

MODUL PEMBELAJARAN

FΔHRIZAL ΔDNΔN

MEKANIKA FLUIDA

Kata Pengantar

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah Yang Maha Esa atas segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan pembuatan **Modul Pembelajaran Mekanika Fluida Teknik Lingkungan** yang akan digunakan sebagai bahan ajar perkuliahan mekanika fluida di Program Studi S1 Teknik Lingkungan Universitas Mulawarman. Mata Kuliah ini merupakan mata kuliah wajib dan menjadi dasar dalam perkuliahan lanjutan dalam aspek pengolahan air. Hal ini juga sejalan untuk menguatkan Pola ilmiah Pokok (PIP) Universitas Mulawarman yaitu Studi Tropis dan lingkungannya. Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. M. Dahlan Balfas, S.T, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Uiversitas Mulawarman
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Tamrin S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik, Kemahasiswaan dan Alumni Fakultas Teknik
3. Bapak Ibu Dosen di Lingkungan Program Studi S1 Teknik Lingkungan

Penulis menyadari sepenuhnya akan kekurangan yang terdapat dalam karya ini, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun diperlukan untuk membuat modul pembelajaran ini supaya menjadi lebih baik lagi. Semoga modul pembelajaran ini dapat mudah dipahami sebagai pendukung proses pembelajran mandiri.

Samarinda, 10 November 2021

Ir. Fahrizal Adnan, S.T., M.Sc.

NIP 198807262019031010

Daftar Isi

Kata Pengantar	1
Daftar Isi	2
Peta Kedudukan Modul	3
Glosarium	4
I. Pendahuluan	5
1.1 Deskripsi	5
1.2 Prasyarat	5
1.3 Petunjuk penggunaan Modul.....	5
1.4 Penjelasan bagi mahasiswa	6
1.5 Peran Dosen	6
1.6 Tujuan Akhir.....	6
1.7 Kompetensi	6
1.7.1 Sikap dan tata nilai	6
1.7.2 Kemampuan Kerja Umum	7
1.7.3 Kemampuan Kerja Khusus.....	7
1.7.4 Penguasaan Pengetahuan.....	7
1.7.5 Kewenangan dan Tanggung Jawab	8
1.8 Cek kemampuan	8
II. Pembelajaran	9
Tujuan kegiatan pembelajaran	9
Referensi	9
Rencana belajar Mahasiswa	9
Aliran Fluida dalam Pipa	10
Pengukuran Aliran Fluida	22

Peta Kedudukan Modul



Glosarium

Simbol-simbol Huruf

a	percepatan	i	gradien hidrolik
A	luas	k	pangkat isentropik
c	kecepatan suara	K	modulus elastisitas (b
c_p	kapasitas panas jenis isobarik	l	panjang
c_v	kapasitas panas jenis volumetrik	m	massa
C	kompresibilitas	\dot{m}	laju aliran massa/flux
$^{\circ}C$	derajat celcius	M	bilangan mach
C_c	koefisien kontraksi	M_w	massa molekul suatu ;
D_D	koefisien seret	p	tekanan
C_d	koefisien pengaliran	P_{atm}, P_o	tekanan atmosfer
C_L	koefisien angkat	p_{abs}	tekanan absolut
C_v	koefisien kecepatan	p_{ukur}	tekanan ukur
d	diameter	P	daya (power)
D	diameter	Q	debit / laju aliran vol
E_k	energi kinetik	r	jari-jari
E_P	energi potensial	R	konstanta gas
E_{stat}	energi tekanan	R_u	konstanta gas univers;
f	faktor gesekan	Re	angka Reynold
f	gaya	s	jarak
f	fungsi	SG	kerapatan relatif/spesi;
F	gaya		<i>gravity</i>
F_D	gaya seret	t	waktu
F_L	gaya angkat	T	temperatur mutlak
F_x	gaya pada sumbu-x	T_o	temperatur stagnasi
F_y	gaya pada sumbu-y	u	kecepatan relatif
F_R	gaya resultan	v	kecepatan
g	percepatan grafitasi	v	volume spesifik
h	head/tinggi tekan	V	volume
h	tinggi	V	kecepatan absolut
h	enthalpi	W	kerja (energy/work)
h_o	enthalpi stagnasi	W	gaya berat
H_g	air raksa	y	jari-jari dalam
H	head/tinggi tekan	y	jarak
h_f	<i>major losses</i>	z	beda tinggi/elevasi
h_L	<i>minor losses</i>		

I. Pendahuluan

1.1 Deskripsi

Memberikan pemahaman kepada mahasiswa tentang pengetahuan dan kemampuan menggunakan dasar-dasar mekanika fluida (air dan udara) yang akan menunjang mata kuliah keahlian khususnya yang berkaitan dengan perancangan yang melibatkan aliran fluida terutama pada saluran tertutup.

1.2 Prasyarat

Mata kuliah ini memiliki prasyarat yaitu mata kuliah Fisika Lingkungan

1.3 Petunjuk penggunaan Modul

Sebelum anda mempelajari modul ini, sebaiknya anda membaca terlebih dahulu petunjuk penggunaan berikut ini.

1. Dalam modul ini disediakan peta konsep yang menggambarkan hubungan kasualitas materi dalam kegiatan belajar yang satu dengan yang lainnya. Dengan peta konsep tersebut akan memudahkan Anda dalam memahami kompetensi apa saja yang harus dikuasai agar tercapai standar kompetensi yang diinginkan.
2. Mata diklat ini memiliki alokasi waktu sebanyak 6 jamlat dengan modul yang terbagi atas 2 kegiatan belajar. Pembagian kegiatan belajar tersebut telah disesuaikan dengan alur implementasinya sehingga pemahaman satu materi akan sangat penting sebagai modal Anda dalam memahami kegiatan belajar berikutnya.
3. Di setiap akhir bagian kegiatan belajar terdapat tes sumatif yang disediakan guna menguji tingkat pemahaman Anda setelah memperoleh pengajaran. Jawablah setiap pertanyaan dalam tes tersebut, dan nilai yang anda peroleh agar dijadikan sebagai umpan balik untuk menilai lagi apakah materi dalam kegiatan belajar sudah Anda kuasai dengan baik atau belum.
4. Guna memudahkan Anda dalam memahami materi dalam modul ini, Pengajar nantinya akan banyak melakukan simulasi atau latihan selama proses pembelajaran berlangsung

1.4 Penjelasan bagi mahasiswa

1. Bacalah dan pahami materi yang ada pada setiap kegiatan belajar. Bila ada materi yang belum jelas, siswa dapat bertanya pada guru.
2. Kerjakan setiap tugas diskusi terhadap materi-materi yang dibahas dalam setiap kegiatan belajar.
3. Jika belum menguasai level materi yang diharapkan, ulangi lagi pada kegiatan belajar sebelumnya atau bertanyalah kepada guru.

1.5 Peran Dosen

1. Sebagai perencana, dosen adalah penentu jenis tugas yang harus dikerjakan mahasiswa.
2. Sebagai fasilitator, dosen adalah penentu atau penyedia sarana yang dapat mengilhami mahasiswa dalam berpikir aktif dan kreatif.
3. Sebagai evaluator, dosen dalam menilai tugas yang dibuat mahasiswa seringkali dosen terlalu cepat menyalahkan tugas yang dibuat mahasiswa tanpa berusaha melihat kesalahan secara lebih luas.

1.6 Tujuan Akhir

Setelah mengikuti perkuliahan ini mahasiswa diharapkan mampu memahami konsep aliran fluida, aliran dalam perpipaan, kehilangan tekanan, dimensi dan jaringan perpipaan, perubahan tekanan dan debit dalam aliran tertutup.

1.7 Kompetensi

1.7.1 Sikap dan tata nilai

Mampu bekerja sama dan memiliki kepekaan sosial serta kepedulian terhadap masyarakat dan lingkungan

1.7.2 Kemampuan Kerja Umum

1. Mampu melakukan penerapan ilmu pengetahuan dan atau teknologi, melalui penalaran ilmiah dengan menggunakan pemikiran logis, kritis dan inovatif.
2. Mampu melakukan pengkajian pengetahuan dan atau teknologi dibidangnya berdasarkan kaidah keilmuan yang disusun dalam bentuk skripsi/ laporan tugas akhir, atau menghasilkan karya desain/ seni beserta deskripsinya berdasarkan metode atau kaidah rancangan baku
3. Mampu mempublikasikan hasil tugas akhir atau karya desain/ seni yang dapat diakses oleh masyarakat akademik
4. Mampu mengkomunikasikan informasi dan ide melalui berbagai media kepada masyarakat sesuai dengan bidang keahliannya

1.7.3 Kemampuan Kerja Khusus

1. Mampu menerapkan matematika, statistika, fisika, kimia, biologi, mikrobiologi, dan prinsip rekayasa (*engineering principles*) untuk menyelesaikan masalah rekayasa pada upaya peningkatan kualitas lingkungan meliputi penyediaan air bersih, pengelolaan sampah dan limbah cair, padat, dan gas, pengendalian pencemaran udara serta kesehatan dan keselamatan kerja(K3)
2. Mampu menemukan sumber masalah rekayasa melalui proses penyelidikan, analisis, interpretasi data dan informasi berdasarkan prinsip-prinsip rekayasa berkaitan dengan upaya peningkatan kualitas dan isu-isu lingkungan air, udara, tanah, dan kesehatan lingkungan
3. Mampu melakukan riset yang mencakup identifikasi, formulasi dan analisis masalah rekayasa sesuai dengan bidang keilmuan teknik lingkungan
4. Mampu merancang sistem dan proses yang diperlukan untuk upaya peningkatan kualitas lingkungan sesuai standar teknis, keselamatan dan kesehatan lingkungan yang berlaku dengan mempertimbangkan aspek kinerja dan keandalan, kemudahan penerapan dan keberlanjutan, serta memperhatikan faktor-faktor ekonomi, kesehatan dan keselamatan publik, kultural, sosial dan lingkungan

1.7.4 Penguasaan Pengetahuan

1. Menguasai konsep teoretis sains alam, aplikasi matematika rekayasa; prinsip-prinsip rekayasa (*engineering fundamentals*), sains rekayasa dan perancangan rekayasa yang diperlukan untuk

analisis permasalahan lingkungan dan perancangan rekayasa lingkungan serta sistem pengelolaan lingkungan

2. Menguasai prinsip dan teknik perancangan teknik lingkungan dengan pendekatan sistem secara terintegrasi

1.7.5 Kewenangan dan Tanggung Jawab

1. Mampu bertanggung jawab atas pekerjaan di bidang keahliannya secara mandiri dan dapat diberi tanggung jawab atas pencapaian hasil kerja institusi atau organisasi dengan mengutamakan keselamatan dan keamanan kerja
2. Mampu mengambil keputusan yang tepat berdasarkan analisis dalam melakukan supervise dan evaluasi terhadap pekerjaan yang menjadi tanggungjawabnya
3. Mampu mengelola pembelajaran diri sendiri
4. Mampu mengembangkan dan memelihara jaringan kerja dengan pembimbing kolega, sejawat didalam maupun diluar institusi

1.8 Cek kemampuan

1. Mahasiswa memahami gambaran awal pengetahuan mengenai fluida dan sifat sifatnya
2. Mahasiswa memahami statika fluida
3. Mahasiswa memahami hal hal yang berkaitan dengan hukum kekekalan massa dan momentum aliran fluida
4. Mahasiswa memahami hidrodinamika fluida
5. Mahasiswa memahami konsep-konsep aliran fluida dalam aplikasinya di perpipaan
6. Mahasiswa memahami bagaimana sistem sistem perpipaan dan jaringannya
7. Mahasiswa memahami metode metode dan peralatan yang digunakan dalam pengukuran fluida dalam pipa

II. Pembelajaran

Mata kuliah : Mekanika Fluida 1
Kode mata kuliah : 09045314
Status mata kuliah : Wajib
SKS : 3 SKS

Tujuan kegiatan pembelajaran

Memberikan pemahaman kepada mahasiswa tentang pengetahuan dan kemampuan menggunakan dasar dasar mekanika fluida (air dan udara) yang akan menunjang mata kuliah keahlian khususnya yang berkaitan dengan perancangan yang melibatkan aliran fluida terutama pada saluran tertutup

Referensi

1. Dasar dasar Mekanika Fluida Teknik, Edisi Kelima, reuben M Olson, Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 1993.
2. Mekanika Fluida, Jilid 1, Edisi Kedelapan, Victor L Streeter, Jakarta: Penerbit Erlangga, 1995.
3. Mekanika Fluida, Jilid 2, Edisi Kedelapan, Victor L Streeter, Jakarta: Penerbit Erlangga, 1995.

Rencana belajar Mahasiswa

Pertemuan	Materi
1	Aliran Fluida dalam Pipa
2	Aliran Fluida dalam Pipa
3	Pipa Seri dan Pipa Ekuivalen
4	Pipa Paralel
5	Pipa Bercabang
6	Jaringan Perpipaan
7	Pengukuran Aliran Fluida
8	Ujian Tengah Semester

Aliran Fluida dalam Pipa

Karakteristik Aliran di dalam Saluran/Pipa

Aliran di dalam suatu saluran selalu disertai dengan friksi. Aliran yang terlalu cepat akan menimbulkan *pressure drop* yang tinggi sedangkan aliran yang terlalu lambat *pressure drop*-nya akan rendah akan tetapi tidak efisien. Kecepatan aliran perlu dibatasi dengan memperhatikan,

- a. Besarnya daya yang dibutuhkan
- b. Masalah erosi pada dinding pipa
- c. Masalah pembentukan deposit/endapan
- d. Tingkat kebisingan yang terjadi

Kerugian yang terdapat di dalam aliran fluida

- a. Kerugian tekanan (Pressure Drop) atau
- b. Kerugian head (Head Loss)

Faktor yang mempengaruhi kerugian di dalam aliran fluida:

- a. Kecepatan aliran
- b. Luas penampang saluran
- c. Faktor friksi
- d. Viskositas
- e. Densitas fluida

Persamaan matematis

Kerugian tekanan :

$$\Delta P = f \frac{l}{d} \rho \left(\frac{V^2}{2} \right)$$

Hubungan antara head dan tekanan :

$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

Kerugian head (head loss) :

$$\Delta h = f \left(\frac{l}{d} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Dimana :

ΔP = kerugian tekanan

d = diameter pipa

V = kecepatan aliran

f = faktor friksi

l = panjang pipa

g = gravitasi

h = head

Catatan: harga f untuk pipa-pipa tertentu dapat dicari dengan menggunakan diagram Moody dengan terlebih dahulu menghitung bilangan Reynolds

Kerugian head dengan menggunakan konstanta K sebagai pengganti faktor friksi

$$\Delta h = f \left(\frac{l}{d} \right) \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

$$\Delta h = K \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

Kerugian tekanan dengan menggunakan konstanta K sebagai pengganti faktor friksi

$$\Delta P = f \frac{l}{d} \rho \left(\frac{V^2}{2} \right)$$

$$\Delta P = K \rho \left(\frac{V^2}{2} \right)$$

Catatan : Kerugian aliran akan semakin besar jika kecepatan aliran semakin cepat dan saluran semakin panjang

Kerugian Head (Head Loss)

A. Kerugian Head Mayor

Aliran fluida yang melalui pipa akan selalu mengalami kerugian head. Hal ini disebabkan oleh gesekan yang terjadi antara fluida dengan dinding pipa atau perubahan kecepatan yang dialami oleh aliran fluida (kerugian kecil).

Kerugian head akibat gesekan dapat dihitung dengan menggunakan salah satu dari dua rumus berikut, yaitu :

Persamaan Darcy – Weisbach, yaitu :

$$hf = f \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$$

Dimana : hf = kerugian head karena gesekan (m)

f = faktor gesekan

d = diameter dalam pipa (m)

L = panjang pipa (m)

v = kecepatan aliran rata-rata fluida dalam pipa (m/s)

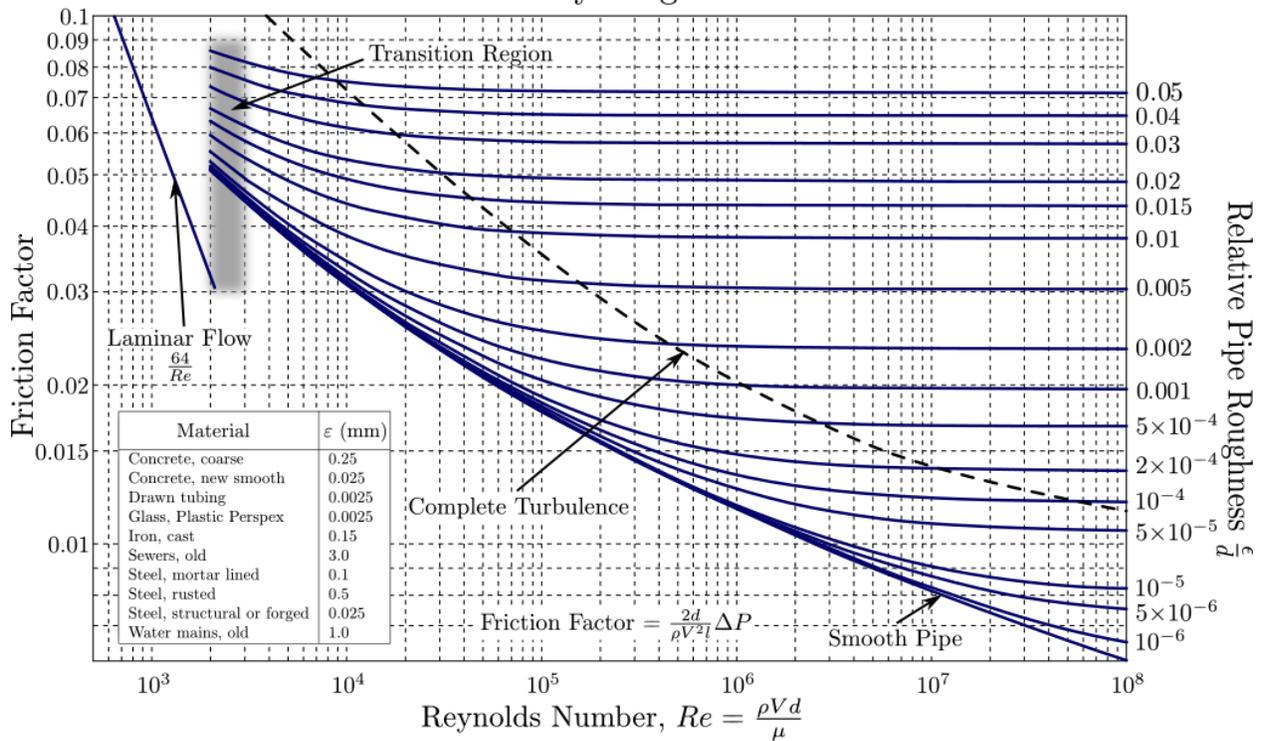
g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Tabel 1. Nilai kekasaran dinding untuk berbagai pipa komersil

Bahan	Kekasaran	
	ft	m
Riveted Steel	0,003 – 0,03	0,0009 – 0,009
Concrete	0,001 – 0,01	0,0003 – 0,003
Wood Stave	0,0006 – 0,003	0,0002 – 0,009
Cast Iron	0,00085	0,00026
Galvanized Iron	0,0005	0,00015
Asphalted Cast Iron	0,0004	0,0001
Commercial Steel or Wrought Iron	0,00015	0,000046
Drawn Brass or Copper Tubing	0,000005	0,0000015
Glass and Plastic	“smooth”	“smooth”

Sumber: Jack B. Evett, Cheng Liu. *Fundamentals of Fluids Mechanics*. McGraw Hill, New York. 1987, hal. 134.

Moody Diagram



Cara Baca

Dengan melihat diagram Moody itu menunjukkan bahwa sudut kanan atas benar-benar turbulente dan bagian atas kiri adalah laminar.

Untuk menentukan faktor gesekan, nilai kekasaran relatif dari pipa dapat dilihat di sebelah kanan. Kemudian cari Reynolds number di bagian bawah, tarik keatas sampai memotong, sebelah kiri akan didapatkan nilai faktor gesekan. dan jenis aliran apakah turbulente ataukah laminar

Diagram Moody telah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan aliran fluida di dalam pipa dengan menggunakan faktor gesekan pipa (f) dari rumus Darcy – Weisbach. Untuk aliran laminar dimana bilangan Reynold kurang dari 2000, faktor gesekan dihubungkan dengan bilangan Reynold, dinyatakan dengan rumus :

$$f = \frac{64}{R} \quad R = \frac{v D \rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu}$$

Untuk aliran turbulen dimana bilangan Reynold lebih besar dari 4000, maka hubungan antara bilangan Reynold, faktor gesekan dan kekasaran relatif menjadi lebih kompleks. Faktor gesekan untuk aliran turbulen dalam pipa didapatkan dari hasil eksperimen, antara lain :

Untuk pipa complete roughness, rough pipes yaitu :

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2,0 \log \left(\frac{3,7}{\varepsilon/d} \right)$$

Dimana : f = faktor gesekan

ε = kekasaran (m)

Untuk pipa sangat halus seperti glass dan plastik, hubungan antara bilangan Reynold dan faktor gesekan, dirumuskan sebagai berikut:

a. Blasius : $f = \frac{0,316}{\text{Re}^{0,25}}$ untuk $\text{Re} = 3000 - 100.000$

b. Von Karman : $\frac{1}{f} = 2,0 \log \left[\frac{\text{Re} \sqrt{f}}{2,51} \right]$

$$= 2,0 \log(\text{Re} \sqrt{f}) - 0,8$$

Untuk Re sampai dengan 3.10^6 .

Untuk pipa kasar, yaitu :

$$\text{Von Karman : } \frac{1}{f} = 2,0 \log \frac{d}{\varepsilon} + 1,74$$

Dimana harga f tidak tergantung pada bilangan Reynold.

Untuk pipa antara kasar dan halus atau dikenal dengan daerah transisi, yaitu:

$$\text{Corelbrook - White : } \frac{1}{\sqrt{f}} = -2,0 \log \left[\frac{\varepsilon/d}{3,7} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right]$$

2. Persamaan Hazen – Williams

Rumus ini pada umumnya dipakai untuk menghitung kerugian head dalam pipa yang relatif sangat panjang seperti jalur pipa penyalur air minum.

Bentuk umum persamaan Hazen – Williams, yaitu :

$$hf = \frac{10,666Q^{1,85}}{C^{1,85}d^{4,85}}L$$

Dimana : hf = kerugian gesekan dalam pipa (m)

Q = laju aliran dalam pipa (m³/s)

L = panjang pipa (m)

C = koefisien kekasaran pipa Hazen – Williams

d = diameter dalam pipa (m)

Tabel 2. Koefisien kekasaran pipa Hazen – Williams

Extremely smooth and straight pipes	140
New Steel or Cast Iron	130
Wood; Concrete	120
New Riveted Steel; vitrified	110
Old Cast Iron	100
Very Old and Corroded Cast Iron	80

(Sumber : Jack. B. Evett, Cheng Liu. *Fundamentals of Fluids Mechanics*. McGraw Hill, New York. 1987, hal. 161.)

Catatan:

- Persamaan Hazen – Williams umumnya digunakan untuk menghitung head loss yang terjadi akibat gesekan (Amerika Serikat). Persamaan ini tidak dapat digunakan untuk liquid lain selain air dan digunakan khusus untuk aliran yang bersifat turbulen.
- Persamaan Darcy – Weisbach secara teoritis tepat digunakan untuk semua rezim aliran dan semua jenis liquid.

B. Kerugian Head Minor

Selain kerugian yang disebabkan oleh gesekan, pada suatu jalur pipa juga terjadi kerugian karena kelengkapan pipa seperti belokan, siku, sambungan, katup dan sebagainya yang disebut dengan kerugian kecil (minor losses). Besarnya kerugian minor akibat adanya kelengkapan pipa, dirumuskan,

$$hm = \sum n.k. \frac{v^2}{2g}$$

Dimana : $n = \text{jumlah kelengkapan pipa}$

$k = \text{koefisien kerugian (dari lampiran koefisien minor losses peralatan pipa)}$

$v = \text{kecepatan aliran fluida dalam pipa.}$

Menurut Viktor L. Streeter yaitu untuk pipa yang panjang ($L/d \gg \gg 1000$), minor losses dapat diabaikan tanpa kesalahan yang cukup berarti tetapi menjadi penting pada pipa yang pendek.

Persamaan matematis kerugian akibat sambungan (kerugian minor) dalam sistem pemipaan

$$\Delta h_m = K \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

atau

$$\Delta p_m = K \rho \left(\frac{V^2}{2} \right)$$

Keterangan: $K = \text{Koefisien hambatan minor}$

Karakteristik Aliran Melalui Sambungan-Sambungan

Bentuk-bentuk sambungan pada sistem perpipaan:

- Sambungan lurus
- Sambungan belok
- Sambungan cabang
- Sambungan dengan perubahan ukuran saluran

Cara-cara penyambungan pada sistem pemipaan:

- Ulir
- Press
- Flens
- Lem
- Las

Gerakan Fluida

Debit: banyaknya fluida yang mengalir melalui penampang pipa atau saluran terbuka tiap detik.

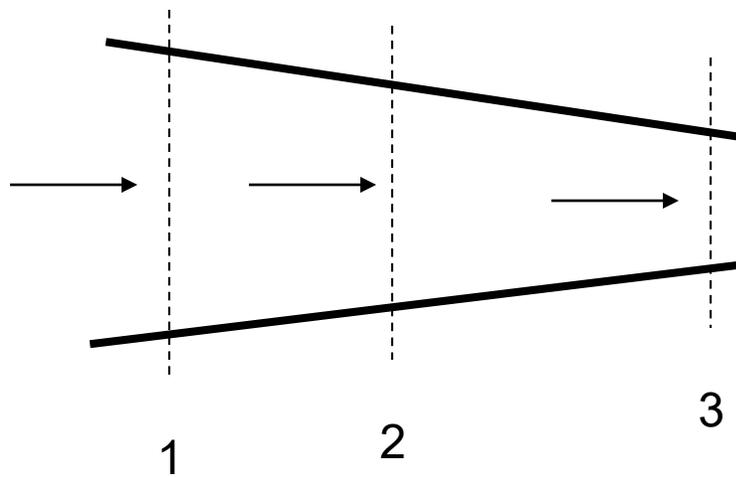
$$Q = V \times A$$

V : Kecepatan aliran

A : Luas penampang pipa/saluran

Persamaan Kontinuitas

Banyaknya fluida yang mengalir tiap detik pada tiap penampang adalah sama



$$Q_1 = Q_2 = Q_3$$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = A_3 V_3$$

Persamaan Energi/Bernoulli

Pada tiap saat dan tiap posisi yang ditinjau dari suatu aliran didalam pipa tanpa gesekan yang tidak bergerak, akan mempunyai jumlah energi potensial, energi tekanan, dan energi kecepatan yang sama besarnya.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2g}$$

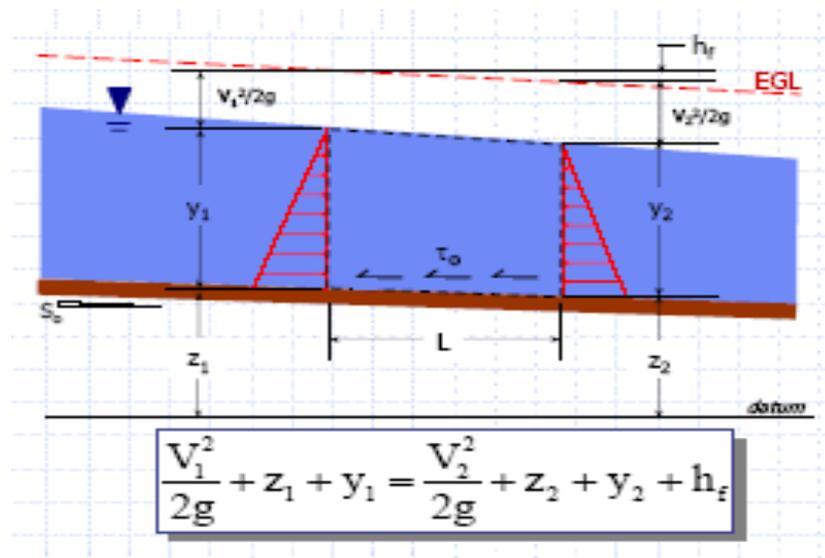
Asumsi dalam persamaan Bernoulli

1. Kecepatan partikel fluida di setiap penampang adalah sama
2. Tidak ada gaya-gaya luar yang bekerja pada fluida selain gaya berat
3. Tidak terjadi kehilangan energi

Penggunaan Persamaan Bernoulli

- Venturimeter (untuk mengukur debit)
- Orifice meter (untuk mengukur debit dalam pipa)
- Tabung pitot (mengukur kecepatan arus dalam saluran terbuka dan tertutup)

Keseimbangan Energi



Tipe Aliran

Berdasarkan variabel waktu

1. Steady (Tunak) : $dv/dt = 0$; $dq/dt = 0$
2. Unsteady : $dv/dt \neq 0$; $dq/dt \neq 0$

Berdasarkan variabel ruang

1. Uniform (Seragam) : $dv/dx = 0$; $dq/dx = 0$
2. Varied Flow : $dv/dx \neq 0$; $dq/dx \neq 0$

Kondisi real : kombinasi antara tipe aliran dengan variabel ruang dan waktu.

Penurunan Persamaan: Pada umumnya didasarkan pada kondisi steady dan seragam.

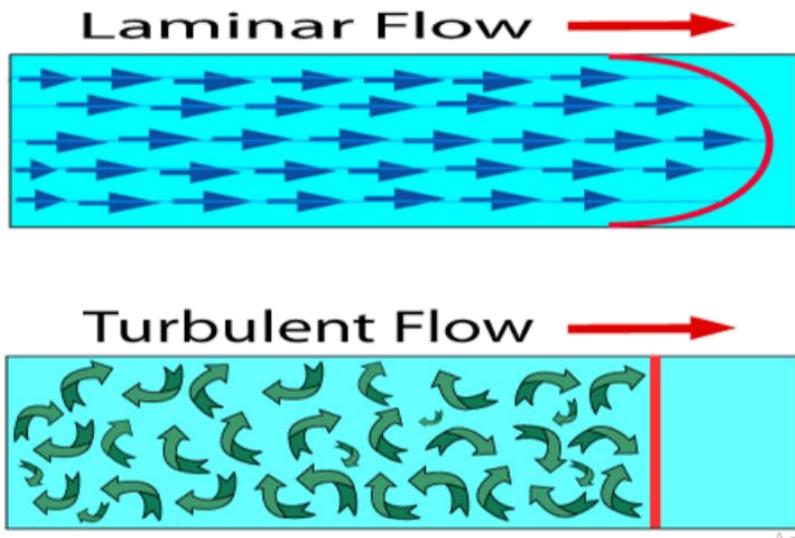
Keadaan Aliran

Berdasarkan Pengaruh Kekentalan (Viscosity)

1. Laminer, Turbulen, Perubahan
2. Dasar Laminaritas : Persamaan Darcy Weisbach → diagram moody
Aliran terbuka → (Bilangan Darcy : Stanton, Blasius, Prandtl-von Karman)
3. Dasar Turbulensi : Persamaan Reynold (Bilangan Reynold : bervariasi terhadap media saluran)

Berdasarkan Pengaruh Gravitasi

Ditentukan dengan persamaan Froude, menentukan sifat kritis aliran berdasarkan perbandingan antara kecepatan dan kedalaman hidrolis.



Bilangan Reynold (R)

- Bilangan yang menyatakan interaksi gerak suatu fluida akibat kecepatan (v) pada kedalaman hidrolis (yh) terhadap fluida yang melingkupinya.
- Dilihat dari sifat kekentalan dan kecepatan serta karakter tempat / wadah dimana fluida mengalir

Persamaan Darcy Weisbach

- Dikembangkan awalnya untuk menghitung kontribusi faktor gesekan pipa terhadap kehilangan tekan dalam aliran fluida.
- Faktor gesekan saluran dengan fluida juga terkait dengan kejadian turbulensi.

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g}$$

h_f = kehilangan tekanan (m)

f = bilangan darcy/faktor gesekan

L = panjang saluran (m)

D = diameter hidrolis (m) = diameter pipa

v = kecepatan aliran (m/dt)

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

Bilangan Froude

Bilangan yang menyatakan perbandingan antara Energi kinetik dan energi potensial pada proses pengaliran fluida. Menentukan tingkat stabilitas aliran yang dinyatakan dengan sifat kritis.

$$F = \frac{v}{\sqrt{g \cdot y_h}}$$

F = Bilangan froude

v = kecepatan aliran (m/dt)

y_h = kedalaman hidrolis (m) = D

g = percepatan gravitasi (m/dt²)

Catatan:

- F = 1. Aliran Kritis. Menunjukkan bahwa energi yang digunakan utk pengaliran fluida seimbang antara energi kinetik dan potensial.
- F < 1. Aliran sub-kritis. Menunjukkan dominasi energi potensial dalam pengaliran fluida.
- F > 1. Aliran super-kritis. Menunjukkan dominasi energi kinetik dalam pengaliran fluida.

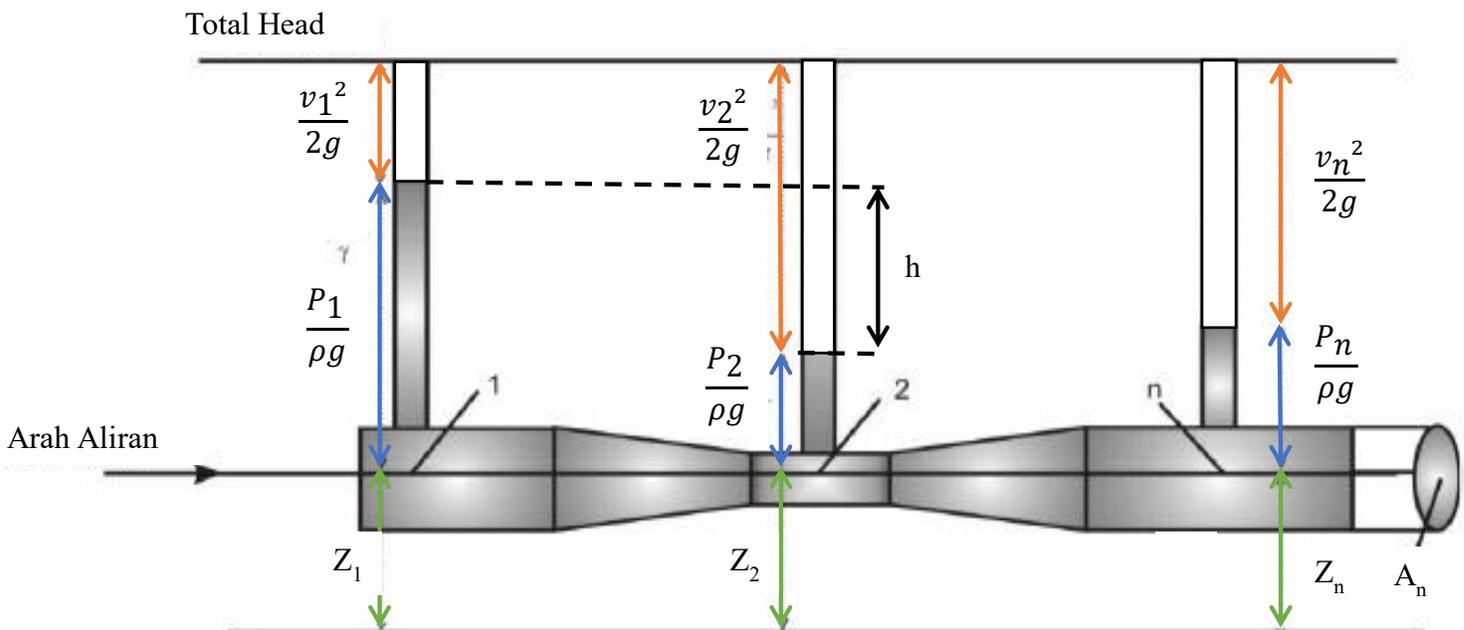
Sifat-Sifat Aliran

1. Kerapatan/massa jenis (density) ρ
2. Viskositas/kekentalan (viscosity)
 - Viskositas dinamik/absolut
 - Viskositas

Pengukuran Aliran Fluida

Venturimeter

Venturimeter adalah sebuah alat yang bernama pipa venturi. Pipa venturi merupakan sebuah pipa yang memiliki penampang bagian tengahnya lebih sempit dan diletakkan mendatar dengan dilengkapi dengan pipa pengendali untuk mengetahui permukaan air yang ada sehingga besarnya tekanan dapat diperhitungkan. Dalam pipa venturi ini luas penampang pipa bagian tepi memiliki penampang yang lebih luas daripada bagian tengahnya atau diameter pipa bagian tepi lebih besar daripada bagian tengahnya. Zat cair dialirkan melalui pipa yang penampangnya lebih besar lalu akan mengalir melalui pipa yang memiliki penampang yang lebih sempit, dengan demikian, maka akan terjadi perubahan kecepatan.



Persamaan Bernouli

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = Z_n + \frac{P_n}{\rho g} + \frac{v_n^2}{2g}$$

$$\rho g z_1 + P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = \rho g z_2 + P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

Karena tabung dalam posisi horizontal, maka

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2)$$

Persamaan Kontinuitas

$$Q_1 = Q_2 = Q_n$$
$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_n v_n \longrightarrow v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2}$$

$$P_1 - P_2 = \frac{\rho v_1^2}{2} \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]$$

Mencari v_1 ,

$$P_1 - P_2 = \rho g h$$

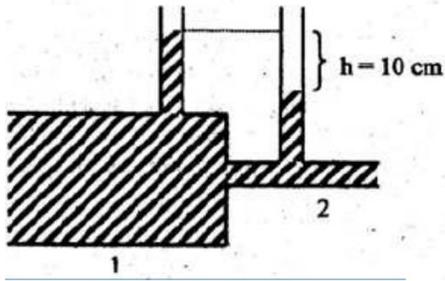
$$\rho g h = \frac{\rho v_1^2}{2} \left[\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1 \right]$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 g h}{\left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}}$$

Venturimeter tanpa Manometer

Contoh Soal:

Sebuah alat venturi meter digunakan seorang siswa untuk mengukur kecepatan aliran air dalam pipa. Ternyata perbedaan tinggi air pada pipa penampang besar dan kecil 10 cm. Jika perbandingan luas penampang besar dan kecil adalah 3:1. Berapa kecepatan aliran air pada penampang yang besar



Penyelesaian:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2gh}{\left[\frac{A_1}{A_2}\right]^2 - 1}}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 10 \cdot 0,1}{\left[\frac{3}{1}\right]^2 - 1}}$$

$$v_1 = \sqrt{\frac{2}{8}}$$

$$v_1 = \frac{1}{2} \text{ m/s}$$

persamaan kontinuitas :

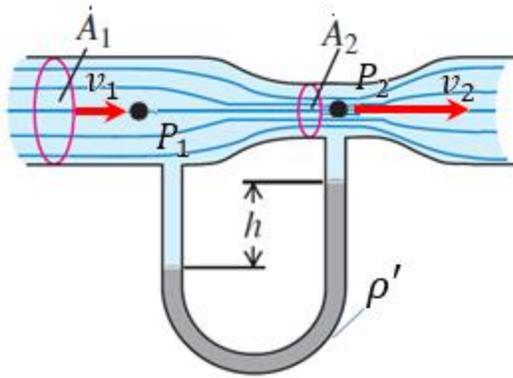
$$v_2 = \frac{A_1 \cdot v_1}{A_2}$$

$$v_2 = \frac{3}{1} \times \frac{1}{2}$$

$$v_2 = 0,15 \text{ m/s}$$

Venturimeter dengan Manometer

Fluida yang mengalir dalam pipa mempunyai **massa jenis ρ** . Kecepatan fluida mengalir pada pipa sebelah kanan, maka tekanan pada pipa sebelah kiri lebih besar. Perbedaan tekanan fluida di dua tempat tersebut diukur oleh manometer yang diisi dengan fluida dengan **massa jenis ρ'** dan manometer menunjukkan bahwa **perbedaan ketinggian permukaan fluida di kedua sisi adalah H**. Dengan menggunakan persamaan kontinuitas dan Persamaan Bernouli



$$\rho g z_1 + P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = \rho g z_2 + P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

Karena tabung dalam posisi horizontal, maka

$$P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

Mencari nilai v_1

$$P_1 - P_2 = (\rho' - \rho)gh$$

$$v_1 = \frac{\sqrt{2(\rho' - \rho)gh}}{\sqrt{\rho \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 - 1}}$$

$$v_1 = A_2 \sqrt{\frac{2(\rho' - \rho)gh}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

$$Q = CA_1 \sqrt{\frac{2gH}{m^2 - 1}}$$

$$H = \frac{P_1 - P_2}{\rho g}$$

$$m = \frac{A_1}{A_2}$$

C= Koefisien Pengaliran Venturimeter

Contoh Soal:

Pipa venturi meter yang memiliki luas penampang masing-masing $8 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ dan $5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ digunakan untuk mengukur kelajuan air. Jika beda ketinggian air raksa di dalam kedua

manometer adalah 0,2 m dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukanlah kelajuan air tersebut ($\rho_{\text{raksa}} = 13.600 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ kg/m}^3$).

Jawab:

Diketahui: $A_1 = 8 \times 10^{-2} \text{ m}^2$, $A_2 = 5 \times 10^{-3} \text{ m}^2$, $h = 0,2 \text{ m}$, dan $g = 10 \text{ m/s}^2$

$$v_1 = A_2 \sqrt{\frac{2(\rho' - \rho)gh}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}}$$

$$v_1 = 0,44 \text{ m/s}$$

Contoh Soal:

Sebuah alat venturi meter yang dipasang mendatar mengukur aliran minyak yang kerapatan relatifnya 0,9 mengalir dalam pipa bergaris tengah 75 mm. Bila perbedaan tekanan antara mulut dan tenggorokan sebesar $34,5 \text{ kN/m}^2$ dan perbandingan luas penampangnya $m=4$. Hitunglah besarnya aliran bila koef. pengaliran $C=0,97$.

Jawab:

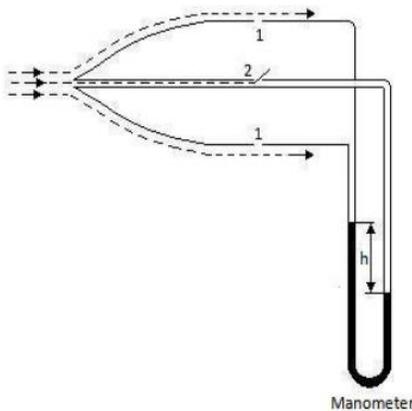
$$H = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} = \frac{34,5 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 9,81 \cdot 10^3} = 3,92 \text{ m}$$

$$A_1 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0,075)^2 = 0,00441 \text{ m}^2$$

$$Q = CA_1 \sqrt{\frac{2gH}{m^2 - 1}} = 0,0106 \text{ m}^3 / \text{det.}$$

Pipa Pitot

Pipa pitot adalah instrumen yang digunakan untuk mengukur tekanan dan kecepatan aliran fluida (udara). Pipa Pitot diciptakan oleh insinyur dari Perancis bernama Henri Pitot pada awal 1700 dan dimodifikasi untuk bentuk modern-nya di pertengahan tahun 1800 oleh ilmuwan Prancis Henry Darcy. Pipa pitot digunakan untuk mengukur laju aliran gas/udara.



Lubang pada titik 1 sejajar dengan aliran udara. Posisi kedua lubang ini dibuat cukup jauh dari ujung tabung pitot, sehingga laju dan tekanan udara di luar lubang sama seperti laju dan tekanan udara yang mengalir bebas. Dalam hal ini, v_1 = laju aliran udara yang mengalir bebas (ini yang akan kita ukur), dan tekanan pada kaki kiri manometer (pipa bagian kiri) = tekanan udara yang mengalir bebas (P_1).

Lubang yang menuju ke kaki kanan manometer, tegak lurus dengan aliran udara. Karenanya, laju aliran udara yang lewat di lubang ini (bagian tengah) berkurang dan udara berhenti ketika tiba di titik 2. Dalam hal ini, $v_2 = 0$. Tekanan pada kaki kanan manometer sama dengan tekanan udara di titik 2 (P_2).

Ketinggian titik 1 dan titik 2 hampir sama (perbedaannya tidak terlalu besar) sehingga bisa diabaikan. Tabung pitot juga dirancang menggunakan prinsip efek venturi. Mirip seperti venturimeter, bedanya tabung pitot ini dipakai untuk mengukur laju gas/udara.

Kegunaan dan aplikasi tabung pitot

1. Mengukur kecepatan udara pada pesawat terbang terhadap udara.
2. Menentukan jumlah pendingin yang sedang di kirim ke kamar pada suatu hotel.
3. Menentukan kecepatan angin dalam terowongan.

Persamaan Pipa Pitot

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} = Z_n + \frac{P_n}{\rho g} + \frac{v_n^2}{2g}$$

$$\rho g z_1 + P_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = \rho g z_2 + P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

Karena tabung dalam posisi horizontal dan $v_1=0$, maka

$$P_1 = P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}$$

$$P_1 - P_2 = \rho' gh$$

$$P_2 + \frac{\rho v_2^2}{2} = P_2 + \rho' gh$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2\rho' gh}{\rho}}$$

Contoh Soal:

Jika udara ($\rho_{udara} = 1,29 \text{ kg/m}^3$) dialirkan ke dalam tabung pitot dan perbedaan tinggi air raksa ($\rho_{raksa} = 13600 \text{ kg/m}^3$) pada manometer 3 cm, maka kecepatan aliran udara tersebut ? ($g = 9,8 \text{ m/s}^2$)

Jawab:

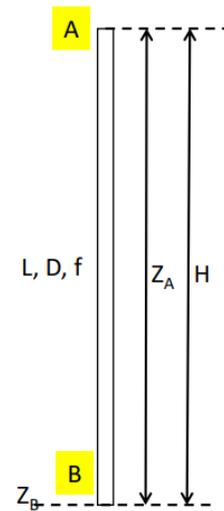
$$h = 3 \text{ cm} = 0,03 \text{ m} \quad \rho = 1,29 \text{ kg/m}^3 \quad \rho' = 13600 \text{ kg/m}^3 \quad g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2\rho' gh}{\rho}}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 13600 \cdot 9,8 \cdot 0,03}{1,29}} = 78,73 \text{ m/s}$$

Pipa Tunggal dengan Ketinggian Z

$$Z_A + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + h$$



Pipa Tunggal dengan ketinggian H

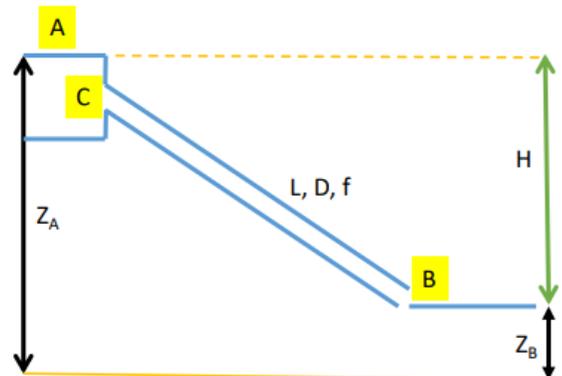
$$Z_A + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + h$$

$$Z_A - Z_B + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + h_C + hf + h_B$$

$$H + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + h_C + hf + h_B$$

Jika, $P_A = P_B = 0, V_A = V_B = 0$

$$H = h_C + hf + h_B$$



$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2 \times g}$$

Kehilangan Energi karena Perubahan Mendadak

$$h = k \frac{v^2}{2 \times g}$$

Kehilangan Energi karena Penyempitan $k=0,5$

$$h_c = 0,5 \frac{v^2}{2 \times g} \quad h_B = \frac{v^2}{2 \times g}$$

Pipa Seri

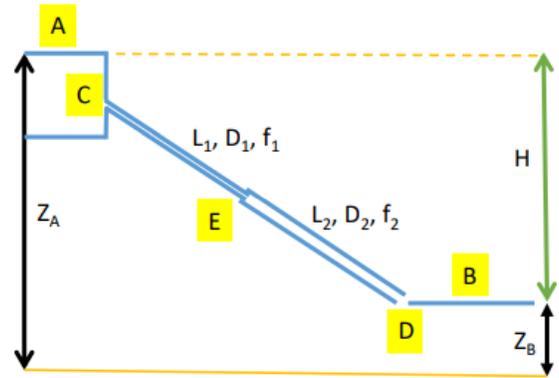
$$Z_A + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = Z_B + \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + h$$

$$Z_A - Z_B + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + h_c + hf_1 + h_E + hf_2 + h_D$$

$$H + \frac{P_A}{\rho g} + \frac{v_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{v_B^2}{2g} + h_c + hf_1 + h_E + hf_2 + h_D$$

Jika, $P_A = P_B = 0, v_A = v_B = 0$

$$H = h_c + hf_1 + h_E + hf_2 + h_D$$



Kehilangan Energi karena Perubahan Diameter Pipa

$$h_E = \frac{(v_1 - v_2)^2}{2 \times g}$$

$$Q = Q_1 = Q_2$$

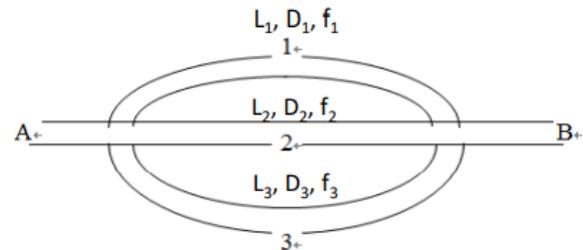
Pipa Pararel

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2 \times g} \quad v = \frac{Q}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{\left(\frac{4Q}{\pi D^2}\right)^2}{2 \times g}$$

$$h_f = f \frac{L16Q^2}{D^{1+4} \pi^2 2 \times g}$$

$$h_f = f \frac{8LQ^2}{D^5 \pi^2 g}$$



$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$$

$$h_{f1} = h_{f2} = h_{f3} = h_{fAB}$$

$$h_{f1}^{1/2} = h_{f2}^{1/2} \longrightarrow h_{f1} = h_{f2}$$

$$\sqrt{\frac{8 \times f_1 \times L_1}{\pi^2 \times g \times D_1^5} Q_1^2} = \sqrt{\frac{8 \times f_2 \times L_2}{\pi^2 \times g \times D_2^5} Q_2^2}$$

$$Q_2 = \left(\frac{f_1}{f_2}\right)^{1/2} \left(\frac{L_1}{L_2}\right)^{1/2} \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^{5/2} Q_1$$

Pipa Bercabang

Jika, $P_A = P_B = 0, V_A = V_B = 0$

$$h_B = h_C = h_D = 0$$

Untuk aliran yang melewati BCD:

$$Z_A - Z_F = H = hf_1 + hf_2$$

Untuk aliran yang melewati BCE:

$$Z_A - Z_F = H = hf_1 + hf_3$$

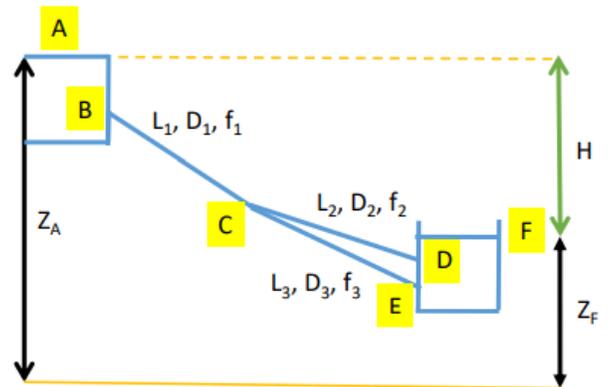
Dari persamaan BCD dan BCE:

$$H = H$$

$$hf_1 + hf_2 = hf_1 + hf_3$$

$$hf_2 = hf_3$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$



Pipa Bercabang

Jika, $P_A = P_B = 0, V_A = V_B = 0$

$$h_D = h_E = h_F = h_G = 0$$

Untuk aliran yang melewati DEB:

$$H_{AB} = hf_1 + hf_2$$

Untuk aliran yang melewati DEG:

$$H_{AC} = hf_1 + hf_3$$

$$Q_1 = Q_2 + Q_3$$

