

FLUKTUASI BEDA TEKANAN ISYARAT GANGGUAN PADA SALURAN PIPA HORIZONTAL

Suwidodo

Jurusan Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung

e-mail: suwi.dodo @ yahoo.co.id

Intisari

Permasalahan unik yang timbul pada aliran multi fase dalam sistem transportasi fluida melalui saluran pipa, satu di antaranya adalah; tekanan lokal di dalam saluran pipa cenderung berfluktuasi. Gangguan yang perlu mendapat perhatian khusus adalah kebocoran saluran pipa. Fluktuasi beda tekanan dengan gangguan bocor pada saluran pipa mempunyai hubungan erat.

Hasil eksperimen aliran dua fase air-udara melalui saluran pipa *acrylic* dapat menggambarkan keadaan unik tersebut di atas. Contohnya; pola aliran aliran yang terbentuk dan fluktuasi beda tekanan yang terjadi dalam kaitannya dengan adanya gangguan bocor pada saluran pipa.

Kata kunci : aliran dua-fase, air-udara, isyarat gangguan

Abstract

Unique problems that arise in multi-phase flow in a fluid transportation system through a network of piping include: local pressure inside the pipeline has a tendency to fluctuates. Leaks in the pipeline is an obstacle that needs to get serious attention. Difference that fluctuates pressure and pipeline leaks are have harmony relation.. Resultan of experimental/ research two-phase flow in horizontal acrylic pipeline, can be give information of the leakage effect on the difference fluctuating pressure. Example; Form of flow pattern and difference fluctuating pressure at pipeline.

Key words: two-phase flow, water-air, the obstacle signal

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Fenomena dalam sistem transportasi fluida aliran dua fase melalui saluran pipa, adalah; tekanan lokal yang cenderung berfluktuasi, distribusi kecepatan tidak sama (terjadi slip antar fase) pada pola aliran tertentu. Pecahnya saluran pipa dapat disebabkan oleh korosi, perubahan tekanan yang mendadak, kesalahan produk dan pengaruh eksternal. Kebocoran yang terjadi tidak hanya menyebabkan kerugian produk tetapi juga kerusakan lingkungan yang serius.

Satu di antara penyebab pecahnya saluran pipa adalah perubahan tekanan yang tiba-tiba. Kecenderungan tekanan lokal berfluktuasi dan terjadinya slip antar fase pada pola aliran tertentu,

khususnya pada pola aliran sumbat (*slug*) yang perlu dicermati, Melalui media ini akan dibahas tentang karakteristik fluktuasi beda tekanan pada saluran pipa aliran dua fase air-udara dengan diberikan gangguan slot atau lubang persegi panjang 12 X 2 [mm] pada dinding saluran pipa horizontal . Pola aliran yang diamati adalah aliran strata dan aliran sumbat (*slug*).

1.2. Tujuan

Tujuan dari eksperimen ini adalah untuk mengetahui karakteristik fluktuasi beda tekanan sebagai isyarat adanya gangguan bocor pada saluran pipa horizontal.

1.3. Manfaat Penelitian

Dengan diketahuinya karakteristik fluktuasi beda tekanan, maka akan dapat menentukan sikap dan tindak lanjutnya. Misalnya, tindak pengamanan sistem perpipaan dari dampak fluktuasi tekanan dengan metoda monitoring secara periodik. Hal ini dapat diaplikasikan pada industri kimia, perminyakan, sistem refrigerasi, sistem pembangkit uap, dan sistem tenaga nuklir. Pada sistem tersebut banyak ditemukan aliran dua-fase. Metoda monitoring fluktuasi tekanan dapat juga digunakan pada bidang perawatan untuk mencegah dan menanggulangi terjadinya kebocoran fluida berbahaya.

1.4. Review Penelitian Terdahulu

Lin dan Hanraty (1987), Speeding dan Spence (1993), Wang Wenran (1995), Ferreira (1997), Lamari (2001), Sun dan Zheng (2008). Dari hasil penelitiannya dijelaskan bahwa pola aliran yang terbentuk oleh adanya peningkatan laju aliran gas, akan timbul fluktuasi tekanan bergelombang.

Billman dan Insermann (1987), Baghdadi dan Mansy (1987), Rajtar dan Muthiah (1997), Macias dan Pereira (2003), Scott (2003) dan Seung (2009), Kebocoran akan menyebabkan penyimpangan pengukuran tekanan dari kondisi normal. Penyimpangan tekanan dideteksi dan dianalisis menggunakan metoda deteksi kebocoran masing-masing berurutan, simulasi dan eksperimen model matematika dinamik, verifikasi temuan teoritik secara eksperimen lubang bocor berbentuk lingkaran dan persegi panjang, intensitas suara, analisa statistik dan perhitungan numerik melalui distribusi tekanan.

Landasan Teori

2.1 Pola Aliran

Pada aliran dua fase cair dan gas melalui saluran pipa horizontal, pola aliran yang sering dijumpai adalah aliran gelembung (*bubble*), aliran kantung (*plug*), aliran strata (*stratified*), aliran gelombang (*wavy*), aliran sumbat (*slug*), aliran cincin (*annular*) dan aliran *spray*.

Pola aliran slug terjadi bila gelombang amplitudonya meningkat, sehingga mencapai bagian atas dari saluran pipa mendatar lihat gambar 1b, sedangkan pola aliran strata ter-

bentuk jika terjadi pemisahan fase cairan dan fase gas, cairan mengalir di bagian bawah dan gas mengalir di bagian atas dalam saluran horizontal (gambar 1a).



Gambar 1. a= aliran strata b = aliran slug (sumbat), amplitudonya besar^[6]

2.2 Tekanan^[9]

Dalam statika fluida, tekanan secara mekanika didefinisikan sebagai gaya yang bekerja tegak lurus pada satuan luas permukaan atau $p = F/A$ (1.1)

Definisi tekanan ini bersama-sama dengan tiga sifat tekanan yaitu: Di dalam suatu fluida yang diam (statis), besarnya tekanan bergantung kepada posisi kedalaman/ketinggian. Tetapi pada posisi tertentu besarnya tekanan tidak bergantung kepada arah. Perubahan tekanan terhadap kedalaman/ketinggian dinyatakan dengan

$$\frac{dp}{dh} = \gamma \quad \gamma = \rho g \quad (1.2)$$

Tekanan tidak dipengaruhi oleh bentuk wadah dari fluida. Oleh karena itu bentuk transduser tekanan tidak mempengaruhi hasil pengukuran. Tekanan yang diberikan kepada suatu fluida dalam wadah melalui suatu permukaan yang dapat bergerak akan diteruskan oleh fluida tersebut ke seluruh permukaan batas. Teori kinetika gas menganggap tekanan pada suatu dinding wadah disebabkan oleh adanya tumbukan molekul - molekul pada dinding tersebut. Oleh sebab itu, menurut teori kinetika tekanan sama dengan kinetik energi molekul per satuan volume atau

$$p = \frac{2}{3} \frac{KE}{V} = \frac{1}{3} \rho \bar{c}^2 = \frac{1}{3} NRT \quad (1.3)$$

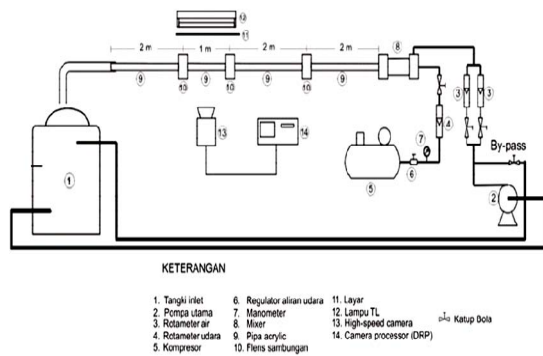
2.3. Persamaan Energi

Energi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan, hanya dapat berubah bentuk, sedangkan total energinya tetap atau

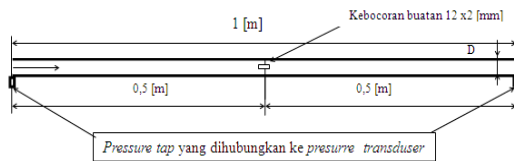
$$M.g.Z + M.p/\rho + M.C^2/2 = \text{tetap} \quad (1.4)$$

3. Metodologi

3.1. Instalasi eksperimen

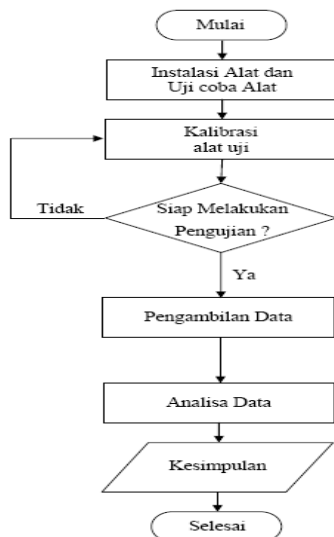


Gambar 2. Susunan peralatan eksperimen



Gambar 3. Pipa uji

3.2 Diagram alir



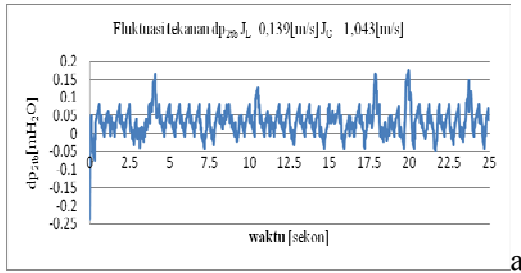
Gambar 4 .Diagram alir

3.3 Pengambilan data

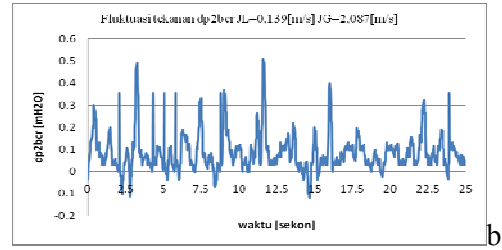
Langkah pengambilan data adalah sebagai berikut:

1. Menghubungkan *pressure transducer* dengan modulator tekanan.
2. Mengatur sensitivitas *pressure transducer*.
3. Mengubungkan modulator tekanan dengan DC amplifier
4. Memilih kondisi operasi DC amplifier.
5. Menghubungkan DC-amplifier dengan *Digital Store Oscilloscope (DSO)*
6. Menghubungkan *Digital Store Oscilloscope (DSO)* dengan Unit Komputer.
7. Mengoperasikan program DSO dan memilih kondisi operasi
8. Mengoperasikan pompa dan kompresor.
9. Mengatur kondisi operasi peralatan penelitian.
10. Menunggu sampai kondisi steady, pengambilan data dimulai.
11. Pengambilan data selesai dan disimpan dalam file xls atau Micosoft Excel
12. Ulangi langkah 9.

[m/s] dan $J_G = 1,043$ [m/s] rekaman data disajikan pada gambar 5 serta $J_L = 0,139$ [m/s] dan $J_G = 2,087$ [m/s] (gambar 6). Sampel yang direkam sejumlah $N=1000$ dalam waktu 25 sekon atau tiap sampel rata-rata 25 milisekon. Untuk identifikasi fluktuasi tekanan dengan cara menyusun berurutan, besaran dp_2 dan kekerapan muncul (N muncul) ke dalam tabel yaitu kolom 1 fluktuasi tekanan dp_{2tb} , dan dp_{2bcr} kolom 2 kekerapan muncul, dan kolom 3 hasil perkalian $dp_2 \{n\}$ muncul . Dari seribu sampel yang terekam dikelompokkan menurut urutan besarnya dp_{2tb} dan dp_{2bcr} ; dalam rentang tertentu.



a



b

Gambar 6 Rekaman data fluktuasi tekanan

$$J_L=0,139 \text{ [m/s]}, J_G=2,087 \text{ [m/s]}$$

a=tidak bocor b=bocor

Amplitudo dp_2 tanpa bocor yaitu dp_{2tb} dikurangi dengan harga rata-rata dp_{2tb} atau

$$A = dp_{2tb} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n \cdot dp_{2tb}$$

dan

$$A = dp_{2bocor} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n \cdot dp_{2bocor}$$

Gambar 5 Rekaman data fluktuasi tekanan

$$J_L=0,139 \text{ [m/s]}, J_G=1,043 \text{ [m/s]}$$

a=tidak bocor b=bocor

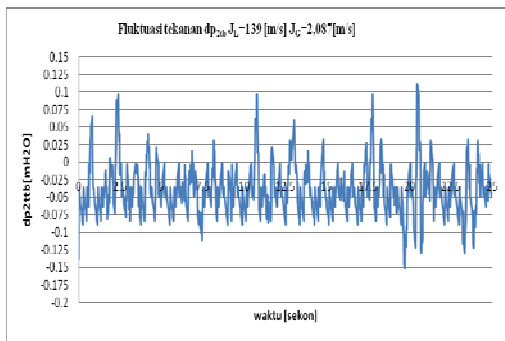
Amplitudo dp_2 tanpa bocor yaitu dp_{2tb} dikurangi dengan harga rata-rata dp_{2tb} atau

$$A = dp_{2tb} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n \cdot dp_{2tb}$$

dan

$$A = dp_{2bocor} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n \cdot dp_{2bocor}$$

Hasil perhitungan disajikan pada tabel



a

Tabel 1. Identifikasi dp_{2tb} Strata

$$J_L=0,139 \text{ [m/s]} \quad J_G=1,043 \text{ [m/s]}$$

$dp_{2tb} \text{ [mH}_2\text{O]}$	N muncul {n}	$dp \cdot n$
-0.20475	1	-0.20475
-0.07081	10	-0.7081
-0.03733	14	-0.52262
-0.00386	271	-1.04606
0.02962	616	18.24592
0.063096	35	2.20836
0.096572	36	3.476592
0.130048	10	1.30048
0.163524	7	1.144668
0,025400925 ^{*)}	1000 ^{**)}	25.400925

^{*)}= dp_{2tb} rata-rata ^{**)} = N = jumlah sampel data {n}

Tabel 2 Identifikasi dp_{2bcr} Strata
 $J_L=0,139[m/s]$ $J_G=1,043[m/s]$

dp_{2bcr}	frekuensi	dp_{2bcr}^*n
-0.171	1	-0.171
-0.079	5	-0.395
-0.037	60	-2.22
-0.004	208	-0.832
0.0296	603	17.8488
0.064	36	2.304
0.0966	35	3.381
0.13	9	1.17
0.1631	19	3.0989
0.197	6	1.182
0.2305	8	1.844
0.264	5	1.32
0.297	5	1.487
2,39065 ^{*)}	1000 ^{**)}	30.017845

Tabel 3 Identifikasi dp_{2tb} Slug
 $J_L=0,139[m/s]$ $J_G=2,087[m/s]$

dp_{2tb}	$N\{n\}$	dp_{2tb}^*n
-0.14	18	-2.52
-0.11	21	-2.31
-0.08	255	-20.4
-0.05	375	-18.75
-0.02	220	-4.4
0.02	77	1.54
0.05	22	1.1
0.08	9	0.72
0.11	3	0.33
-0.04469 ^{*)}	1000 ^{**)}	-44.69
^{*)} = dp_{2tb} rata-rata ^{**)} = jumlah sampel data $\{n\}$		

Tabel 4 Identifikasi dp_{2bcr} Slug
 $J_L=0,139[m/s]$ $J_G=2,087[m/s]$

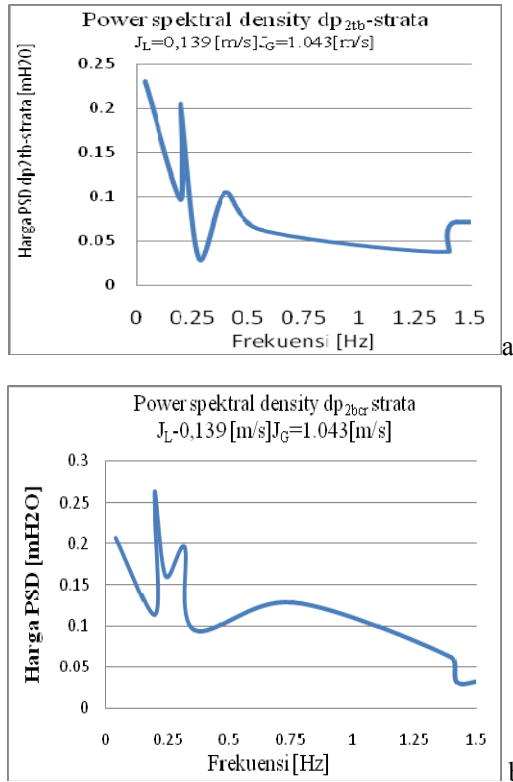
dp_{2bcr}	$N\{n\}$	dp_{2bcr}^*n
-0.145	12	-1.74
-0.045	85	-3.825
0.05	602	30.1
0.145	205	29.725
0.25	56	14
0.345	27	9.315
0.45	12	5.4
0.51	1	0.51
0.08305 ^{*)}	100088 ^{**)}	83.05
^{*)} = dp_{2tb} rata-rata ^{**)} = $N =$ jumlah sampel data $\{n\}$		

Tabel 1, 2, 3 dan 4 menyajikan data fluktuasi beda tekanan antara hulu dan hilir pipa uji sepanjang satu meter. Gambar 5 dan 6 menunjukkan rekaman fluktuasi beda tekanan yang terjadi antara hulu dan hilir pipa uji.

Tabel 5 Kerapatan spektral daya

Amplitudo [mH ₂ O]	Frekuensi $2*\pi*n/t$	PSD [mH ₂ O]
-0.230151	0.04	0.230151
-0.096211	0.2	0.096211
-0.062731	0.56	0.062731
-0.029261	10.84	0.029261
0.004219	24.64	0.004219
0.037695	1.4	0.037695
0.071171	1.44	0.071171
0.104647	0.4	0.104647
0.138123	0.28	0.138123
0.205076	0.2	0.205076

Tabel 5 merupakan satu contoh dalam menggambarkan nilai kerapatan sepektral daya (PSD). Kolom 1 besarnya amplitudo untuk masing-masing kelompok dp_2 [mH₂O]; kolom 2 frekuensi radian per sekon [Hz], dan kolom 3 Harga PSD dalam satuan meter kolom H₂O. (gambar 7).



Gambar 7 Kerapatan spektral daya tanpa bocor, b=bocor

4.2. Kerapatan spektral daya

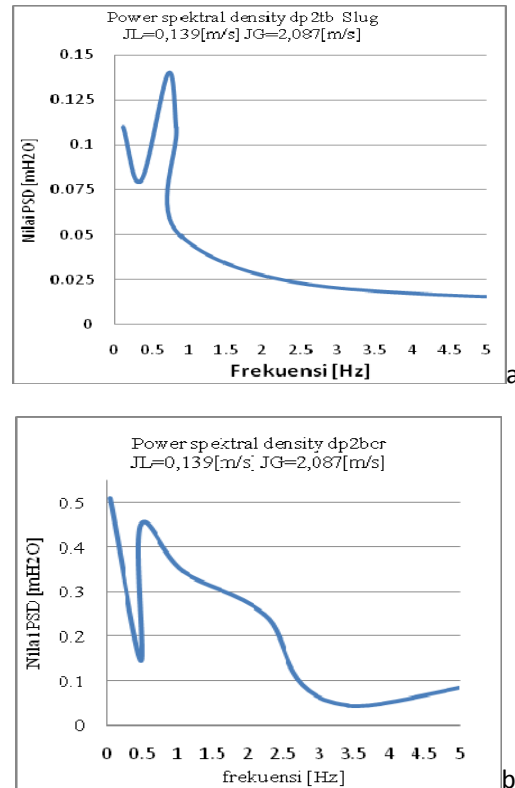
Kerapatan spektral daya (*Power spectral density*) merupakan suatu metoda untuk menentukan isi frekuensi sinyal acak. Harga (nilai) *Power spectral density* (PSD) –nya, dalam satuan Energi per gaya berat fluida tiap sekon [J/(N.s) = Nm/(N.s) = W/N]. Energi didefinisikan sebagai tekanan dikalikan dengan volume suatu ruang tertentu atau dapat ditulis $p \cdot V$ [N/m² x m³ = Nm = J], sedangkan laju energi didefinisikan sebagai laju kerja atau usaha aliran yaitu sejumlah energi yang diperlukan untuk melakukan kerja setiap detik [J/s = Nm/s]. Tekanan yang merujuk pada tinggi kolom air [mH₂O] atau sering disebut tekanan hidrostatik yaitu $p = \gamma h = \rho g h$; dalam hal ini h merupakan tinggi kolom air, dan γ = berat jenis air [N/m³];

ρ = massa jenis air [kg/m³], dan g = percepatan gravitasi [m/s²]. Laju energi didefinisikan sebagai tekanan dikalikan laju aliran (debit) yaitu :

$$Power = p \cdot \dot{V} = \rho g h \dot{V}$$

$$Gaya\ berat = m \cdot g = \rho V \cdot g$$

$$tinggi\ kolom\ air\ h = \frac{P}{\rho g \dot{V}} = \frac{P}{m \cdot g}$$



Gambar 8 Kerapatan spektral daya tanpa bocor, b=bocor

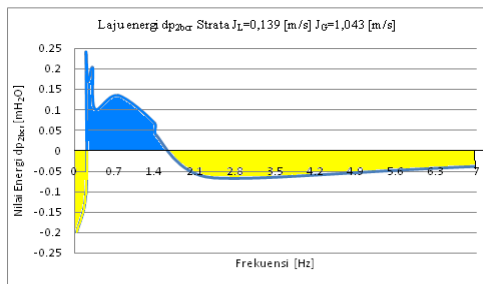
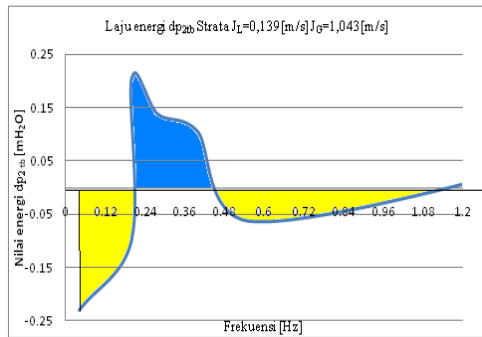
4.3 Laju Energi

Laju energi dan sebarannya disusun pada tabel 6 dan 7. Gambar 9 menyajikan kurva dp_2 Strata. Luasan kurva di atas sumbu x menggambarkan luasan yang dibentuk oleh energi tekanan, dan luasan kurva di bawah sumbu x menggambarkan luasan yang dibentuk oleh energi kinetik. Prosentase sebaran fluktuasi tekanan 50,0022086 % berbentuk energi tekanan dan 49,9977914 % berbentuk energi kinetik untuk tanpa bocor. Sedangkan untuk saluran dengan gangguan bocor, sebaran fluktuasi tekanan

30,8831 % berbentuk energy tekanan dan
69,1169 % berbentuk energi kinetik.

Tabel 6 Neraca Energi dp₂ strata
 $J_L=0,139$ [m/s] $J_G=1,043$ [m/s]

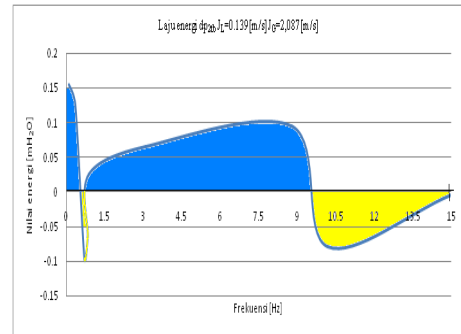
Sebaran	Tanpa gangguan bocor		Dengan gangguan bocor	
	Energi tekanan	Energi kinetik	Energi tekanan	Energi kinetik
1	0.041015	0.009206	0.009163	0.00881
2	0.038674	0.019242	0.015648	0.043326
3	0.041859	0.035129	0.025939	0.238638
4	0.052773	0.317189	0.05251	0.125188
5	0.102486		0.087555	
6	0.103956		0.087555	
7			0.038374	
Jumlah	0.380801	0.380767	0.185862	0,415962
Prosen-tase	0.500022	0.499978	0.308831	0.691169
Energi total	0.761568		0.601824	
	100%		100%	



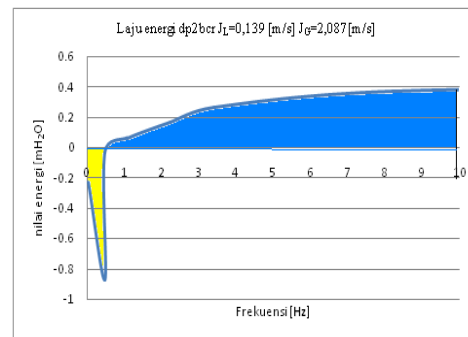
Gambar 9 Laju energi dp₂ Strata

Tabel 7 Neraca Energi dp₂ Slug
 $J_L=0,1390$ [m/s] $J_G=2,087$ [m/s]

sebaran	Tanpa bocor		Gangguan bocor	
	Ep	Ek	Ep	Ek
1	0.0132	0.1008	0.0204	0.0696
2	0.0288	0.0924	0.216	0.153
3	0.044	0.176	0.3726	
4	0.0616	0.816	0.56	
5		0.75	1.189	
6			1.204	
%	0.070866	0.929134	0.941183	0.058817
jml	0.1476	1.9352	3.562	0.2226
Total	2.0828		3.7846	



a



b

Gambar 10 Laju energy dp₂ Slug

Gambar 10 menyajikan kurva dp₂ Slug. Luasan kurva di atas sumbu x menggambarkan luasan yang dibentuk oleh energi tekanan, dan luasan kurva di bawah sumbu x menggambarkan luasan yang dibentuk oleh energi kinetik. Prosentase

sebaran fluktuasi tekanan 7,0866 % berbentuk energi tekanan dan 92,9134% berbentuk energi kinetik untuk tanpa bocor. Sedangkan untuk saluran dengan gangguan bocor, sebaran fluktuasi tekanan 94,1183% berbentuk energi tekanan dan 5,8817% berbentuk energi kinetik.

5. Kesimpulan

Dari pembahasan di atas secara grafis tampak karakteristik beda tekanan yang berfluktuasi dengan rentang amplitudo antara -0.230 sampai 0.205 [m H₂O] dan -0.206 sampai 0.235 [mH₂O] untuk aliran strata serta dp_{2tb} $h = -0.140$ sampai 0.110 [mH₂O] dan dp_{2ber} $h = -0.145$ sampai 0.510 [mH₂O] untuk aliran slug masing-masing berurutan untuk tanpa bocor dan dengan gangguan bocor. Amplitudo tersebut menunjukkan laju energi [J/s=Watt] tiap Newton fluida pada frekuensi < 0.2 [Hz] untuk aliran strata dan < 0.9 untuk aliran slug. Laju energi kinetik lebih dominan, dan pada saluran dengan gangguan bocor terjadi peningkatan energi kinetiknya, sedangkan energi tekanannya tampak menurun untuk aliran strata. Sebaliknya pada aliran slug laju energi tekanan lebih dominan untuk saluran bocor mencapai 94 %.

Maka dapat disimpulkan bahwa:

1. pengaruh pola aliran terhadap fluktuasi tekanan yang bervariasi, tampak ada peningkatan panjang rentang amplitudo (puncak ke puncak) untuk gangguan bocor dibandingkan tanpa gangguan bocor (normal). Fenomena ini dapat dijadikan sebagai karakteristik (tanda atau isyarat) adanya kebocoran pada sistem transportasi fluida melalui jaringan perpipaan.
2. laju energi kinetik dengan gangguan bocor ada peningkatan dibandingkan dengan laju energi kinetik pada aliran tanpa gangguan bocor untuk aliran strata, namun sebaliknya untuk aliran slug. Fenomena ini dapat dijadikan sebagai karakteristik (tanda atau isyarat) adanya kebocoran pada sistem transportasi fluida melalui jaringan perpipaan.
3. karakteristik fluktuasi tekanan dalam bentuk energi tekanan atau dalam bentuk energi kinetik dapat dimanfaatkan sebagai umpan balik pada sistem kendali operasi, misalnya membentuk

pola aliran tertentu, menghentikan operasi penyaluran fluida ke bagian tertentu guna pengecekan dan perawatan, aktivitas lainnya yang bersifat mencegah terjadinya kebocoran atau dampak lain yang membahayakan.

Ucapan Terima Kasih

Dalam proses penelitian dan penulisan makalah ini, banyak pihak yang berperan aktif memberikan dukungan baik berupa moril, materiil, finansial dan kerjasama, sehingga dapat terbitnya tulisan ini. Untuk hal tersebut, perkenalkan penulis menghaturkan ucapan terima kasih. Semoga Allah SWT mencatatnya sebagai amal shaleh. Amiin.

DAFTAR PUSTAKA

1. Baghdadi A.H.A, Mansy H.A., 1988, *A Mathematical Model For Leak Location in Pipelines*, Butterworth Publisher, Cairo.
2. Billmann L, Isermann R, 1987, *Leak Detektion Methods for Pipeline*, Automatica Vol.23, No.3, pp.381-385, Printed in Great Britain, England.
3. Doebelin Ernest O, Aritonang Edigom, Jr, M Sc. Dkk, 1992, *Sistem Pengukuran Aplikasi dan Perancangan*, Erlangga, Jakarta 10430.
4. Ferreira V.C.S, 1997, *Differential pressure spectral analysis for two-phase flow through an orifice plate*, Elsevier Science Limited, Printed in Northern Ireland. Alegre, Brazil.
5. Kiederle G, Mayinger, *Pressure Loss in valves during horizontal two-phase flow*, Technische Universität München, D-80290 München.
6. Koestoer Raldi Artono, DR, Ir; Sasanti Proborini, Ir; 1994, *Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
7. Lamari Muhamed Limayem, 2001, *An Experimental Investigation Of Two-Phase Air-Water Flow Regimes In a Horizontal Tube at Near Atmospheric Conditions*, Canada.
8. Lin dan Hanraty, 1987, *Identifikasi aliran slug menggunakan 2 buah pressure transducer yang terpisah pada pipa aliran dua fase horizontal udara dan air*
9. Pasek Ari darmawan, 1993, *Dasar-Dasar dan Teknik Pengukuran Tekanan*, PAU- Rekayasa ITB Bandung.

10. Masias I.B, Cruz S.L, Pereira J.A.F.R, 2003, *Leak Detection In Pipelines*, UNICAM 13083-970, Campinas, SP, Brazil.
11. Rajtar J.M, Muthiah R., 1997, *Pipeline Leak Detection System For Oil and Gas Flowline*, Copyright by ASME., New Mexico Tech, Socorro NM 87801.
12. Scott Stuart L. Dr, Barrufet Maria A. Dr, 2003, *Worldwide Assessment of Industry Leak Detection Capabilities For Single & Multiphase Pipelines*, Texas A&M University, Texas.
13. Seung Ihl Kam, 2009, *Mechanistic modeling of pipeline leak detection at fixed inlet rate*, PII: S0920-4105(09)00214-9, Journal of Petroleum Science and Engineering.
14. Please Spedding P.L., Spence D.R., 1992, *Flow Regimes in Two-Phase Gas-Liquid Flow*, Copyright © 1993 Pergamon Press Ltd., Ireland.
15. SUN, Yongjun ZHENG Bin; 2008, *Hilbert-Huang Transform Analysis of Dynamic Differential Pressure Signal of Gas-Liquid Two-phase Flow*, bsun555@cjlu.edu.cn, davidzhhyj@cjlu.edu.cn, China.
16. Wang Wenran and Tong Yunxian, 1995, *A New method of two-phase flow measurement by orifice plate differential pressure noise*, Institute of Nuclear Technology, Tsinghua University, Beijing 100084

Notasi Huruf Roman

A=area=luas [m²] [L²]

D=diameter pipa [m] [L]

d= diameter tabung [m] [L]

dp=delta tekanan [Pa=N/m²] [ML⁻²T⁻²]

(-dp/dz)=gradient tekanan [Pa/m=N/(m².m)]

Ep= energi tekanan [J]

Ek=energy kinetik [J]

F= pengali koefisien perpindahan kalor dua fase

f= friksi=koefisien gesekan

G=laju fluks massa [kg/(m².s)] [ML⁻²T⁻¹]

Gpm= gallon per menit = satuan laju aliran volumetric

$\overline{G_g}$ = laju fluks massa gas [$\frac{kg}{(m^2.s)}$]

$\overline{G_L}$ = laju fluks massa likuid [$\frac{kg}{(m^2.s)}$]

g=percepatan gravitasi [m/s²] [LT⁻²]

h=tinggi kolom fluida pada manometer tabung [mH₂O] [tor=tar]

J= kecepatan supresial, [m/s]

J_L= kecepatan superficial likuid, [m/s]

JG= kecepatan superficial gas [m/s]

L=panjang pipa [m]

M=massa [kg]

N= frekuensi (kekerapan) muncul

n= kelompok muncul, {anggota dari N}

n=kerapatan lokasi nukleasi

p=tekanan [Pa=N/m²]

P=power= daya=laju energi [J/s= Nm/s=W]

PSD=Power Sppektral Density=laju energi per gaya berat fluida [W/N]

Q=kapasitas alir= laju aliran volumetric [m³/s]

Qa=laju aliran volumetrik air [m³/s]

Qu=laju aliran volumetrik udara [m³/s]

q= fluks kalor [W/m²]

q= kualitas uap

R= radius cavity [m]

S=slip = rasio kecepatan antar fase

T=temperatur [K]

T=waktu perekaman [sekon]

U=vector kecepatan [m/s]

u= kecepatan aktual [m/s], u_l= kecepatan aktual likuid, u_g=kecepatan aktual gas

V=Volume [m³] , v=volume spesifik [m³/kg]

W =laju aliran massa [kg/s],

W_G = laju aliran massa gas [kg/s],

W_L = laju aliran massa likuid [kg/s]

X = parameter Lockhart dan Martinelli

x = fraksi uap/gas

z = jarak dari saluran masuk.

Notasi huruf Yunani

α = fraksi hampa

ε = kekasaran permukaan [mikron]

$\eta = \theta$ = sudut kemiringan pipa

λ = kalor laten penguapan [J/kg]

$\pi = \rho$ = massa jenis [kg/m³]

σ =tegangan permukaan [N/m]

τ = tegangan geser [N/m²]

μ =kekentalan dinamik [Pa.s]

ν = kekentalan kinematik [m²/s]

γ = berat jenis [N/m³]

ϕ^2 = faktor pengali aliran dua fase

ϕ_{L0}^2 = faktor pengali aliran dua fase likuid

Notasi Bilangan tak berdimensi

C = para meter dari Chisholm bergantung pada jenis aliran

F =bilangan Froude

Nu = bilangan Nusselt

Pr =bilangan Prandtl

Re =bilangan Reynolds

We =bilangan Weber

X =parameter Lockhart dan Martenelli