

Desain Pipa Salur, Separator, Dan Slug Catcher Di Lapangan X

(Design of Flowline, Separator, and Slug Catcher in X Field)

I Gede Dian Aryana^{1*}, Fathaddin M T¹, Djoko Sulistyanto²

¹Master Program of Petroleum Engineering, Universitas Trisakti, Jakarta

²Petroleum Engineering Department, Universitas Trisakti, Jakarta

Sari

Sistem transportasi minyak dan gas dengan menggunakan pipa penyalur merupakan hal yang paling aman dalam mengirimkan minyak dari satu area ke area yang lain. Satu-satunya tantangan yang dihadapi adalah untuk menjaga terjadinya penurunan tekanan dalam pipa penyalur sekecil mungkin untuk menghindari terjadinya perbedaan tekanan yang tinggi. Perbedaan tekanan ini dapat mengakibatkan menurunnya laju alir produksi dan berpengaruh terhadap flow pattern di dalam pipa. Kondisi tersebut dapat menimbulkan tingginya kemungkinan timbulnya slug pada pipa penyalur yang mengalirkan aliran multifasa. Slug menjadi salah satu perhatian utama proses transportasi aliran multifasa dalam pipa penyalur. Timbulnya slug pada pipa penyalur dapat menimbulkan kondisi hidrodinamika yang tidak stabil yang selanjutnya dapat mempengaruhi liquid level dalam inlet separator dan menyebabkan terjadinya flooding pada separator. Beberapa kesimpulan yang dihasilkan terutama untuk diameter pipa penyalur, ukuran slug catcher dan ukuran separator didapatkan dari perhitungan berdasarkan kajian literatur dan simulasi yang dilakukan dengan software HYSIS dan OPGA. Desain slug catcher untuk menampung jumlah slug yang terjadi dari proses transportasi produksi pada Lapangan migas X melalui pipa 10 inci sepanjang 12 km dengan volume slug sejumlah 20.68 m³ adalah dengan menggunakan slug catcher dengan jumlah 3 (tiga) finger dengan ukuran masing-masing yaitu diameter 28 inci dan panjang 10 meter. Untuk proses pemisahan pada 5 (lima) tahun pertama Lapangan migas X mulai diproduksi dimana terlihat adanya produksi minyak dan kondensat yang cukup besar maka diperlukan separator dengan ukuran diameter 30 inci, tinggi seam to seam sebesar 8.1 ft atau 2.5 meter, dengan retention time selama 2 menit dan slenderness ratio dari separator vertikal sebesar 3.2.

Kata-kata kunci: Aliran multifasa, aliran slug, pipa penyalur, slug catcher, separator

Abstract

The use of the pipeline is the safest method in sending oil and gas from one area to another in oil and gas transportation system. The only challenge is to keep the pressure drop in the pipeline as small as possible to avoid high pressure differences. This pressure difference can result in reduced production flow rate and affect the flow pattern in the pipeline. The condition can lead to high possibility of a slug on pipelines that drain multiphase flow. Slug becomes one of the main concerns transport processes multiphase flow in pipelines. The emergence of slug in the pipeline could cause an unstable hydrodynamic conditions will continue to affect the liquid level in the inlet separator and cause flooding in the separator. Some of the conclusions mainly on the diameter of the pipeline, the size of the slug catcher and the size of the separator obtained from the calculation based on the study of literature and simulations with software HYSIS and OPGA. Design slug catcher to accommodate the number of processes that occur in the production transportation of X oil and gas field through a pipeline 10 inches along the 12 km with 20.68 m³ volume of slug using 3 (three) finger with diameter 28 inches and length of 10 meters each. For the separation process of oil and gas in the first five (5) years of X oil and gas field which has a high production of oil and condensate will require separator with 30 inches diameter, seam to seam height of 8.1 ft or 2.5 meters, with retention time for 2 minutes and the 3.2 slenderness ratio of the vertical separator.

Keywords: Multiphase Flow, Slug Flow, Pipelines, Slug Catcher, Separator

^{*}Corresponding Author:

E-mail: arya2208@yahoo.co.id

Telp : +62-85771045560

I. PENDAHULUAN

Tantangan yang dihadapi dalam penyaluran minyak dan gas melalui pipa adalah untuk menjaga agar penurunan tekanan yang terjadi sekecil mungkin. Perubahan tekanan ini dapat mengakibatkan perubahan laju alir produksi dan berpengaruh terhadap pola alir di dalam pipa. Akibat dari perubahan pola alir (flow pattern) dapat menyebabkan terbentuknya slug dengan lebih

mudah. Pola alir slug merupakan salah satu jenis pola aliran multifasa yang memiliki karakteristik unik. Salah satunya adalah tingginya variasi kecepatan serta tekanan lokal gas dan cairan pada aliran slug. Fluktuasi gradien tekanan ($\Delta P/\Delta L$) ini selain menimbulkan kehilangan tekanan yang tinggi juga mengakibatkan kerusakan pada pipa seperti abrasi, korosi, dan pipa pecah (blasting). Selain itu permasalahan resonansi juga dapat muncul apabila

frekuensi slug mendekati frekuensi sistem perpipaan.

Penelitian ini dimaksudkan untuk menganalisa kondisi Lapangan X berdasarkan perbandingan liquid dan gas yang dihasilkan sehingga bisa diketahui bagaimana flow regime yang terjadi di masing-masing alternatif pipa penyalur 10 inci, 12 inci, dan 14 inci. Di samping itu dilakukan perhitungan frekwensi dan volume slug yang timbul pada proses transportasi liquid dan gas melalui pipa penyalur multi fase dengan panjang sekitar 12 km sehingga diharapkan mampu menentukan diameter pipa penyalur yang paling optimal. Berdasarkan volume slug yang terjadi pada diameter pipa penyalur yang dipilih selanjutnya ditentukan ukuran dan desain dari slug catcher untuk menampung slug yang terjadi.

II. ALIRAN FLUIDA DALAM FASILITAS PERMUKAAN

Ada beberapa variabel yang harus diperhitungkan dalam menganalisa aliran dua fasa antara lain:

Massa Laju Aliran, W (kg/s) (Shoham, 2006)

$$W = W_L + W_G \quad (1)$$

Volume Laju Aliran, q (m³/s) (Shoham, 2006)

$$q = q_L + q_G \quad (2)$$

Kecepatan superfisial fasa cair dan gas, V_{SL} dan V_{SG} (m/s) (Shoham, 2006)

$$v_{SL} = \frac{q_L}{A_p} \quad (3)$$

$$v_{SG} = \frac{q_G}{A_p} \quad (4)$$

Kecepatan Campuran, V_m (m/s) (Shoham, 2006)

$$V_m = \frac{q_L + q_G}{A_p} = v_{SL} + v_{SG} \quad (5)$$

No-slip liquid holdup (λ_L) adalah perbandingan antara volume laju alir liquid dengan total volume laju aliran dalam pipa, dimana:

$$\lambda_L = \frac{q_L}{q_L + q_G} = \frac{v_{SL}}{v_{SL} + v_{SG}} \quad (6)$$

Liquid Holdup, H_L dan Gas Void Fraction, α

Liquid Holdup adalah bagian dari volume bidang aliran dua fasa ditempati oleh fasa cair. sementara Gas Void Fraction adalah bagian dari volume bidang aliran dua fasa ditempati oleh fasa gas. Untuk aliran dua fasa (Shoham, 2006)

$$0 < H_L \text{ atau } \alpha < 1 \text{ dan } H_L + \alpha = 1 \quad (7)$$

Menurut eksperimen yang dilakukan oleh (Gregory dkk., 1978) dengan menggunakan media minyak dan udara dihasilkan persamaan untuk mendapatkan liquid holdup yaitu:

$$H_L = \frac{1}{1 + \left(\frac{1}{1 + v_m/8.66}\right)^{1.39}} \quad (8)$$

Kecepatan Translational, v_T (m/s²)

Menurut (Taitel dan Barnea, 1990), kecepatan translational dihitung dengan persamaan aliran slug dalam pipa horizontal sebagai berikut:

$$v_T = 1.2v_m + 0.54\sqrt{gD} \quad (9)$$

Frekwensi Slug, f_s (s⁻¹)

Gregory dan Scott (1969) membuat persamaan frekwensi slug berdasarkan eksperimen dimana:

$$f_s = 0.0226 \left[\frac{v_{SL}}{gD} \left(\frac{19.75}{v_m} + v_m \right) \right]^{1.2} \quad (10)$$

Panjang Slug, l_s (m)

Nilai dari panjang slug dievaluasi berdasarkan persamaan Dukler dan Hubbard (1975) yang merupakan perbandingan antara kecepatan translational dengan frekwensi slug yaitu:

$$l_s = \frac{v_T}{f_s} \quad (11)$$

Volume Slug, V_s (m³)

Jumlah atau volume dari slug yang terjadi pada pipa penyalur dihitung dengan persamaan:

$$V_s = l_s A_p H_L = l_s (\pi r^2) H_L \quad (12)$$

Desain separator berdasarkan parameter-parameter yang sudah ditentukan, maka selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan diameter dari separator. Persamaan berikut ini bisa dipergunakan untuk menentukan nilai diameter (d) minimum yang dibutuhkan dalam satuan inci.

$$d^2 = 5040 \left[\frac{TZq_g}{p} \right] \left[\left(\frac{\rho_g}{\rho_l - \rho_g} \right) \frac{C_D}{d_m} \right]^{1/2} \quad (13)$$

Setelah diameter (d) didapatkan, lalu dihitung ketinggian dari volume liquid (h) dalam inci dengan menggunakan persamaan:

$$d^2 h = \frac{t_r q_l}{0.12} \quad (14)$$

Dari nilai diameter (d) dan ketinggian dari volume liquid (h) yang telah didapatkan maka dapat dihitung

panjang seam to seam (L_{ss}) dari separator vertikal yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan:

$$L_{ss} = \frac{h + 76}{12} \quad (\text{untuk diameter} \leq 36) \quad (15)$$

atau

$$L_{ss} = \frac{h + 76}{12} \quad (\text{untuk diameter} > 36) \quad (16)$$

Untuk separator vertikal yang didominasi oleh volume dari liquid, pada umumnya dipilih slenderness ratio tidak melebihi dari 4 untuk menjaga tinggi dari volume liquid dapat ditampung dalam level yang wajar. Pemilihan nilai slenderness ratio di antara nilai 3 dan 4 umum digunakan dalam melakukan pemilihan ukuran separator vertikal. Separator vertikal dengan diameter sampai dengan 24 inci (600 mm) akan lebih mudah diproduksi mengingat adanya diameter pipa yang difabrikasi dengan ukuran 24 inci.

Untuk menentukan diameter dari slug catcher yang berbentuk bejana tekan horizontal berdasarkan BN-EG-UE109 Guide for Vessel Sizing dapat ditentukan dengan persamaan:

$$D = \left[\frac{V_l}{\frac{1}{4}\pi(L/D)^{0.6}} \right]^{1/3} \quad (17)$$

dimana:

D = diameter bejana tekan (m)

V_l = volume dari liquid (diasumsikan volume liquid adalah 60% dari total volume bejana tekan)

L/D = rasio antara panjang dan diameter bejana tekan

Menurut Svrcek dan Monnery (1993), rasio antara panjang dan diameter bejana tekan (L/D) adalah sebagai berikut:

Tekanan operasi, psig	L/D
$0 < P \leq 250$	1.5 – 3.0
$250 < P \leq 500$	3.0 – 4.0
$500 < P$	4.0 – 6.0

III. METODE

Prosedur penelitian desain pipa salur, separator, dan slug catcher ini dapat dilihat pada Gambar 1. Dalam penelitian ini, terlebih dahulu analisa terhadap data-data terkait dengan aliran dalam pipa penyalur dan kondisi bathymetri dari lokasi penggelaran pipa penyalur. Setelah itentukan Gas Oil Ratio (GOR) dan Gas Water Ratio (GWR) serta mass flow campuran yang akan digunakan sebagai input dalam simulasi aliran dalam pipa dengan alternatif ukuran 10 inci, 12 inci, dan 14 inci dengan menggunakan software OLGA untuk menghasilkan kecepatan liquid dan gas dalam pipa penyalur serta gradien tekanan. Setelah

diketahui kecepatan liquid dan kecepatan gas, maka dapat ditentukan flow regime aliran dengan melakukan plot ke Mandhane Map.

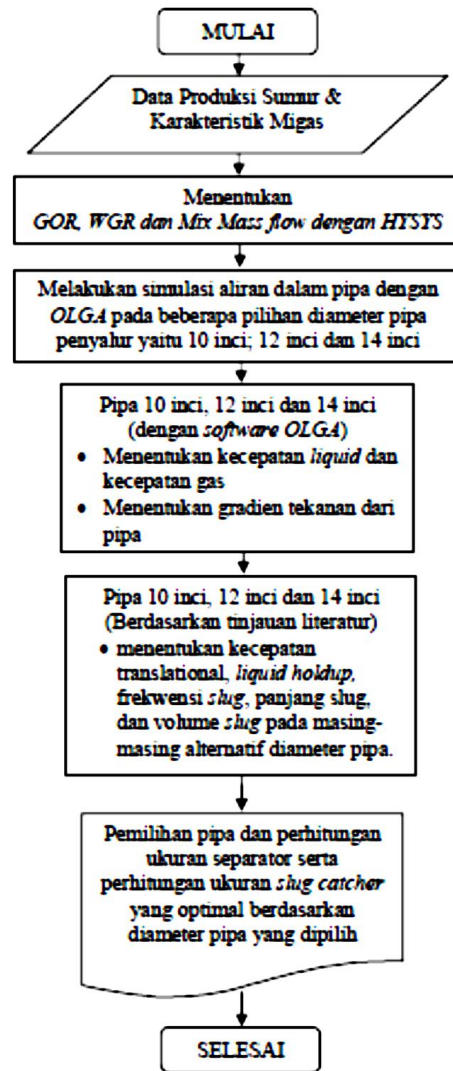


Figure 1. Flow Chart of Research

Selanjutnya dilakukan perhitungan berdasarkan kajian literatur untuk menentukan kecepatan translational, liquid holdup, frekwensi slug, panjang slug, dan volume slug. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk menentukan ukuran dari separator yang diperlukan untuk memisahkan produksi liquid dan gas pada fase produksi awal Lapangan X dan dilanjutkan dengan perhitungan untuk mendapatkan ukuran dari slug catcher berdasarkan diameter pipa penyalur yang dipilih.

Sistem perpipaan Lapangan X menyalurkan fluida dari tiga sumur offshore sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Laju Alir Sumur X-1, X-2, dan X-3

Well	q _o , bopd	q _g , MMSCFD	q _w , bwpd
X-1	957	14.15	60.4
X-2	5276	35.56	10.3
X-3	4240	4.55	890
Total	10473	54.26	960.7

Data sifat fisik fluida lainnya diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sifat Fisik Fluida

Parameter	Harga	Satuan
GOR	5180.94	scf/stb
WGR	1.77055E-5	stb/scf
API	32	
SG _{gas}	0.8	
T	77	°F

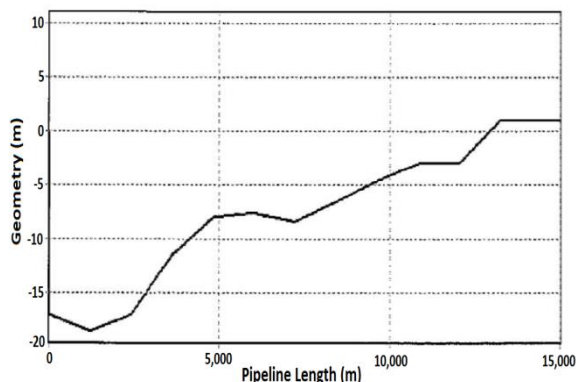
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini dibahas secara berurutan desain pipa salur, separator, dan slug catcher berdasarkan kondisi fluida di sepanjang fasilitas permukaan.

4.1. Desain Pipa Salur

Untuk menganalisis terbentuknya slug, diperlukan data bathymetry dari pipa penyalur mengingat kontur dan kedalaman dari permukaan dasar laut sepanjang total panjang pipa penyalur sangat bervariasi.

Dalam penelitian ini, data kedalaman yang digunakan tersebut diatas adalah kedalaman sesuai kondisi permukaan dasar laut tanpa adanya ketentuan untuk melakukan pemendam pipa penyalur. Setelah data kedalaman dimasukkan dalam dan diolah dalam software OLGA maka akan didapatkan sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 2.

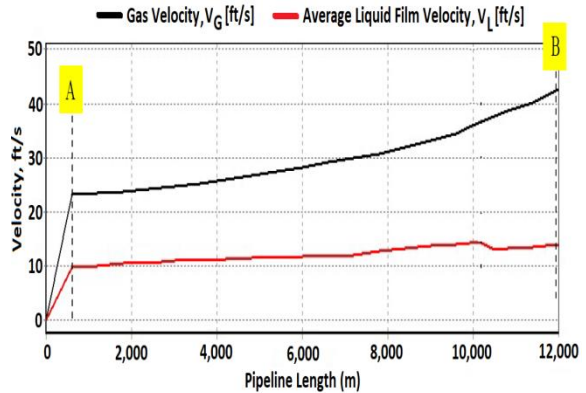


Gambar 2. Simulasi data kedalaman berbanding jarak dengan OLGA

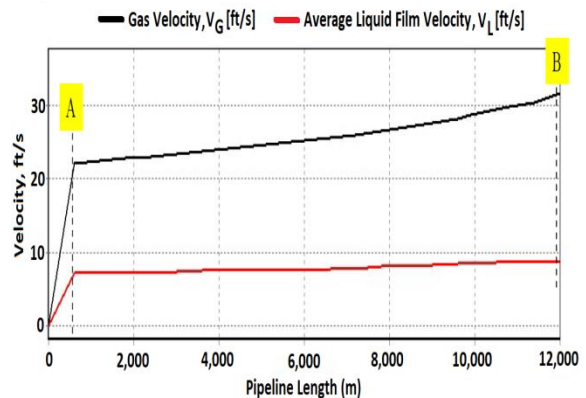
Berdasarkan data kedalaman tersebut dilakukan simulasi terhadap pemilihan pipa penyalur yang akan digunakan. Dalam penelitian ini ditetapkan tiga pilihan diameter pipa penyalur yang akan disimulasikan dengan menggunakan software OLGA yaitu pipa penyalur dengan diameter 10 inci, 12 inci

dan 14 inci.

Setelah dimasukkan diameter pipa sebesar 10 inci, 12 inci dan 14 inci dan disimulasikan dengan simulator software OLGA maka didapatkan perbandingan dari kecepatan liquid dan gas yang terjadi di dalam pipa penyalur sebagaimana berturut-turut diperlihatkan pada Gambar 3 hingga 5.



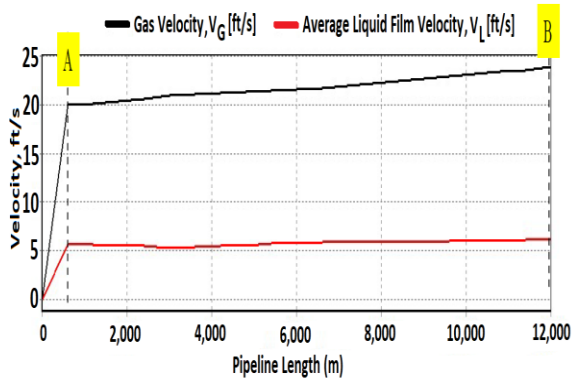
Gambar 3. Perbandingan dari kecepatan liquid dan gas pipa salur 10 inci



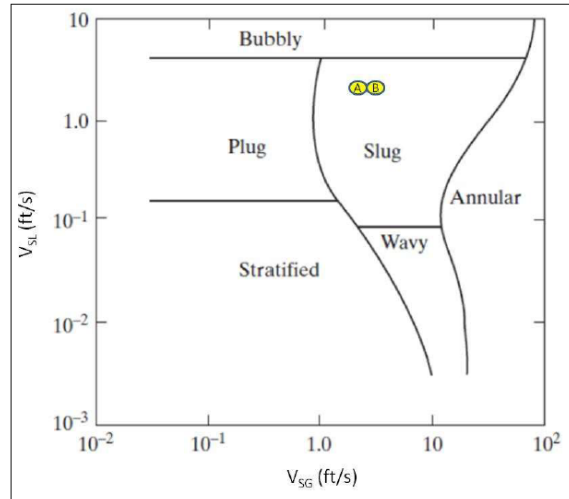
Gambar 4. Perbandingan dari kecepatan liquid dan gas pipa salur 12 inci

Gambar 3 memperlihatkan untuk pipa salur berdiameter 10 inci diperkirakan kecepatan liquid berkisar di 10-15 ft/s dan kecepatan gas berkisar 25-43 ft/s. Untuk pipa salur 12 inci kecepatan liquid berkisar di 7-8 ft/s dan kecepatan gas berkisar 23-33 ft/s sebagaimana diperlihatkan pada gambar 4. Sedangkan untuk pipa salur 14 inci kecepatan liquid 6 ft/s dan kecepatan gas berkisar 20-23 ft/s.

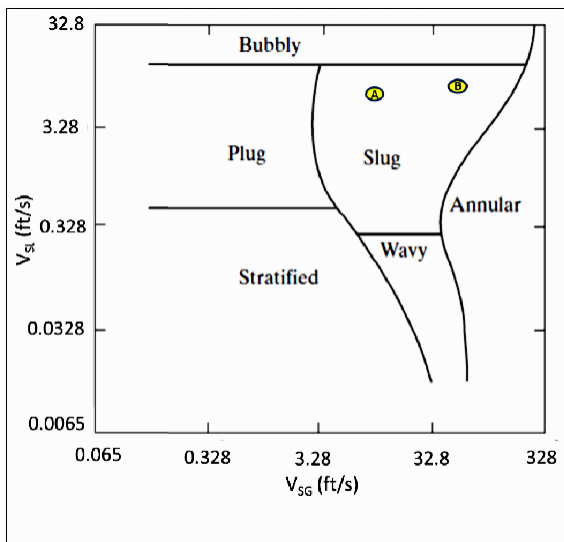
Hasil perbandingan kecepatan liquid dan gas pada titik minimum (A) dan maksimum (B) pada Gambar 3 hingga 5 kemudian diplot ke dalam Mandhane Map untuk diameter pipa salur 10 ini, 12 inci, dan 14 inci diperlihatkan pada Gambar 6 hingga 8.



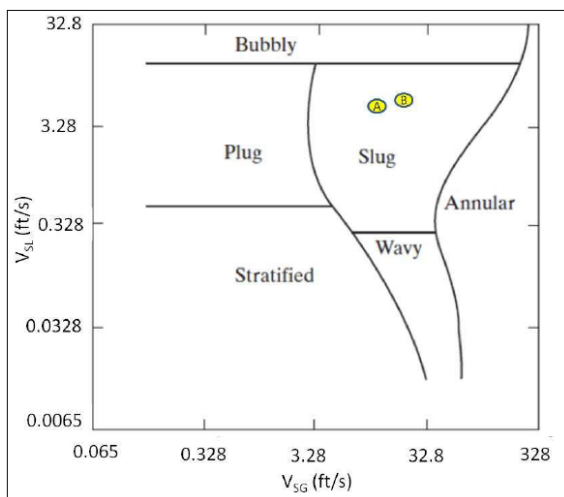
Gambar 5. Perbandingan dari kecepatan liquid dan gas pipa salur 14 inci



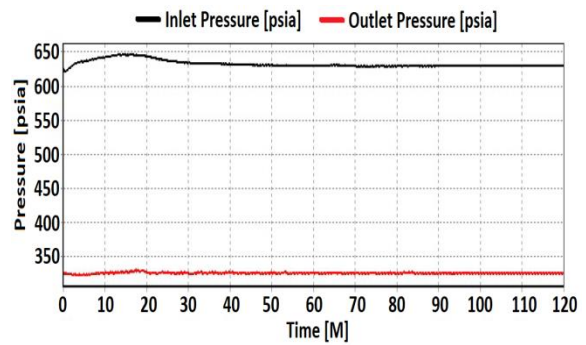
Gambar 8. Flow regime pada pipa salur 12 inci



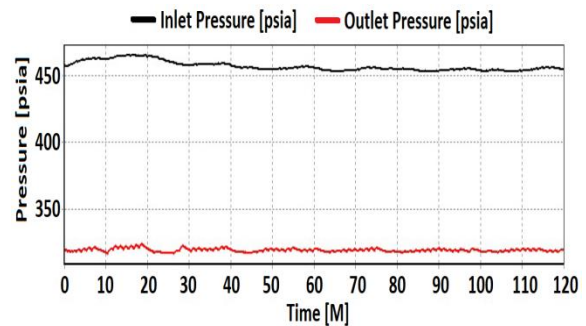
Gambar 6. Flow regime pada pipa salur 10 inci



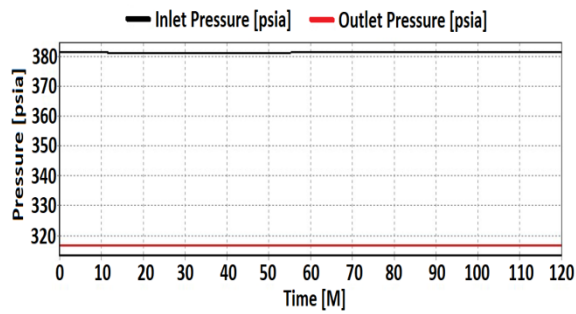
Gambar 7. Flow regime pada pipa salur 12 inci



Gambar 9. Perbedaan tekanan pada pipa salur 10 inci



Gambar 10. Perbedaan tekanan pada pipa salur 12 inci



Gambar 11. Perbedaan tekanan pada pipa salur 14 inci

Berdasarkan perhitungan yang dilakukan terhadap parameter aliran slug dalam pipa penyalur termasuk frekwensi slug, panjang slug dan volume slug yang terjadi baik untuk pipa 10 inci, 12 inci dan 14 inci dan dituangkan kedalam Tabel 4.3. Pada Tabel tersebut dapat dilihat bahwa frekwensi slug berkurang atau semakin kecil jika diameter pipa bertambah besar sementara penambahan panjang slug berbanding lurus dengan penambahan diameter pipa (makin besar diameter pipa penyalur akan menyebabkan penambahan panjang slug).

Untuk kenaikan volume slug yang terjadi juga terlihat berbanding lurus dengan penambahan diameter pipa sementara gradien tekanan yang terjadi berbanding terbalik dengan penambahan diameter pipa. Hal ini sesuai dengan hasil percobaan terhadap aliran slug pada pipa horizontal yang dilakukan (Jepson dan Taylor, 1993).

Tabel 3. Perbandingan parameter yang dihitung dalam pemilihan alternative pipa penyalur 10 inci, 12 inci dan 14 inci

Diameter, in.	10	12	14
ID, m	0.25	0.30	0.33
v_{SL} , m/s	4.57	2.44	1.83
v_{SG} , m/s	11.89	10.06	7.01
v_m , m/s	16.46	12.5	8.84
H_L	0.29	0.38	0.49
v_T , m/s	20.60	15.93	11.58
f_s , s^{-1}	1.50	0.43	0.20
f_s , (1/hari)	129234	37262	17641
l_s , m	13.77	36.93	56.71
V_{slug} , m^3	0.20	0.98	2.39
t , menit	1.174	1.174	1.174
Total V_{slug} , m^3	20.68	29.73	34.37
P_{outlet} , psia	325	315	310

4.2. Desain Separator

Pada lima tahun pertama Lapangan X mulai diproduksi dengan jumlah minyak dan kondensat yang dihasilkan cukup tinggi. Untuk itu diperlukan separator untuk memisahkan produksi minyak, gas dan air terproduksi.

Untuk menghitung ukuran separator yang

dibutuhkan, diambil data produksi minyak dan kondensat yang paling tinggi yaitu produksi pada tahun 2018 dimana produksi minyak dan kondensat sebesar 1121 BOPD dengan $^{\circ}API = 32$ dan produksi gas sebesar 5.5 MMSCFD dengan specific gravity (SG) 0.8. Tekanan masuk ke separator sebesar 650 psia dengan temperatur sebesar 87,68 $^{\circ}F$ dan asumsi droplet size removal adalah 140 microns. Hasil perhitungan panjang dan diameter yang mungkin diperlihatkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil perhitungan ketinggian dari liquid dalam separator, panjang seam to seam dari separator dan slenderness ratio dari separator

t_r (menit)	d (inci)	h (inci)	L_{ss} (ft)	S_n ($12L_{ss}/d$)
3	30	31.1	8.9	3.6
	36	21.6	8.1	2.7
	42	15.9	7.0	2.0
	48	12.2	6.7	1.7
2	30	20.8	8.1	3.2
	36	14.4	7.5	2.5
	42	10.6	6.5	1.9
	48	8.1	6.3	1.6
1	30	10.4	7.2	2.9
	36	7.2	6.9	2.3
	42	5.3	6.1	1.7

Mengingat slenderness ratio (S_n) untuk separator vertikal berkisar antara 3 sampai dengan 4 maka ukuran separator yang dipilih adalah separator vertical yang memiliki diameter 30 inci atau 0.76 meter, panjang seam to seam sebesar 8.1 ft atau 2.5 meter, dengan retention time selama 2 menit dan slenderness ratio dari separator vertikal sebesar 3.2.

4.3. Desain Slug Catcher

Dengan menggunakan persamaan (17) dan dengan asumsi bahwa volume liquid adalah 60% dari total volume, maka didapatkan diameter dari slug catcher sebesar 2.22 meter dengan panjang slug catcher sepanjang 8.89 meter.

Namun mengingat diameter yang didapatkan terlalu besar dan sulit untuk didapatkan di pasaran, maka diameter slug catcher ditentukan terlebih dahulu dengan menggunakan diameter 28 inci. Maka $88 / 28 = 3.14$ sehingga panjang dari slug catcher yang dibutuhkan adalah 3.14 (8.89) meter = 28 meter.

Sehingga desain slug catcher untuk menampung jumlah slag yang terjadi dari proses transportasi multiphase pada lapangan X melalui pipa 10 inci sepanjang 12 km adalah dengan menggunakan slug catcher dengan jumlah tiga finger dengan ukuran masing-masing yaitu diameter 28 inci dan panjang 10 meter.

IV. CONCLUSIONS

Berdasarkan analisa dan pembahasan, beberapa kesimpulan dapat dinyatakan sebagai berikut:

1. Berdasarkan plot pada Mandhane Map untuk menentukan flow regime, terlihat pada pipa penyalur 10 inci, 12 inci dan 14 inci berada pada pola aliran slug.
2. Jika pipa penyalur yang digunakan berdiameter 10 inci, frekwensi slug yang terjadi adalah sebesar 1.50 slug per detik atau sama dengan 129,234 slug dalam 1 hari dengan volume slug sejumlah 20.68 m³. Jika pipa penyalur yang digunakan berdiameter 12 inci, frekwensi slug yang terjadi adalah sebesar 0.42 slug per detik atau sama dengan 37,262 slug dalam 1 hari dengan volume slug sejumlah 29.73 m³. Dan untuk pipa penyalur yang digunakan berdiameter 14 inci, frekwensi slug yang terjadi adalah sebesar 0.20 slug per detik atau sama dengan 17,641 slug dalam 1 hari dengan volume slug sejumlah 34.37 m³.
3. Desain slug catcher untuk menampung jumlah slug yang terjadi dari proses transportasi produksi pada Lapangan X melalui pipa 10 inci sepanjang 12 km dengan volume slug sejumlah 20.68 m³ adalah dengan menggunakan slug catcher dengan jumlah 3 (tiga) finger dengan ukuran masing-masing yaitu diameter 28 inci dan panjang 10 meter.
4. Untuk proses pemisahan pada lima tahun pertama Lapangan X mulai diproduksi dimana terlihat adanya produksi minyak dan kondensat yang cukup besar maka diperlukan separator dengan ukuran diameter 30 inci, tinggi seam to seam sebesar 8.1 ft atau 2.5 meter, dengan retention time selama 2 menit dan slenderness ratio dari separator vertikal sebesar 3.2.

DAFTAR SIMBOL

A	= luas penampang pipa, ft ² atau m ²
API	= API gravity of oil, API
C _D	= drag coefficient
D	= diameter slug catcher, ft atau m
d	= diameter pipa atau separator, inci atau m
d _m	= droplet's diameter, micron
f _s	= frekwensi slug, /detik atau /menit
GOR	= perbandingan gas terhadap minyak, scf/stb
g	= percepatan gravitasi, 9.81 m/s ²
h	= tinggi separator, ft atau m
H _L	= liquid hold up
l _s	= panjang slug, ft atau m
L _{ss}	= panjang seam-to-seam separator, ft
P	= tekanan operasi, psia atau kPa
q _g	= laju alir gas, MMSCFD
q _G	= laju alir volume gas, m ³ /hr
q _l	= laju alir liquid, bpd
q _L	= laju alir volume liquid, m ³ /hr
q _o	= laju alir minyak, bopd

q _w	= laju alir air, bwpd
SG _{gas}	= spesifik gravity gas
T	= temperature operasi, °F atau °C
t _r	= waktu retensi dari liquid, detik
V _l	= volume liquid, ft ³ atau m ³
V _s	= volume slug, ft ³ atau m ³
v _{SL}	= kecepatan superficial liquid, ft/s atau m/s
v _{SG}	= kecepatan superficial gas, ft/s atau m/s
v _m	= kecepatan campuran, ft/s atau m/s
v _T	= kecepatan translational, ft/s atau m/s
W _L	= laju alir massa liquid, kg/s
W _G	= laju aliran massa gas, kg/s
WGR	= perbandingan air gas, stb/scf
Z	= Faktor kompresibilitas gas
α	= gas void fraction
ρ _l	= densitas liquid, lb/ft ³ atau kg/m ³
ρ _g	= densitas gas, lb/ft ³ atau kg/m ³

DAFTAR PUSTAKA

1. Dukler A E and Hubbard M G. 1975. A Model for Gas-liquid Slug Flow in Horizontal and Near Horizontal Tubes. Ind. Eng. Chem. Fundamentals, 14(4).
2. Gregory GA, Nicholson M K, and Azis K. 1978. Correlation of the Liquid Volume Fraction in the Slug for Horizontal Gas-Liquid Slug Flow, International Journal of Multiphase Flow, 4(1).
3. Gregory G A and Scott D S. 1969. Correlation of Liquid Slug Velocity and Frequency in Horizontal Cocurrent Gas Liquid Slug Flow. AIChE J, 15(6).
4. Mandhane J M, Gregory G A, and Aziz K. 1974. A Flow Pattern Map for Gas Liquid Flowing Horizontal Pipes. International Journal of Multiphase Flow, 1(4).
5. Shoham, O., "Mechanistic Modelling of Gas-Liquid Two-Phase Flow in Pipe" SPE book, 2006.
6. Svrcek W Y and Monnery W D. 1993. Design Two Phase Separator within the Right Limits. Chemical Engineering Progress, 89(10).
7. Taitel, Y and Barnea D. 1990. Two-phase Slug Flow. Advances in Heat Transfer, 20.