer. *Lembaran Publikasi Minyak Dan Gas Bumi*, 56(2), 99–109.
- Syafrizal, Rahmaniar, R., Partono, T., Zulkiifiani, Kristiawan, O., Ardhyarini, N., Handayani, Y., & Rofiqoh.** (2020). Biodegradasi Senyawa Hidrokarbon Minyak Bumi Menggunakan Aktifitas Konsorsium Sedimen Laut Dalam. In *Lembaran Publikasi Minyak dan Gas Bumi* (Vol. 54, Issue 2, pp. 81–91).
- Amri, F. D., Suryono, C. A., & Setyati, W. A.** (2019). Korelasi Total Kandungan Hidrokarbon pada Air dan Sedimen di Perairan Sungai Donan, Segara Anakan Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. *Journal of Marine Research*, 8(4), 361–366. <https://doi.org/10.14710/jmr.v8i4.24700>
- Juhantoro, N., Ariana, I. M., & Sanur, S.** (2012). Penentuan Properties Bahan Bakar Batubara Cair untuk Bahan Bakar Marine Diesel Engine. *Jurnal Teknik ITS*, 1(1), 271–275.
- Permadi, L. N., & Widyastuti, M.** (2015). Studi Kualitas Air di Sungai Donan Sekitar Area Pembuangan Limbah Industri Pertamina RU IV Cilacap. *Bumi Indonesia*, 5(December), 118–138.
- Romimohtarto.** (1996). *Status Pencemaran Laut di Indonesia dan Teknik Pemantauannya*. 1–189.
- Srijati, S., Rochaddi, B., & Widada, S.** (2017). Analisis Laju Sedimentasi Di Perairan Muara Sungai Waridin Kabupaten Kendal. *Jurnal OS-EANOGRAFI*, 6(1), 246–253.
- Sulistiyono.** (2013). Dampak Tumpahan Minyak (Oil Spill) di Perairan Laut Pada Kegiatan Industri Migas dan Metode Penanggulangannya. *Forum Teknologi*, 3(1), 49–57. [http://pusdiklat-migas.esdm.go.id/file/t7-\\_Dampak\\_Tumpahan\\_---\\_Sulistiyono.pdf](http://pusdiklat-migas.esdm.go.id/file/t7-_Dampak_Tumpahan_---_Sulistiyono.pdf)
- Wulandari, I., Yogaswara, D., Khozanah, K., Edward, E., Rositasari, R., & Falahudin, D.** (2019). Pengukuran Total Petroleum Hidrokarbon (TPH) Melalui Pendekatan Kadar Minyak-Lemak dalam Sedimen di Perairan Delta Cimanuk, Jawa Barat. *Oceanologi Dan Limnologi Di Indonesia*, 4(2), 123. <https://doi.org/10.14203/oldi.2019.v4i2.272>
- Mardiah., Hermana, J., & Hasan, I.** (2003). Simulasi Sebaran Tumpahan Minyak Di Perairan Dumai , Pt Caltex Pacific Indonesia Dispersion Simulation of Oilspills in Dumai Waters , Caltex Pacific Indonesia. *Jurnal Purifikasi*, 4(5), 49–54.
- Arintika Widhayanti., Aris Ismanto., Bambang Yulianto.** (2015). Sebaran Tumpahan Minyak Dengan Pendekatan Model Hidrodinamika Dan *Spill Analysis* di Perairan Cilacap, Jawa Tengah, *Jurnal Oseanografi. Volume 4, Nomor 4, Tahun 2015, Halaman 641 – 650*.
- Maya Eria Br Sinurat., Aris Ismanto., Hariyadi** (2016). Analisis Pola Sebaran Tumpahan Minyak Mentah (Crude Oil) Dengan Pendekatan Model Hidrodinamika Dan *Spill Analysis* Di Perairan Baloangan, Indramayu, Jawa Barat, *Jurnal Oseanografi*.

*Volume 5, Nomor 2, Tahun 2016, Halaman 218 – 226.*

**Najwa Tiara Maharani., Agus Setiawan., M. Arif Zainul Fuad (2022).** Pemodelan Tumpahan Minyak (Oill Spill) Pada Perairan Kepulauan Riau Menggunakan Perangkat Lunak General NOAA Oil Modelling Environment (GNOME).

Jurnal Ilmu Kelautan Kepulauan, 5 (1) ; 571-584, JUNI , 2022.

**Handal Setyo Ibisono.** Viskositas, hal. 4-5 VISKOSITAS - addhandal1 | PDF Online | AnyFlip.

**DISHIDROSAL,** 2010. “*Daftar Pasang Surut Kepulauan Indonesia*”. Markas Besar TNI-Angkatan Laut, Jakarta.

**Steven C. Chapra,** 1997. *Surface Water - Quality Modeling*, United States of America.

**Robert V. Thomann & John A. Mueller,** 1987. *Principles Of Surface Water Quality Modeling And Control*, Amerika Serikat.

**Patrick Chassaing,** 2010, *Fundamental of Fluid Mechanics for Scientists and Engineers*, France.