

ANALISIS ALIRAN DUA FASE (CAIR-UDARA) TERSTRATIFIKASI PADA SALURAN CABANG KECIL

Mulyono

Staff Pengajar Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Malang

Email : mulyono @umm.ac.id

mulyono010866@gmail.com

Abstrak

Aliran dua fase merupakan aliran multi fase . Aliran dua fase banyak dijumpai dalam kehidupan sehari- hari maupun dalam proses industri. Dalam kehidupan sehari- hari, banyak digunakan pada sistem pengangkutan batubara, pasir besi, maupun pengangkutan dalam industri. Selain itu gejala perpindahan kalor dalam media dengan aliran dua fase sangat banyak dijumpai dalam praktek, misalnya dalam komponen sistem konversi energi, seperti penukar kalor, evaporator dan siklus- siklus pendingin. Komponen- komponen di atas merupakan komponen yang lazim digunakan dalam proses industri dan instalasi pembangkit daya.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan besarnya hambatan hidraulik (R) pada aliran dua fase (udara-Air) yang terstratifikasi yang mendapatkan perlakuan perubahan penampang aliran dan tekanan masuk pada bidang pengujian.

Sedangkan manfaat dari penelitian ini adalah sebagai dasar acuan dalam perancangan komponen-komponen pembangkit daya. Misalnya ketel uap, Pembangkit nuklir dan lainnya.

Dari hasil perhitungan diperoleh kesimpulan bahwa perubahan centerline dari titik BGE (udara mulai masuk) menuju titik BLE (air mulai masuk) akan terjadi resistensi hidraulik (R) semakin besar. Ini memberikan arti bahwa aliran terstratifikasi (aliran diantara BGE dengan BLE) ke arah BLE akan mengakibatkan laju aliran air semakin besar sehingga resistensi hidraulik (di saluran belokan) akan semakin besar karena terlalu tingginya gesekan fluida dengan saluran dibelokan dan akibatnya terjadi olakan di belokan tersebut.

Kata Kunci : hambatan hidraulik, Aliran Dua Fase, Stratifikasi.

1. PENDAHULUAN

Aliran dua fase merupakan bagian dari aliran multi fase. Aliran yang terdiri dari dua fase dan masing-masing fase berbeda ini banyak dijumpai dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam proses-proses industri. Dalam kehidupan sehari-hari dapat dilihat pada aliran saluran pembuangan, pembangkit daya uap, aliran semen pasir di pipa dan lain-lain (Raldi, 1998).

Selain itu gejala perpindahan kalor dalam media dengan aliran dua-fase sangat banyak dijumpai dalam praktek, misalnya dalam komponen-komponen sistem konversi energi seperti penukar kalor, evaporator, dan siklus-siklus pendingin. Komponen-komponen di atas merupakan komponen yang lazim digunakan dalam proses industri dan instalasi tenaga nuklir (Hasan I.G, 1998).

Sampai saat ini penelitian mengenai aliran dua-fase masih terus dikembangkan, studi-studi mengenai aliran dua fase juga terus dikembangkan dikarenakan hal tersebut sangat terkait dengan banyak aplikasi perindustrian sehingga diharapkan nantinya diperoleh suatu petunjuk praktis dalam merencanakan komponen-komponen sistem konversi energi (Sumarli, 2001).

Perubahan tekanan masuk (P_o) dan variasi posisi Centerline (h) akan mempengaruhi besarnya fraksi muatan (X) dalam suatu saluran pada aliran dua fase terstratifikasi. Bila Centerline berada pada titik BLE (beginning liquid entrance) maka kondisi aliran menjadi aliran satu fase yaitu fase gas. Begitu juga jika centerline berada pada titik BGE (beginning gas entrance) maka aliran menjadi aliran satu fase yaitu cairan. Perubahan posisi dari BLE ke BGE akan menimbulkan aliran dua fase (cairan-udara) yang mana besarnya muatan dipengaruhi oleh besarnya tekanan tiap-tiap fluida masuk ke ruang uji (P_o). Semakin besar P_o maka laju aliran masa dua fase semakin besar (mulyono, 2005).

Berkaitan dengan hal-hal di atas maka penulis melakukan penelitian (eksperimen) lanjutan tentang aliran dua fase terstratifikasi dengan melakukan perubahan saluran penampang pada

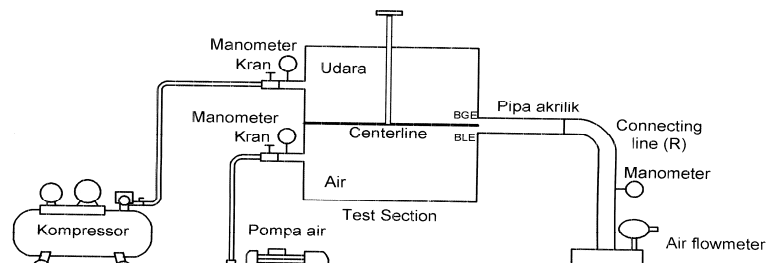
belokan ketika aliran dua fase mengalir menuju separator. Dari sini dapat kita ketahui besarnya hambatan hidroulik (R) aliran dua fase yang terjadi.

Hambatan hiroulik merupakan suatu variabel yang penting dalam rekayasa pembangkit daya uap atau lainnya, khususnya tentang pemilihan bentuk saluran penampang komponen-komponen pembangkit daya. Dampak hambatan hidroulik akan mengakibatkan aliran menjadi tidak kontinu atau stabil. Bila terjadi pada pipa evaporator akan berdampak terhadap kontinuitas uap yang dihasilkan. Untuk dari itu saluran penampang yang mempunyai hambatan hidroulik tinggi cenderung di hindari.

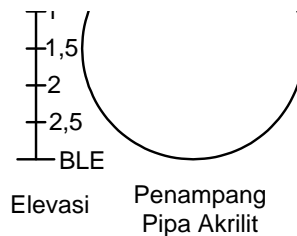
Untuk mendapatkan besaran hambatan hidroulik (R) pada aliran dua fase terstratifikasi yang mendapatkan perlakuan berupa perubahan diameter saluran penampang (d) dan Tekanan fluida (air-gas) masuk (P_o). Dengan Sedangkan manfaat hasil penelitian ini, khususnya dalam dunia industri bisa menjadi acuan dalam merancang alat atau komponen yang memakai aliran dua-fase terutama industri yang berhubungan dengan sistem konversi energi

2. METODE

Parameter Penelitian, Instalasi Penelitian Dan Posisi Centerline



Gambar 1 : Instalasi Penelitian



Gambar 2 : Posisi Centerline (elevasi)

Parameter penelitian ini sesuai gambar 1, Yaitu, suatu cabang berdiameter d yang mensimulasikan suatu break kecil yang ditempatkan disamping suatu kotak test-section dari kaca yang berisi lapisan udara dan air dengan kondisi terstratifikasi pada suatu tekanan masuk (P_{in}) sama. Pemisah antara air-udara pada kotak test-section disebut centerline. Ketinggian atau elevasi bidang penghubung datar antara udara dan air diatas centerline pada cabang tersebut adalah h . Ketinggian (elevasi) diatur berdasarkan besarnya diameter pipa akrilit ($D=3cm$) yaitu dalam 5 elevasi. Arus pelepasan campuran dua-fase melalui cabang itu diarahkan melalui suatu pipa akrilit yang dihubungkan dengan pipa penghubung menuju separator dimana terjadi perubahan tekanan (P_{out}).

Untuk kondisi tekanan input (P_{in}) yang tetap, maka pelepasan campuran dua-fase akan tergantung pada tinggi h . Pada nilai elevasi 0 (h_0), pelepasan muatan muatan arus itu akan berupa cairan saja. Sedangkan pada elevasi 3 (h_{3cm}) pelepasan muatan akan berupa gas. Penurunan tekanan yang terjadi dihitung untuk nilai ΔP dimana rumus :

$$\Delta P = P_{in} - P_{out} \dots\dots\dots(1)$$

Ketika menurunkan h , suatu nilai kritis tercapai dimana gas mulai menjadi ter-**ENTRAINED** dalam arus cairan dominan. Kondisi ini disebut permulaan atau awal **ENTRAINMENT** gas dimana $h = h_{BGE}$ dan $m_L = m_{L,BGE}$ untuk $h \geq h_{BGE}$, nilai m_L pada hakekatnya konstan sama dengan nilai $m_{L,BGE}$. Dalam eksperimen ini nilai $m_{L,BGE}$ tergantung pada ΔP dan resistansi hidrolis pipa penghubung R . Dimana rumus:

$$R = \sqrt{\frac{\Delta P}{m_{L,BGE}}} \dots\dots\dots(2)$$

Suatu penurunan lebih lanjut akan menimbulkan suatu pelepasan muatan dua-fase, m_{TP} , yang dapat terbagi dalam separator tersebut menjadi komponen-komponen cairan dan gas dengan kecepatan arus m_L dan m_G , dimana:

$$m_{TP} = m_L + m_G \dots\dots\dots(3)$$

Besar pelepasan muatan x ditunjukkan pada rumus:

$$x = m_G / m_{TP} \dots\dots\dots(4)$$

Tren ini berlanjut hingga suatu nilai kritis lain tercapai (permulaan entrainment cairan), dimana $h = h_{BLE}$, $m_G = m_{G,BLE}$, dan kualitas pelepasan muatan sama dengan satu (meskipun pada penurunan level bidang penghubung, pada titik ini, merupakan perubahan arus karena adanya cairan tersebut menjadi cairan yang terentrained dalam cabang tersebut. Untuk $h \leq h_{BLE}$, pelepasan muatan tersebut akan berbentuk gas satu fasa dan kecepatan arus, m_G yang tetap pada hakekatnya konstan dan sama dengan kecepatan $m_{G,BLE}$. Nilai $m_{G,BLE}$ tergantung pada P_{in} , ΔP , dan R .

Tujuan studi ini adalah untuk berfokus pada daerah pelepasan muatan fasa yang sesuai dengan $h_{BLE} \leq h \leq h_{BGE}$, dan untuk meneliti adanya perilaku kecepatan m , m_{TP} , dan kualitas x dalam daerah tersebut. Kedua, parameter-parameter tersebut diperkirakan menjadi suatu fungsi parameter independen P_{in} , ΔP , R , dan h . ΔP dan R akan tampak memberikan kontribusi pada $m_{L,BGE}$ dan $m_{G,BLE}$ pada sistem tersebut bersama dengan V_0 dan h .

Keterangan:

- d = diameter branch (cm)
- g = gaya gravitasi (kg/ dt²)
- h = tinggi likuid (cm)
- m = laju massa (kg/ dt)
- P = tekanan (kg/ cm²)
- R = resistansi hidrolis (kg.m)^{-1/2}
- x = kualitas muatan

Subscripts

- BGE = Beginning of Gas Entrainment
- BLE = Beginning of Likuid Entrainment
- G = fase udara
- L = fase cair
- TP = Two phase

Instrumen Penelitian

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Kompresor
Kompresor berfungsi untuk menyuplai udara bertekanan menuju test section.

Data-data kompresor:

- Model : DH-20
 - Tekanan : 8 Kg/cm²
 - Power : 2 HP
 - Kapasitas : 335 l/menit
- Data-data motor : 3 Phase Induction
- Type : 90 LA
 - Tegangan : 3,6 A
 - Putaran : 1400 rpm/menit
 - Volt : 220/380 V
 - Frekuensi : 50 Hz
 - Daya : 2 HP

2. Pompa air

Pompa air berfungsi untuk menyuplai fluida cair bertekanan menuju test section

Data-data pompa:

- Power : 125 W
- Voltage : 220 V
- Rpm : 9 m
- Discharge Head : 24 m
- Kapasitas : 42 L/H

3. Test section (reservoir)

Test section berbentuk kotak tertutup dimana terdapat lubang suplai udara dan air dengan tekanan yang sama (input), lubang pipa akrilik (output) dan terdapat centerline didalamnya.

4. Pipa akrilik

Pipa akrilik berfungsi sebagai keluarnya campuran dua fase udara dan air dari test section menuju connecting line, kemudian menuju separator.

5. Separator

Separator berfungsi untuk memisahkan campuran dua fase yang meninggalkan bagian test dimana udara dan air terbagi oleh aksi sentrifugal dan perbedaan berat jenis.

6. Pipa PVC

Pipa PVC berfungsi sebagai connecting line (R).

7. Water flowmeter dan Air flowmeter

Berfungsi untuk mengukur udara dan air didalam separator pada masing-masing meteran yang terletak pada separator.

8. Manometer

Manometer berfungsi untuk mengukur tekanan udara dan air dari kompressor dan pompa air.

9. Regulator

Regulator berfungsi untuk mengatur tekanan input udara dan air dari kompressor dan pompa air, diharapkan tekanan udara dan air masing-masing sama.

Pengambilan Data

Prosedur pengambilan data pada penelitian ini adalah:

1. Mempersiapkan alat-alat yang akan digunakan.
2. Mengatur centerline sesuai dengan tinggi (h) yang sudah ditentukan.
3. Menjalankan kompressor dan pompa air.
4. Mengatur tekanan udara yang keluar dari kompresor dan tekanan air yang keluar dari pompa air melalui regulator untuk mendapatkan tekanan yang sama antara udara dan air dan membiarkan aliran beberapa detik untuk memperoleh aliran yang kontinyu.
5. Mencatat laju aliran massa gas dan air pada air flow metre dan water flow meter yang terdapat pada separator ketika aliran sudah berjalan kontinyu selama 10 detik sebanyak 5 kali.
6. Men shutdown kompresor dan pompa air setelah pencatatan dilakukan
7. Mungulang langkah 3, 4, 5, 6 sesuai dengan tinggi (h) dan tekanan yang sudah ditentukan .

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Resistensi Hidrolik (R)

Dari hasil perhitungan diperoleh data resistansi hidrolik (R) sebagai berikut:

Tabel 1: Data resistansi hidrolik (R)

Elevasi	0.5	1	1.5	2	2.5
Pipa	R	R	R	R	R
0.5 Dim	0.2258812	0.2129629	0.2414772	0.1971653	0.2129629
	0.2459084	0.2129629	0.1971653	0.2129629	0.2129629
	0.2129629	0.2258812	0.1844313	0.2608252	0.1505875
	0.2608252	0.1971653	0.1971653	0.2129629	0.1649603
	0.2608252	0.1971653	0.2414772	0.1971653	0.2332892
Σ	1.2064029	1.0461377	1.0617163	1.0810816	0.9747628
Σ̄	0.2412806	0.2092275	0.2123433	0.2162163	0.1949526
1 Dim	0.3117457	0.2788339	0.2608252	0.2857197	0.2608252
	0.3688625	0.3367239	0.2857197	0.2857197	0.2608252
	0.3415004	0.3011750	0.2332892	0.2857197	0.2332892
	0.2608252	0.3688625	0.2857197	0.2129629	0.2332892
	0.2916114	0.3367239	0.2129629	0.1844313	0.1844313
Σ	1.5745453	1.6223192	1.2785166	1.2545532	1.1726600
Σ̄	0.3149091	0.3244638	0.2557033	0.2509106	0.2345320
1.25 Dim	0.4364440	0.3688625	0.3688625	0.3688625	0.3194443
	0.4364440	0.3688625	0.4124009	0.3194443	0.2608252
	0.4364440	0.4517625	0.3688625	0.4259258	0.3688625
	0.3688625	0.4517625	0.3688625	0.3688625	0.3688625
	0.4040687	0.4040687	0.3299207	0.3688625	0.3688625
Σ	2.0822633	2.0453187	1.8489091	1.8519577	1.6868571
Σ̄	0.4164527	0.4090637	0.3697818	0.3703915	0.3373714

Analisa Statistik Dengan SPSS

Untuk mempermudah dalam menganalisis data digunakan software SPSS Versi 10.0. banyaknya perlakuan dari masing-masing variabel.

Tabel 2: Hasil analisa varian (SPSS)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: KOMBINAS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.412 ^a	15	2.747E-02	22.989	.000
Intercept	1.210	1	1.210	1012.233	.000
KELOMPOK	8.923E-04	1	8.923E-04	.747	.391
DIAMETER	.351	2	.176	147.054	.000
ELEVASI	4.758E-02	4	1.189E-02	9.954	.000
DIAMETER * ELEVASI	1.214E-02	8	1.518E-03	1.270	.277
Error	7.050E-02	59	1.195E-03		
Total	6.812	75			
Corrected Total	.483	74			

a. R Squared = .854 (Adjusted R Squared = .817)

Pada kolom source (perlakuan), untuk perlakuan diameter dan elevasi menyatakan berpengaruh nyata. Hal ini didasarkan dengan melihat besarnya nilai probabilitas yang dihasilkan (pada kolom Sig.) < 0,05 (5%). Sehingga hasilnya baik untuk pengaruh utama elevasi dan diameter maupun interaksi dwi faktor mempunyai hubungan nyata.

Dari hasil *Koefisien Determinasi* (R square = 0,854) secara total dapat disimpulkan bahwa 85,4% resistansi hidrolis dipengaruhi variabel diatas, dan sisanya ditentukan oleh variabel lain.

Uji Lanjut BNT

Uji lanjut BNT ini dilakukan apabila terdapat pengaruh antara variabel bebas dengan variabel terikat. Uji lanjut BNT ini bertujuan untuk mengetahui level-level perlakuan mana yang pengaruhnya berbeda dan level-level mana yang pengaruhnya sama.

Uji Lanjut BNT Diameter

Tabel 3: Hasil uji BNT perbandingan diameter

Multiple Comparisons

Dependent Variable: ALIRAN

LSD

(I) DIAMETE	(J) DIAMETE	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.50	1.00	-6.130E-02*	*****	.000	-8.5360E-02	-3.7239E-02
	1.25	.16580818*	*****	.000	-.189868637	-.141747715
1.00	.50	6.130E-02*	*****	.000	3.7239E-02	8.5360E-02
	1.25	.10450844*	*****	.000	-.128568905	-8.0448E-02
1.25	.50	.165808176*	*****	.000	.141747715	.189868637
	1.00	.104508444*	*****	.000	8.0448E-02	.128568905

*. The mean difference is significant at the .05 level.

Uji Lanjut BNT Elevasi

Dari hasil uji BNT diameter (Tabel 3) diperoleh untuk semua level perlakuan perubahan diameter memberikan perbedaan yang nyata pada resistansi hidrolisnya. Pada level perlakuan perubahan diameter ½ Dim dibandingkan dengan level perlakuan perubahan diameter 1 Dim memberikan perbedaan yang nyata, begitu juga jika dibandingkan dengan level perlakuan perubahan diameter 1¼ Dim hasilnya memberikan perbedaan yang nyata.

Dari hasil uji BNT elevasi (Tabel 4) diperoleh untuk level perlakuan perubahan elevasi 0,5 dibandingkan dengan level perlakuan perubahan elevasi 1; elevasi 1,5 dan elevasi 2 hasilnya relatif sama, artinya tidak memberikan perbedaan yang nyata pada resistansi hidrolisnya, sedangkan apabila dibandingkan dengan level perlakuan perubahan elevasi 2,5 memberikan perbedaan yang nyata.

Tabel 4: Hasil uji BNT perbandingan elevasi

Multiple Comparisons

Dependent Variable: ALIRAN

LSD

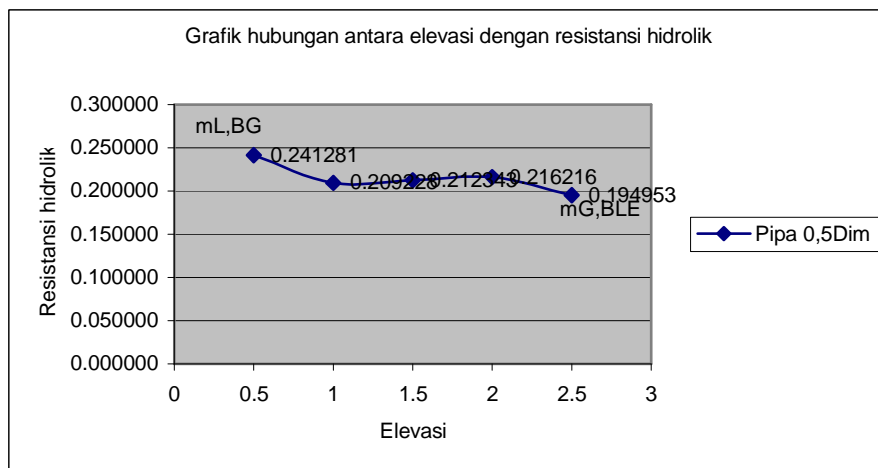
(I) ELEVASI	(J) ELEVASI	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
					Lower Bound	Upper Bound
.50	1.00	9.962E-03	*****	.730	-4.7445E-02	6.7370E-02
	1.50	4.494E-02	*****	.123	-1.2470E-02	.102345433
	2.00	4.504E-02	*****	.122	-1.2366E-02	.102448739
	2.50	6.860E-02*	*****	.020	1.1188E-02	.126002913
1.00	.50	-9.962E-03	*****	.730	-6.7370E-02	4.7445E-02
	1.50	3.498E-02	*****	.228	-2.2432E-02	9.2383E-02
	2.00	3.508E-02	*****	.227	-2.2329E-02	9.2486E-02
	2.50	5.863E-02*	*****	.045	1.2256E-03	.116040526
1.50	.50	-4.494E-02	*****	.123	-1.02345433	1.2470E-02
	1.00	-3.498E-02	*****	.228	-9.2383E-02	2.2432E-02
	2.00	1.033E-04	*****	.997	-5.7304E-02	5.7511E-02
	2.50	2.366E-02	*****	.414	-3.3750E-02	8.1065E-02
2.00	.50	-4.504E-02	*****	.122	-1.02448739	1.2366E-02
	1.00	-3.508E-02	*****	.227	-9.2486E-02	2.2329E-02
	1.50	-1.033E-04	*****	.997	-5.7511E-02	5.7304E-02
	2.50	2.355E-02	*****	.416	-3.3853E-02	8.0962E-02
2.50	.50	-6.860E-02*	*****	.020	-1.126002913	-1.1188E-02
	1.00	-5.863E-02*	*****	.045	-1.116040526	-1.2256E-03
	1.50	-2.366E-02	*****	.414	-8.1065E-02	3.3750E-02
	2.00	-2.355E-02	*****	.416	-8.0962E-02	3.3853E-02

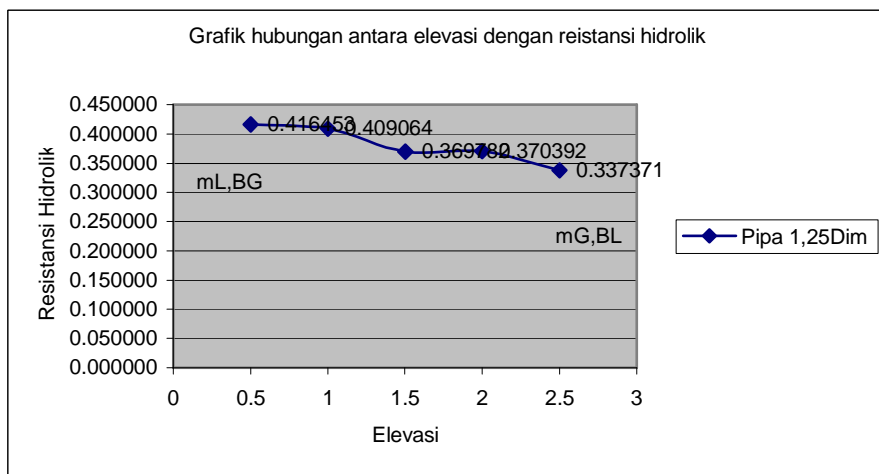
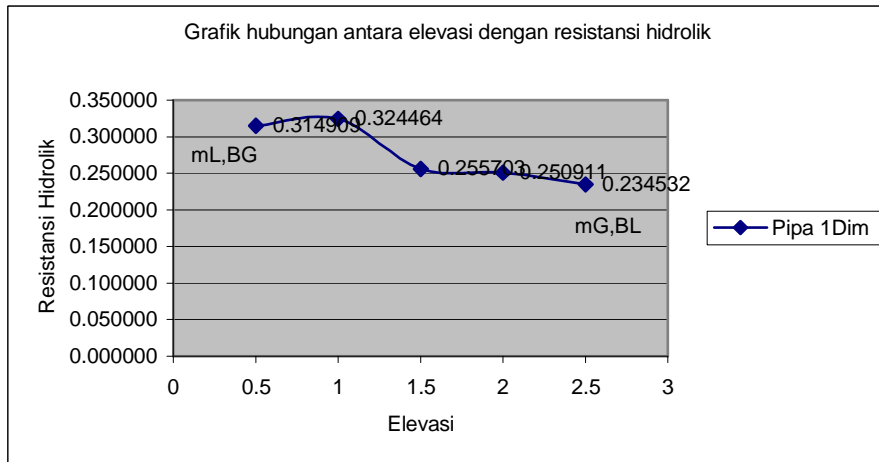
*. The mean difference is significant at the .05 level.

Pembahasan Grafik

Dari tabel data resistansi hidrolis diperoleh grafik hubungan antara lain:

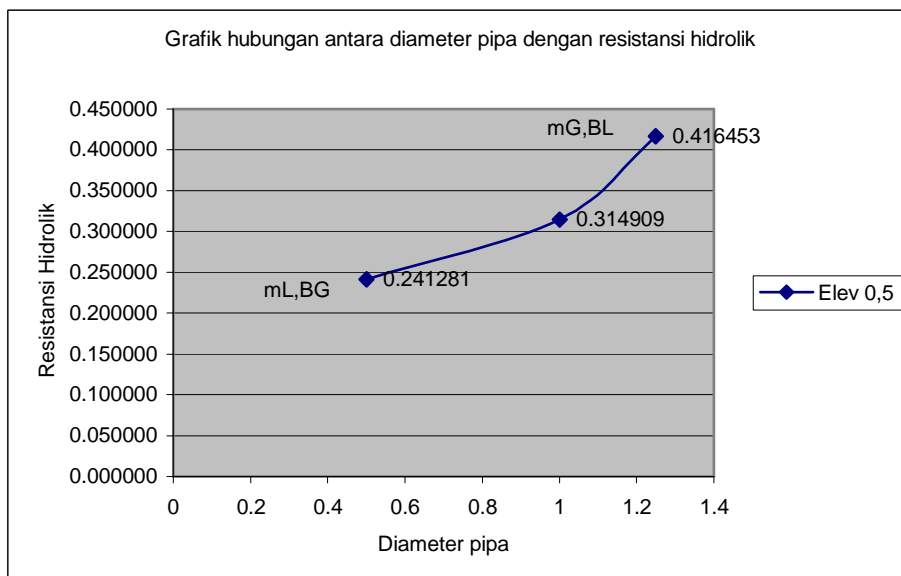
1. Grafik hubungan antara elevasi dengan resistansi hidrolis

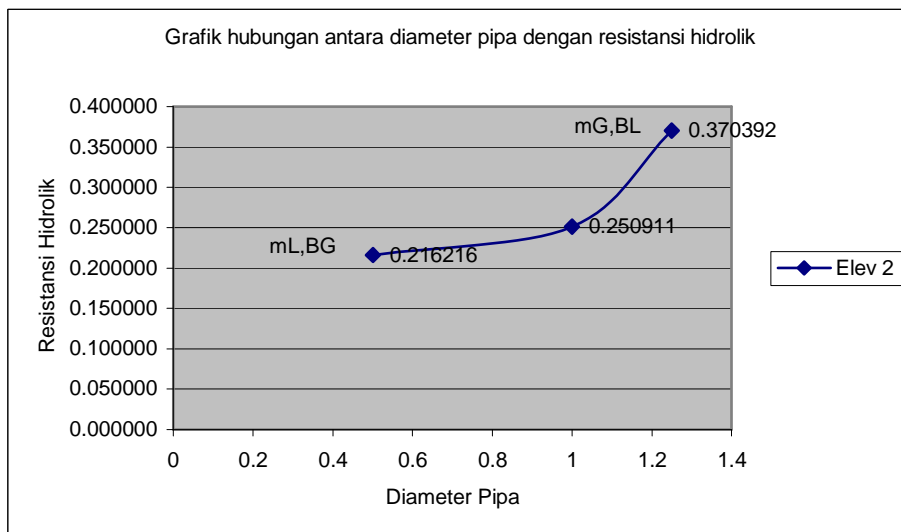
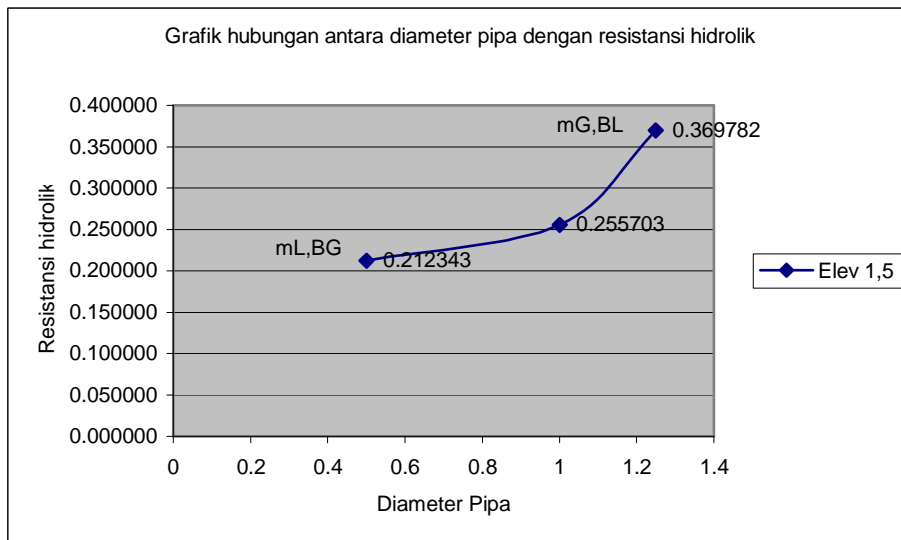
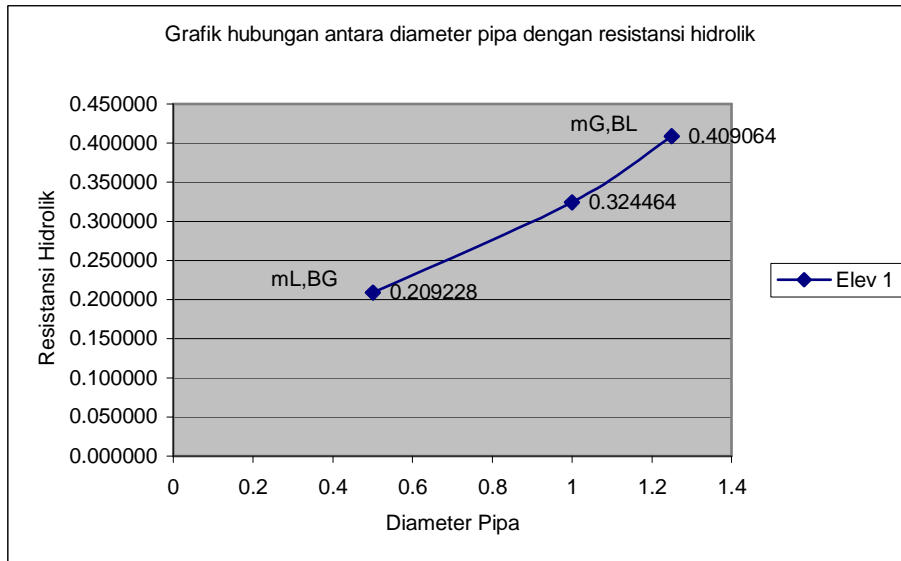


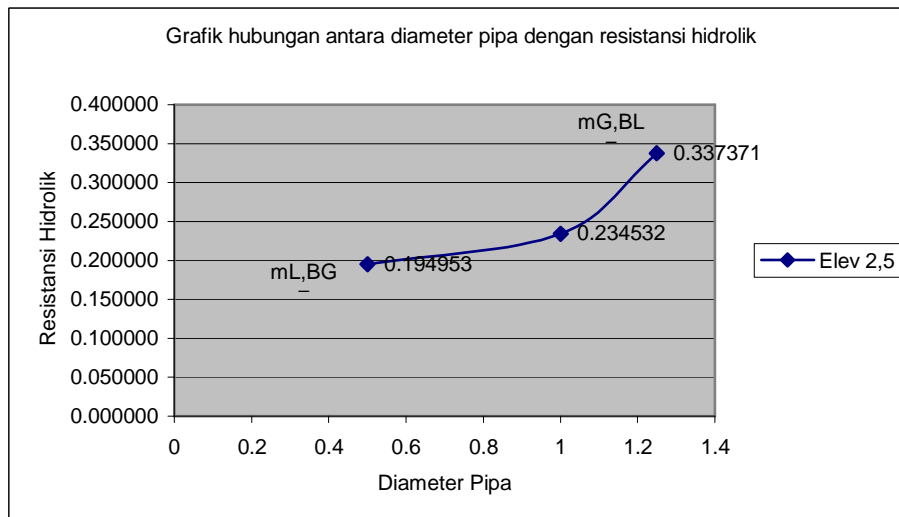


Dari grafik hubungan antara perubahan elevasi dengan resistansi hidrolik diperoleh, bahwa semakin besar elevasi maka resistansi hidrolik semakin kecil. Maksudnya pada elevasi 0,5 aliran dua-fase yang keluar lebih banyak cairan dibandingkan dengan gas sedangkan pada elevasi 2,5 aliran dua-fase yang keluar lebih banyak gas. Apabila elevasinya semakin besar laju cairan akan semakin kecil dan resistansi hidroliknya semakin kecil (menurun). Nilai resistansi hidrolik tertinggi pada elevasi 0,5 yaitu $0,416453 \text{ (kg.m)}^{-1/2}$ dan terendah pada elevasi 2,5 yaitu $0,194953 \text{ (kg.m)}^{-1/2}$.

2. Grafik hubungan antara diameter pipa dengan resistansi hidrolik







Dari grafik hubungan pengaruh perubahan diameter pipa terhadap resistansi hidrolis, diperoleh bahwa semakin besar diameter pipa maka resistansi hidrolis juga semakin besar. Maksudnya, diameter pipa penghubung semakin besar, penurunan tekanan (ΔP) akan semakin besar dan resistansi hidrolisnya semakin besar. Nilai resistansi hidrolis tertinggi pada diameter $1\frac{1}{4}$ Dim yaitu $0,41653 \text{ (kg.m)}^{-1/2}$ dan terendah pada diameter $\frac{1}{2}$ Dim yaitu $0,194953 \text{ (kg.m)}^{-1/2}$.

4. Kesimpulan Dan Saran

Kesimpulan

Dari hasil analisa data diperoleh beberapa kesimpulan antara lain:

- a. Dari korelasi antar variabel terhadap resistansi hidrolis
 1. Dari korelasi antara elevasi terhadap resistansi hidrolis diperoleh bahwa semakin besar elevasinya maka resistansi hidrolisnya semakin kecil. Maksudnya, ketika elevasinya diturunkan dari BGE menuju BLE, maka laju aliran massa cairan akan semakin kecil sedangkan laju massa gas akan semakin besar, penurunan tekanan yang terjadi juga semakin kecil, sehingga resistansi hidrolisnya semakin kecil.
 2. Dari korelasi antara diameter pipa terhadap resistansi hidrolis diperoleh bahwa semakin besar diameter pipa maka resistansi hidrolisnya akan semakin besar. Maksudnya, ketika diameter pipa penghubung diubah dari diameter 0,5 Dim, 1 Dim dan 1,25 Dim (semakin besar), akan berpengaruh terhadap penurunan tekanan yang semakin besar, sehingga resistansi hidrolisnya semakin besar.
- b. Dari pengaruh antar variabel terhadap resistansi hidrolis
 1. Dari hasil analisa varian dwi faktor dengan menggunakan software SPSS V.10.0, diperoleh adanya pengaruh nyata dari perubahan elevasi dan perubahan diameter pipa terhadap resistansi hidrolis, maksudnya perubahan elevasi dan diameter pipa penghubung pada penelitian ini memberikan adanya perbedaan yang nyata pada resistansi hidrolisnya.

Saran

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis menyadari adanya kekurangan-kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran dari pembaca akan sangat bermanfaat untuk kebaikan bersama. Penulis mengharapkan agar studi penelitian ini terus dikembangkan dan dilanjutkan oleh peneliti lain, agar diperoleh suatu petunjuk teknis dan desain praktis dalam merencanakan komponen-komponen sistem konversi energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Harijono Djoyodiharjo, "Mekanika Fluida", Erlangga, Jakarta, 1983
 Ronald V Giles, "Mekanika Fluida dan Hidraulika", Seri buku Schaum, Edisi ke 2, Erlangga, Jakarta 1984.

- Robert W Fox and Alan T Mc Donald, “ **Introduction to Fluid Mechanics**”, Edisi ke 3 Jhon Wiley & Sons, USA, 1985
- Raldi Artoeno Koestoer, Susanti Proborini, “ **Aliran Dua Fase dan Fluks Kalor Kritis**”, Pradnya Paramita, Jakarta, 1992
- I.G. Hassan, H.M. Soliman, G.E. Sims and J.E. Kowalkski, “ **Two-Phase Flow From a Stratified Region Trough a Small Side Branch**”, Journal of Fluids Engineering, Vol. 120, September 1998.
- Ronald E. Walpole and Raymond H. Myers, “ **Ilmu peluang dan statistika untuk insinyur dan ilmuwan**”, Edisi ke empat, ITB, Bandung, 1998
- E sugandi dan Sugiarto, “ **Rancangan percobaan Teori dan Aplikasi**”, Andi Offset, Yogyakarta, 1994
- Sumarli, Indarto, 2001, *Penurunan Tekanan Aliran Dua Fase Gas-Cair melewati sudden Contraction*, Media Teknik, No. 2 , Tahun Ke XXIII, edisi Mei 2001.