



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

Paket Keahlian

Teknik Plumbing dan Sanitasi

Pedagogik : Penentuan Aspek-Aspek Hasil Belajar
Profesional : Konsep Dasar Hidrolika Terapan
untuk Sistem Plumbing

**KELOMPOK
KOMPETENSI**





MODUL GURU PEMBELAJAR

Paket Keahlian Teknik Plumbing dan Sanitasi

Penyusun :

Totoh Andayono, ST., MT
UNP Padang
to.handayono@gmail.com
081310178846

Reviewer :

Ir. Syahrizal, MT
USU Medan
rizal_ar@ymail.com
0811636174

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
PUSAT PENGEMBANGAN DAN PEMBERDAYAAN
PENDIDIK DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
BIDANG BANGUNAN DAN LISTRIK
MEDAN
2016**



KATA PENGANTAR

Profesi guru dan tenaga kependidikan harus dihargai dan dikembangkan sebagai profesi yang bermartabat sebagaimana diamanatkan Undang-undang Nomor 14 Tahun 2005 tentang Guru dan Dosen. Hal ini dikarenakan guru dan tenaga kependidikan merupakan tenaga profesional yang mempunyai fungsi, peran, dan kedudukan yang sangat penting dalam mencapai visi pendidikan 2025 yaitu “Menciptakan Insan Indonesia Cerdas dan Kompetitif”. Untuk itu guru dan tenaga kependidikan yang profesional wajib melakukan pengembangan keprofesian berkelanjutan.

Modul Diklat Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan Bagi Guru dan Tenaga Kependidikan ini diharapkan menjadi referensi dan acuan bagi penyelenggara dan peserta diklat dalam melaksanakan kegiatan sebaik-baiknya sehingga mampu meningkatkan kapasitas guru. Modul ini disajikan sebagai salah satu bentuk bahan dalam kegiatan pengembangan keprofesian berkelanjutan bagi guru dan tenaga kependidikan.

Pada kesempatan ini disampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada berbagai pihak yang telah memberikan kontribusi secara maksimal dalam mewujudkan modul ini, mudah-mudahan modul ini dapat menjadi acuan dan sumber informasi dalam diklat PKB.

Jakarta, Desember 2015
Direktur Jenderal Guru dan
Tenaga Kependidikan,

Sumarna Surapranata, Ph.D,
NIP 19590801 198503 1002

Daftar Isi

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
BAB I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang.....	1
B. Tujuan.....	2
C. Peta Kompetensi	3
D. Ruang Lingkup	5
E. Saran dan Cara Penggunaan Modul.....	5
BAB II. KEGIATAN PEMBELAJARAN I	
A. Judul	6
B. Tujuan.....	6
C. Indikator Pencapaian Kompetensi	6
D. Uraian Materi	7
E. Aktivitas Pembelajaran	16
F. Latihan/kasus/tugas.....	16
G. Rangkuman	17
H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	17
I. Kunci Jawaban.....	18
BAB III. KEGIATAN PEMBELAJARAN II	
A. Judul	21
B. Tujuan.....	21
C. Indikator Pencapaian Kompetensi	21
D. Uraian Materi	21
E. Aktivitas Pembelajaran	36

F. Latihan/kasus/tugas	38
G. Rangkuman	39
H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	40
I. Kunci Jawaban	40
BAB IV. KEGIATAN PEMBELAJARAN III	
A. Judul	45
B. Tujuan.....	45
C. Indikator Pencapaian Kompetensi	45
D. Uraian Materi	45
E. Aktivitas Pembelajaran	58
F. Latihan/kasus/tugas	60
G. Rangkuman	62
H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	63
I. Kunci Jawaban	64
BAB V. KEGIATAN PEMBELAJARAN IV	
A. Judul	72
B. Tujuan.....	72
C. Indikator Pencapaian Kompetensi	72
D. Uraian Materi	72
E. Aktivitas Pembelajaran	90
F. Latihan/kasus/tugas	92
G. Rangkuman	93
H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	94
I. Kunci Jawaban	95
BAB VI. KEGIATAN PEMBELAJARAN V	
A. Judul	102
B. Tujuan.....	102
C. Indikator Pencapaian Kompetensi	102
D. Uraian Materi	102

E. Aktivitas Pembelajaran	114
F. Latihan/kasus/tugas	114
G. Rangkuman	115
H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	116
I. Kunci Jawaban	117
BAB VI. KEGIATAN PEMBELAJARAN VI	
A. Judul	120
B. Tujuan.....	120
C. Indikator Pencapaian Kompetensi	120
D. Uraian Materi	120
E. Aktivitas Pembelajaran	125
F. Latihan/kasus/tugas	125
G. Rangkuman	125
H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	126
I. Kunci Jawaban	127
BAB VI. KEGIATAN PEMBELAJARAN VII	
A. Judul	129
B. Tujuan.....	129
C. Indikator Pencapaian Kompetensi	129
D. Uraian Materi	129
E. Aktivitas Pembelajaran	134
F. Latihan/kasus/tugas	134
G. Rangkuman	135
H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	135
I. Kunci Jawaban	136
BAB VI. KEGIATAN PEMBELAJARAN VIII	
A. Judul	139
B. Tujuan.....	139
C. Indikator Pencapaian Kompetensi	139

D. Uraian Materi	139
E. Aktivitas Pembelajaran	147
F. Latihan/kasus/tugas.....	148
G. Rangkuman	148
H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	149
I. Kunci Jawaban.....	149
EVALUASI.....	153
PENUTUP.....	154
DAFTAR PUSTAKA.....	155

Daftar Gambar

No. tabel	Halaman
3.1 Elemen cairan	22
3.2 Elemen cairan berbentuk paralel eppipedum kecil sekali	23
3.3 Tekanan hidrostatis pada dasar tangki-tangki yang berbeda bentuk tetapi luas dasarnya sama	25
3.4 Bidang dengan tekanan yang sama	26
3.5 Piezometer.....	26
3.6 Manometer pipa U	27
3.7 Manometer deferensial pada dua pipa	28
3.8 Manometer deferensial pada satu pipa	28
3.9 Sket untuk menentukan letak garis kerja gaya tekan pada bidang datar horizontal	29
3.10 Sebuah bidang datar terletak horizontal di dalam cairan	30
3.11 Bidang datar yang terletak miring di dalam cairan.....	31
3.12 Bidang datar yang terletak vertikal di dalam cairan	32
3.13 Komponen horizontal gaya tekan yang bekerja pada bidang lengkung	34
3.14 Komponen vertikal gaya tekan yang bekerja pada suatu bidang lengkung	34
4.1 Alat Osborne Reynolds	46
4.2 Ilustrasi persamaan Bernoulli pada zat cair riil	47
4.3 Pengaruh kekasaran pada sublapis	48
4.4 Grafik Moody.....	49
4.5 Bagan alir perhitungan menggunakan Grafik Moody.....	50

4.6	Pipa hubungan seri	51
4.7	Pipa hubungan paralel	53
4.8	Pipa Hubungan kombinasi	54
4.9	Susunan pipa terakhir, dihitung seperti sambungan seri	54
4.10	Pengaliran air dari sumber air menuju tempat distribusi	55
4.11	Bagan alir perhitungan pipa bercabang.....	56
4.12	Contoh Sistem Jaringan Pipa	57
4.13	Bagan alir perhitungan jaringan pipa.....	58
5.1	Saluran terbuka (A) dan saluran tertutup (B).....	73
5.2	Garis kemiringan hidrolis dan energi	73
5.3	Sket keseimbangan gaya-gaya di dalam aliran seragam.....	79
5.4	Terjadinya aliran seragam di dalam saluran dengan kondisi kemiringan yang berbeda-beda	82
5.5	Parameter energi spesifik (Robert.J.K. (2002)).....	90
6.1	Bangunan pengambilan bagian depan.....	110
6.2	Arah <i>intake</i> terhadap aliran sungai.....	110
7.1	Praktek pengujian tekanan pada satu titik	121
7.2	Percobaan 1	122
7.3	Percobaan 2	123
7.4	Kondisi benda tenggelam sebagian	124
7.5	Kondisi benda tenggelam seluruhnya	124
7.1	Aliran Laminer.....	131
8.2	Aliran Turbulen.....	131
8.3	Aliran Transisi	131
9.1	Peluap ambang tipis (a), dan peluap ambang lebar (b)	142
9.2	Peluap tertekan (a) dan kontraksi samping(b)	142
9.3	Peluap terjuanan (a) dan peluap terendam (b).....	143
9.4	Peluap segiempat	143
9.5	Peluap segiempat dengan kecepatan awal	145
9.6.	Peluap segitiga	146

Daftar Tabel

No. tabel	Halaman
1.1 Peta Kompetensi.....	3
2.1 Kata Kerja Operasional Ranah Pengetahuan.....	11
2.2 Kata Kerja Operasional Ranah Sikap.....	12
2.3 Kata Kerja Operasional Ranah Keterampilan	13
2.4 Rubrik Umpan Balik Isi Modul	18
3.1 Letak titik berat dan momen inersia melalui titik berat.....	33
4.1 Tinggi kekasaran pipa.....	50
5.1 Harga n untuk tipe dasar dan dinding saluran	85
5.2 Variasi soal perhitungan aliran seragam.....	87
6.1 Faktor bentuk bar.....	105
6.2 Nilai k untuk Macam-macam Sambungan	109

BAB I

Pendahuluan

A. Latar Belakang

Pendidik adalah tenaga kependidikan yang berkualifikasi sebagai guru, dosen, konselor, pamong belajar, widyaiswara, tutor, instruktur, fasilitator, dan sebutan lain yang sesuai dengan kekhususannya, serta berpartisipasi dalam menyelenggarakan pendidikan. Guru dan tenaga kependidikan wajib melaksanakan kegiatan pengembangan keprofesian secara berkelanjutan agar dapat melaksanakan tugas profesionalnya. Program Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan (PKB) adalah pengembangan kompetensi Guru dan Tenaga Kependidikan yang dilaksanakan sesuai kebutuhan, bertahap, dan berkelanjutan untuk meningkatkan profesionalitasnya.

Pengembangan keprofesian berkelanjutan sebagai salah satu strategi pembinaan guru dan tenaga kependidikan diharapkan dapat menjamin guru dan tenaga kependidikan mampu secara terus menerus memelihara, meningkatkan, dan mengembangkan kompetensi sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Pelaksanaan kegiatan PKB akan mengurangi kesenjangan antara kompetensi yang dimiliki guru dan tenaga kependidikan dengan tuntutan profesional yang dipersyaratkan.

Guru dan tenaga kependidikan wajib melaksanakan PKB baik secara mandiri maupun kelompok. Khusus untuk PKB dalam bentuk diklat dilakukan oleh lembaga pelatihan sesuai dengan jenis kegiatan dan kebutuhan guru. Penyelenggaraan diklat PKB dilaksanakan oleh PPPPTK dan LPPPTK KPTK atau penyedia layanan diklat lainnya. Pelaksanaan diklat tersebut memerlukan modul sebagai salah satu sumber belajar bagi peserta diklat. Modul merupakan bahan ajar yang dirancang untuk dapat dipelajari secara mandiri oleh peserta diklat berisi materi, metode, batasan-batasan, dan cara mengevaluasi yang disajikan secara sistematis dan menarik untuk mencapai tingkatan kompetensi yang diharapkan sesuai dengan tingkat kompleksitasnya.

Pedoman penyusunan modul diklat PKB bagi guru dan tenaga kependidikan ini merupakan acuan bagi penyelenggara pendidikan dan pelatihan dalam mengembangkan modul pelatihan yang diperlukan guru dalam melaksanakan kegiatan PKB.

B. Tujuan

Tujuan umum PKB adalah meningkatkan kualitas layanan dan mutu pendidikan di sekolah/madrasah serta mendorong guru untuk senantiasa memelihara dan meningkatkan kompetensi secara terus-menerus sesuai dengan profesinya.

Sedangkan tujuan khusus PKB adalah:

- 1 Meningkatkan kompetensi guru untuk mencapai standar kompetensi yang ditetapkan dalam peraturan perundangan yang berlaku.
- 2 Memenuhi kebutuhan guru dalam peningkatan kompetensi sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan, teknologi, dan seni.
- 3 Meningkatkan komitmen guru dalam melaksanakan tugas pokok dan fungsinya sebagai tenaga profesional.
- 4 Menumbuhkembangkan rasa cinta dan bangga sebagai penyandang profesi guru.

C. Tabel 1.1. Peta Kompetensi

NO.	KOMPETENSI UTAMA	STANDAR KOMPETENSI GURU		
		KOMPETENSI INTI	KOMPETENSI GURU MATA PELAJARAN/KELAS/KEAHLIAN/BK	INDIKATOR ESENSIAL/INDIKATOR PENCAPAIAN KOMPETENSI (IPK)
1	2	3	4	5
1	PEDAGOGIK	Menyelenggarakan penilaian dan evaluasi proses dan hasil belajar	Menentukan aspek-aspek proses dan hasil belajar yang penting untuk dinilai dan dievaluasi sesuai dengan karakteristik mata pelajaran yang diampu	<ol style="list-style-type: none"> Aspek-aspek proses dan hasil belajar yang penting untuk dinilai dan dievaluasi (sikap, pengetahuan dan keterampilan) diidentifikasi sesuai dengan karakteristik kompetensi dasar pada setiap paket keahlian Aspek-aspek profesional dan hasil belajar yang penting untuk dinilai dan dievaluasi (sikap, pengetahuan dan keterampilan) ditentukan sesuai dengan karakteristik kompetensi dasar pada setiap paket keahlian

1	2	3	4	5
2	PROFESIONAL	Menyajikan Hidrolika Terapan untuk sistem plambing	Menganalisis konsep dasar hidrostatika untuk hidrolika terapan	Merumuskan konsep dasar hidrostatika untuk hidrolika terapan
			Menganalisis konsep aliran dalam pipa untuk hidrolika terapan	Merumuskan konsep aliran dalam pipa untuk hidrolika terapan
			Menganalisis prinsip aliran permukaan bebas untuk hidrolika terapan	Menentukan prinsip aliran permukaan bebas untuk hidrolika terapan
			Menganalisis prosedur konsep struktur intake	Merumuskan prosedur konsep struktur intake
			Menyajikan konsep dasar hidrostatika untuk hidrolika terapan	Menampilkan konsep dasar hidrostatika untuk hidrolika terapan
			Menyajikan konsep aliran dalam pipa untuk hidrolika terapan	Menampilkankan konsep aliran dalam pipa untuk hidrolika terapan
			Menyajikan prinsip aliran permukaan bebas untuk hidrolika terapan	Menampilkankan prinsip aliran permukaan bebas untuk hidrolika terapan

D. Ruang Lingkup

Pedoman ini penyusunan modul diklat PKB yang berisi pengertian dan manfaat modul, prinsip penulisan modul, ciri-ciri modul, kriteria penulisan modul, tahapan pengembangan modul.

E. Saran Cara penggunaan modul

Dalam menggunakan modul ini, pengguna diharuskan membaca tujuan dan Indikator Pencapaian Kompetensi, agar dalam mempelajari materi yang terdapat pada modul ini pengguna sudah punya pegangan yang harus dicapai. Di dalam mempelajari satu bab tertentu, pengguna harus mengerjakan tugas yang ada di setiap kegiatan pembelajaran, agar dapat benar-benar memahami dan dapat menerapkan konsep-konsep tersebut.

BAB II

Kegiatan Pembelajaran 1

A. Judul

Aspek-aspek proses dan hasil belajar yang penting untuk dinilai dan dievaluasi sesuai dengan karakteristik mata pelajaran yang diampu.

B. Tujuan

Modul ini disusun berdasarkan kompetensi pedagogik dan potensi profesional. Kedua kompetensi tersebut dirangkum ke dalam kompetensi inti, kompetensi guru dan indikator pencapaian kompetensi. Oleh sebab itu penulisan pembelajaran 1 ini bertujuan untuk:

1. Memberikan pengetahuan tentang kaidah pengembangan instrumen penilaian dan evaluasi proses hasil belajar.
2. Memberikan pengetahuan kepada guru tentang penyusunan kisi-kisi yang dikembangkan sesuai dengan tujuan penilaian.
3. Melakukan evaluasi proses dan hasil belajar.
4. Memberikan pengetahuan tentang proses penyusunan evaluasi hasil belajar dengan menggunakan instrumen yang telah ditetapkan sebelumnya.

C. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Aspek-aspek proses dan hasil belajar yang penting untuk dinilai dan dievaluasi (sikap, pengetahuan dan keterampilan) diidentifikasi sesuai dengan karakteristik kompetensi dasar pada setiap paket keahlian.
2. Aspek-aspek profesional dan hasil belajar yang penting untuk dinilai dan dievaluasi (sikap, pengetahuan dan keterampilan) ditentukan sesuai dengan karakteristik kompetensi dasar pada setiap paket keahlian.

D. Uraian Materi Menampilkan

1. Aspek-Aspek Penilaian

Kurikulum sebagai acuan dalam penyelenggaraan pendidikan dapat dirancang dengan berbagai orientasi. Hal ini tergantung kepada filosofi yang mendasari pengembangan kurikulum tersebut.

Kurikulum 2013 adalah kurikulum yang orientasinya ditujukan kepada penyeimbangan sikap, keterampilan dan pengetahuan. Berbeda dengan yang selama ini berlangsung, dimana pembelajaran lebih mengutamakan pengetahuan dan keterampilan teknis.

2. Kriteria Menilai Proses Belajar Mengajar

Tujuan pendidikan dapat diturunkan dari tiga macam sumber, yaitu:

- a. Pembelajaran dari siswa.
- b. Pembelajaran dari masyarakat dimana mereka hidup.
- c. Dari pertimbangan para ahli pendidikan.

Tujuan pendidikan yang telah ditetapkan untuk dicapai sebaiknya ditunjukkan mulai dari perencanaan, berikutnya implementasi dan terakhir evaluasi pengajaran.

Ada tiga faktor yang perlu dipahami oleh seorang guru dalam proses pembelajaran. Tiga faktor itu memiliki posisi strategis guna membawa siswa dapat mencapai satu tahapan mampu melakukan perubahan perilaku. Ketiga faktor yang dimaksud yaitu metode evaluasi, cara belajar, dan tujuan pembelajaran.

Dalam PBK (Penilaian Berbasis Kelas) dibedakan antara penilaian (*assessment*) dan penilaian (*evaluation*). *Assessment* merupakan kegiatan untuk memperoleh informasi tentang pencapaian dan kemajuan belajar siswa, dan mengefektifkan penggunaan informasi tersebut untuk mencapai tujuan pendidikan. *Evaluation* kegiatan yang dirancang untuk mengukur keefektifan suatu sistem pendidikan secara keseluruhan, termasuk kurikulum, *assessment*, pelaksanaannya, pengelolaannya, dan lain-lain. Maka evaluasi lebih luas ruang lingkupnya dari pada penilaian (*assessment*). Seorang guru perlu memahami metode evaluasi dan

penilaian. Yang dimaksudkan dengan metode evaluasi yaitu cara-cara evaluasi yang digunakan oleh seorang guru agar memperoleh informasi yang diperlukan.

Dari pemahaman bermacam-macam metode evaluasi tersebut, kemudian dipilih yang paling tepat untuk dapat diterapkan kepada para siswa. Tugas guru dalam melakukan evaluasi dan penilaian adalah membantu siswa dalam mencapai tujuan dari pendidikan yang telah ditetapkan. Agar tercapai tujuan pendidikan yang dimaksud, seorang guru perlu bertindak secara aktif dalam membantu setiap langkah dalam proses pembelajaran.

3. Aspek Penilaian Hasil Belajar (KPA)

Dalam dunia pendidikan tidak terlepas dari aktivitas pembelajaran. Pembelajaran itu sendiri untuk mengetahui sejauh mana keberhasilannya, dan dilakukanlah apa yang disebut dengan penilaian. Penilaian yang baik harus didasarkan pada landasan teori yang kemudian diperkuat dengan langkah-langkah teknis melakukan penilaian tersebut.

Para pengajar seharusnya lebih paham tentang bagaimana melakukan penilaian pembelajaran yang efektif sesuai dengan aspek-aspek apa yang seharusnya dinilai dan dengan menggunakan alat penilaian apa yang tepat untuk mengukur aspek penilaian tersebut.

Penilaian mempunyai sejumlah fungsi di dalam proses belajar mengajar, yaitu:

- a. Sebagai alat guna mengetahui apakah siswa telah menguasai pengetahuan, nilai-nilai, norma-norma dan keterampilan yang telah diberikan oleh guru.
- b. Untuk mengetahui aspek-aspek kelemahan peserta didik dalam melakukan kegiatan belajar.
- c. Mengetahui tingkat ketercapaian siswa dalam kegiatan belajar.
- d. Sebagai sarana umpan balik bagi seorang guru, yang bersumber dari siswa.
- e. Sebagai alat untuk mengetahui perkembangan belajar siswa.

- f. Sebagai materi utama laporan hasil belajar kepada para orang tua siswa.

Terdapat 6 tujuan penilaian dalam kaitannya dengan belajar mengajar, yaitu:

- a. Menilai Ketercapaian Tujuan
Ada keterkaitan antara tujuan belajar, metode penilaian, dan cara belajar siswa. Cara penilaian biasanya akan menentukan cara belajar siswa, sebaliknya tujuan evaluasi akan menentukan metode evaluasi yang digunakan oleh siswa.
- b. Mengukur Macam-Macam Aspek Belajar yang Bervariasi
Belajar dikategorikan sebagai kognitif, psikomotorik, dan afektif. Batasan tersebut umumnya dieksplisitkan sebagai pengetahuan, keterampilan dan sikap/nilai. Semua tipe belajar sebaiknya dievaluasi dalam proporsi yang tepat.
- c. Sebagai Sarana untuk Mengetahui Apa yang Siswa Telah Ketahui
Setiap siswa masuk kelas dengan membawa pengalamannya masing-masing, serta karakteristiknya. Guru perlu mengetahui keadaan siswanya agar guru dapat berangkat dari pengalaman siswa yang beragam dalam memulai pembelajarannya. Guru perlu mengetahui dan memperhatikan kekuatan, kelemahan dan minat siswa sehingga mereka termotivasi untuk belajar atas dasar apa yang telah mereka miliki dan mereka butuhkan.
- d. Memotivasi Belajar Siswa
Penilaian juga harus dapat memotivasi belajar siswa. Guru harus menguasai bermacam-macam teknik memotivasi siswa. Hasil penilaian akan menstimulasi tindakan siswa. Dengan merencanakan secara sistematis sejak pretes sampai ke postes, guru dapat membangkitkan semangat siswa untuk tekun belajar secara kontinu.
- e. Menyediakan Informasi untuk Tujuan Bimbingan dan Konseling
Informasi diperlukan jika bimbingan dan konseling yang efektif diperlukan, informasi yang berkaitan dengan problem pribadi seperti

data kemampuan, kualitas pribadi, kemampuan bersosialisasi dan skor hasil belajar.

f. Menjadikan Hasil Evaluasi dan Penilaian Sebagai Dasar Perubahan Kurikulum

Hasil evaluasi siswa, pengalaman kerja siswa, analisis kebutuhan masyarakat, dan analisis pekerjaan merupakan teknik konvensional yang sering digunakan untuk mengubah kurikulum.

Sedangkan sesuai dengan orientasi kurikulum 2013, maka setiap proses pembelajaran harus ditujukan kepada penyeimbangan aspek sikap, keterampilan dan pengetahuan. Sebagai konsekuensinya, setiap pendidik/guru dituntut untuk mampu melakukan penilaian tidak hanya terhadap aspek pengetahuan, tetapi juga terhadap aspek sikap dan keterampilan.

Agar penilaian tidak mengarah kepada subjektivitas, maka harus ada indikator yang akan menjadi sasaran penilaian. Indikator yang menjadi sasaran penilaian tersebut di dalam kurikulum 2013 disebut sebagai kata kerja operasional. Sehubungan dengan hal tersebut, berikut ini disajikan tabel kata kerja operasional pada masing-masing aspek, seperti pada tabel.

Tabel 2.1. Kata Kerja Operasional Ranah Pengetahuan

Mengingat (C1)	Memahami (C2)	Menerapkan (C3)	Menganalisis (C4)	Mengevaluasi (C5)	Menciptakan (C6)
Membilang	Menjelaskan	Menerapkan	Menganalisis	Membandingkan	Mengabstraksi
Mendaftar	Mengategorikan	Menggunakan	Mendiagnosis	Menyimpulkan	Menganimasi
Menunjukkan	Mengasosiasikan	Menyelidiki	Menyeleksi	Menilai	Mengkombinasikan
Menamai	Membandingkan	Mengoperasikan	Merinci	Mengkritik	Mengarang
Menandai	Menghitung	Melaksanakan	Mendiagramkan	Memprediksi	Membangun
Membaca	Menguraikan	Memproduksi	Membagangkan	Menafsirkan	Menciptakan
Menghafal	Membedakan	Memproses	Menelaah	Mempertahankan	Mengkreasikan
Mengulang	Mendiskusikan	Melakukan	Mengedit	Membuktikan	Merancang
Memilih	Mencontohkan	Mengimplementasikan	Mengaitkan	Memvalidasi	Merencanakan
Melafalkan	Mengemukakan		Memilah	Mengetes	Membentuk
Menuliskan	Menyimpulkan			Memproyeksikan	Merumuskan
Menyebutkan	Merangkum				Menggabungkan
	Menjabarkan				Memadukan
	Mengidentifikasi				Mereparasi
	Mengartikan				Memproduksi
	Menghitung				Merekonstruksi
					Memodifikasi

Sumber: Ditabulasikan dari Ridwan (2014)

Tabel 2.2. Kata Kerja Operasional Ranah Sikap

Menerima (A1)	Menanggapi (A2)	Menilai (A3)	Mengelola (A4)	Menghayati (A5)
Memilih	Menjawab	Mengasumsikan	Menganut	Mengubah perilaku
Mempertanyakan	Membantu	Meyakini	Mengubah	Berakhlak mulia
Mengikuti	Mengajukan	Melengkapi	Menata	Mempengaruhi
Memberi	Mengkompromikan	Meyakinkan	Mengklasifikasikan	Mendengarkan
Menganut	Menyenangi	Memperjelas	Mengombinasikan	Mengkualifikasi
Mematuhi	Menyambut	Memprakarsai	Mempertahankan	Melayani
Meminati	Mendukung	Mengimani	Membangun	Menunjukkan
	Menyetujui	Mengundang	Membentuk pendapat	Membuktikan
	Menampilkan	Menggabungkan	Memadukan	Memecahkan
	Melaporkan	Mengusulkan	Mengelola	
	Memilih	Menekankan	Menegosiasi	
	Mengatakan	Menyumbang	Merembuk	
	Memilah			
	Menolak			

Sumber: Ditabulasikan dari Ridwan (2014)

Tabel 2.3. Kata Kerja Operasional Ranah Keterampilan

Menirukan (P1)	Memanipulasi (P2)	Presisi (P3)	Artikulasi (P4)	Pengalamiahan (P5)
Menyalin	Mendemonstrasikan	Menunjukkan	Mempertajam	Memproduksi
Mengikuti	Memanipulasi	Melengkapi	Membentuk	Mencampur
Mereplikasi	Membuat kembali	Menyempurnakan	Mensketsa	Mengoperasikan
Mengulangi	Membangun	Mengkalibrasi	Membangun	Mengemas
Mematuhi	Melakukan	Mengendalikan	Mengatasi	Mendesain
	Melaksanakan		Menggabungkan	Menentukan
	Mempraktikkan		Koordinat	Mengelola
	Menerapkan		Mengintegrasikan	Menciptakan
			Beradaptasi	
			Mengembangkan	
			Merumuskan	
			Memodifikasi	

Sumber: Ditabulasikan dari Ridwan (2014)

Sebagai sasaran penilaian, indikator pencapaian kompetensi haruslah merupakan penjabaran atau hasil pengidentifikasian dari Kompetensi Dasar (KD) yang merupakan jabaran dari Kompetensi Inti (KI) di setiap mata pelajaran. Sehingga dapat dikatakan bahwa penyusunan instrumen penilaian ditentukan oleh kata kerja operasional yang ada di dalam KD dan indikator pencapaian kompetensi yang telah dirumuskan.

4. Pengertian Instrumen Evaluasi

Dalam pendidikan terdapat bermacam-macam instrumen atau alat evaluasi yang dapat digunakan untuk menilai proses dan hasil pendidikan yang telah dilakukan terhadap anak didik.

Instrumen evaluasi hasil belajar digunakan untuk memperoleh informasi deskriptif dan informasi *judgemental* yang dapat berwujud tes maupun nontes. Tes dapat berwujud objektif atau uraian. Sedangkan nontes dapat berbentuk lembar pengamatan atau *questioner*. Penyusunan instrumen evaluasi baik tes maupun nontes hendaknya memenuhi syarat Instrumen yang baik yaitu valid dan reliabel.

Penggunaan instrumen evaluasi harus dilaksanakan secara objektif dan terbuka agar diperoleh informasi yang sah, dapat dipercaya sehingga dapat bermanfaat bagi peningkatan mutu pembelajaran.

5. Jenis-Jenis Instrumen Evaluasi

Dalam melaksanakan evaluasi pendidikan hendaknya dilakukan secara sistematis dan terstruktur. Evaluasi pendidikan secara garis besar melibatkan 3 jenis yaitu *input*, proses dan *output*. Apabila prosedur yang dilakukan tidak bercermin pada 3 jenis tersebut maka dikhawatirkan hasil yang digambarkan oleh hasil evaluasi tidak mampu menggambarkan gambaran yang sesungguhnya terjadi dalam proses pembelajaran. Langkah-langkah dalam melaksanakan kegiatan evaluasi pendidikan secara umum adalah sebagai berikut:

- a. Perencanaan (mengapa perlu evaluasi, apa saja yang hendak dievaluasi, tujuan evaluasi, teknik apa yang hendak dipakai, siapa

yang hendak dievaluasi, kapan, dimana, penyusunan instrumen, indikator, data apa saja yang hendak digali, dan sebagainya).

- b. Pengumpulan data (tes, observasi, kuesioner, dan sebagainya sesuai dengan tujuan).
- c. Verifikasi data (uji instrumen, uji validitas, uji reliabilitas, dan sebagainya).
- d. Pengolahan data (memaknai data yang terkumpul, kualitatif atau kuantitatif, apakah hendak diolah dengan statistik atau non statistik, apakah dengan parametrik atau non parametrik, apakah dengan manual atau dengan *software* (misal : SAS, SPSS)).
- e. Penafsiran data, (ditafsirkan melalui berbagai teknik uji, diakhiri dengan uji hipotesis ditolak atau diterima, jika ditolak mengapa? Jika diterima mengapa? Berapa taraf signifikannya?) interpretasikan data tersebut secara berkesinambungan dengan tujuan evaluasi sehingga akan tampak hubungan sebab akibat. Apabila hubungan sebab akibat tersebut muncul maka akan lahir alternatif yang ditimbulkan oleh evaluasi itu.

6. Prinsip-Prinsip Instrumen Evaluasi

Terdapat beberapa prinsip dalam instrumen evaluasi yaitu:

- a. Keterpaduan
Evaluasi harus dilakukan dengan prinsip keterpaduan antara tujuan instruksional pengajaran, materi pembelajaran dan metode pengajaran.
- b. Keterlibatan Peserta Didik
Prinsip ini merupakan suatu hal yang mutlak, karena keterlibatan peserta didik dalam evaluasi bukan alternatif, tapi kebutuhan mutlak.
- c. Koherensi
Evaluasi harus berkaitan dengan materi pengajaran yang telah dipelajari dan sesuai dengan ranah kemampuan peserta didik yang hendak diukur.

d. Pedagogis

Perlu adanya *tool* penilai dari aspek pedagogis untuk melihat perubahan sikap dan perilaku sehingga pada akhirnya hasil evaluasi mampu menjadi motivator bagi diri siswa.

e. Akuntabel

Hasil evaluasi haruslah menjadi alat akuntabilitas atau bahan pertanggungjawaban bagi pihak yang berkepentingan seperti orang tua siswa, sekolah, dan lainnya.

E. Aktivitas Pembelajaran

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama guru kejuruan di kelompok anda untuk mengidentifikasi hal-hal berikut (Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan Lembar Kerja yang tersedia.)

1. Jelaskan dengan ringkas hal apa saja yang harus dipersiapkan oleh guru kejuruan sebelum mempelajari materi pembelajaran Konsep Dasar Hidrolika Terapan Untuk Sistem Plumbing?
2. Jelaskan bagaimana guru kejuruan mempelajari materi pembelajaran?
3. Sebutkan ada berapa dokumen yang ada di dalam Materi pembelajaran ini?
4. Sebutkan apa topik yang akan dipelajari oleh guru kejuruan di materi pembelajaran ini?
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

F. Latihan/Kasus/Tugas

1. Jelaskan definisi *Assessment* dalam penilaian berbasis kelas?
2. Jelaskan fungsi penilaian di dalam proses belajar mengajar?
3. Apakah yang dimaksud menyediakan informasi untuk tujuan bimbingan dan konseling dalam tujuan penelitian?
4. Apakah fungsi Instrumen evaluasi hasil belajar?
5. Sebutkan langkah-langkah dalam melaksanakan kegiatan evaluasi pendidikan secara umum secara berurutan :

G. Rangkuman

Aspek-aspek penilaian mengacu kepada kurikulum dalam hal ini kurikulum 2013 yang berorientasi kepada penyeimbangan sikap, keterampilan dan pengetahuan.

Kriteria Menilai Proses Belajar Mengajar Ada tiga faktor yang perlu dipahami oleh seorang guru dalam proses pembelajaran, yaitu metode evaluasi, cara belajar, dan tujuan pembelajaran. Tugas guru dalam melakukan evaluasi dan penilaian adalah membantu siswa dalam mencapai tujuan dari pendidikan yang telah ditetapkan.

Penilaian Hasil Belajar (KPA) yang baik harus didasarkan pada landasan teori yang kemudian diperkuat dengan langkah-langkah teknis melakukan penilaian tersebut. Agar penilaian tidak mengarah kepada subjektivitas, maka harus ada indikator yang akan menjadi sasaran penilaian. Indikator yang menjadi sasaran penilaian tersebut di dalam kurikulum 2013 disebut sebagai kata kerja operasional.

H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Untuk mendapatkan umpan balik setelah mempelajari modul ini, guru-guru diminta untuk mengisi rubrik umpan balik ini dan memberikan masukan yang konstruktif yang disediakan pada tabel berikut ini:

Tabel 2.4. Rubrik Umpan Balik Isi Modul

No	Pokok Bahasan	Pertanyaan Umpan Balik	Jawaban Guru dan Tindak Lanjut
1	Kriteria Penilaian	Apakah saudara mampu merumuskan kriteria penilaian yang dibutuhkan dalam proses pembelajaran (C6)	
2	Aspek Penilaian Hasil Belajar	Apakah saudara paham tentang bagaimana melakukan penilaian hasil belajar yang efektif (P2)	
3	Instrumen Evaluasi	Apakah saudara paham cara menggunakan instrumen evaluasi secara objektif dan terbuka (C3)	

I. Kunci Jawaban

1. *Assessment* merupakan kegiatan untuk memperoleh informasi tentang pencapaian dan kemajuan belajar siswa, dan mengefektifkan penggunaan informasi tersebut untuk mencapai tujuan pendidikan.
2. Fungsi penilaian di dalam proses belajar mengajar:
 - a) Sebagai alat guna mengetahui apakah siswa telah menguasai pengetahuan, nilai-nilai, norma-norma dan keterampilan yang telah diberikan oleh guru.
 - b) Untuk mengetahui aspek-aspek kelemahan peserta didik dalam melakukan kegiatan belajar.
 - c) Mengetahui tingkat ketercapaian siswa dalam kegiatan belajar.
 - d) Sebagai sarana umpan balik bagi seorang guru, yang bersumber dari siswa.
 - e) Sebagai alat untuk mengetahui perkembangan belajar siswa.
 - f) Sebagai materi utama laporan hasil belajar kepada para orang tua siswa.
 - g) Informasi diperlukan jika bimbingan dan konseling yang efektif diperlukan, informasi yang berkaitan dengan problem pribadi seperti data kemampuan, kualitas pribadi, kemampuan bersosialisasi dan skor hasil belajar.
3. Instrumen evaluasi hasil belajar digunakan untuk memperoleh informasi deskriptif dan informasi *judgemental* yang dapat berwujud tes maupun nontes. Tes dapat berwujud objektif atau uraian. Sedangkan nontes dapat berbentuk lembar pengamatan atau *questioner*.
4. Langkah-langkah dalam melaksanakan kegiatan evaluasi pendidikan secara umum secara berurutan, yaitu:
 - a) Perencanaan
 - b) Pengumpulan data
 - c) Verifikasi data
 - d) Pengolahan data
 - e) Penafsiran data

LEMBAR KERJA KB-1

LK-01

1. Jelaskan dengan ringkas hal apa saja yang harus dipersiapkan oleh guru kejuruan sebelum mempelajari materi pembelajaran Konsep Dasar Hidrolika Terapan Untuk Sistem Plumbing?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Jelaskan bagaimana guru kejuruan mempelajari materi pembelajaran?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Sebutkan ada berapa dokumen yang ada di dalam Materi pembelajaran ini?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

4. Sebutkan apa topik yang akan dipelajari oleh guru kejuruan di materi pembelajaran ini?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

.....
.....
.....
.....
.....
.....

BAB III

Kegiatan Pembelajaran 2

A. Judul

Konsep Dasar Hidrostatika Untuk Hidrolika Terapan

B. Tujuan

Setelah mempelajari materi ini, anda diharapkan dapat:

1. Menghitung besarnya gaya tekan yang bekerja pada suatu titik di dalam cairan dalam keadaan diam
2. Mengetahui dan menjelaskan macam-macam alat pengukur tekanan beserta prinsip kerjanya
3. Menganalisis gaya hidrostatik yang bekerja pada bidang datar yang terletak horizontal, miring dan vertikal
4. Menghitung besarnya tekanan hidrostatik pada bidang lengkung

C. Indikator Pencapaian Kompetensi

Dapat merumuskan konsep dasar hidrostatika untuk hidrolika terapan

D. Uraian Materi : Konsep Dasar Hidrostatika untuk Hidrolika Terapan

1. Pendahuluan

Hidrostatika merupakan bagian dari hidrolika yang mempelajari gaya-gaya tekan cairan (zat cair) dalam keadaan diam. Karena cairan dalam keadaan diam maka tidak terdapat geseran baik antara lapisan cairan tersebut, maupun antara cairan dan batas padat. Dengan demikian gaya-gaya yang bekerja tegak lurus pada permukaannya.

Tekanan adalah jumlah gaya tiap satuan luas. Jika gaya terdistribusi merata pada satuan luas, maka tekanan dapat ditentukan dengan membagi dengan luas.

$$p = \frac{F}{A} \quad (1)$$

dimana :

p = tekanan (N/m²)

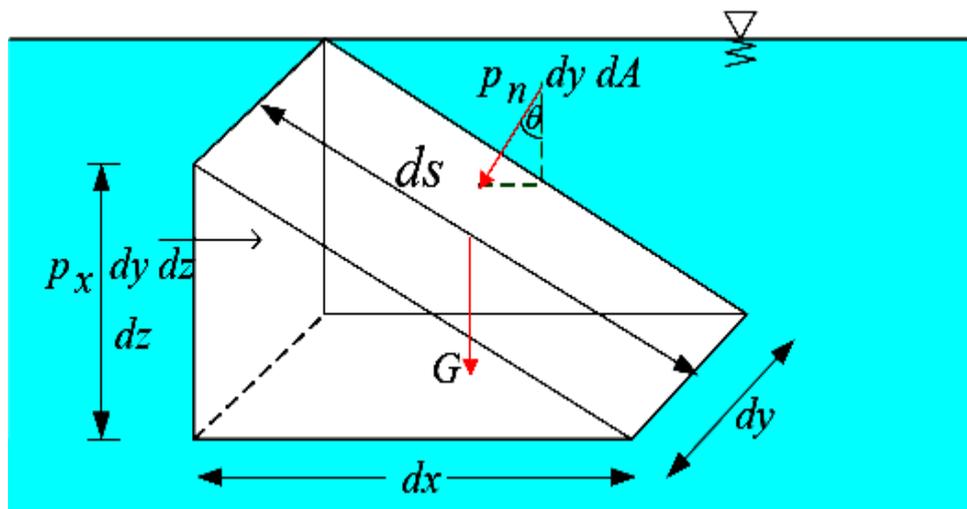
F = gaya (N)

A = luas (m²)

2. Tekanan Pada Suatu Titik

Hukum Pascal (*Pascal's Law*) menyatakan tekanan pada suatu titik di dalam suatu cairan dalam keadaan diam adalah sama disemua arah. Tekanan rata-rata dihitung dengan membagi gaya normal yang bekerja pada suatu bidang dengan luas bidang tersebut. Tekanan pada satu titik adalah batas (*limit*) dari perbandingan antara gaya normal dan luas bidang dimana luas bidang dianggap mendekati nol pada satu titik.

$$P = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{\partial F}{\partial A} \quad (2)$$



Gambar 3.1. Elemen cairan

$$\sum F_x = p_x dy dz - p_n dy ds \cdot \sin \theta = m \cdot a_x = 0$$

$$\sum F_z = p_z dx \cdot dy - p_n dy ds \cdot \cos \theta - \rho \cdot g \frac{dx \cdot dy \cdot dz}{2} = 0$$

dimana :

p_x , p_y dan p_n = tekanan rata-rata pada tiga sisi dari elemen cairan tersebut.

Gaya-gaya tekan di arah y saling menghapus satu sama lain, hal ini karena gaya-gaya sama besar tetapi berlawanan arah. Apabila batas diambil dengan memperkecil satu sisi tersebut menuju nol tanpa merubah sudut θ , dan dengan menggunakan hubungan geometrik maka diperoleh persamaan berikut:

$$ds \cdot \sin \theta = dz \quad \text{dan} \quad ds \cdot \cos \theta = dx$$

Dengan menggunakan ketentuan geometri tersebut maka persamaan-persamaan di atas dapat disederhanakan menjadi sebagai berikut :

$$p_x dy \cdot dz - p_n dy \cdot dz = 0$$

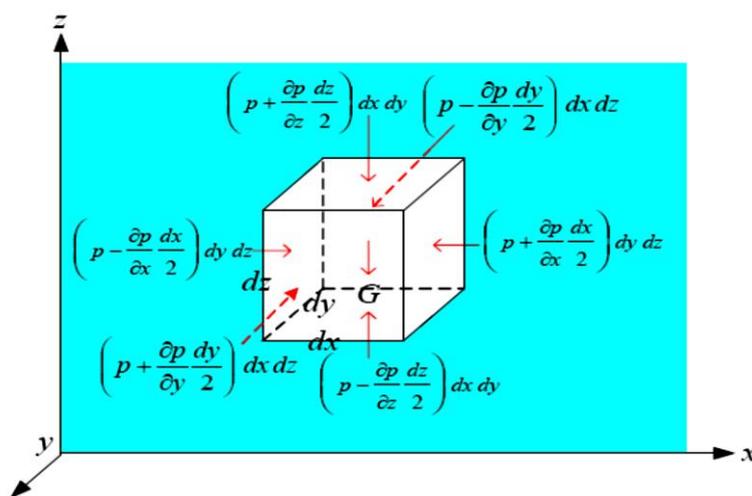
$$p_z dx \cdot dy - p_n dx \cdot dy - \rho \cdot g \frac{dx \cdot dy \cdot dz}{2} = 0$$

Karena elemen cairan tersebut kecil sekali dan sisi-sisinya diperkecil menjadi mendekati nol maka komponen gaya berat $\rho \cdot g \frac{dx \cdot dy \cdot dz}{2}$

mendekati nol dan dapat diabaikan sehingga apabila persamaan-persamaan tersebut dibagi $dy \cdot dz$ dan $dx \cdot dy$ akan didapat persamaan :

$$p_x = p_n = p_z \quad (3)$$

Suatu cairan dalam keadaan diam perubahan tekanan atau distribusi tekanan tergantung pada elevasinya di dalam cairan (diukur dari permukaan cairan).



Gambar 3.2. Elemen cairan berbentuk paralel eppipedum kecil sekali

$$F_x = -\left(p + \frac{\partial p}{\partial x} \frac{dx}{2}\right)dy.dz + \left(p - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{dx}{2}\right)dy.dz = m.a_x = 0$$

$$F_y = -\left(p + \frac{\partial p}{\partial y} \frac{dy}{2}\right)dx.dz + \left(p - \frac{\partial p}{\partial y} \frac{dy}{2}\right)dx.dz = m.a_y = 0$$

$$F_z = -\left(p + \frac{\partial p}{\partial y} \frac{dy}{2}\right)dx.dy + \left(p - \frac{\partial p}{\partial z} \frac{dz}{2}\right)dx.dy - \rho.g.dx.dy.dz = m.a_z = 0$$

Dibagi dengan dx, dy, dz persamaan-persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi :

$$\frac{\delta p}{\delta x} = 0 \quad ; \quad \frac{\delta p}{\delta y} = 0 \quad \text{dan} \quad \frac{\delta p}{\delta z} = -\rho.g \quad (4)$$

Dari persamaan-persamaan tersebut tampak bahwa p hanya merupakan fungsi z saja, sehingga integrasi dari pers.(3) sebagai berikut :

$$\frac{dp}{dz} = -\rho.g \quad (5)$$

Untuk cairan yang dianggap homogen dan tidak termampatkan (*incompressible*), kerapatan cairan ρ dianggap konstan, sehingga menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$p = -\rho.g.z + C \quad (6)$$

Untuk mencari harga C (konstanta) diambil kondisi batas, untuk $z = 0$ yaitu di permukaan tekanan adalah sama dengan tekanan atmosfer $P = P_0 = 0$ sehingga $C = 0$.

Dengan demikian maka Persamaan (5) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$p = -\rho.g.z \quad \text{atau} \quad p = \rho.g.h \quad (7)$$

dimana :

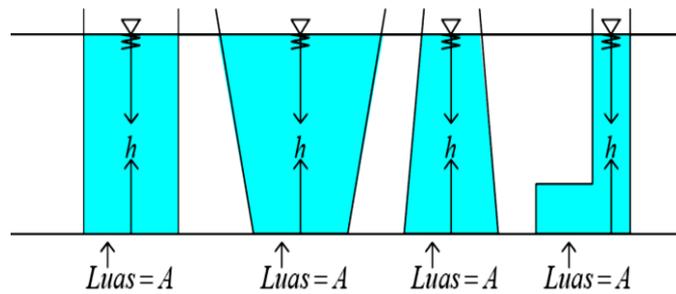
p = tekanan pada kedalaman h dari permukaan (N/m^2)

h = jarak vertikal diukur dari permukaan cairan (m)

ρ = kerapatan cairan (kg/m^3)

g = gaya gravitasi ($m/dtkt^2$)

Tangki-tangki pada gambar di bawah ini mempunyai luas dasar yang sama, demikian pula dengan kedalaman cairannya.



Gambar 3.3. Tekanan hidrostatik pada dasar tangki-tangki yang berbeda bentuk tetapi luas dasarnya sama

Tekanan pada dasar masing-masing tangki adalah : $p = \rho \cdot g \cdot h$

Sedangkan gaya-gaya bekerja pada dasar masing-masing tangki adalah :

$$F = \rho \cdot g \cdot h \cdot A \quad (8)$$

Dengan demikian untuk cairan yang sama kerapatannya tekanan dan gaya yang bekerja pada dasar masing-masing akan sama walaupun berat cairan dalam masing-masing tangki berbeda-beda.

3. Satuan dan Skala

Tekanan *absolute* adalah tekanan yang diukur terhadap tekanan nol *absolute* atau *Vakum absolute (Absolute Zero)*, sedang tekanan relatif (*gage pressure*) adalah tekanan yang diukur terhadap tekanan atmosfer setempat. Tekanan atmosfer setempat dapat diukur dengan menggunakan barometer air raksa.

$$P_{atm} = p_u + \gamma \cdot h \quad (9)$$

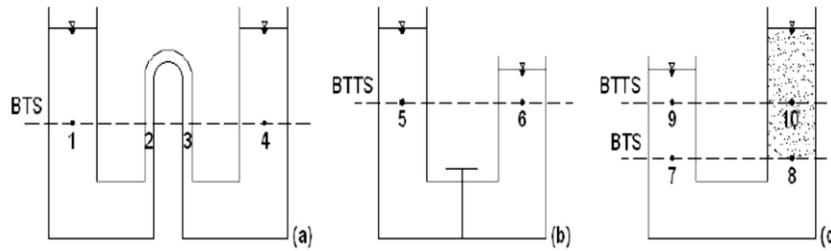
Dikarenakan tekanan uap air raksa pada temperatur 20 °C kecil sekali yaitu 0,16 N/m², maka biasanya diabaikan sehingga :

$$P_{atm} = \gamma \cdot h \quad (10)$$

$$\text{Atau } h = \frac{P_{atm}}{\gamma} = 760 \text{ mm air raksa} \quad (11)$$

4. Manometer

Manometer adalah suatu alat pengukur tekanan yang menggunakan kolom cairan untuk mengukur perbedaan tekanan antara suatu titik tertentu dengan tekanan atmosfer (tekanan terukur)



Gambar 3.4. Bidang dengan tekanan yang sama

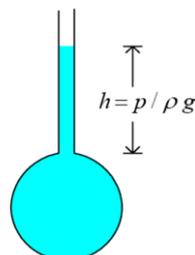
BTS : bidang dengan tekanan sama

BTTS : bidang dengan tekanan tidak sama

Pada gambar (a) titik : 1, 2, 3, 4 mempunyai tekanan sama dan bidang horisontal yang melalui titik-titik tersebut adalah bidang dengan tekanan sama. Pada gambar (b) titik 5 dan 6 berada pada bidang horisontal, tetapi tekanan pada titik 5, 6 tidak sama karena air di dalam kedua tangki tidak berhubungan. Pada gambar (c) menunjukkan tangki yang diisi dengan dua zat cair yang berbeda rapat massanya. Bidang horisontal yang melalui titik 7, 8 yang melalui batas antara kedua zat cair mempunyai tekanan yang sama, karena berat kolom zat cair tiap satuan luas di titik 7, 8 adalah sama. Sedangkan bidang yang melalui titik 9, 10 adalah bukan bidang dengan tekanan sama.

a. Piezometer

Bentuk paling sederhana dari manometer adalah piezometer, yang terdiri dari tabung gelas vertikal dengan ujung terbuka yang dihubungkan dengan ruangan (pipa) yang akan diukur tekanannya. Tekanan diberikan oleh jarak vertikal “h” dari permukaan zat cair (di dalam tabung) ke titik yang diukur tekanannya yang dinyatakan dalam tinggi zat cair.

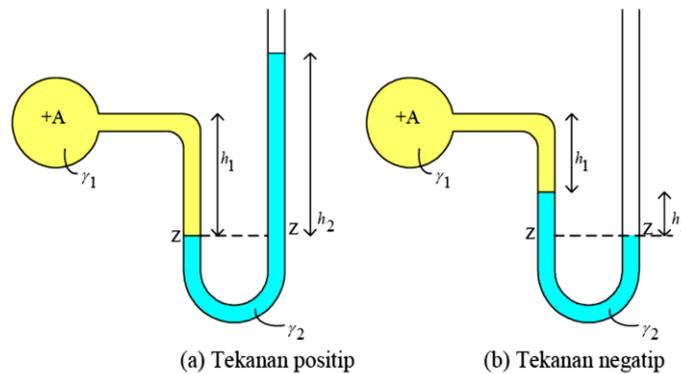


Gambar 3.5. Piezometer

b. Manometer pipa U (*simple manometer*)

Manometer berbentuk pipa U (*U tube*) dimana ujung yang satu melekat pada titik yang diukur tekanannya sedang ujung yang lain berhubungan langsung dengan udara luar (atmosfer).

Pipa U tersebut diisi dengan cairan yang berbeda dengan cairan yang mengalir di dalam pipa yang akan diukur tekanannya. Misalnya berat jenis cairan di dalam pipa adalah γ_1 dan berat jenis cairan di dalam manometer adalah γ_2 dimana $\gamma_2 > \gamma_1$.



Gambar 3.6. Manometer pipa U

Perbedaan tinggi cairan di dalam manometer adalah h_2 . Untuk menghitung besarnya tekanan di dalam pipa A ditarik garis horizontal z-z. Tekanan pada bidang z-z \Rightarrow dari dua kali pipa U adalah sama besar, yaitu:

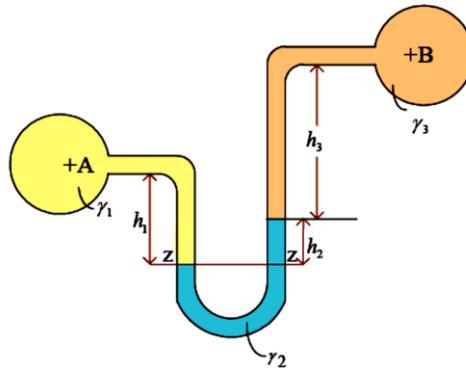
$$P_A + h_1 \cdot \gamma_1 = P_{atm} + h_2 \cdot \gamma_2 \quad \text{atau} \quad P_A = P_{atm} + h_2 \cdot \gamma_2 - h_1 \cdot \gamma_1 \quad (12)$$

dimana :

P_{atm} = tekanan atmosfer.

c. Manometer Diferensial

Alat ukur ini digunakan untuk mengukur tekanan antara dua tempat pada satu pipa atau antara dua pipa. Manometer diferensial terdiri dari pipa U dimana kedua ujungnya terletak pada tempat yang diukur, seperti pada gambar berikut ini :



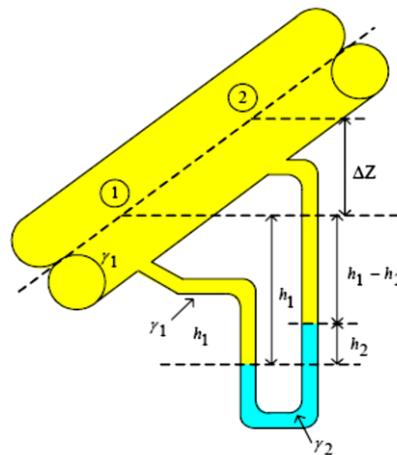
Gambar 3.7. Manometer deferensial pada dua pipa

Dengan mengikuti prosedur yang diuraikan untuk monometer sederhana persamaan untuk perbedaan tekanan antara pipa A dan pipa B adalah:

$$P_A + h_1 \cdot \gamma_1 = h_2 \cdot \gamma_2 + h_3 \cdot \gamma_3 = P_B \quad \text{atau}$$

$$P_A - P_B = h_2 \cdot \gamma_2 + h_3 \cdot \gamma_3 - h_1 \cdot \gamma_1 \quad (13)$$

Manometer deferensial tersebut juga dapat dipasang diantara dua penampang pada satu aliran saluran tertutup seperti gambar berikut :



Gambar 3.8. Manometer deferensial pada satu pipa

Persamaan untuk perbedaan tekanan antara penampang 1 dan penampang 2 adalah:

$$P_1 + h_1 \cdot \gamma_1 + (h_1 - h_2 + \Delta z) \cdot \gamma_1 + P_2$$

$$P_1 - P_2 = \gamma_1 \cdot (\Delta z - h_2) + \gamma_2 \cdot h_2$$

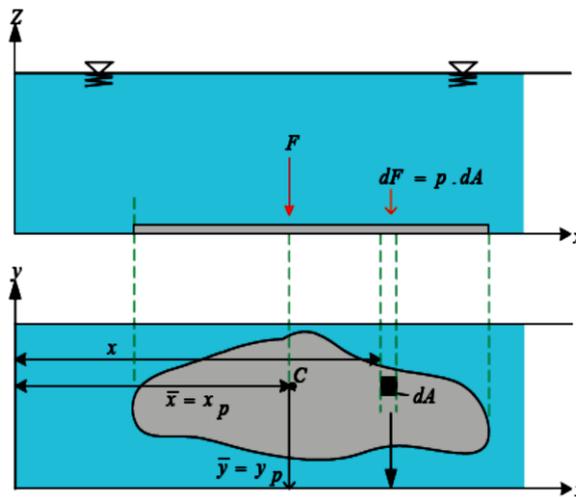
atau

$$P_1 - P_2 = \gamma_2 \cdot h_2 - \gamma_1 (h_2 - \Delta z) \quad (14)$$

5. Gaya Hidrostatistik yang Bekerja pada Bidang Datar Horizontal

Besarnya gaya-gaya yang bekerja pada satu sisi adalah :

$$\int_A p \cdot dA = p \int_A dA = p \cdot A \quad (15)$$



Gambar 3.9. Sket untuk menentukan letak garis kerja gaya tekan pada bidang datar horizontal

Arah garis kerja gaya-gaya tersebut adalah tegak lurus pada permukaan bidang dan menuju ke arah permukaan tersebut apabila p adalah positif. Titik dimana resultan gaya memotong permukaan bidang disebut **titik tangkap gaya** (*centre of pressure*).

Karena momen dari resultant sama dengan momen dari pembagian gaya terhadap salib sumbu koordinat (x, y) , maka lokasi titik tangkap gaya yang bekerja dapat dicari dengan menggunakan persamaan sebagai berikut : (sigma momen terhadap sumbu y).

$$p \cdot A \cdot x_p = \int_A p \cdot dA \cdot x$$

Karena p konstan, maka :

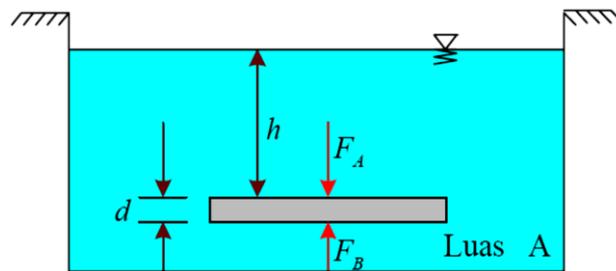
$$x_p = \frac{1}{A} \int_A x \cdot dA = \bar{x} \quad (16)$$

$$y_p = \frac{1}{A} \int_A x.dA = \bar{y} \quad (17)$$

dimana :

\bar{x} dan \bar{y} = jarak titik berat bidang terhadap sumbu y dan sumbu x.

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa untuk bidang datar terletak horizontal di dalam cairan, resultan gaya-gaya tekan cairan pada bidang akan melalui titik berat bidang tersebut.



Gambar 3.10. Sebuah bidang datar terletak horizontal di dalam cairan

Dari gambar terlihat bahwa besarnya gaya-gaya yang bekerja pada sisi atas bidang adalah :

$$F_A = p_A \cdot A = \rho \cdot g \cdot h \cdot A \quad (18)$$

Besarnya gaya-gaya yang bekerja pada sisi bawah :

$$F_B = p_B \cdot A = \rho \cdot g \cdot (h + d) \cdot A \quad (19)$$

Jumlah gaya-gaya yang bekerja pada bidang tersebut adalah :

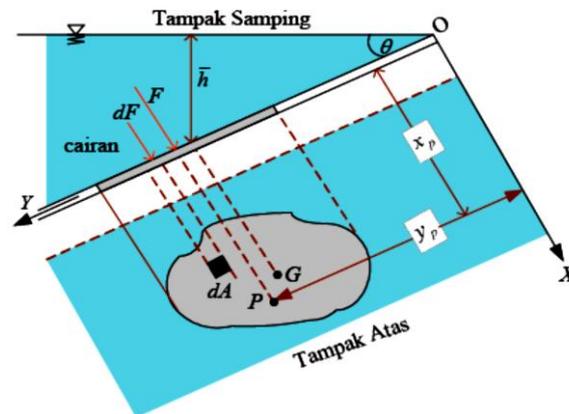
$$F_B - F_A = \rho \cdot g \cdot (h + d) \cdot A - \rho \cdot g \cdot h \cdot A = \rho \cdot g \cdot A \cdot d \quad (20)$$

$\rho \cdot g \cdot d \cdot A = G$ = berat cairan yang dipindahkan oleh bidang datar

Dari persamaan (20) tersebut dapat dinyatakan bahwa besarnya gaya-gaya cairan yang bekerja pada benda yang berada di dalamnya adalah sama dengan berat cairan yang dipindahkan oleh benda tersebut (Hukum Archimedes).

6. Gaya Hidrostatik yang Bekerja pada Bidang Datar yang Terletak Miring di dalam Cairan

Besarnya gaya-gaya yang bekerja pada suatu bidang datar yang terletak miring membentuk sudut θ° dengan sumbu horizontal tergantung pada luas bidang dan letak titik berat bidang terhadap permukaan cairan. Untuk menjelaskan hal ini diambil suatu bidang datar seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 3.11. Bidang datar yang terletak miring di dalam cairan

Dengan sistem x y tersebut besarnya gaya dF yang bekerja tegak lurus pada suatu penampang kecil sekali seluas dA pada bidang, dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$dF = p.dA = \rho.g.h.dA = \rho.g.y \sin \theta.dA \quad (21)$$

Besarnya seluruh gaya yang bekerja pada bidang adalah :

$$F = \int_A p.dA = \int_A \rho.g.y \sin \theta.dA = \rho.g \sin \theta \int_A y.dA \quad (22)$$

$$F = \rho.g \sin \theta.\bar{y}.A = \rho.g.\bar{h}.A$$

$$x_p F = \int_A x.p.dA \rightarrow x_p = \frac{1}{F} \int_A x.p.dA \quad (23)$$

$$y_p F = \int_A y.p.dA \rightarrow y_p = \frac{1}{F} \int_A y.p.dA \quad (24)$$

Untuk bidang yang luasnya sederhana persamaan (23) dapat dinyatakan dalam persamaan yang berbentuk umum.

$$x_p = \frac{1}{\rho.g.y.A \sin \theta} \int_A x.\rho.g.y \sin \theta.dA = \frac{1}{y.A} \int_A x.y.dA$$

$$x_p = \frac{I_{xy}}{y.A}$$

Maka :

$$x_p = \frac{\bar{I}_{xy}}{y.A} + \bar{x} \quad (25)$$

Serupa halnya dengan persamaan (24) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$y_p = \frac{1}{\rho.g.y.A \sin \theta} \int y.\rho.g.y \sin \theta.dA = \frac{1}{y.A} \int y^2.dA$$

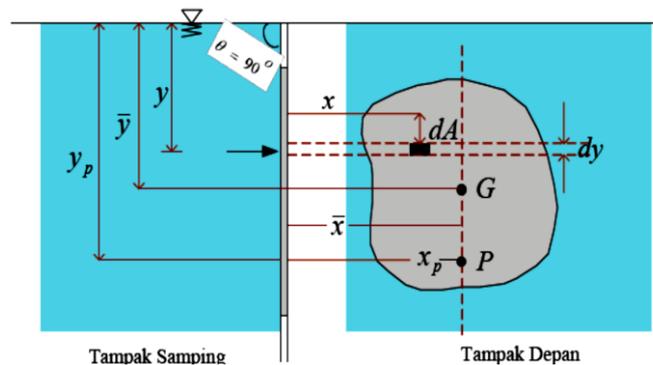
$$y_p = \frac{I_x}{y.A} \quad (26)$$

Maka :

$$y_p = \frac{I_G}{y.A} + \bar{y}$$

7. Gaya Hidrostatik yang Bekerja pada Bidang Datar yang Terletak Vertikal di dalam Cairan

Besarnya gaya yang bekerja pada suatu bidang datar yang terletak di dalam cairan pada dasarnya sama dengan gaya yang bekerja pada suatu bidang datar yang terletak miring dengan sudut $\theta = 90^\circ$



Gambar 3.12. Bidang datar yang terletak vertikal di dalam cairan

Penerapan persamaan (21) pada bidang yang terletak vertikal adalah:

$$dF = p.dA = \rho' g' h' dA = \rho' g' y' \sin \theta' dA \quad (27)$$

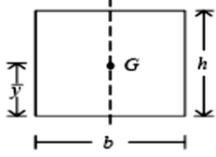
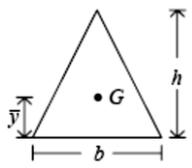
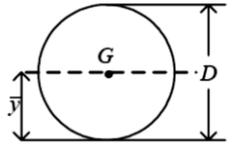
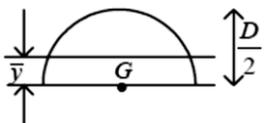
Karena $\theta = 90^\circ$, maka persamaan dapat disederhanakan menjadi:

$$dF = \rho \cdot g \cdot y \cdot dA$$

$$F = \int_A \rho' g' y' dA = \rho' g' \bar{y}' A \quad (28)$$

Berikut disajikan tabel untuk menentukan letak titik berat dan besarnya momen kelambaman untuk beberapa bentuk bidang datar.

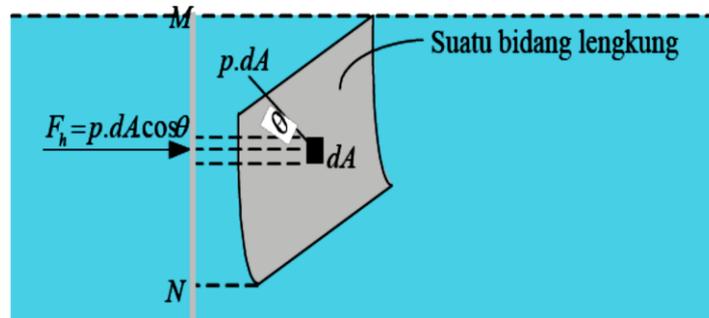
Tabel 3.1. Letak titik berat dan momen inersia melalui titik berat

No	Bentuk bidang Luas	Luas titik	Titik berat (dari dasar momen)	Momen Inersia
1	Persegi empat 	$A = b \cdot h$	$\bar{y} = \frac{h}{2}$	$I_G = \frac{b \cdot h^3}{12}$
2	Segitiga 	$A = \frac{b \cdot h}{2}$	$\bar{y} = \frac{h}{3}$	$I_G = \frac{b \cdot h^3}{36}$
3	Lingkaran 	$A = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$	$\bar{y} = \frac{D}{2}$	$I_G = \frac{\pi \cdot D^4}{64}$
4	Setengah lingkaran 	$A = \frac{\pi \cdot D^2}{8}$	$\bar{y} = \frac{2D}{3\pi}$	$I_G = \frac{\pi \cdot D^4}{456}$

8. Tekanan Hidrostatik pada Bidang Lengkung

Selain tergantung pada kedalaman yang berbeda-beda, tekanan hidrostatik yang bekerja pada tiap titik yang berbeda pada bidang lengkung juga mempunyai arah yang berbeda-beda. Resultan gaya tekan

dapat dicari dari resultan komponen gaya arah vertikal dan komponen gaya arah horizontal.



Gambar 3.13. Komponen horizontal gaya tekan yang bekerja pada bidang lengkung

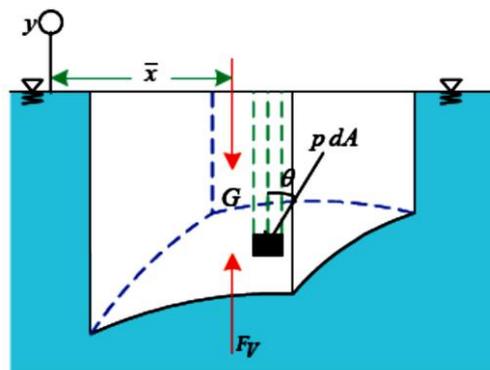
Proyeksi dari bidang lengkung seperti pada gambar diatas pada bidang vertikal ditunjukkan oleh garis MN. Misalnya F_h adalah komponen horizontal seluruh gaya tekan cairan pada bidang lengkung:

$$dF_h = p.d.A \cos \theta$$

$$F_h = \int p.d.A \cos \theta \quad (29)$$

Dari persamaan tersebut tampak bahwa $\cos \theta dA$ adalah proyeksi bidang kecil dA pada bidang datar yang tegak lurus pada bidang horizontal.

Komponen vertikal dari gaya tekan cairan yang bekerja pada bidang lengkung dapat dicari dengan menjumlahkan komponen vertikal gaya tekan yang bekerja pada bidang kecil dA dari bidang lengkung tersebut.



Gambar 3.14. Komponen vertikal gaya tekan yang bekerja pada suatu bidang lengkung

Suatu elemen dengan gaya tekan $p \, dA$ yang bekerja tegak lurus pada bidang kecil dA tersebut. Misalkan θ adalah sudut antara garis kerja gaya tekan dan arah vertikal, maka komponen vertikal dari gaya tekan yang bekerja pada bidang kecil dA tersebut adalah $p \, dA \cos\theta$. Dengan demikian jumlah keseluruhan komponen vertikal gaya tekan yang bekerja pada bidang lengkung adalah:

$$F_v = \int_A p \, dA \cos\theta \quad (30)$$

Atau

$$F_v = \int_A \rho \cdot g \cdot h \cdot dA \cos\theta \quad (31)$$

Apabila $dA \cos\theta$ adalah proyeksi bidang dA pada bidang horizontal maka $h \, dA \cos\theta$ tidak lain adalah volume cairan diatas bidang dA sehingga :

$$F_v = \gamma \cdot V = G \quad (32)$$

dimana

V = volume cairan diatas bidang lengkung

γ = berat cairan diatas bidang lengkung tersebut.

Untuk mencari letak garis kerja dari komponen vertikal gaya tekan tersebut dapat digunakan sigma momen terhadap suatu salib sumbu, misalnya titik O (titik potong sumbu x dan y)::

$$F_v \cdot \bar{x} = \int_A x \cdot dV$$

Karena,

$$F_v = \gamma \cdot V$$

Maka :

$$\bar{x} = \frac{1}{V} \int x \cdot dV \quad (33)$$

9. Resultan Gaya Tekan Hidrostatik

Apabila dua komponen vertikal dan horizontal tersebut di atas terletak pada suatu bidang maka dua komponen tersebut dapat digabung menjadi suatu resultan gaya yang besarnya dapat dicari dengan persamaan berikut ini :

$$F = \sqrt{F_H^2 + F_V^2} \quad (34)$$

dengan arah yang membentuk sudut :

$$\theta = \tan^{-1} \frac{F_V}{F_H} \quad (35)$$

E. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas 1 : Pengertian Hidrostatistik

Pada awal kegiatan pembelajaran, saudara diminta untuk menjelaskan dan merangkum dari definisi hidrostatika, hukum Pascal, pengertian tekanan pada zat cair, menjelaskan alat-alat ukur tekanan, dan pengertian gaya hidrostatistik baik pada bidang datar maupun pada bidang lengkung. Untuk dapat mengerjakannya dapat diambil dari berbagai referensi yang ada atau seperti yang tertera pada daftar pustaka modul ini.

Untuk lebih memahami dari materi, selanjutnya anda diminta untuk menjawab beberapa pertanyaan berikut ini:

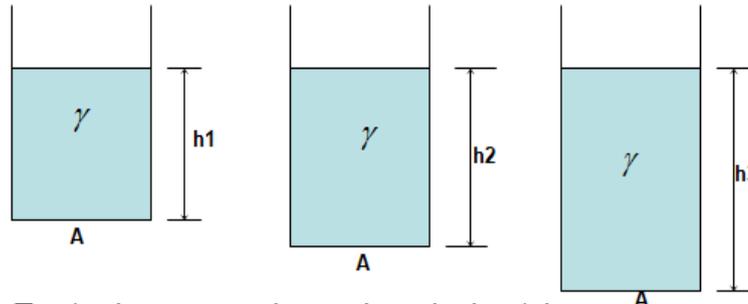
1. Jelaskan yang dimaksud dengan hidrostatistik dan contoh aplikasi pada bangunan air
2. Jelaskan hukum Pascal dalam aplikasinya pada tekanan zat cair
3. Jelaskan dengan sket gambar alat ukur tekanan yang saudara ketahui
4. Bagaimana gaya hidrostatistik bekerja pada bidang datar dan lengkung? Jelaskan dengan gambar.

Jika jawaban anda sudah mencapai tingkat penguasaan 80 % keatas, maka anda dapat meneruskan dengan kegiatan belajar bahasan selanjutnya, tetapi jika tingkat penguasaan anda belum mencapai 80 %, maka anda harus mengulangi kegiatan belajar bahasan tersebut terutama pada bagian yang anda belum kuasai. Untuk mencapai pemahaman tersebut anda dapat mencari referensi yang relevan.

Aktivitas 2 : Tekanan dan Gaya Hidrostatistik

Anda diminta untuk mengamati gambar dibawah ini, dimana pada gambar terlihat : (1) Ketiga bak mempunyai luar permukaan horizontal yang sama (2)

kedalaman zat cair h_1 , h_2 dan h_3 (3) luas dasar adalah sama = A , dan (4) mempunyai berat jenis yang sama.

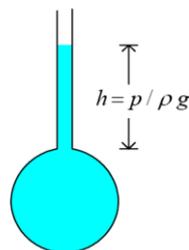


Setelah anda mengamati gambar diatas dan membaca dari teori, anda diminta untuk menjawab pertanyaan berikut:

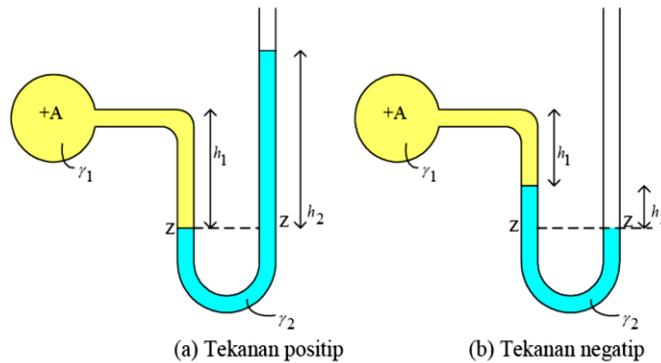
1. Berapa tekanan yang bekerja pada masing-masing dasar bak (jelaskan dengan persamaan)
2. Berdasarkan persamaan yang diperoleh pada soal 1, maka besarnya tekanan hanya tergantung pada variabel apa?
3. Hitung besarnya gaya hidrostatis pada dasar bak (jelaskan dengan persamaan)

Aktivitas 3 : Alat Pengukur Tekanan

Anda diminta untuk mengamati sket gambar alat ukur tekanan:



1. Piezometer



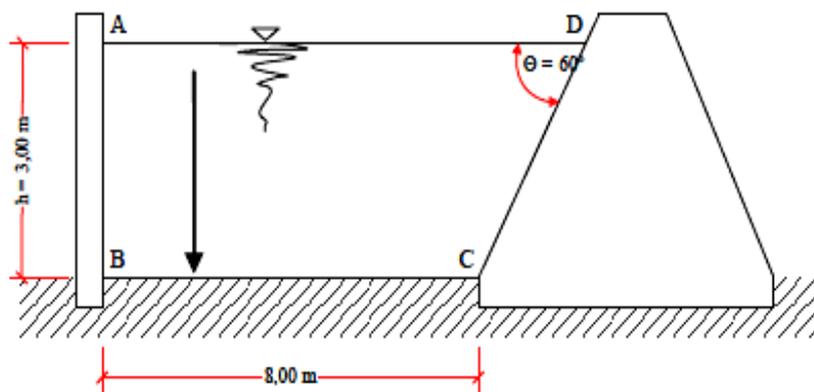
2. Manometer

Selanjutnya anda mendiskusikan bagaimana cara kerja/metode pengukuran tekanan dengan alat-alat tersebut?

Apa perbedaan antara pengukuran tekanan positif dan tekanan negatif?

F. Latihan/Kasus/Tugas

1. Suatu kolam sedalam 3 m dengan bendung miring bersudut 60° dari permukaan air, panjang dari bendung ke dinding AB=8 m dengan lebar $b = 5,00$ m (seperti gambar di bawah), bila diketahui berat jenis air $\gamma_a = 9,81$ kN/m³. Hitung tekanan hidrostatik, besar dan letak titik tangkap gaya hidrostatik pada dasar kolam BC dalam kondisi tercelup penuh.



2. Hitunglah besar dan letak titik tangkap gaya hidrostatik pada dinding vertikal kolam AB kondisi tercelup sebagian, yang mempunyai tinggi $h = 3,00$ m dengan lebar $b = 5,00$ m, bila diketahui berat jenis air $\gamma_a = 9,81$ kN/m³.

3. Hitunglah besar dan letak titik tangkap gaya hidrostatis yang bekerja pada dinding kolam yang miring CD dalam kondisi tercelup sebagian, tinggi $h = 3,00$ m dengan lebar $b = 5,00$ m, bila diketahui berat jenis air $\gamma_w = 9,81$ kN/m³
4. Manometer diferensial dipasang pada suatu pipa yang digunakan untuk mengalirkan minyak dengan Specific gravity 0,85. Pada saat dilakukan pengukuran di titik A dan B tercatat $h_1 = 75$ cm dan $h_2 = 60$ cm.
 - a). Tentukan perbedaan tekanan antara A dan B
 - b). Tentukan tinggi piezometrik antara titik-titik A dan B

G. Rangkuman

Hidrostatika merupakan bagian dari hidrolika yang mempelajari gaya-gaya tekan cairan (zat cair) dalam keadaan diam. Suatu benda dalam fluida diam akan mengalami gaya-gaya yang ditimbulkan oleh tekanan fluida. Tekanan tersebut bekerja tegak lurus pada permukaan benda. Tekanan adalah jumlah gaya tiap satuan luas, dihitung dengan persamaan:

$$P = \frac{F}{A}$$

dimana : p = tekanan (N/m²), F = gaya (N) dan A = luas (m²)

Tekanan pada satu titik adalah batas (limit) dari perbandingan antara gaya normal dan luas bidang dimana luas bidang dianggap mendekati nol pada satu titik.

$$P = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{\partial F}{\partial A}$$

Gaya-gaya hidrostatis yang bekerja pada dasar bidang terendam air dihitung dengan persamaan:

$$F = \rho \cdot g \cdot h \cdot A$$

Manometer adalah suatu alat pengukur tekanan yang menggunakan kolom cairan untuk mengukur perbedaan tekanan antara suatu titik tertentu dengan tekanan atmosfer (tekanan terukur), atau perbedaan tekanan antara dua titik. Manometer yang paling sederhana adalah piezometer, kemudian manometer pipa U, dan yang lebih rumit adalah manometer diferensial.

1. Gaya Hidrostatik yang Bekerja pada Bidang Datar Horizontal, dihitung dengan persamaan :

$$F_A = p_A \cdot A = \rho \cdot g \cdot h \cdot A$$

2. Gaya hidrostatik yang bekerja yang bekerja pada bidang datar yang terletak miring, dihitung dengan persamaan:

$$F = \rho \cdot g \sin \theta \cdot \bar{y} \cdot A = \rho \cdot g \cdot \bar{h} \cdot A$$

3. Gaya hidrostatik yang bekerja yang bekerja pada bidang vertikal, dihitung:

$$F = \int_A \rho \cdot g \cdot y' \cdot dA = \rho \cdot g \cdot \bar{y}' \cdot A$$

4. Tekanan hidrostatik pada bidang lengkung, dihitung dengan rumus:

$$F_v = \int_A \rho \cdot g \cdot h \cdot dA \cdot \cos \theta$$

H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban test formatif yang ada pada bahasan ini, hitunglah jawaban anda yang benar kemudian gunakan rumus ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi dalam bahasan ini.

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\sum \text{Jawaban yang benar}}{\text{jumlah soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang anda capai adalah :

90 % - 100 % : baik sekali

80 % - 89 % : baik

70 % - 79 % : cukup

60 % - 69 % : kurang

0 % - 59 % : gagal

Apabila anda mencapai tingkat penguasaan 80 % ke atas, maka anda dapat meneruskan dengan kegiatan belajar bahasan selanjutnya, tetapi jika tingkat penguasaan anda belum mencapai 80 %, maka anda harus mengulangi kegiatan belajar bahasan tersebut terutama pada bagian yang anda belum kuasai. Untuk mencapai pemahaman tersebut anda dapat melakukan

pelatihan atau menghubungi narasumber pada saat pelatihan dan di luar waktu melalui media online.

I. Kunci Jawaban

1. Tekanan hidrostatik pada dasar kolam:

$$p = \gamma \cdot h = 9,81 \cdot 3,00 = 29,43 \text{ kN/m}^2$$

Gaya hidrostatik:

$$F = \gamma \cdot h_s \cdot A = p \cdot A = \gamma h \cdot A$$

$$F = 29,43 \cdot (8,00 \cdot 5,00)$$

$$F = 1177,2 \text{ kN}$$

Letak titik tangkap gaya hidrostatik berada pd titik pusat distribusi tekanan/titik P = (4,00 ; 2,50) m.

2. Gaya hidrostatik:

$$F = \gamma \cdot h_s \cdot A$$

$$F = 9,81 \cdot 1,50 \cdot (3,00 \cdot 5,00) = 220,725 \text{ kN}$$

Letak titik tangkap gaya hidrostatik berada pada titik pusat diagram tekanan/titik P,

$$h_p = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \cdot 3,00 = 2,00 \text{ m (dari permukaan air)}$$

Besar gaya hidrostatik persatuan lebar :

$$F = \gamma \cdot h_s \cdot A_s = 9,81 \cdot (3,00/2) \cdot (3,00 \cdot 1,00) = 44,145 \text{ N/m}$$

$$h_p = \frac{2}{3} h = \frac{2}{3} \cdot 3,00 = 2,00 \text{ m (dari permukaan air)}$$

3. Besar gaya hidrostatik:

$$F = \gamma \cdot h_s \cdot A$$

$$F = 9,81 \cdot (3,00/2) \cdot (3,00/\sin 60^\circ \cdot 5,00) = 254,87 \text{ kN}$$

Besar gaya hidrostatik persatuan lebar :

$$F = \gamma \cdot h_s \cdot A$$

$$F = 9,81 \cdot (3,00/2) \cdot (3,00/\sin 60^\circ \cdot 1,00) = 50,974 \text{ kN/m}$$

Letak titik tangkap gaya hidrostatik berada pd titik pusat distribusi tekanan/titik P, yaitu:

$$y_p = \frac{I_x}{y_s \cdot A} + y_s$$

$$I_x = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

$$I_x = \frac{5x \left(\frac{3}{\sin 60^\circ} \right)^3}{12} = 17,32 \text{ m}^2$$

Sehingga:

$$y_p = \frac{I_x}{(h_s/\sin\theta) \cdot A} + (h_s/\sin\theta)$$

$$y_p = \frac{17,32}{(1,5/\sin 60^\circ) \cdot (5x3/\sin 60^\circ)} + (1,5/\sin 60^\circ)$$

$$y_p = 2,31 \text{ m (dari permukaan air)}$$

4. Penyelesaian:

a. Perbedaan tekanan antara A dan B

$$\begin{aligned} P_B - h_1 \cdot \gamma_1 + h_2 \cdot \gamma_2 + (3 + h_1 - 3,6) \cdot \gamma_2 &= P_A \\ -P_B &= -0,75x0,85x9802 + 0,65x0,85x9802 \\ &\quad + (3 + 0,75 - 3,6)x0,85x9802 \\ -P_B &= -6248,775 + 4999,02 + 1249,775 \\ P_A - P_B &= 0 \text{ N/m}^2 \end{aligned}$$

b. Tinggi piezimeter antara A dan B

$$\frac{P_A - P_B}{\gamma_2} + (Z_A - Z_B) = 0 + 3,6 - 3 = 0,60 \text{ m}$$

LEMBAR KERJA KB-2

LK-01

1. Jelaskan yang dimaksud dengan hidrostatik dan contoh aplikasi pada bangunan air

.....

.....

.....

.....
.....
.....

2. Jelaskan hukum Pascal dalam aplikasinya pada tekanan zat cair

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. Jelaskan dengan sket gambar alat ukur tekanan yang saudara ketahui

.....
.....
.....
.....
.....
.....

4. Bagaimana gaya hidrostatis bekerja pada bidang datar dan lengkung?
(Jelaskan dengan gambar)

.....
.....
.....
.....
.....
.....

LK-02

1. Berapa tekanan yang bekerja pada masing-masing dasar bak (jelaskan dengan persamaan)

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Berdasarkan persamaan yang diperoleh pada soal 1, maka besarnya tekanan hanya tergantung pada variabel apa?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. Hitung besarnya gaya hidrostatis pada dasar bak (jelaskan dengan persamaan)

.....
.....
.....
.....
.....
.....

LK-03

1. Bagaimana cara kerja/metode pengukuran tekanan dengan alat-alat tersebut?

.....
.....
.....

.....
.....
.....

2. Apa perbedaan antara pengukuran tekanan positif dan tekanan negatif?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

BAB IV

Kegiatan Pembelajaran 3

A. Judul

Aliran Dalam Pipa Untuk Hidrolika Terapan

B. Tujuan

Setelah mempelajari materi ini, anda diharapkan mampu:

1. Mengetahui pengaruh kekasaran permukaan pipa terhadap aliran
2. Mampu menghitung besarnya debit aliran, kecepatan aliran dan dimensi pipa.
3. Menghitung kehilangan energi primer, kehilangan energi sekunder,
4. Menghitung aliran melalui pipa susunan seri dan paralel

C. Indikator Pencapaian Kompetensi

Merumuskan konsep aliran dalam pipa untuk hidrolika terapan

D. Uraian Materi Menganalisis konsep aliran dalam pipa untuk hidrolika terapan

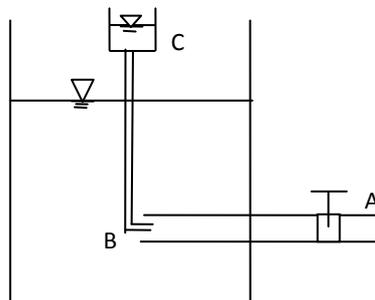
1. Pendahuluan

Pipa adalah saluran tertutup yang biasanya berpenampang lingkaran yang digunakan untuk mengalirkan fluida dengan tampang aliran penuh (Triatmojo 1996 : 25).

- a. *Aliran laminar*, dimana partikel-partikel zat cair bergerak teratur mengikuti lintasan yang sejajar. Aliran dapat terjadi apabila kecepatan kecil dan atau kekentalan besar.
- b. *Aliran turbulen*, dimana partikel-partikel zat cair bergerak tidak teratur. Aliran dapat terjadi jika kecepatan besar dan kekentalan zat cair kecil.

2. Percobaan Osborne Reynolds

Osborne Reynolds melakukan percobaan untuk menunjukkan sifat-sifat aliran laminar dan turbulen. Secara sederhana percobaan Osborne Reynold seperti gambar berikut:



Gambar 4.1. Alat Osborne Reynolds

Menurut Reynolds, faktor-faktor yang mempengaruhi keadaan aliran yaitu kekentalan zat cair $\mu(\mu)$, rapat massa zat cair $\rho(\rho)$, dan diameter pipa.

$$Re = \frac{V}{\frac{\mu}{\rho D}} = \frac{\rho \cdot DV}{\mu} \tag{1}$$

atau

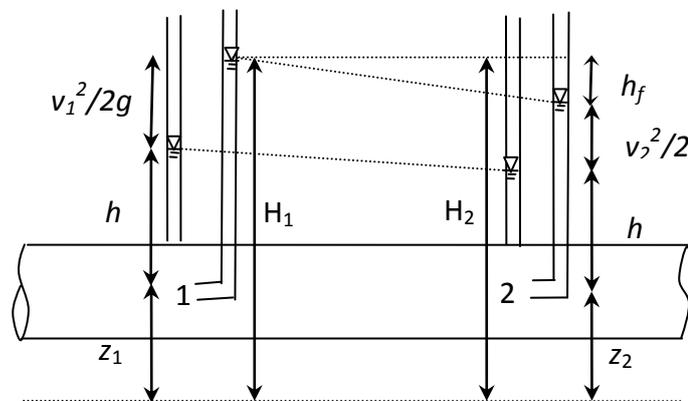
$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

Reynolds menetapkan aliran *laminar* mempunyai angka Reynolds di bawah 2000 ($Re < 2000$), aliran *turbulen* mempunyai angka Reynolds di

atas 4000 ($Re > 4000$) sedangkan jika angka Reynolds berada diantara kedua nilai tersebut ($2000 < Re < 4000$), aliran yang terjadi disebut aliran *transisi*.

3. Persamaan Bernoulli

Untuk zat cair riil (*viskos*) dalam aliran zat cair akan terjadi kehilangan tenaga yang harus diperhitungkan dalam aplikasi Persamaan Bernoulli. Kehilangan energi dapat terjadi karena adanya gesekan antara zat cair dan dinding batas (hf) atau karena adanya perubahan tampang lintang aliran (he). Kehilangan tenaga biasanya dinyatakan dalam tinggi zat cair.



Gambar 4.2. Ilustrasi persamaan Bernoulli pada zat cair riil

Berdasarkan persamaan Bernoulli, pada garis energi, dengan garis acuan sembarang, gambar di atas dapat diinterpretasikan sebagai berikut:

$$H_1 = H_2$$

$$z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf \quad (2)$$

h_f merupakan kehilangan tenaga akibat gesekan pada zat cair riil yang mengalir. Apabila panjang pipa adalah L , maka kehilangan tenaga h_f dapat dituliskan sebagai berikut:

$$h_f = f \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2g} \quad (3)$$

dimana :

- f = faktor gesek Darcy
- L = panjang pipa (m)
- D = diameter pipa (m)

V = kecepatan rata-rata aliran (m/dt)

g = percepatan gravitasi (9,81 m/dt²)

Persamaan disebut dengan *persamaan Darcy-Weisbach* untuk aliran melalui pipa lingkaran. Simbol f dalam persamaan di atas adalah koefisien gesekan Darcy-Weisbach yang tidak berdimensi.

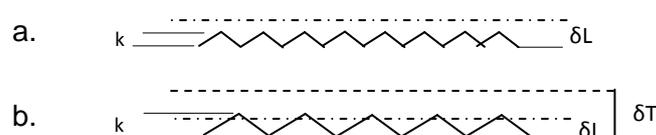
Kehilangan energi dapat dibagi atas :

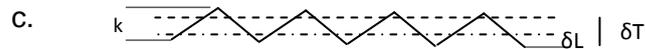
- a. Kehilangan energi primer (*major losses*) yaitu kehilangan tenaga yang terjadi sepanjang pipa, antara lain akibat gaya gesek dengan pipa.
- b. Kehilangan energi sekunder (*minor losses*) yaitu kehilangan tenaga yang terjadi pada titik-titik tertentu, antara lain akibat perubahan penampang, belokan, sambungan, katup, lubang masuk/keluar pipa atau selain akibat gaya gesek antara fluida dengan pipa.

4. Kekasaran Permukaan

Tinggi efektif ketidak teraturan permukaan yang membentuk kekasaran disebut dengan tinggi kekasaran, k . Perbandingan antara tinggi kekasaran dan jari-jari hidraulis (k/R) atau diameter pipa (k/D) disebut kekasaran relatif.

Pada gambar 4.3.a tinggi kekasaran lebih kecil dari tebal sub lapisan laminar (k/δ_l) sehingga ketidak teraturan permukaan akan sedemikian kecil sehingga kekasaran akan seluruhnya terendam dalam sublapis laminar. Dalam hal ini kekasaran tidak mempunyai pengaruh terhadap aliran di luar sublapis laminar, dan permukaan batas disebut dengan hidraulis licin. Pada gambar 4.3.b. tinggi kekasaran berada di daerah transisi ($\delta_l < k < \delta_t$) dan kondisi aliran adalah transisi. Pada gambar 4.3.c. tinggi kekasaran berada di luar lapis transisi ($k > \delta_t$) maka kekasaran permukaan akan berpengaruh hingga mempengaruhi aliran di daerah tersebut. Permukaan ini disebut dengan hidraulis kasar.





Gambar 4.3. Pengaruh kekasaran pada sublapis

5. Pipa Kasar

Tahanan pada pipa kasar lebih besar dari pada pipa halus dengan nilai f tidak hanya tergantung pada angka Reynolds tetapi juga pada sifat-sifat dinding pipa yaitu kekasaran *relative*, k/D .

$$f = \Phi(\text{Re}, k/D) \quad (4)$$

Nikuradse melakukan percobaan untuk membuktikan pengaruh kekasaran terhadap aliran sehingga untuk pipa halus diperoleh rumus:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{\text{Re} \sqrt{f}}{2,51} \quad (5)$$

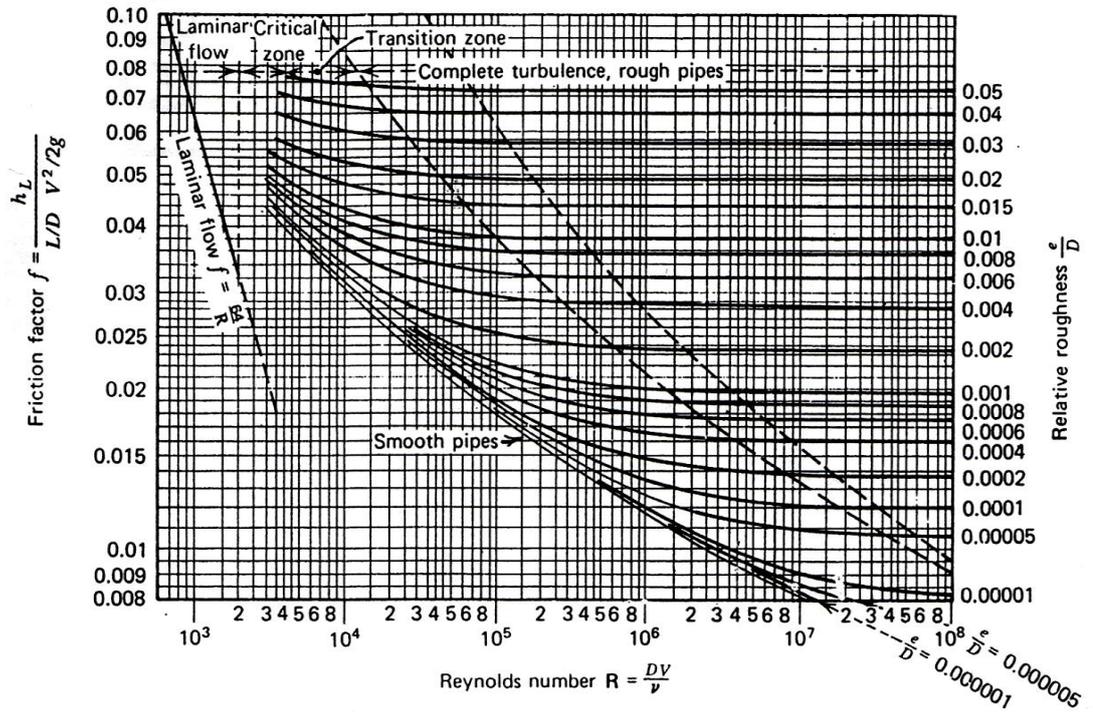
Sedangkan untuk pipa kasar, persamaannya adalah:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \frac{3,7D}{k} \quad (6)$$

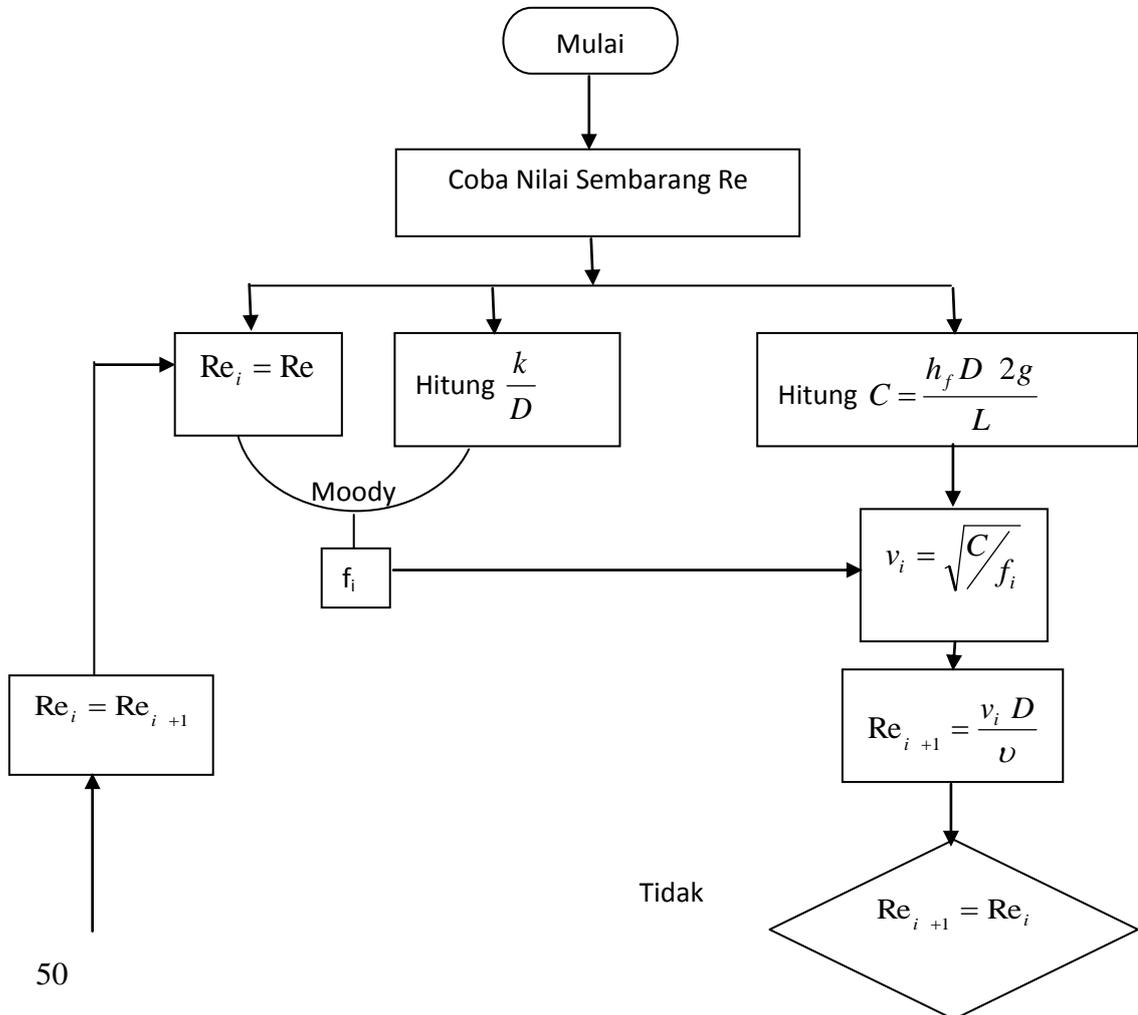
Sedangkan untuk aliran transisi, Colebrook mengusulkan persamaan berikut yang merupakan gabungan persamaan untuk pipa licin dan kasar:

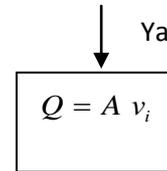
$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{k}{3,7D} + \frac{2,51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right] \quad (7)$$

Nilai di atas memberikan nilai f secara implisit sehingga nilai f harus dilakukan dengan cara coba banding. Pada tahun 1844, Moody menyederhanakan prosedur hitungan dengan membuat suatu grafik berdasarkan persamaan di atas.



Gambar 4.4. Grafik Moody





Gambar 4.5. Bagan alir perhitungan menggunakan Grafik Moody

Tabel 4.1. Tinggi kekasaran pipa

Jenis Pipa (baru)	Nilai k (mm)
Kaca	0,0015
Besi dilapisi aspal	0,06 – 0,24
Besi tuang	0,18 – 0,90
Plester semen	0,27 – 1,20
Beton	0,30 – 3,00
Baja	0,03 – 0,09
Baja dikeling	0,90 – 9,00
Pasangan batu	6

6. Garis tenaga dan garis tekanan

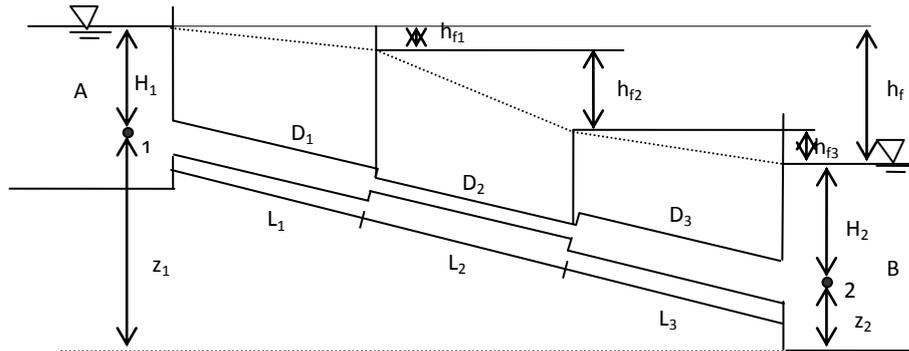
Sesuai dengan prinsip Bernoulli, tinggi tenaga total di setiap titik pada saluran pipa adalah jumlah dari tinggi elevasi, tinggi tekanan, dan tinggi kecepatan. Perubahan diameter akan menyebabkan kehilangan tenaga yang ditandai dengan menurunnya garis tenaga. Apabila kehilangan tenaga diabaikan maka kehilangan tenaga hanya disebabkan oleh gesekan pipa. Menurut Triatmojo (1993), adanya kekentalan pada fluida akan menyebabkan terjadinya tegangan geser pada waktu bergerak. Tegangan geser ini akan merubah sebagian energi aliran menjadi bentuk energi lain seperti panas, suara dan sebagainya. Pengubahan bentuk energi tersebut menyebabkan terjadinya kehilangan energy. :

- a. Kehilangan energi akibat gesekan, disebut kehilangan energi primer
- b. Kehilangan energi akibat perubahan penampang dan aksesoris lainnya disebut juga kehilangan energi sekunder

7. Sistem perpipaan

a. Hubungan Seri

Suatu saluran pipa yang terdiri dari pipa-pipa dengan ukuran yang berbeda maka pipa tersebut dalam hubungan seri. Masing-masing pipa mempunyai karakteristik yang berbeda dengan panjang, diameter, koefisien gesek adalah L_i , D_i , dan f_i .



Gambar 4.6. Pipa hubungan seri.

Jika beda tinggi kedua kolam, H diketahui, akan dicari debit aliran, Q , dengan persamaan kontinuitas dan Bernoulli. Persamaan kontinuitas : $Q = Q_1 = Q_2 = Q_3$

Dengan persamaan Bernoulli untuk titik 1 dan 2 dapat dituliskan :

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} \quad (8)$$

Pada kedua titik, tinggi tekanan adalah H_1 dan H_2 dengan kecepatan $V_1=V_2=0$, persamaan di atas menjadi:

$$\begin{aligned} z_1 + H_1 &= z_2 + H_2 + h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} \\ (z_1 + H_1) - (z_2 + H_2) &= h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} \\ \text{atau} \\ H &= h_{f1} + h_{f2} + h_{f3} \end{aligned} \quad (9)$$

Dengan persamaan Darcy-Weisbach, persamaan di atas menjadi:

$$H = f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} + f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g} + f_3 \frac{L_3}{D_3} \frac{V_3^2}{2g} \quad (10)$$

Untuk masing-masing pipa kecepatan aliran adalah :

$$v_1 = \frac{Q}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_1^2} \quad v_2 = \frac{Q}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_2^2} \quad v_3 = \frac{Q}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D_3^2}$$

Jika v tersebut di atas di substitusikan ke persamaan Darcy-Weisbach akan diperoleh:

$$H = \frac{8Q^2}{g\pi^2} \left[\frac{f_1 L_1}{D_1^5} + \frac{f_2 L_2}{D_2^5} + \frac{f_3 L_3}{D_3^5} \right] \quad (11)$$

Sehingga debit alirannya adalah:

$$Q = \frac{\pi \sqrt{2gH}}{4 \sqrt{\left(f_1 \frac{L_1}{D_1^5} + f_2 \frac{L_2}{D_2^5} + f_3 \frac{L_3}{D_3^5} \right)}} \quad (12)$$

Penyelesaian pipa seri dilakukan dengan suatu pipa ekivalen yang mempunyai penampang seragam. Untuk diameter D_e dan koefisien gesek f_e dapat ditentukan dari pipa terpanjang. Kehilangan tenaga dalam pipa ekivalen :

$$H = \frac{8Q^2}{g\pi^2} \left[\frac{f_e L_e}{D_e^5} \right] \quad (13)$$

Sedangkan panjang pipa ekivalen berdasarkan substitusi:

$$L_e = \frac{D_e^5}{f_e} \left[\frac{f_1 L_1}{D_1^5} + \frac{f_2 L_2}{D_2^5} + \frac{f_3 L_3}{D_3^5} \right] \quad (14)$$

b. Pipa Hubungan paralel

Pada keadaan pipa disusun paralel maka persamaan kontinuitas menjadi:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (15)$$

Persamaan di atas dapat ditulis dalam bentuk:

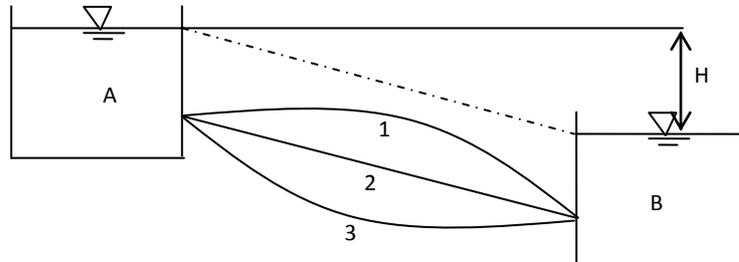
$$Q = \frac{\pi}{4} (D_1^2 v_1 + D_2^2 v_2 + D_3^2 v_3) \quad (16)$$

Persamaan energi:

$$H = h_{f_1} + h_{f_2} + h_{f_3} \quad (17)$$

Persamaan energi juga dapat ditulis dalam bentuk:

$$H = f_1 \frac{L_1}{D_1} \frac{V_1^2}{2g} = f_2 \frac{L_2}{D_2} \frac{V_2^2}{2g} = f_3 \frac{L_3}{D_3} \frac{V_3^2}{2g} \quad (18)$$



Gambar 4.7. Pipa hubungan paralel.

Panjang pipa ekuivalen dengan persamaan:

$$Q = \frac{\pi}{4} \sqrt{2g} \left(\frac{D_e^5}{f_e L_e} \right)^{1/2} H^{1/2} \quad (19)$$

$$Q = \frac{\pi}{4} \sqrt{2g} \left(\frac{D_1^5}{f_1 L_1} \right)^{1/2} H^{1/2} \quad (20)$$

$$Q = \frac{\pi}{4} \sqrt{2g} \left(\frac{D_2^5}{f_2 L_2} \right)^{1/2} H^{1/2} \quad (21)$$

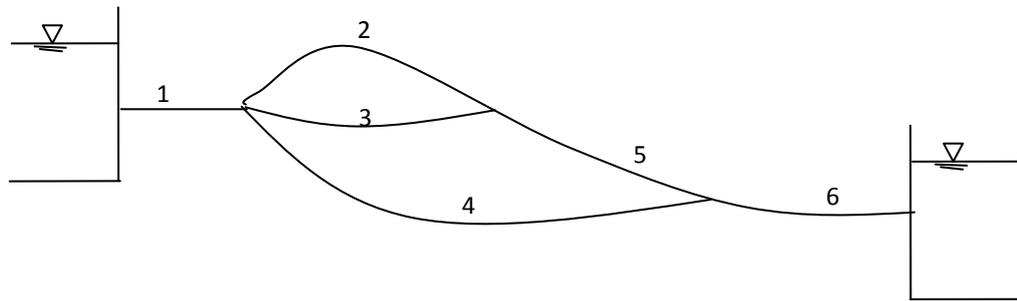
$$Q = \frac{\pi}{4} \sqrt{2g} \left(\frac{D_3^5}{f_3 L_3} \right)^{1/2} H^{1/2} \quad (22)$$

Ketiga persamaan di atas disubstituisikan pada persamaan kontinuitas:

$$\left(\frac{D_e^5}{f_e L_e} \right)^{1/2} = \left(\frac{D_1^5}{f_1 L_1} \right)^{1/2} + \left(\frac{D_2^5}{f_2 L_2} \right)^{1/2} + \left(\frac{D_3^5}{f_3 L_3} \right)^{1/2} \quad (23)$$

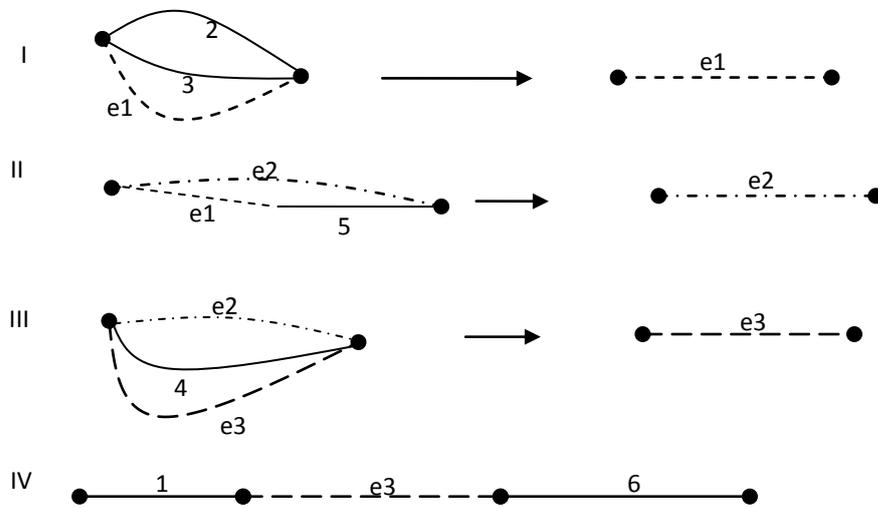
c. Pipa Kombinasi

Pada pipa kombinasi, pipa disusun secara seri dan paralel. Persamaan-persamaan yang digunakan sama dengan persamaan yang berlaku pada hubungan pipa seri dan paralel sesuai kondisi.



Gambar 4.8. Pipa Hubungan kombinasi.

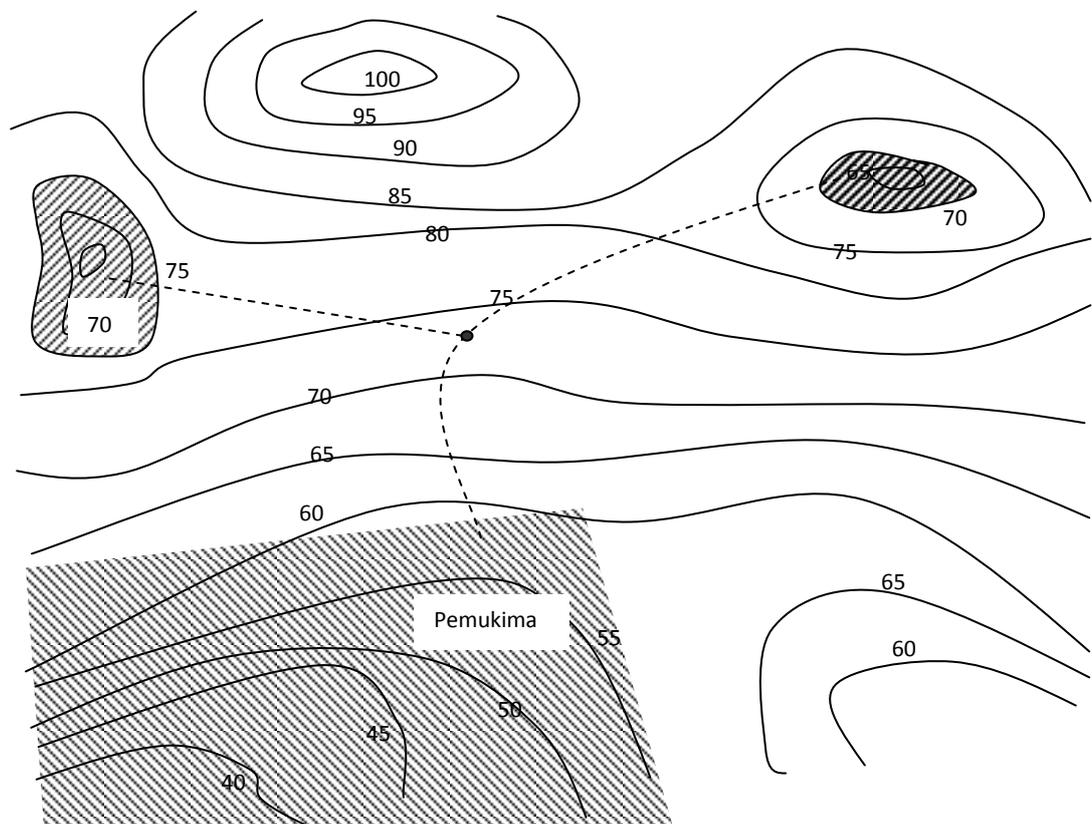
Bagan dimulai dari pipa yang terdefinisi jenis sambungannya.



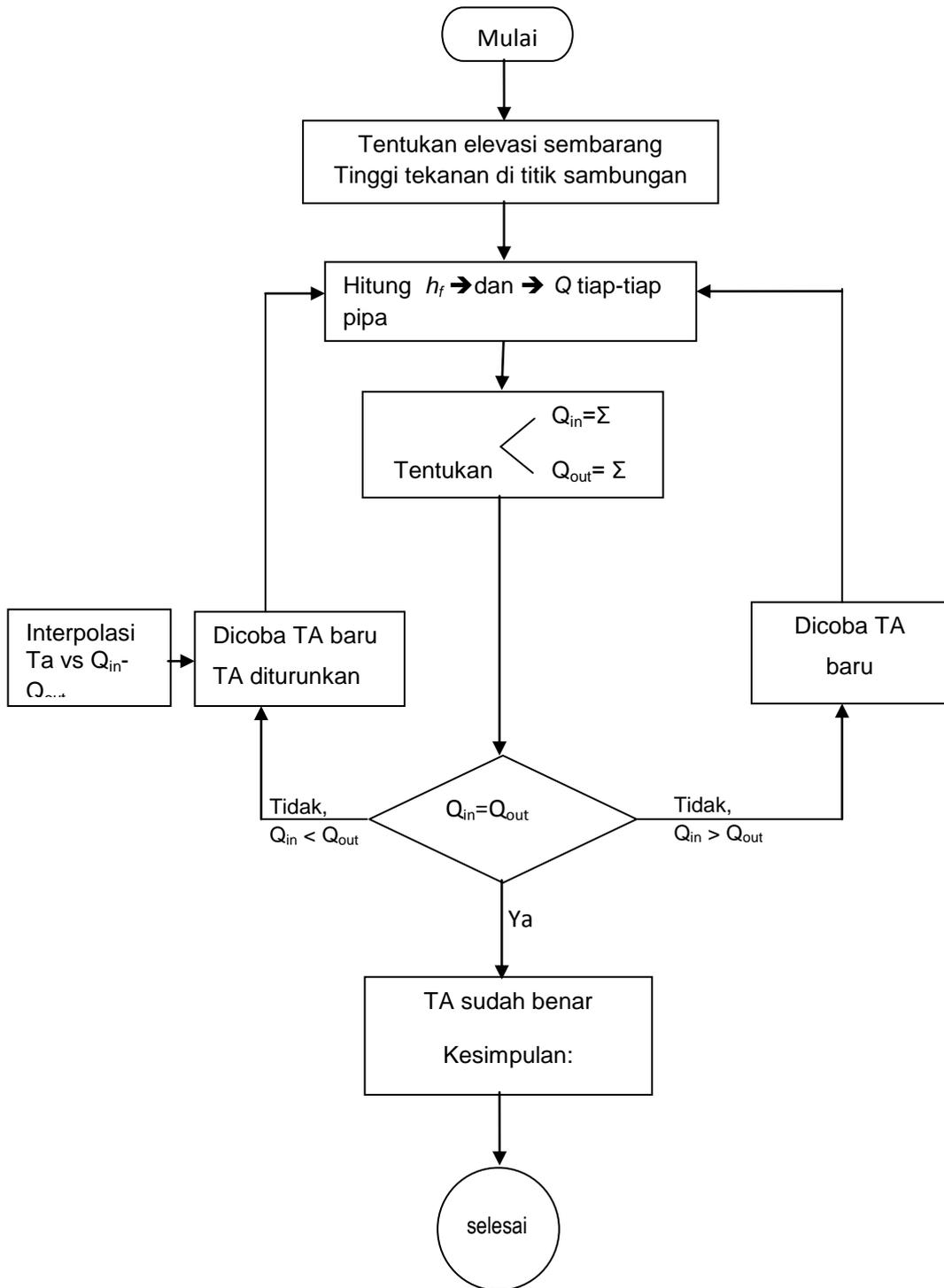
Gambar 4.9. Susunan pipa terakhir, dihitung seperti sambungan seri

d. Pipa Bercabang

Seringkali suatu pipa menghubungkan tiga atau lebih kolam. Gambar 4.10 menunjukkan suatu pipa bercabang yang menghubungkan tempat pengambilan air menuju pada daerah pengguna air dimana terdapat perbedaan elevasi antar ketiga tempat tersebut namun tetap menuju pada satu titik penampungan air. Dengan mengetahui panjang, diameter, dan jenis pipa (kekasaran k) serta rapat massa dan kekentalan zat cair, dapat dihitung debit aliran yang melalui tiap-tiap pipa. Debit aliran ditentukan oleh kemiringan garis tekanan masing-masing pipa dengan arah aliran sama dengan arah kemiringan garis tenaga.



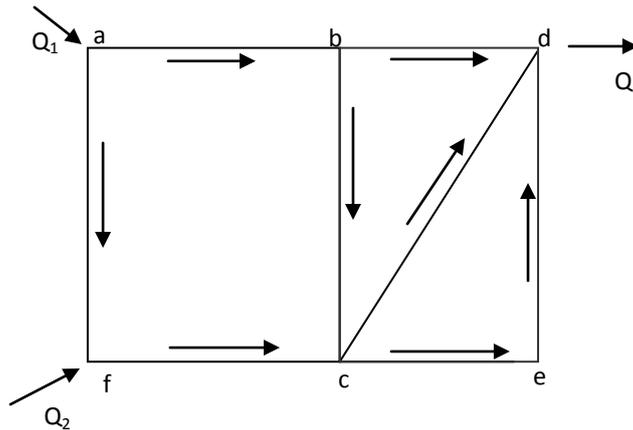
Gambar 4.10. Pengaliran air dari sumber air menuju tempat distribusi.



Gambar 4.11. Bagan alir perhitungan pipa bercabang.

e. Jaringan pipa

Pemakaian jaringan pipa terdapat dalam jaringan distribusi air minum. Beberapa metoda yang biasa digunakan untuk menyelesaikan perhitungan sistem jaringan pipa diantaranya Metoda Hardy Cross dan metoda matriks. Contoh metode Hardy Cross, seperti berikut:



Gambar 4.12. Contoh Sistem Jaringan Pipa

Pada jaringan pipa, persamaan-persamaan yang harus dipenuhi :

1. Aliran dalam pipa memenuhi hukum-hukum gesekan dalam pipa

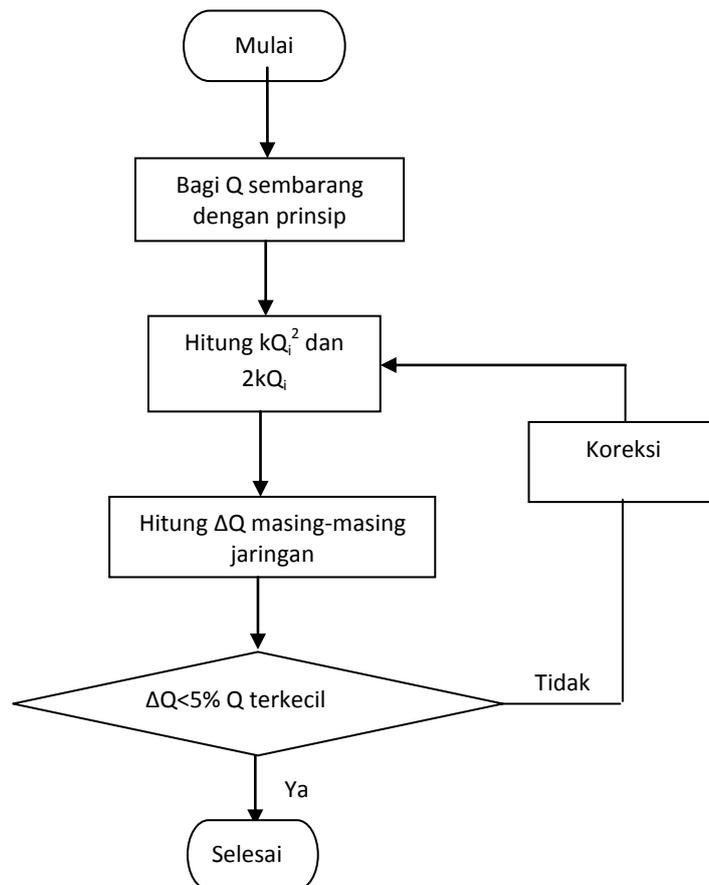
$$h_{f_i} = \frac{8f_i L_i}{g\pi^2 D_i^5} Q_i^2 \quad (24)$$

2. Aliran masuk dalam tiap-tiap simpul harus sama dengan yang keluar

$$\sum Q_i = 0 \quad (25)$$

3. Jumlah aljabar dari kehilangan tenaga dalam satu jaringan tertutup harus sama dengan nol

$$\sum h_f = 0 \quad (26)$$



Gambar 4.13. Bagan alir perhitungan jaringan pipa.

E. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas 1 : Kekasaran Permukaan Pipa

Pada kegiatan pembelajaran, anda diminta untuk dapat memahami pengaruh kekasaran permukaan pipa pada aliran melalui pipa, untuk itu anda baca materi tentang kekasaran pipa, nilai-nilai standar kekasaran pipa dan angka Reynold.

Untuk lebih memahami dari materi, selanjutnya anda diminta untuk menjawab beberapa pertanyaan berikut ini:

1. Jelaskan pengaruh kekasaran pipa terhadap kecepatan aliran?
2. Jelaskan pengertian pipa kasar dan pipa halus? Apa yang membedakan dikatakan sebagai pipa kasar dan pipa halus?
3. Jelaskan pengertian kekasaran relative dan faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran relative?

Jawaban yang anda berikan dapat anda diskusikan.

Aktivitas 2 : Debit, Kecepatan Aliran dan Dimensi Pipa.

Untuk dapat menguasai materi kegiatan pembelajaran ini, anda diminta membaca materi kecepatan aliran, debit dan perencanaan dimensi pipa. Selanjutnya memahami penggunaan persamaan-persamaan empiris, yang digunakan dalam perhitungan. Silahkan anda mengerjakan soal-soal latihan/kasus/tugas yang diberikan sebagai sarana evaluasi dengan jawaban yang singkat dan jelas.

Agar dapat memahami lebih lanjut berikut ini disajikan pertanyaan-pertanyaan yang memandu pemahaman anda:

1. Jelaskan data-data/variabel yang diperlukan dalam menghitung debit aliran melalui pipa?
2. Sebutkan hal-hal yang mempengaruhi kecepatan aliran?
3. Dalam mendimensi pipa apa pengaruh kehilangan energy dan viskositas zat cair?

Aktivitas 3 : Kehilangan Energi Pada Aliran Pipa.

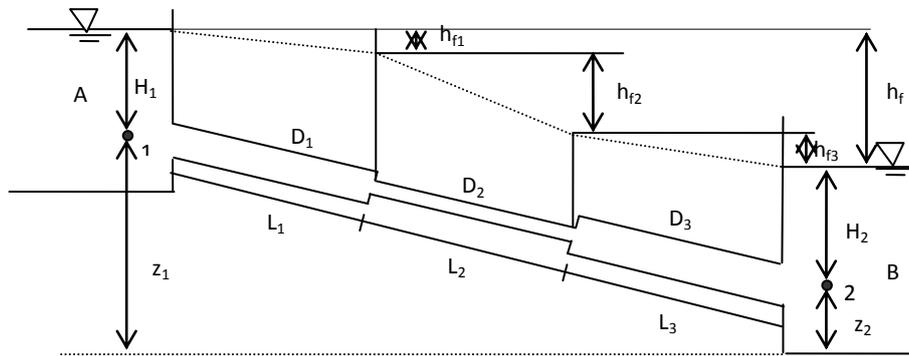
Pada kegiatan pembelajaran ini, anda diminta untuk membaca dan memahami persamaan Bernoulli dan persamaan Darcy-Weisbach.

Anda diminta menjabarkan perhitungan kehilangan energi dengan menggunakan persamaan Bernoulli? (dilengkapi dengan sket gambar penggalan pipa). Untuk lebih memahami berikut ini selesaikan perhitungan dengan menggunakan angka-angka yang berikan:

Hitung debit alirannya apabila air mengalir melalui pipa baja berdiameter 1,5 m, $k = 0,035$ mm. Kehilangan tenaga maksimum yang diijinkan adalah 1 m/km. Viskositas kinematik air $1,5 \times 10^{-6}$ m² /dt.

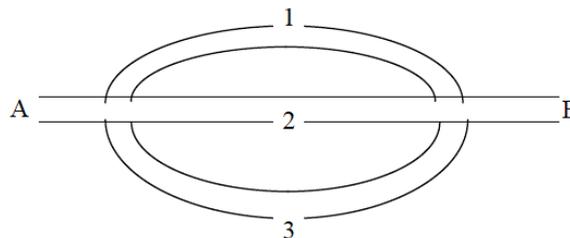
Aktivitas 4 : Aliran Melalui Pipa Susunan Seri dan Paralel

Anda diminta mencermati gambar susunan seri pipa seperti pada gambar berikut.



Dalam menentukan besarnya debit aliran Q bila karakteristik masing-masing pipa berbeda. Untuk dapat menganalisis hubungan pipa tersebut, jelaskan persamaan yang digunakan untuk menyelesaikan aliran dalam pipa seri tersebut?

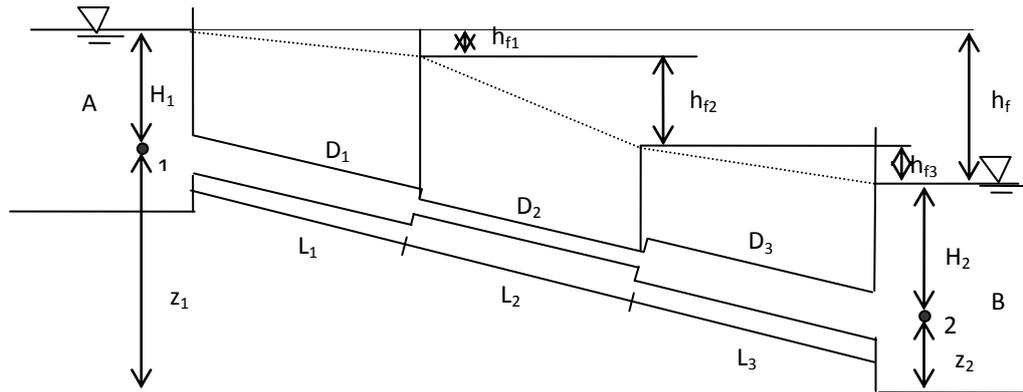
Untuk dapat memahami hubungan pipa paralel, silahkan anda memahami gambar sederhana berikut ini. Air mengalir dari titik A ke titik B, terhubung secara paralel pada pipa 1, 2 dan 3., Berikan persamaan untuk debit aliran yang melalui jaringan pipa tersebut?



F. Latihan/Kasus/Tugas

1. Air mengalir pada pipa dengan diameter 10 cm sepanjang 50 m. besarnya kehilangan energi adalah 2 m, koefisien gesek 0,02. Hitung debit yang mengalir pada pipa tersebut.
2. Sebuah pipa yang tampangnya mengecil mengalirkan air dengan debit 25 l/dt . Tampang A berdiameter 15 cm dan mempunyai tinggi tekanan 2 m. Sedangkan tampang B berdiameter 10 cm dengan tinggi tekanan 1,2 m. Hitung kehilangan energi akibat desekan, jika kehilangan energi sekunder diabaikan.

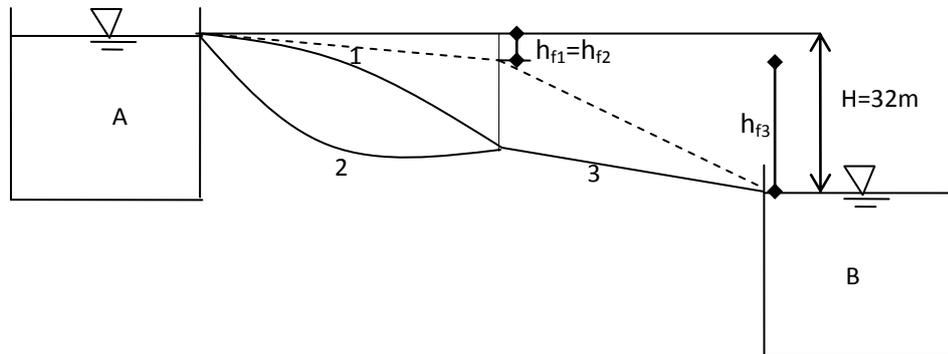
- Sebuah pipa mengalirkan zat cair dengan $z_1 = 1,5 \text{ m}$, $z_2 = 0,8 \text{ m}$. Jika diameter pada titik A = 20 cm dan titik B = 12,5 cm dan tekanan pada titik A 100 kPa, tekanan di titik B 80 kPa serta besarnya kehilangan energi 0,5m, hitung debit yang melalui pipa tersebut. (yzat cair = 1000 kgf/m^3).
- Suatu sistem perpipaan seperti gambar berikut:



Dua buah kolam mempunyai beda tinggi 20 m dimana kolam lebih tinggi dari pada kolam B. Kedua kolam tersebut dihubungkan oleh serangkaian pipa 1, 2, dan 3 yang dihubungkan secara seri. Hitunglah debit, Q , yang melalui tersebut dan tentukan panjang pipa ekuivalen. Data-data tersedia sebagai berikut :

Pipa	L	D	f
1	500 m	25 cm	0,012
2	600 m	15 cm	0,015
3	750 m	30 cm	0,010

- Dua buah kolam dihubungkan oleh serangkaian pipa yang mengalirkan air dari kolam A ke kolam B seperti gambar di bawah ini:



Jika beda tinggi kedua kolam $H = 20$ m, maka hitunglah debit aliran Q_2 dan kecepatan aliran di pipa 2, v_2 . Dan apabila ketiga pipa tersebut diganti oleh dengan diameter terbesar, berapakah panjang pipa yang diperlukan. Debit aliran ekuivalen pipa 1 dan pipa 2 $Q_e = 100$ l/dt dan data pipa seperti tabel berikut:

Pipa	L	D	f
1	150 m	6"	0,015
2	175 m	5"	0,014
3	300 m	8"	0,012

G. Rangkuman

Kehilangan tenaga (h_f) akibat gesekan pada zat cair riil yang mengalir. Apabila panjang pipa adalah L , maka kehilangan tenaga h_f dapat dituliskan sebagai berikut:

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

Tinggi efektif ketidak teraturan permukaan yang membentuk kekasaran disebut dengan tinggi kekasaran, k . Perbandingan antara tinggi kekasaran dan jari-jari hidraulis (k/R) atau diameter pipa (k/D) disebut kekasaran relatif.

Sistem jaringan pipa berfungsi untuk mengalirkan zat cair dari satu tempat ke tempat lain. Aliran terjadi karena adanya perbedaan tinggi tekanan di kedua tempat, yang bisa terjadi karena adanya perbedaan elevasi muka air atau karena adanya tambahan energi dari pompa. Sistem jaringan pipa biasanya

digunakan untuk mendistribusikan air di daerah perkotaan (air minum), mengalirkan minyak dari lokasi pengeboran ke lokasi pengolahan dan lain lain. Sistem jaringan pipa yang sederhana, yang dapat dibagi menjadi empat, yaitu :

1. Aliran dalam pipa seri
2. Aliran dalam pipa paralel
3. Aliran dalam pipa bercabang
4. Aliran dalam jaringan pipa

Persamaan yang digunakan untuk menyelesaikan aliran dalam jaringan pipa sederhana adalah persamaan kontinuitas dan Bernoulli. Untuk menyelesaikan perhitungan sistem jaringan pipa yang rumit (perkotaan, industri) digunakan metoda Hardy Cross

H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban latihan/tugas yang ada pada bahasan ini, hitunglah jawaban anda yang benar kemudian gunakan rumus ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi dalam bahasan ini.

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\sum \text{Jawaban yang benar}}{\text{jumlah soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang anda capai adalah :

- 90 % - 100 % : baik sekali
- 80 % - 89 % : baik
- 70 % – 79 % : cukup
- 60 % - 69 % : kurang
- 0 % - 59 % : gagal

Apabila anda mencapai tingkat penguasaan 80 % ke atas, maka anda dapat meneruskan dengan kegiatan belajar bahasan selanjutnya, tetapi jika tingkat penguasaan anda belum mencapai 80 %, maka anda harus mengulangi kegiatan belajar bahasan tersebut terutama pada bagian yang anda belum kuasai. Untuk mencapai pemahaman tersebut anda dapat melakukan pelatihan atau menghubungi narasumber pada saat pelatihan dan di luar waktu melalui media online.

I. Kunci Jawaban

Soal 1.

a. Menghitung kecepatan aliran

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

$$2 = 0,02 \frac{50 \cdot V^2}{0,1 \cdot 2 \cdot 9,81}$$

$$V = 1,98 \text{ m / dtk}$$

b. Menghitung debit aliran

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,1^2 \cdot 1,98$$

$$Q = 0,0308 \text{ m}^3 / \text{dtk} = 30,8 \text{ l / dtk}$$

Soal 2.

$$Q = A \cdot V$$

$$V_1 = \frac{0,025}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,15^2} = 1,415 \text{ m / dt}$$

$$V_2 = \frac{0,025}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,1^2} = 3,183 \text{ m / dt}$$

$$z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf$$

Pada pipa horizontal $z = z_1 = z_2$, sehingga:

$$0 + 2 + \frac{1,415^2}{2 \times 9,81} = 0 + 1,2 + \frac{3,183^2}{2 \times 9,81} + hf$$

$$hf = 0,386 \text{ m}$$

Soal 3.

$$\rho_A = 100 \text{ kPa} = 100\,000 \text{ N/m}^2$$

$$\rho_B = 80 \text{ kPa} = 80\,000 \text{ N/m}^2$$

$$V_1 = \frac{Q}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,2^2} = \frac{Q}{0,0314} \text{ m/dt}$$

$$z_1 + h_1 + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{V_2^2}{2g} + hf$$

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

$$1,5 + \frac{100.000}{9800} + \frac{V_1^2}{2g} = 0,8 + \frac{80.000}{9800} + \frac{V_2^2}{2g} + 0,5$$

$$\frac{V_1^2}{2g} - \frac{V_2^2}{2g} = 0,8 + 0,5 + 8,16 - 1,5 - 10,204 = -2,544$$

$$\left(\frac{Q}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,2^2} - \frac{Q}{\frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 0,125^2} \right) \times \frac{1}{2 \times 9,81} = -2,544$$

$$-49,913 = \frac{1}{\frac{1}{4} \cdot \pi} \left(\frac{Q}{0,04} - \frac{Q}{0,015625} \right) = \frac{1}{\frac{1}{4} \cdot \pi} \times (25Q - 64Q)$$

$$39Q = 39,2015$$

$$Q = \frac{39,2015}{39}$$

$$Q = 1,0052 \text{ m/dtk} = 1005,2 \text{ l/dtk}$$

Soal 4.

1) Menghitung Debit Aliran

$$H = h_{f1} + h_{f2} + h_{f3}$$

karena hubungan seri maka $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q$ sehingga dengan

Persamaan Darcy-Weisbach:

$$H = \frac{8Q^2}{g\pi^2} \left[\frac{f_1 L_1}{D_1^5} + \frac{f_2 L_2}{D_2^5} + \frac{f_3 L_3}{D_3^5} \right]$$

$$25 = \frac{8Q^2}{9,81 \pi^2} \left[\frac{0,012 \times 600}{0,25^5} + \frac{0,015 \times 500}{0,15^5} + \frac{0,01 \times 750}{0,30^5} \right]$$

$$25 = \frac{8Q^2}{9,81 \pi^2} \times 109224,6519$$

$$Q = 0,0272 \text{ m/dt} = 27,2 \text{ l/dt}$$

2) Menghitung panjang Pipa Ekuivalen

Nilai D_e dan f_e berdasarkan pipa berukuran sedang (pipa 2) sehingga:

$$L_e = \frac{D_e^5}{f_e} \left[\frac{f_1 L_1}{D_1^5} + \frac{f_2 L_2}{D_2^5} + \frac{f_3 L_3}{D_3^5} \right]$$

$$L_e = \frac{0,25^5}{0,012} \left[\frac{0,012 \times 600}{0,25^5} + \frac{0,015 \times 500}{0,15^5} + \frac{0,01 \times 750}{0,30^5} \right]$$

$$L_e = 8888,725m$$

Soal 5.

a. Menghitung debit aliran Q

Pipa 1 dan pipa 2 yang terhubung paralel dapat diganti dengan pipa e_1 (ditentukan pipa terbesar = pipa1)



Pipa e_1 dan pipa 3 terhubung seri



Persamaan kontinuitas:

Diameter pipa:

$$D1 = 6'' = 15,24 \text{ cm}$$

$$D2 = 5'' = 12,7 \text{ cm}$$

$$D3 = 8' = 20,32 \text{ cm}$$

b. Menghitung h_f ekuivalen pipa paralel :

$$\left(\frac{D_e^5}{f_e \cdot L_e} \right)^{1/2} = \left(\frac{D_1^5}{f_1 \cdot L_1} \right)^{1/2} + \left(\frac{D_2^5}{f_2 \cdot L_2} \right)^{1/2}$$

$$\left(\frac{0,1524^5}{0,015L_e}\right)^{1/2} = \left(\frac{0,1524^5}{0,015 \times 150}\right)^{1/2} + \left(\frac{0,127^5}{0,014 \times 175}\right)^{1/2}$$

$$\left(\frac{0,1524^5}{0,015L_e}\right)^{1/2} = 9,716849431E - 3$$

$$L_e = \frac{0,1524^5}{9,441716286E - 5 \times 0,015} = 58,04738$$

$$h_{fe} = \frac{8f_e L_e}{g \pi D_e^5} Q_e^2$$

$$h_{fe} = \frac{8 \times 0,015 \times 58,04738}{9,81 \times \pi^2 \times 0,1524^5} \times 0,1^2$$

$$h_{fe} = 8,7513m$$

$$\left(\frac{D_e^5}{f_e L_e}\right)^{1/2} = \left(\frac{D_1^5}{f_1 L_1}\right)^{1/2} + \left(\frac{D_2^5}{f_2 L_2}\right)^{1/2}$$

$$\left(\frac{0,1524^5}{0,015.L_e}\right)^{1/2} = \left(\frac{0,1524^5}{0,015 \times 150}\right)^{1/2} + \left(\frac{0,127^5}{0,014 \times 175}\right)^{1/2}$$

$$\left(\frac{0,1524^5}{0,015.L_e}\right)^{1/2} = 9,71684943E - 3$$

$$L_e = \frac{0,1524^5}{9,441716286E - 5 \times 0,015} = 58,04738$$

$$h_{fe} = \frac{8f_e L_e}{g \pi D_e^5} Q_e^2$$

$$h_{fe} = \frac{8 \times 0,015 \times 58,04738}{9,81 \times \pi^2 \times 0,1524^5} \times 0,1^2$$

$$h_{fe} = 8,7513m$$

c. Menghitung debit aliran dan kecepatan di pipa 2, digunakan hubungan

$$h_{fe} = h_{f1} = h_{f2}$$

$$h_{fe} = h_{f2} = \frac{8f_2 L_2}{g\pi D_2^5} Q_2^2$$

$$8,7513 = \frac{8 \times 0,014 \times 175}{9,81 \times \pi^2 \times 0,127^5} Q_2^2$$

$$Q_2 = 0,03779 \text{ m}^3 / \text{dt} = 37,79 \text{ l} / \text{dt}$$

Kecepatan di pipa 2:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,03779}{\frac{1}{4} \times \pi \times 0,127^2} = 2,983 \text{ m} / \text{dt}$$

d. Menghitung beda tinggi kedua kolam

$$H = h_{fe} + h_{f3}$$

$$h_{f3} = \frac{8Q^2}{g\pi^2} \frac{f_3 L_3}{D_3^5}$$

$$h_{f3} = \frac{8 \times 0,1^2}{9,81 \times \pi^2} \cdot \frac{0,012 \times 300}{0,2032^5} = 8,586 \text{ m}$$

$$H = 8,7513 + 8,586 = 17,3373 \text{ m}$$

LEMBAR KERJA KB-3

LK-01

1. Jelaskan pengaruh kekasaran pipa terhadap kecepatan aliran?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Jelaskan pengertian pipa kasar dan pipa halus? Apa yang membedakan dikatakan sebagai pipa kasar dan pipa halus?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. Jelaskan pengertian kekasaran relative dan faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran relative?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

LK-02

1. Jelaskan data-data/variabel yang diperlukan dalam menghitung debit aliran melalui pipa?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Sebutkan hal-hal yang mempengaruhi kecepatan aliran?

.....
.....

.....
.....
.....
.....

3. Dalam mendimensi pipa apa pengaruh kehilangan energy dan viskositas zat cair?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

LK-03

1. Jabarkan perhitungan kehilangan energi dengan menggunakan persamaan Bernoulli? (dilengkapi dengan sket gambar penggalan pipa).

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Hitung debit alirannya apabila air mengalir melalui pipa baja berdiameter 1,5 m, $k = 0,035$ mm. Kehilangan tenaga maksimum yang diijinkan adalah 1 m/km. Viskositas kinematik air $1,5 \times 10^{-6} \text{ m}^2 / \text{dt}$.

.....
.....
.....
.....

.....
.....

LK-04

1. Jelaskan persamaan yang digunakan untuk menyelesaikan aliran dalam pipa seri tersebut?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Berikan persamaan untuk debit aliran yang melalui jaringan pipa tersebut?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

BAB V

Kegiatan Pembelajaran 4

A. Judul

Prinsip Aliran Permukaan Bebas Untuk Hidrolika Terapan

B. Tujuan

Setelah mempelajari materi ini, anda hendaknya dapat:

1. Menjelaskan jenis-jenis aliran dalam permukaan bebas/saluran terbuka dan sifat-sifatnya
2. Menghitung distribusi kecepatan dan tegangan geser
3. Menghitung dan merencanakan dimensi dan kapasitas saluran
4. Menghitung besarnya energi spesifik dan kedalaman kritis

C. Indikator Pencapaian Kompetensi

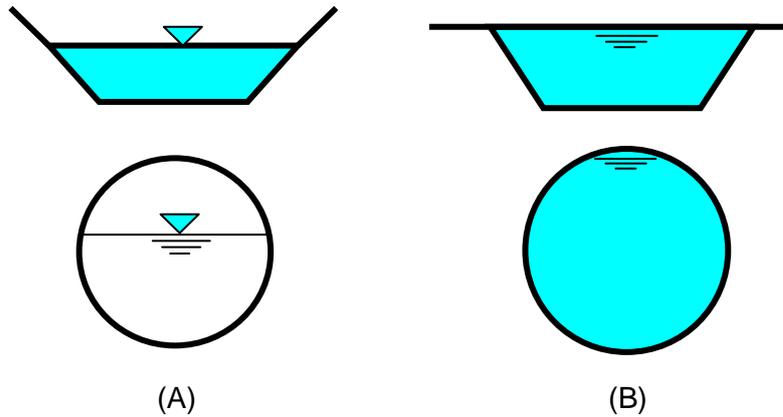
Menentukan prinsip aliran permukaan bebas untuk hidrolika terapan

D. Uraian Materi Menganalisis prinsip aliran permukaan bebas untuk hidrolika terapan

1. Pendahuluan

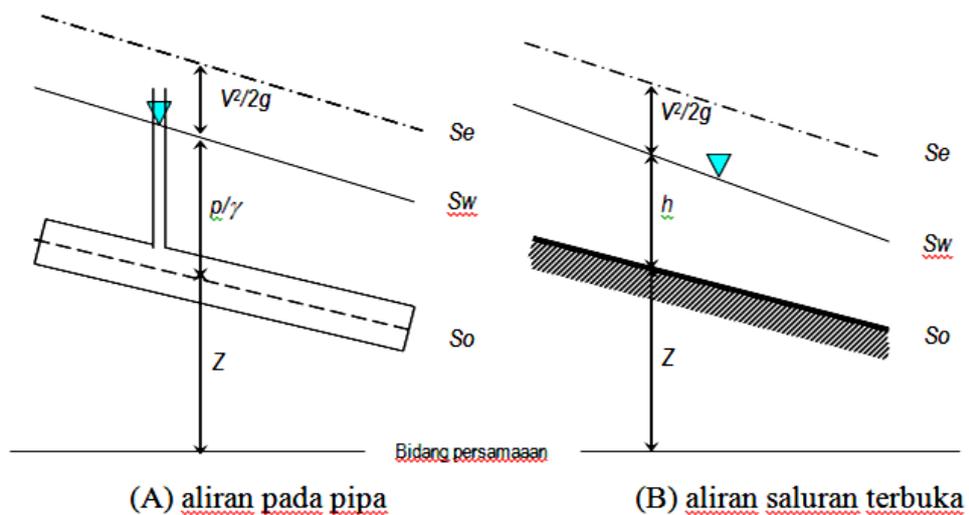
Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran tertutup (*pipe flow*) dan aliran saluran terbuka (*open channel flow*). Kedua jenis saluran ini dalam beberapa hal adalah sama, hanya berbeda dalam suatu hal yang penting yaitu :

- a. Aliran pada saluran terbuka harus memiliki permukaan bebas walaupun berada dalam saluran yang tertutup. Aliran saluran terbuka dipengaruhi oleh tekanan udara bebas ($p. atmosphere$)
 - b. Aliran pada pipa tidak memiliki permukaan bebas, karena aliran air mengisi saluran secara terus menerus sehingga tidak dipengaruhi oleh tekanan udara secara langsung kecuali oleh tekanan hidrostatik (y)
- Perbedaan permukaan bebas tersebut dapat diilustrasikan seperti gambar berikut ini :



Gambar 5.1. Saluran terbuka (A) dan saluran tertutup (B)

Perbandingan rumus energi bentuk kedua aliran tersebut pada dilihat pada gambar di bawah ini :



Gambar 5.2. Garis kemiringan hidrolis dan energi

Aliran dalam saluran terbuka maupun saluran tertutup yang mempunyai permukaan bebas disebut aliran permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran saluran terbuka (*open channel flow*). Dalam modul ini keduanya mempunyai arti yang sama atau sinonim. Permukaan bebas mempunyai tekanan sama dengan tekanan atmosfer. Jika pada aliran tidak terdapat permukaan bebas dan aliran dalam saluran penuh, aliran yang terjadi disebut aliran dalam pipa (*pipe flow*) atau aliran tertekan (*pressurized flow*). Aliran dalam pipa

tidak mempunyai tekanan atmosfer akan tetapi tekanan hidraulik. Perbandingan rumus energi untuk kedua tipe aliran tersebut adalah :

1) Aliran saluran tertutup/pipa

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2.g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2.g} + hf$$

2) Aliran saluran terbuka

$$z_1 + h_1 + \frac{v_1^2}{2.g} = z_2 + h_2 + \frac{v_2^2}{2.g} + hf$$

Analisis yang dilakukan pada saluran terbuka lebih sulit dibandingkan dengan analisis pada saluran tertutup pipa. Umumnya analisis untuk saluran terbuka menggunakan persamaan-persamaan empiris. Hal tersebut dilakukan karena analisis pada saluran terbuka memiliki banyak variabel yang berubah-ubah dan tidak teratur terhadap ruang dan waktu:

- 1) Penampang saluran yang tidak teratur (misal : sungai)
- 2) Kekasaran permukaan saluran (sulit menentukan kekasaran (misal : sungai berbatu, pipa licin dan seragam)
- 3) Kemiringan saluran
- 4) Debit aliran
- 5) Kecepatan aliran
- 6) Pertemuan saluran (junction)
- 7) Kesulitan pengumpulan data di lapangan, dan sebagainya

Terdapat tiga persamaan konversi untuk menyelesaikan analisis pada suatu aliran, yaitu persamaan konversi massa, persamaan konversi energi dan persamaan konversi momentum. Materi ketiga persamaan tersebut dibahas dalam pembahasan berikutnya pada bab ini.

2. Klasifikasi Aliran Permukaan Bebas

Klasifikasi saluran terbuka berdasarkan asal-usul :

a. Saluran alam (*natural channel*)

Contoh : sungai kecil sampai sungai besar

b. Saluran buatan (*artificial channel*)

Contoh : saluran drainase, saluran irigasi, saluran pembuang, saluran pembawa air ke PLTA, saluran suplai air minum, saluran banjir dll.

Di lapangan saluran buatan bisa berupa :

- 1) Kanal : semacam parit dengan kemiringan dasar yang landai, berpenampang segiempat, segitiga, trapesium maupun lingkaran. Terbuat dari galian tanah, pasangan batu, beton atau kayu maupun logam.
- 2) Talang (*flume*) : semacam selokan kecil terbuat dari logam, beton atau kayu yang melintas di atas permukaan tanah dengan suatu penyangga.
- 3) Got miring (*chute*) : semacam selokan dengan kemiringan dasar yang relatif curam.
- 4) Bangunan terjunan (*drop structure*) : semacam selokan dengan kemiringan yang tajam. Perubahan muka air terjadi pada jarak yang sangat dekat.
- 5) Gorong-gorong (*culvert*) : saluran tertutup yang melintasi jalan atau menerobos gundukan tanah dengan jarak yang relatif pendek
- 6) Terowongan (*tunnel*) : saluran tertutup yang melintasi gundukan tanah atau bukit dengan jarak yang relatif panjang.

Klasifikasi saluran terbuka berdasarkan konsistensi bentuk penampang dan kemiringan dasar :

1. Saluran prismatik (*prismatic channel*)

Yaitu : saluran dengan bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya tetap

Contoh : saluran drainase, saluran irigasi

2. Saluran non prismatik (*non-prismatic channel*)

Yaitu : saluran dengan bentuk penampang melintang dan kemiringan dasarnya berubah-ubah

Contoh : sungai

Klasifikasi saluran terbuka berdasarkan geometri penampang melintang:

1. Saluran berpenampang segiempat

2. Saluran berpenampang trapesium
3. Saluran berpenampang segitiga
4. Saluran berpenampang lingkaran
5. Saluran berpenampang parabola
6. Saluran berpenampang segiempat dengan ujung dibulatkan (diberi filet berjari-jari tertentu)
7. Saluran berpenampang segitiga dengan ujung dibulatkan (diberi filet berjari-jari tertentu)

3. Percepatan Dalam Aliran Air

Pada saat t detik dan sejauh x dari titik o , kecepatan aliran air di potongan 1-1 adalah sama dengan v , dengan v merupakan fungsi dari jarak x dan waktu t .

v adalah fungsi dari x dan t ditulis $f(x,t)$ atau $v = (x,t)$

Dari persamaan $v = (x,t)$ menjadi :

$$dv = \frac{\delta v}{\delta x} dx + \frac{\delta v}{\delta t} dt$$

Diferensialkan :

$$\frac{dv}{dt} = \frac{\delta v}{\delta x} \frac{dx}{dt} + \frac{\delta v}{\delta t}$$

$$a = \frac{\delta v}{\delta x} v + \frac{\delta v}{\delta t}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \text{percepatan (acceleration)}$$

$$v = \frac{dx}{dt} = \text{kecepatan (velocity)}$$

$$\frac{\delta v}{\delta x} v = \text{percepatan konvektif (convective acceleration)}$$

- Merupakan percepatan fungsi dari jarak x , atau percepatan yang tergantung jarak x
- Jika $\frac{\delta v}{\delta x} v = 0$, maka tergolong aliran seragam (*uniform flow*)

- Jika $\frac{\delta v}{\delta x} v \neq 0$, maka tergolong aliran tidak seragam (*non-uniform flow*)
- Aliran dapat tergolong *uniform flow* maupun *non-uniform flow*, ditentukan oleh $\frac{\delta v}{\delta x} v$

$\frac{\delta v}{\delta t}$ = percepatan local (*local acceleration*)

- Merupakan percepatan fungsi dari waktu t, atau percepatan yang tergantung waktu t.
- Jika $\frac{\delta v}{\delta t} = 0$, maka tergolong aliran mantap (*steady flow*)
- Jika $\frac{\delta v}{\delta t} \neq 0$, maka tergolong aliran tidak mantap (*unsteady flow*)
- Aliran dapat tergolong *unsteady flow* maupun *steady flow*, ditentukan oleh $\frac{\delta v}{\delta t}$

4. Jenis Aliran Pada Saluran Terbuka Ditinjau dari Aspek

a. Aspek waktu

1) Aliran langgeng/permanen/*steady flow*

Parameter aliran konstan terhadap waktu

$$\frac{\delta v}{\delta t} = 0, \frac{\delta h}{\delta t} = 0 \text{ dan } \frac{\delta Q}{\delta t} = 0 \Rightarrow v, h \text{ dan } Q \text{ tidak berubah/konstan}$$

2) Aliran tidak langgeng/*unsteady flow*

Parameter aliran berubah/fungsi terhadap waktu

$$\frac{\delta v}{\delta t} \neq 0, \frac{\delta h}{\delta t} \neq 0 \text{ dan } \frac{\delta Q}{\delta t} \neq 0 \Rightarrow v, h \text{ dan } Q \text{ berubah}$$

b. Aspek ruang

1) Aliran beraturan/*uniform flow*

Parameter aliran konstan terhadap tempat (jarak)

$$\frac{\delta v}{\delta x} = 0, \frac{\delta h}{\delta x} = 0 \text{ dan } \frac{\delta A}{\delta x} = 0 \Rightarrow v, h \text{ dan } A \text{ tidak berubah/konstan}$$

2) Aliran tidak beraturan/*non-uniform flow/varied flow*

Parameter aliran berubah terhadap tempat (jarak)

$\frac{\delta v}{\delta x} \neq 0$, $\frac{\delta h}{\delta x} \neq 0$ dan $\frac{\delta A}{\delta x} \neq 0 \Rightarrow v, h$ dan A berubah pada setiap saat

Aliran tidak seragam terbagi menjadi :

a) *Gradually varied flow*, terdiri dari : *Accelerated Gradually varied Flow* dan *Decelerated Gradually varied Flow*

b) *Rapidly varied flow*, terdiri dari : *Accelerated Rapidly varied flow*, *Decelerated Rapidly varied flow*

c. Aspek kecepatan rata-rata

1) Mengalir $\Rightarrow \bar{U} < U_{kr}$

2) Kritis $\Rightarrow \bar{U} = U_{kr}$

3) Meluncur $\Rightarrow \bar{U} > U_{kr}$

d. Aspek pengaruh akibat kekentalan (viskositas)

Dinyatakan dengan bilangan Reynolds (*Reynolds number*), yaitu perbandingan antara gaya inersia terhadap gaya kekentalan (*viskos force*).

$$Re = \frac{v \cdot R}{\nu}$$

Berdasarkan bilangan Reynolds kondisi aliran digolongkan menjadi :

1) Aliran laminar, jika gaya kekentalan lebih besar pengaruhnya dibanding gaya inersia ($Re \leq 500$)

2) Aliran Turbulen, jika gaya kekentalan lebih kecil pengaruhnya dibanding gaya inersia ($Re \geq 2000$)

3) Aliran Transisi, jika bilangan Reynolds (Re) antara 500 – 2000 ($500 \leq Re \leq 2000$)

5. Aliran Seragam

Aliran seragam merupakan aliran yang tidak berubah menurut tempat. Konsep aliran seragam dan aliran kritis sangat diperlukan dalam peninjauan aliran berubah dengan cepat atau lambat laun. Perhitungan kedalaman kritis dan kedalaman normal sangat penting untuk menentukan perubahan permukaan aliran akibat gangguan pada aliran.

Terdapat dua kriteria utama untuk aliran seragam yaitu :

a. Kedalaman aliran

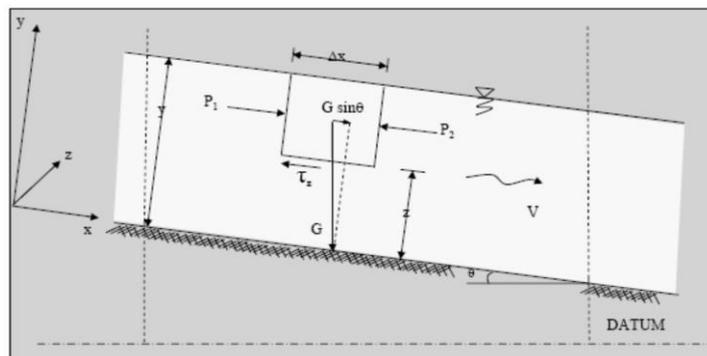
Luas penampang, penampang basah, dan debit aliran pada setiap penampang dari suatu panjang aliran adalah tetap.

b. Garis energi

Garis permukaan aliran, dan dasar saluran sejajar, dan ini berarti bahwa kemiringan garis energi (S_f), garis permukaan air (S_w) dan dasar saluran (S_b) adalah sama atau :

$$S_f = S_w = S_b$$

Tetapi di dalam kenyataannya aliran seragam tidak tetap tidak pernah terjadi, maka yang dimaksud disini aliran seragam adalah aliran seragam tetap. Terjadinya aliran seragam, apabila aliran terjadi di dalam suatu saluran, hambatan akan menghadang aliran air dari hulu ke hilir. Hambatan tersebut berlawanan dengan komponen gaya gravitasi di arah aliran. Aliran seragam terbentuk apabila hambatan diimbangi oleh gaya gravitasi. Hal ini dapat dijelaskan dengan gambar berikut :



Gambar 5.3. Sket keseimbangan gaya-gaya di dalam aliran seragam

Keseimbangan gaya-gaya yang bekerja pada bagian kecil aliran sepanjang Δx dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\sum F_x = 0$$

$$P_1 - P_2 + G \cdot \sin \theta - \tau_z \cdot \Delta x \cdot \Delta y = 0 \quad (1)$$

Karena kedalaman air $(y - z)$ tetap maka besarnya gaya-gaya hidrostatis $P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \gamma (y - z)^2$ hanya berlawanan arah maka gaya-gaya tersebut saling menghapus satu sama lain, sehingga persamaan (1) menjadi :

$$G \cdot \sin \theta - \tau_z \cdot \Delta x \cdot \Delta y = 0 \quad (2)$$

Karena :

$$G = \rho \cdot g \cdot \Delta x \cdot \Delta y (y - z)$$

Maka persamaan (2) menjadi :

$$\rho \cdot g \cdot \Delta x \cdot \Delta y (y - z) \cdot \sin \theta - \tau_z \cdot \Delta x \cdot \Delta y = 0 \quad (3)$$

Jika dibagi dengan $\Delta x \Delta y$ persamaan (3) menjadi :

$$\tau_z = \rho \cdot g (y - z) \cdot \sin \theta$$

Atau

$$\tau_z = \rho \cdot g \cdot S_b (y - z) \quad (4)$$

Dimana :

$$\sin \theta = S_b$$

τ_z = tegangan geser pada elevasi $(y-z)$ dari permukaan air

$\tau_z = \rho g S_b (y - z)$, maka tegangan geser pada dasar saluran dapat dicari dengan menggunakan persamaan tersebut untuk harga $z = 0$, sehingga :

$$\tau_b = \rho \cdot g \cdot S_b \cdot h \quad \text{atau} \quad \tau_b = \rho \cdot g \cdot h \cdot S_b \quad (5)$$

dimana :

τ_b = tegangan geser pada dasar saluran ($\text{kg/m} \cdot \text{dtk}^2$)

h = kedalaman air (m)

S_b = kemiringan dasar saluran

ρ = rapat massa air (kg/cm^3)

g = gaya gravitasi (m/dtk^2)

Untuk aliran di dalam saluran lebar sekali (*wide channel*) dimana $R = h$, maka tegangan geser pada dasar saluran dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\tau_b = \rho \cdot g \cdot R \cdot S_b \quad (6)$$

Untuk aliran seragam dimana $S_b = S_f$ persamaan (6) dapat diubah menjadi :

$$\tau_b = \rho \cdot g \cdot R \cdot S_f \quad (7)$$

Atau :

$$g \cdot R \cdot S_f = \frac{\tau_b}{\rho}$$

$$g \cdot R \cdot S_f = U_*^2 = \frac{\tau_b}{\rho}$$

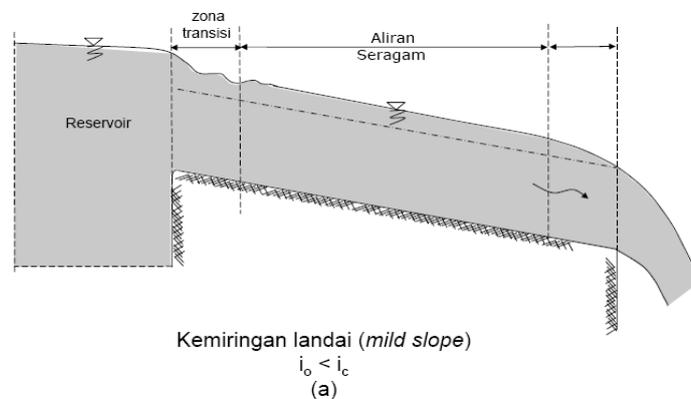
Dimana :

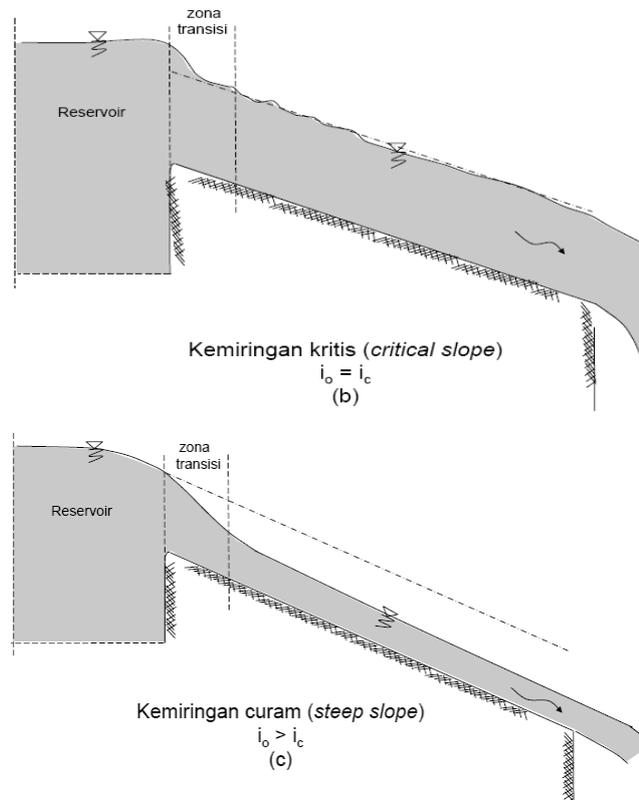
U_* = kecepatan geser aliran

$U_*^2 = g \cdot R \cdot S_f$

$\tau_b = \rho \cdot U_*^2 \quad (8)$

Dari persamaan (7) dan (8) tampak bahwa besarnya hambatan (tegangan geser) tergantung pada kecepatan aliran. Untuk melihat lebih jelas terjadinya aliran seragam dapat diambil contoh suatu aliran dari suatu tandon (*reservoir*) yang memasuki suatu saluran panjang dengan kemiringan tertentu seperti tampak pada gambar berikut :





Gambar 5.4. Terjadinya aliran seragam di dalam saluran dengan kondisi kemiringan yang berbeda-beda

Pada waktu air memasuki saluran secara perlahan-lahan, kecepatan aliran berkurang dan oleh karenanya besarnya tahanan juga berkurang. Pada saat tahanan menjadi lebih kecil dari pada komponen gaya berat maka akan terjadi percepatan disaat memasuki saluran atau di bagian hulu saluran. Sesudah itu secara lambat laun kecepatan dan tahanan bertambah besar sampai terjadi keseimbangan antara tahanan dan gaya berat. Pada keadaan ini aliran seragam terjadi. Pada bagian hulu dimana terjadi percepatan disebut zona transisi.

6. Persamaan Kecepatan Pada Aliran Seragam

Perhitungan aliran melalui saluran terbuka hanya dapat dilakukan menggunakan rumus-rumus empiris, karena adanya banyak variabel yang berubah-ubah.

a. Rumus Chezy (1769)

$$V = C\sqrt{R.S_f} \quad (9)$$

dimana :

V = kecepatan rata-rata (m/dtk)

R = jari-jari hidrolis (m)

S_f = kemiringan garis energi

C = suatu faktor tahanan aliran yang disebut koefisien Chezy

Berbagai rumus dikembangkan untuk memperoleh harga C antara lain:

1) Ganguillet and Kutter (1869)

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{S} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{S}\right) \cdot \frac{n}{\sqrt{n}}} \quad (10)$$

dimana :

n = koefisien kekasaran dasar dan dinding saluran

R = jari-jari hidrolis

S = kemiringan dasar saluran

2) Bazin (1897)

Bazin pada tahun 1897 melalui penelitiannya menetapkan harga C sebagai berikut :

$$C = \frac{87}{1 + \frac{\gamma B}{\sqrt{R}}} \quad (11)$$

dimana :

γB = koefisien Bazin tergantung pada kekasaran dinding

R = jari-jari hidrolis

3) Manning

Robert Manning mengusulkan rumus sebagai berikut :

$$C = \frac{1}{n} . R^{1/6} \quad (12)$$

4) Colebrook-White

Aliran seragam dibagi berdasarkan perbandingan antara nilai jari-jari kekasaran butiran dan nilai lapis batas laminar per 7 ($\delta/7$). Hidrolik aliran tersebut adalah :

- 1) Hidrolik Licin dimana $a \ll (\delta/7)$, maka untuk menghitung nilai koefisien kekasaran Chezy (C) digunakan persamaan :

$$C = 18 \cdot \text{Log} \frac{6 \cdot R}{(\delta/7)} \quad (13)$$

- 2) Hidrolik Kasar dimana $a \gg (\delta/7)$, maka untuk menghitung nilai koefisien kekasaran Chezy (C) digunakan persamaan :

$$C = 18 \cdot \text{Log} \frac{6 \cdot R}{a} \quad (14)$$

- 3) Hidrolik Gabungan Colebrook-White, koefisien kekasaran Chezy (C) dihitung dengan persamaan :

$$C = 18 \cdot \text{Log} \frac{6 \cdot R}{a + (\delta/7)} \quad (15)$$

Dimana

- a = jari-jari kekasaran butiran, m
- R = jari-jari hidrolis (m)
- δ = lapis batas laminar, m

b. Rumus Manning (1889)

Manning mengembangkan rumus untuk menghitung kecepatan aliran :

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S_f^{1/2} \quad (16)$$

Dimana :

- V = kecepatan aliran (m/det)
- n = angka kekasaran Manning
- R = jari-jari hidrolik (m)
- S_f = kemiringan garis energi

Faktor-faktor yang mempengaruhi harga kekasaran manning n adalah:

- 1) Kekasaran permukaan dasar dan dinding saluran
- 2) Tumbuh – tumbuhan
- 3) Ketidak teraturan bentuk penampang
- 4) *Alignment* dari saluran

- 5) Sedimentasi dan erosi
- 6) Penyempitan (adanya pilar-pilar jembatan)
- 7) Bentuk dan ukuran saluran
- 8) Elevasi permukaan air dan debit aliran

Dari hasil penelitiannya Manning membuat suatu tabel angka kekasaran (n) untuk berbagai jenis bahan yang membentuk saluran antara lain sebagai berikut :

Tabel 5.1. Harga n untuk tipe dasar dan dinding saluran

No	Bahan	Koefisien Manning (n)
1	Besi tuang dilapis	0,014
2	Kaca	0,010
3	Saluran beton	0,013
4	Bata dilapis Mortar	0,015
5	Pasangan batu disemen	0,025
6	Saluran tanah bersih	0,022
7	Saluran tanah	0,030
8	Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
9	Saluran pada galian batu padas	0,040

Pengambilan harga n tersebut tergantung pula pada pengalaman perencana

c. Rumus Strickler

Untuk permukaan saluran dengan material yang tidak koheren, koefisien strickler (k_s) diberikan oleh rumus berikut :

$$k_s = \frac{1}{n} = 26 \left(\frac{R}{d_{35}} \right)^{1/6} \quad (17)$$

Dimana :

R = jari-jari hidrolis (m)

n = koefisien Manning

d_{35} = diameter yang berhubungan dengan 35% berat dari material dengan diameter yang lebih besar.

Dengan menggunakan koefisien tersebut, maka rumus kecepatan aliran menjadi :

$$V = k_s \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (18)$$

d. Variasi Perhitungan Aliran Seragam

Terdapat 2 persamaan yang selalu digunakan dalam perhitungan aliran seragam, yaitu :

- Hukum kontinuitas

$$Q = V \cdot A$$

- Rumus kecepatan

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Dalam penggunaan rumus Manning terdapat 6 variabel yang akan diperoleh, yaitu :

- 1) Debit (Q)
- 2) Kecepatan aliran (V)
- 3) Kedalaman normal (hn)
- 4) Kemiringan saluran (S)
- 5) Koefisien kekasaran Manning (n)
- 6) Bagian-bagian geometri saluran, misalnya :R, T, P, A dan Z

Oleh karena itu terdapat 6 jenis variasi soal dalam perhitungan aliran seragam. Berikut ini disajikan variasi perhitungan dan tabel resumennya:

- 1) Menghitung debit (Q) \Rightarrow digunakan untuk menentukan kapasitas suatu saluran dan membuat kurva debit
- 2) Menghitung kecepatan aliran (V) \Rightarrow digunakan dalam mempelajari pengaruh gerusan (degradasi) dan pengendapan (agradasi) pada saluran
- 3) Menghitung kedalaman normal (hn) \Rightarrow digunakan untuk menentukan tingkat aliran pada saluran
- 4) Menghitung kemiringan saluran (S) \Rightarrow digunakan dalam menentukan kemiringan suatu saluran

- 5) Menghitung kekasaran saluran (n) \Rightarrow digunakan dalam menetapkan koefisien kekasaran dinding dan dasar saluran
- 6) Menghitung dimensi-dimensi penampang saluran bertujuan untuk perhitungan perencanaan saluran.

Tabel 5.2. Variasi soal perhitungan aliran seragam

Jenis Soal	Debit (Q)	Kecepatan Aliran (V)	Kedalaman Aliran (h)	Koefisien Kekasaran (n)	Kemiringan Saluran (S)	Bagian geometrik
1	?	--	√	√	√	√
2	--	?	√	√	√	√
3	√	--	?	√	√	√
4	√	--	√	√	?	√
5	√	--	√	?	√	√
6	√	--	√	√	√	?

Keterangan :

? = variabel yang tidak diketahui

-- = variabel yang belum diketahui tetapi dapat dicari dengan bantuan variabel yang ada

√ = variabel yang diketahui

7. Aliran tidak seragam

Non uniform flow adalah aliran tidak seragam atau berubah yang mempunyai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan dan debit pada setiap tampang disepanjang aliran adalah tidak konstan. Aliran tidak seragam dapat dibedakan dalam dua kelompok berikut ini :

- Aliran berubah cepat (*Rapidly varied flow*), dimana parameter hidrolis berubah secara mendadak dan kadang-kadang juga *discontinue*
- Aliran berubah lambat laun (*Gradually varied flow*), dimana parameter hidrolis (kecepatan, tampang basah) berubah secara progresif dari satu tampang ke tampang yang lain.

a. Aliran Berubah lambat Laun (*Gradually Varried Flow*)

Aliran berubah lambat laun, kedalaman air pada saluran berubah gradual terhadap jarak. Dalam aliran seragam kedalaman air adalah

konstan yang dikenal dengan nama kedalaman normal. Garis kemiringan energi sejajar dengan garis muka air dan garis dasar saluran. Distribusi kecepatan tetap sepanjang saluran, sehingga perhitungan kedalaman air cukup dilakukan sekali sepanjang saluran.

Pada aliran berubah tiba-tiba, seperti pada loncatan air, kedalaman air berubah secara cepat pada jarak yang pendek. Terjadi perubahan kecepatan air secara signifikan disertai dengan perubahan penampang basah saluran dengan cepat. Dengan laju perlambatan aliran yang mendadak, maka terjadi kehilangan energi. Perhitungan kedalaman air tidak dapat dilakukan dengan prinsip energi, melainkan dengan prinsip momentum.

Pada aliran berubah lambat laun, perubahan kecepatan terjadi secara gradual terhadap jarak, sehingga pengaruh percepatan pada aliran antara dua potongan yang berdekatan dapat diabaikan. Perhitungan profil muka air dapat dilakukan dengan persamaan energi.

b. Aliran laminar dan Turbulen

Jika partikel zat cair yang bergerak mengikuti alur tertentu dan aliran tampak seperti serat-serat tipis yang paralel, maka aliran tersebut disebut laminar. Sebaliknya, jika partikel zat cair bergerak mengikuti alur yang tidak beraturan, baik ditinjau terhadap ruang dan waktu maka aliran tersebut disebut aliran turbulen.

Faktor yang menentukan keadaan aliran adalah pengaruh relatif antara gaya kekentalan (viskositas) dan gaya inersia. Jika viskositas yang dominan maka alirannya laminar, sedangkan jika gaya inersia yang dominan, maka alirannya turbulen.

Tidak seperti aliran dalam pipa, di mana diameter pipa biasanya dipakai sebagai panjang karakteristik, pada aliran bebas dipakai kedalaman hidrolis atau jari-jari hidrolis sebagai panjang karakteristik. Kedalaman hidrolis didefinisikan sebagai luas penampang basah dibagi lebar permukaan air, sedangkan jari-jari hidrolis didefinisikan sebagai luas penampang basah dibagi keliling basah. Batas peralihan

antara aliran laminar dan turbulen pada aliran bebas terjadi pada bilangan Reynold = 600, yang dihitung berdasarkan jari-jari hidrolis sebagai panjang karakteristik.

c. Aliran Subkritis, Kritis, dan Superkritis

Aliran tenang (*trianguil flow*) apabila $Fr < 1$, dan disebut superkritis atau aliran cepat (*rapid flow*) apabila $Fr > 1$. Perbandingan kecepatan aliran dengan gaya grafitasi (per satuan volume) sebagai bilangan Froude dan dapat dirumuskan sebagai berikut (Rangga Raju, 1981) :

$$F_r = V \cdot \sqrt{g \cdot L}$$

Dengan:

F_r = bilangan Froude

V = kecepatan rata-rata aliran (m/det)

G = pecepatan grafitasi (m^2/det)

L = panjang karakteristik (m)

Pada aliran terbuka biasanya digunakan kedalaman hidraulis D sebagai panjang karakteristik, sehingga F dapat ditulis sebagai :

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{g \cdot D}}$$

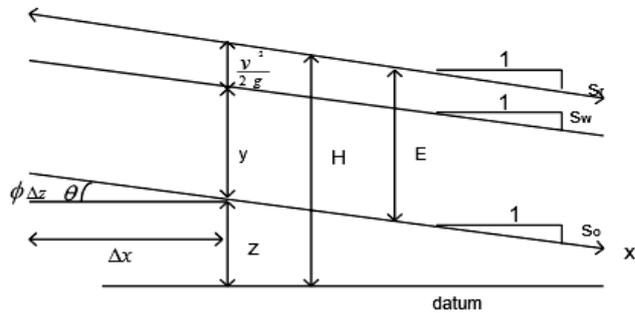
d. Energi Spesifik

Energi spesifik adalah tinggi tenaga pada sembarang tampang diukur dari dasar saluran, atau tenaga tiap satuan berat air pada sembarang tampang diukur dari dasar saluran (Ven Te Chow, 1959 dalam Robert, J.K., 2002) :

$$E = h + \alpha \frac{V^2}{2 \cdot g} \tag{19}$$

dimana :

α = koefisien Corilis (1 s.d 1,1)



Gambar 5.8. Parameter energi spesifik (Robert.J.K. (2002))

Persamaan energi secara umum adalah :

$$H = z + h \cdot \cos\theta + \alpha \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Sehingga persamaan energi untuk saluran datar ($\theta = 0$), adalah:

$$E = \frac{V^2}{2 \cdot g} + h$$

Karena $Q = v \times A$, maka persamaan energi spesifik menjadi:

$$E = \frac{Q^2}{2 \cdot g \cdot A^2} + h$$

Dengan:

H = tinggi energi (cm)

z = tinggi suatu titik terhadap bidang referensi (cm)

α = koefisien energi, pada perhitungan selanjutnya $\alpha = 1$

E = energi spesifik (cm)

h = kedalaman aliran (cm)

V = kecepatan aliran rata-rata (cm/detik)

A = luas penampang (cm²)

g = percepatan gravitasi (cm/detik²)

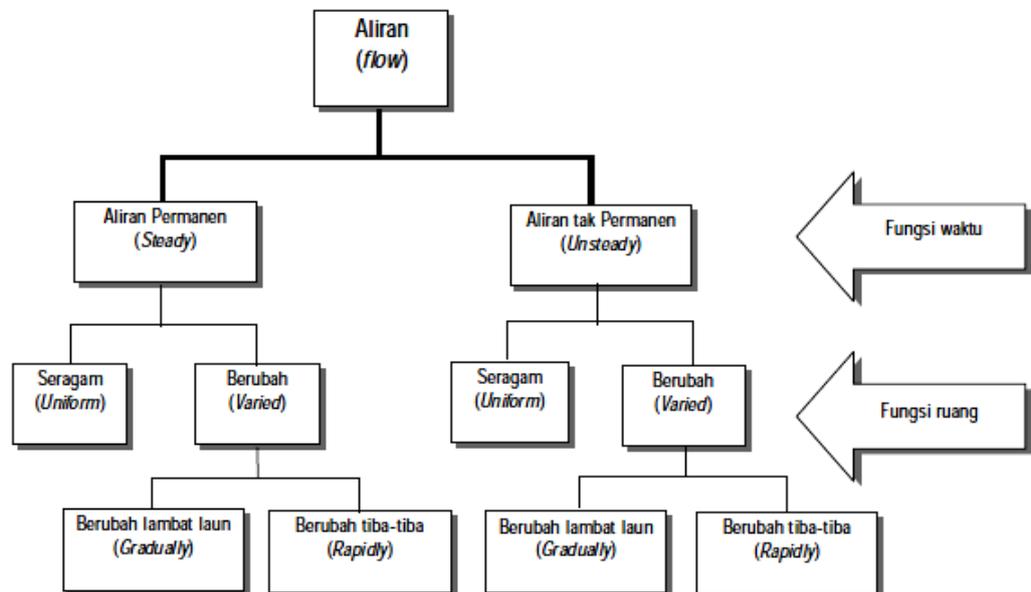
Q = debit (cm²/det)

E. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas 1 : Jenis-jenis aliran dalam permukaan bebas/saluran terbuka dan sifat-sifatnya

Untuk dapat memahami aliran pada permukaan bebas, harus memahami terlebih dahulu jenis dan karakteristik aliran permukaan bebas. Berikut ini

disajikan bagan alir dari klasifikasi aliran pada permukaan bebas, amati dan pahami.



Untuk mengetahui pemahaman berikut ini beberapa pertanyaan yang harus anda jawab:

1. Jelaskan klasifikasi aliran pada saluran terbuka?
2. Apa yang dimaksud dengan aliran permanen dan tidak permanen ?
3. Apa yang dimaksud dengan aliran seragam dan tidak seragam ?
4. Apa yang dimaksud dengan aliran laminar dan turbulen ?
5. Apa yang dimaksud dengan aliran kritis, sub kritis dan super kritis ?
6. Bagaimana cara menentukan tipe aliran, apakah aliran laminar atau turbulen ?

Aktivitas 2 : Dimensi Saluran Pada Aliran Permukaan Bebas

Untuk dapat menghitung dimensi saluran pada aliran permukaan bebas, anda harus membaca materi tentang saluran terbuka berdasarkan geometri penampang melintang selanjutnya dipahami. Dapatkah anda menunjukkan persamaan untuk menghitung luas penampang basah? Keliling basah? Dan Jari-jari hidrolis? Untuk berbagai macam bentuk saluran.

Sebagai pedoman dalam memahami materi ini, jawablah pertanyaan berikut ini selanjutnya anda diskusikan dengan teman anda.

1. Jelaskan jenis-jenis saluran terbuka berdasarkan geometri penampang melintang
2. Tuliskan persamaan-persamaan luas penampang basah, keliling basah, jari-jari hidrolis untuk berbagai bentuk geometri penampang melintang
3. Saluran irigasi berbentuk trapesium dengan kemiringan dinding 2, mempunyai kedalaman air 1,5 meter, lebar dasar 3 meter, koefisien kekasaran Manning $n = 0,025$. Hitung kemiringan dasar saluran jika debit yang mengalir sebesar $50 \text{ m}^3/\text{dt}$.
4. Saluran drainase berbentuk trapesium mengalirkan debit sebesar $15 \text{ m}^3/\text{det}$. Kemiringan dasar saluran $0,0025$. Dinding saluran dilining dengan koefisien kekasaran $n = 0,012$. Tentukan dimensi potongan melintang saluran.

Aktivitas 3 : Energi Spesifik

Energi spesifik ada pada aliran tidak seragam, aliran seperti ini adalah aliran pada saluran alami, silahkan and abaca materi aliran tidak seragam, dan konsep energi spesifik.

Sebagai panduan dalam memahami materi ini, jawab pertanyaan berikut dengan menggunakan lembar kerja, adapun pertanyaannya adalah:

1. Jelaskan pengertian aliran seragam? (jawaban dilengkapi dengan sket gambar)
2. Terangkan pengertian aliran subkritik, kritik dan superkritik dilengkapi dengan contoh aliran dilapangan/bangunan air
3. Buat kurva yang menjelaskan energy spesifik?
4. Tentukan tipe aliran suatu saluran segiempat mempunyai lebar 2 m, kedalaman normal 0,75 m mengalirkan debit $15 \text{ m}^3/\text{dt}$

F. Latihan/Kasus/Tugas

1. Jelaskan klasifikasi aliran pada saluran terbuka
2. Bagaimana cara menentukan tipe aliran, apakah aliran laminar atau turbulen?
3. Saluran drainase berbentuk trapesium mengalirkan debit sebesar $10 \text{ m}^3/\text{det}$. Kemiringan dasar saluran 1:5.000. Dinding saluran dilining dengan

koefisien kekasaran $n = 0,012$. Tentukan dimensi potongan melintang saluran yang paling ekonomis !

4. Air mengalir pada saluran berbentuk trapesium dengan kedalaman seragam 2 m, lebar dasar 6 m dan kemiringan dinding 1:2. Debit yang mengalir sebesar $65 \text{ m}^3/\text{dt}$, angka kekasaran Manning 0,025. Hitung kemiringan dasar saluran yang diperlukan !
5. Suatu saluran utama irigasi berbentuk trapesium dengan kemiringan dinding $m = 2$, mempunyai kedalaman air 2,5 meter, lebar dasar 5 meter, koefisien kekasaran Manning $n = 0,025$. Hitung kemiringan dasar saluran jika debit yang mengalir sebesar $75 \text{ m}^3/\text{dt}$!

G. Rangkuman

Aliran dalam saluran terbuka maupun saluran tertutup yang mempunyai permukaan bebas disebut aliran permukaan bebas (*free surface flow*) atau aliran saluran terbuka (*open channel flow*). Saluran terbuka dapat berupa:

1. Saluran alamiah atau buatan
2. Galian tanah dengan atau tanpa lapisan penahan,
3. Terbuat dari pipa, beton, batu, bata, atau material lain
4. Dapat berbentuk persegi, segitiga, trapesium, lingkaran, tapal kuda, atau tidak beraturan.

Aliran permukaan bebas dapat diklasifikasikan menjadi berbagai tipe tergantung kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman dan/atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, aliran dibedakan menjadi aliran permanen (*steady*) dan tidak permanen (*unsteady*), sedangkan berdasarkan fungsi ruang, aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non-uniform*). Aliran tidak seragam dapat dibedakan menjadi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*). Aliran melalui saluran terbuka juga dapat dibedakan menjadi aliran subkritis, super kritis dan kritis berdasarkan nilai bilangan Froudenya.

Kecepatan aliran melalui saluran terbuka dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

1. Rumus Chezy : $V = C \cdot \sqrt{R \cdot S_0}$

2. Rumus Manning : $V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S_0^{\frac{1}{2}}$

Potongan melintang saluran yang paling ekonomis adalah saluran yang dapat melewatkan debit maksimum untuk luas penampang basah, kekasaran, dan kemiringan dasar tertentu. Bentuk penampang melintang persegi yang paling ekonomis adalah jika kedalaman air setengah dari lebar dasar saluran, atau jari-jari hidrauliknya setengah dari kedalaman air. Bentuk penampang trapesium yang paling efisien adalah jika kemiringan dindingnya, $m = (1/\sqrt{3})$, atau $\theta = 60^\circ$. Saluran berbentuk segitiga yang paling ekonomis adalah jika kemiringan dindingnya membentuk sudut 45° .

Energi spesifik adalah tinggi tenaga pada sembarang tampang diukur dari dasar saluran, atau tenaga tiap satuan berat air pada sembarang tampang diukur dari dasar saluran yang dapat ditulis sebagai berikut:

$$E = h + \alpha \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Kedalaman dimana energi spesifiknya minimum disebut kedalaman kritis, dan alirannya dinamakan aliran kritis. Aliran kritis mempunyai beberapa sifat-sifat yang spesifik.

H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban latihan/tugas yang ada pada bahasan ini, hitunglah jawaban anda yang benar kemudian gunakan rumus ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi dalam bahasan ini:

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\sum \text{Jawaban yang benar}}{\text{jumlah soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang anda capai adalah :

90 % - 100 % : baik sekali

80 % - 89 % : baik

70 % - 79 % : cukup

60 % - 69 % : kurang

0 % - 59 % : gagal

Apabila anda mencapai tingkat penguasaan 80 % ke atas, maka anda dapat meneruskan dengan kegiatan belajar bahasan selanjutnya, tetapi jika tingkat penguasaan anda belum mencapai 80 %, maka anda harus mengulangi kegiatan belajar bahasan tersebut terutama pada bagian yang anda belum kuasai. Untuk mencapai pemahaman tersebut anda dapat melakukan pelatihan atau menghubungi narasumber pada saat pelatihan dan di luar waktu melalui media online.

I. Kunci Jawaban

1. Aliran dalam saluran terbuka dapat diklasifikasikan menjadi berbagai tipe tergantung kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman dan/atau kecepatan mengikuti fungsi waktu, aliran dibedakan menjadi aliran permanen (*steady*) dan tidak permanen (*unsteady*), sedangkan berdasarkan fungsi ruang, aliran dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform*) dan tidak seragam (*non-uniform*). Aliran tidak seragam dapat dibedakan lagi menjadi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) dan aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*). Selain itu aliran dalam saluran terbuka juga dapat dibedakan menjadi aliran sub kritis, kritis dan super kritis.

2. Aliran laminar dan turbulen dapat ditunjukkan dari nilai bilangan Reynoldnya, untuk saluran terbuka dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$R_e = \frac{V.L}{\nu}$$

Dengan:

V = kecepatan aliran (m/det)

L = panjang karakteristik (m), pada saluran muka air bebas L = R

R = Jari-jari hidraulik saluran

ν = kekentalan kinematik (m^2/det).

Aliran laminar bila bilangan Reynold di bawah 500, aliran turbulen bila bilangan Reynolds lebih besar 2.000, dan bila bilangan Reynold antara 500 - 2.000 disebut aliran transisi.

3. Penyelesaian:

$$P = 2.h\sqrt{3}$$

$$A = h^2 \cdot \sqrt{3}$$

$$R = \frac{h}{2}$$

Dengan menggunakan persamaan Manning:

$$Q = A \cdot V$$

$$Q = h^2 \cdot \sqrt{3} x \frac{1}{n} \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \cdot s^{\frac{1}{2}}$$

$$10 = h^2 \sqrt{3} x \frac{1}{0,012} \left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{1}{5000}\right)^{\frac{1}{2}}$$

$$h^{\frac{8}{3}} = 7,78$$

$$h = 2,16 \text{ m}$$

maka lebar saluran dapat dihitung:

$$A = 2,16^2 \cdot \sqrt{3} = 8,08 \text{ m}^2$$

$$A = (b + mh)h$$

$$8,08 = \left(b + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot 2,16\right) 2,16$$

$$b = 2,49 \text{ m}$$

4. Dengan menggunakan persamaan Manning:

$$V = \frac{Q}{A}$$

$$A = (b + mh)h = (6 + 2 \cdot 2)2 = 20 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2} = 6 + 2 \cdot 2 \cdot \sqrt{1 + 2^2} = 14,94 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{20}{14,94} = 1,34 \text{ m}$$

$$\frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} = \frac{Q}{A}$$

$$\frac{1}{0,025} (1,34)^{\frac{2}{3}} \cdot (S)^{\frac{1}{2}} = \frac{65}{20}$$

Maka S (kemiringan saluran) = 0,0045

5. Penyelesaian:

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$A = (b + mh)h = (5 + 2 \cdot 2)2 = 18 \text{ m}^2$$

$$P = b + 2h \cdot \sqrt{1 + m^2} = 5 + 2 \cdot 2 \cdot \sqrt{1 + 2^2} = 13,94 \text{ m}$$

$$R = \frac{A}{P} = \frac{18}{13,94} = 1,29 \text{ m}$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{75}{18} = 4,17 \frac{\text{m}}{\text{detik}}$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

$$4,17 = \frac{1}{0,025} \cdot 1,29^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}$$

Maka S diperoleh = 0,0879

LEMBAR KERJA KB-4

LK-01

1. Jelaskan klasifikasi aliran pada saluran terbuka?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Apa yang dimaksud dengan aliran permanen dan tidak permanen ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Apa yang dimaksud dengan aliran seragam dan tidak seragam ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

4. Apa yang dimaksud dengan aliran laminar dan turbulen ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

5. Apa yang dimaksud dengan aliran kritis, sub kritis dan super kritis ?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

6. Bagaimana cara menentukan tipe aliran, apakah aliran laminar atau turbulen?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

LK-02

1. Jelaskan jenis-jenis saluran terbuka berdasarkan geometri penampang melintang

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Tuliskan persamaan-persamaan luas penampang basah, keliling basah, jari-jari hidrolis untuk berbagai bentuk geometri penampang melintang

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. Saluran irigasi berbentuk trapesium dengan kemiringan dinding 2, mempunyai kedalaman air 1,5 meter, lebar dasar 3 meter, koefisien kekasaran Manning $n = 0,025$. Hitung kemiringan dasar saluran jika debit yang mengalir sebesar $50 \text{ m}^3/\text{dt}$.

.....
.....
.....
.....
.....
.....

4. Saluran drainase berbentuk trapesium mengalirkan debit sebesar $15 \text{ m}^3/\text{det}$. Kemiringan dasar saluran $0,0025$. Dinding saluran dilining dengan koefisien kekasaran $n = 0,012$. Tentukan dimensi potongan melintang saluran

.....

.....

.....

.....

.....

.....

LK-03

1. Jelaskan pengertian aliran seragam? (jawaban dilengkapi dengan sket gambar)

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Terangkan pengertian aliran subkritik, kritik dan superkritik dilengkapi dengan contoh aliran dilapangan/bangunan air

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Buatlah kurva yang menjelaskan energy spesifik?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

4. Tentukan tipe aliran suatu saluran segiempat mempunyai lebar 2 m, kedalaman normal 0,75 m mengalirkan debit $15 \text{ m}^3/\text{dt}$

.....
.....
.....
.....
.....
.....

BAB VI

Kegiatan Pembelajaran 5

A. Judul

Prosedur, konsep, dan struktur intake

B. Tujuan

Setelah mempelajari materi ini, anda hendaknya dapat:

1. Menjelaskan pengertian dan jenis-jenis bangunan intake
2. Menjelaskan komponen bangunan intake
3. Menghitung kecepatan aliran, *headloss*, *minor losses*, *major losses*, dan luas penampang pipa
4. Merencanakan bangunan intake

C. Indikator Pencapaian Kompetensi

Menentukan prinsip aliran permukaan bebas untuk hidrolika terapan

D. Uraian Materi : Prosedur, konsep, dan struktur intake

1. Bangunan Intake dan Jenis-jenisnya

Bangunan intake berfungsi sebagai penyadap atau penangkap air baku yang berasal dari sumbernya, dalam hal ini sungai. Bangunan intake memiliki tipe yang bermacam-macam, diantaranya adalah :

a. *Direct Intake*

Digunakan untuk sumber air yang dalam seperti sungai atau danau dengan kedalaman yang cukup tinggi. Intake jenis ini memungkinkan terjadinya erosi pada dinding dan pengendapan di bagian dasarnya.

b. *Indirect Intake*

1) *River Intake*

Menggunakan pipa penyadap dalam bentuk sumur pengumpul. Intake ini lebih ekonomis untuk air sungai yang mempunyai

perbedaan level muka air pada musim hujan dan musim kemarau yang cukup tinggi.

2) *Canal Intake*

Digunakan untuk air yang berasal dari kanal. Dinding *chamber* sebagian terbuka ke arah kanal dan dilengkapi dengan pipa pengolahan selanjutnya.

3) *Reservoir Intake*

Digunakan untuk air yang berasal dari dam dan dengan mudah menggunakan menara intake. Menara intake dengan dam dibuat terpisah dan diletakkan di bagian hulu. Untuk mengatasi fluktuasi level muka air, maka inlet dengan beberapa level diletakkan pada menara.

c. *Spring Intake*

Digunakan untuk air baku dari mata air/air tanah.

d. *Intake Tower*

Digunakan untuk air permukaan dimana kedalaman air berada di atas level tertentu.

e. *Gate Intake*

Berfungsi sebagai *screen* dan merupakan pintu air pada prasedimentasi.

2. Komponen Intake

Beberapa hal di bawah ini merupakan komponen dari suatu intake, yaitu :

a. Bangunan sadap, yang berfungsi untuk mengefektifkan air masuk menuju sumur pengumpul.

b. Sumur pengumpul (*Sump well*)

Waktu detensi pada sumur pengumpul setidaknya 20 menit atau luas area yang cukup untuk pembersihan. Dasar sumur minimal 1 m di bawah dasar sungai atau tergantung pada kondisi geologis wilayah perencanaan. Konstruksi sumur disesuaikan dengan kondisi sungai dan setidaknya terbuat dari beton dengan ketebalan minimal 20 cm atau lebih tebal.

c. *Screen*

Screen terdapat pada inlet sumur pengumpul, berfungsi untuk menyaring padatan atau bentuk lainnya yang terkandung dalam air baku. Adapun dari jenis-jenis *screen* dibagi menjadi dua tipe berdasarkan perbedaan bukaan atau jarak antar bar, yaitu :

1) Saringan kasar (*coarse screen*)

Digunakan untuk menjaga alat-alat dan biasanya digunakan pada pengolahan pertama. Tipenya secara umum adalah *bara rack (bar screen)*, *coarse weir, screen*, dan *kominutor*.

2) Saringan halus (*fine screen*)

Bukaan berkisar antara 2,3 – 6 mm, bahkan untuk instalasi tertentu bisa lebih kecil dari 2,3 mm. Biasanya digunakan untuk *primary treatment* atau *pre treatment*.

Pembersihannya dapat dilakukan secara manual untuk *coarse screen* dan mekanis untuk *fine screen*. Berikut ini dapat dilihat faktor-faktor perencanaan *bar screen* :

- Jumlah batang (n) :

$$n = \frac{L \text{ screen} + 1}{W. \text{ Batang} + 1}$$

- Jumlah jarak antar batang (N) :

$$N = (n+1)$$

- Jarak antar tengah batang (L screen) :

$$L \text{ screen} = b + (0,5 \times w) \times 2$$

- Lebar bersih : Lebar bersih = L – (n x w)

- Jarak bersih antar kisi :

$$\text{Jarak bersih antar kisi} = \frac{\text{Lebar bersih}}{\text{Jumlah jarak antar barang}}$$

- Kecepatan melalui *screen* (v screen)

$$v. \text{ screen} = \frac{Q}{A. \text{ bukaan bersih}}$$

- *Headloss* melalui *screen* (*Hf screen*)

$$Hf \text{ screen} = \beta \times \left(\frac{w}{b} \right)^{4/3} \times h.v \times \sin \alpha$$

dimana :

- w = tebal batang (cm)
- b = jarak antar batang (cm)
- β = faktor bentuk batang
- Q = debit (m^3/dt)
- L = lebar intake, m
- n = jumlah batang
- N = jumlah jarak antar batang
- α = sudut bar terhadap horizontal

Pada tabel berikut dapat dilihat faktor dari masing-masing bentuk batang

Tabel 6.1. Faktor bentuk bar

Bentuk Bar	Faktor Bentuk (β)
Shape edge rectangular	2,42
Rectangular with semicircular up stream face circular	1,83
Circular	1,79
Rectangular with semicircular up stream and down stream face	1,67
Tear shape	0,76

d. Pompa intake (dengan *Bell Mouth Strainer*, pipa *suction*, *discharge*, *valve*, dan aksesoris lainnya)

1) *Strainer*

Untuk menyaring benda-benda yang terkandung dalam air baku, perlu direncanakan *strainer* pada ujung pipa *suction* pompa intake.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan, yaitu :

- Kecepatan melalui lubang *strainer* = 0,15 – 0,3 m/dt, dan dianjurkan untuk berada pada batas rendah untuk mencegah masuknya padatan dari dasar badan air.
- Bukaannya pada lubang *strainer* antara 6 – 12 mm.
- Luas area *strainer* adalah 2 kali dari luas total lubang.

Berikut ini dapat dilihat faktor-faktor perencanaan dari *strainer* :

- Diameter *strainer* (D) :
 - $D = 1,5 - 2 \times D_{suction}$
 - Jarak *strainer* dari dasar intake (s):
 - $s = \frac{1}{2} D_{strainer}$
 - Jarak ujung *strainer* ke permukaan air (S) :
 - $S = 1,5 \times D_{strainer}$
 - Jarak *strainer* ke dinding intake (x) :
- $$x = \frac{1}{4} D_{straine}$$

2) Pipa *Suction* dan *Discharge*

Kecepatan pada pipa *suction* antara 1 – 1,5 m/dt.

3) *Valve*

Valve harus dipasang pada perpipaan pompa agar mudah dalam pengontrolan aliran, penggantian, perbaikan, dan perawatannya.

3. Pompa Intake

Dalam perencanaan pompa intake, beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah :

- ❑ Fluktuasi level permukaan air sungai
- ❑ Kandungan padatan di sungai
- ❑ Besarnya arus sungai
- ❑ Kondisi fisik sungai

Adapun alternatif pemilihan jenis pompa intake adalah :

a. Pompa Sentrifugal (tidak terendam air)

Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah :

- 1) NPSH yang tersedia pada sistem. Hal ini berhubungan dengan level air. Pada saat level air maksimum, maka NPSH sistem yang tersedia cukup besar dari pada saat level air minimum. Hal ini mempengaruhi penempatan pompa karena *static suction head system* harus lebih kecil dari *static head* maksimum hasil perhitungan NPSH.
- 2) *Static suction head* yang berubah-ubah akibat adanya perubahan permukaan air sungai akan mempengaruhi

karakteristik sistem yang ada. Hal ini mempengaruhi kapasitas yang dialirkan.

- 3) Rumah pompa yang kedap air diperlukan terutama untuk daerah yang rawan banjir, karena motor akan terbakar jika terendam air.

b. Pompa Sentrifugal *Submersible*

Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah :

- 1) NPSH tidak terlalu menjadi masalah, karena pompa dan motor terendam air.
- 2) Pompa *submersible* harus terendam air hingga ketinggian tertentu dari level air sungai minimum. Hal ini dilakukan untuk mencegah terjadinya pusaran air pada permukaan air sungai jika ketinggiannya melebihi batas yang diisyaratkan. Pusaran air dapat menyebabkan masuknya udara ke dalam pompa dan terjadi kavitasi. Jika pompa tidak terendam air, maka pompa bisa terbakar.
- 3) Level air yang berubah-ubah menyebabkan perubahan pada karakteristik pompa.
- 4) Harga pompa *submersible* lebih mahal dari pada pompa sentrifugal biasa.

c. Pompa *Non Clogging*

Digunakan jika kandungan padatan tersuspensi air sungai sangat tinggi dan harus diperhatikan bahwa harga pompa jenis ini mahal.

4. Kriteria Disain

a. *Bell Mouth Strainer*

- Kecepatan melalui lubang *strainer* 0,15 – 0,3 m/dt
- Diameter lubang *strainer* 6 – 12 mm
- Luas total permukaan *strainer* = 2 x luas efektif

b. *Cylindrical Strainer*

- Kriteria desain sama dengan *bell mouth strainer*.
- Harus digunakan pada saat *head* air cukup tinggi di atas *strainer*.

- *Strainer* sebaiknya terletak 0,6 – 1 m di bawah level air terendah (jika tidak mempunyai lubang di bagian atas), sedangkan untuk *strainer* yang memiliki lubang sebaiknya 1 m di bawah level air terendah.
- c. Pipa gravitasi air baku
- Kecepatan aliran 0,6 – 1,5 m/dt untuk mencegah erosi dan sedimentasi.
 - Ukuran pipa disesuaikan agar V pada LWL $>$ 0,6 m/dt dan pada HWL $<$ 1,5 m/dt. Dengan mengetahui *head* dan kecepatan maka diameter pipa dapat ditentukan.
- d. *Suction Well (Intake Well)*
- Untuk mempermudah pemeliharaan sebaiknya sumuran ada 2 atau lebih.
 - Waktu detensi sekitar 20 menit atau sebaiknya sumuran cukup besar guna menjaga kebersihan air.
 - Dasar sumuran \pm 1 m dibawah dasar sungai atau 1,5 m di bawah LWL.
 - Sumuran berkonstruksi beton dengan tebal dinding 20 – 30 cm dan bersifat rapat air.
- e. Pipa *Suction* untuk pemompaan
- V pipa berkisar antara 1 – 1,5 m/dt
 - Perbedaan LWL dengan pompa tidak boleh lebih dari 3,7 m
 - Jika permukaan pompa lebih tinggi dari LWL maka jarak *suction* sebaiknya kurang dari 4 m.

5. Rumus-rumus Perhitungan

Rumus-rumus yang dipergunakan dalam perhitungan intake, yaitu :

- Rumus umum kecepatan (V)

$$V = Q / A$$

dimana : V = kecepatan (m/dt)

Q = debit (m^3/dt)

A = luas penampang (m^2)

- *Headloss* akibat kecepatan (H_v)

$$H_v = V^2 / 2g$$

dimana : $H_v = \text{minor losses (m)}$

$V = \text{kecepatan (m/dt)}$

$g = \text{pecepatan gravitasi (m}^2/\text{dt)}$

- *Minor Losses* (H_m)

$$H_m = k \cdot \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

dimana : $H_m = \text{minor losses (m)}$

$k = \text{koefisien kehilangan tinggi energi}$

$V = \text{kecepatan (m/dt)}$

$g = \text{pecepatan gravitasi (m}^2/\text{dt)}$

Tabel 6.2. Nilai k untuk Macam-macam Sambungan

Jenis Sambungan	Nilai k
<i>Standard Elbow</i>	0,9
<i>Standard Tee</i>	1,8
<i>Standard Valve</i>	2,5
<i>Standard Valve</i>	0,19
Sambungan antara pipa dan <i>reservoir</i>	0,01 - 1

- *Mayor Losses* dalam pipa menurut Hazen-William (H_f)

$$H_f = \frac{L \cdot Q^{1,85}}{(0,0015 \cdot C \cdot D^{2,63})^{1,85}}$$

dimana : $H_f = \text{mayor losses (m)}$

$L = \text{panjang pipa (m)}$

$Q = \text{debit (L/dt)}$

$C = \text{koefisien kekasaran pipa (C = 130 untuk pipa baru)}$

$D = \text{diameter pipa (cm)}$

- Luas penampang pipa (A)

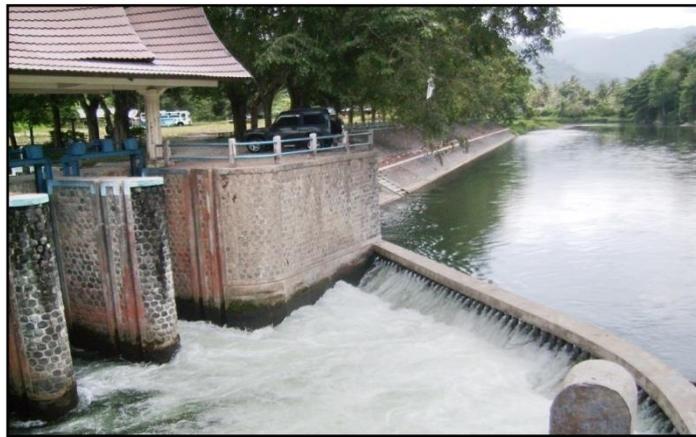
$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

dimana :

$d = \text{diameter pipa (m)}$

6. Bangunan Pengambilan (*intake*) Pada Irigasi

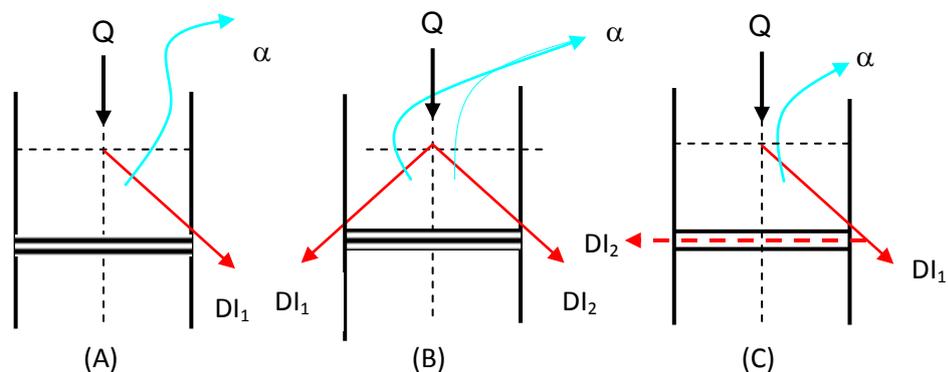
Bangunan Pengambilan pada Irigasi adalah bangunan yang digunakan untuk mengelakkan air agar masuk ke saluran irigasi. Diletakkan dekat bendung dan pada tikungan luar sebelah daerah irigasi yang akan dialiri, samping kiri atau kanan bendung atau keduanya (kiri dan kanan) jika suatu irigasi mempunyai dua daerah irigasi.



Gambar 6.1. Bangunan pengambilan bagian depan

Arah intake terhadap aliran sungai harus dibuat sedemikian rupa sehingga air aliran sungai dapat dengan mudah masuk melalui intake menuju jaringan saluran irigasi.

Berikut ini gambar arah intake terhadap aliran air sungai :



Gambar 6.2. Arah intake terhadap aliran sungai

Nilai α disarankan tidak boleh besar dari 60° ($\alpha < 60^\circ$), jika nilai $\alpha > 60^\circ$ maka koefisien pengaliran debit akan kecil dan sebaliknya jika nilai $\alpha < 60^\circ$ maka koefisien pengaliran debit akan menjadi besar.

Gambar (A) bendung dengan satu bangunan pengambilan. Gambar (B) bendung dengan 2 intake, diperlukan 2 pintu penguras, jika terjadi debit minimal (di bawah debit andalan sungai) akan terjadi kesulitan dalam pengaturan pembagian air, dibutuhkan 2 pilar dan bentang dari tubuh bendung menjadi pendek/berkurang.

Pengambilan air pada dua sisi, sebaiknya salah satu sisi lewat sipon pada tubuh bendung. Kapasitas dibuat 120% kebutuhan air sekarang, untuk fleksibilitas dan antisipasi penambahan kebutuhan.

Dengan besarnya kecepatan aliran air masuk tertentu dapat merupakan besaran dalam perencanaan normal, diharap butir sedimen dengan diameter tertentu dapat terbawa arus masuk pada aliran pengambilan. Mencari tinggi bukaan pintu maksimum dengan rumus hidrolis pada perhitungan bangunan pengambilan adalah :

$$Q = \mu.b.a.\sqrt{2.g.z}$$

Dimana :

- μ = koefisien pengaliran (nilainya tergantung harga α dan bentuk pemasukan – bulat atau bersudut)
- b = lebar intake (lebar bersih pintu intake)
- a = tinggi bukaan pintu
- g = percepatan gravitasi
- z = beda tinggi muka air dihilir dan hilir intake

Untuk menambah stabilitas bendung (bangunan utama) terhadap tenaga air yang merembes lewat bawah bendung maka dibuat lantai muka untuk mencegah adanya air yang melewati bawah bangunan.

Lantai intake/ambang dibuat lebih tinggi dari pada lantai depan bendung, dimaksudkan agar sedimen dasar (*bed load*) tidak dapat masuk ke

jaringan saluran. Tinggi/elevasi ambang (p) diambil berdasarkan angkutan sedimen dasar yang dibawa oleh aliran air sungai.

- 0,5 meter → sungai banyak mengandung lumpur
- 0,75 s/d 1,00 meter → sungai banyak mengandung kerikil
- 1,50 meter → sungai banyak mengandung batu

Lengkapi *sponning* untuk perbaikan. Puncak bukaan di bawah muka air hulu, agar benda terapung tidak masuk. Kalau sebaliknya harus dilengkapi saringan berupa kisi.

Dinding perantara pada bendung gunanya untuk membatasi material yang terbawa arus agar tidak membentur pintu pembilas tetapi terbawa arus meluap melewati mercu, dengan demikian pintu pembilas aman.

Dimensi intake yang direncanakan adalah :

- Debit (Q) rencana yang akan dialirkan
- Berapa tinggi ambang (p)
- Berapa besar atau nilai lebar pintu pengambilan (B) yang ditetapkan

Jika tinggi ambang (p) dibuat tinggi maka bisa mendapatkan lebar intake/lebar bersih pintu bertambah besar. Pengambilan nilai tinggi ambang (p) harus diperhatikan juga keserasian antara lebar dan tinggi dari pintu intake.

Ukuran pintu intake harus memperhatikan dari segi kepraktisan dalam pengoperasian, efisiensi dan juga segi estetika. Berikut ini standar ukuran pintu perbandingan tinggi pintu (h) dan lebar pintu (b)

- Ukuran kecil → b : h = 1 : 1
- Ukuran sedang → b : h = 1,5 : 1
- Ukuran besar → b : h = 2 : 1

Untuk menentukan jumlah pintu dihitung dengan persamaan berikut :

$$n = \frac{b}{b_{pa}}$$

Dimana :

n = jumlah pintu pengambilan

b = lebar bersih bukaan pintu pengambilan (m)

b_{pa} = lebar pintu pengambilan (m)

Lebar pintu dirancang sesuai dengan materil pintu yang akan digunakan. Untuk pintu dari kayu lebar maksimal = 2,0 m, dan pintu dai besi lebar maksimal = 1,5 m. Lebar pilar antar pintu dapat digunakan 0,5 – 1,5 m.

Di dalam perencanaan saluran induk agar debit air dapat memenuhi kebutuhan maka perlu mengetahui seberapa besar kebutuhan air di sawah dan berapa luas sawah yang akan dialiri, debit air tersebut disebut debit rencana. Besar debit rencana dihitung dengan persamaan :

$$Q = \frac{e.a.A}{c}$$

Dimana :

Q_r = debit rencana

e = efisiensi

a = kebutuhan air disawah (lt/dtk/ha)

A = luas (ha)

c = koefisien

Maka debit pengambilan :

$$Q_p = 1,2.Q_r$$

Untuk mencari dimensi saluran induk dapat menggunakan rumus :

$$A = \frac{Q}{V}$$

$$A = (b + m.h)h$$

$$P = b + 2h\sqrt{1 + m^2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

$$Q = \frac{1}{n}.R^{2/3}.I^{1/2}.A$$

E. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas 1 : Pengertian dan Jenis-jenis Bangunan Intake

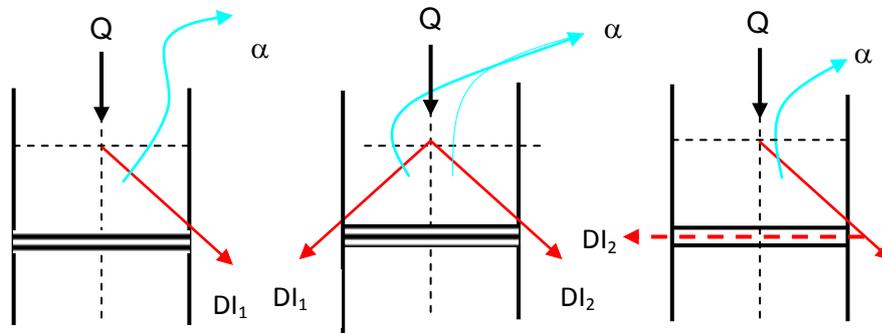
Silahkan anda untuk membaca materi bangunan intake dan mengamati jenis-jenis bangunan intake baik untuk irigasi, air baku atau lainnya!. Jawablah pertanyaan berikut untuk lebih memahami pengertian dan jenis bangunan intake:

1. Jelaskan jenis-jenis bangunan intake berdasarkan tipe dan sumber air yang diambil?
2. Jelaskan komponen-komponen intake?

Aktivitas 2 : Merencanakan Bangunan Intake

Sebagai contoh bangunan intake irigasi, baca dengan cermat langkah-langkah perhitungan hidrolis bangunan intake irigasi.

Hitung tinggi bukaan pintu maksimum dengan rumus hidrolis? Jelaskan kriteria-kriteria perencanaan bangunan intake irigasi berdasarkan pedoman buku kriteria perencanaan?



Berdasarkan gambar diatas jelaskan dengan sudut pengambilan terhadap arah aliran yang memberikan efektifitas yang tinggi?

Jawaban anda ditulis pada lembar kerja dilengkapi dengan pertimbangan-pertingan teknis.

F. Latihan/Kasus/Tugas

1. Diketahui data untuk perencanaan dimensi sumur pengumpul pada bangunan intake adalah debit air yang masuk ke sumur pengumpul (Q) =

281 L/dt, waktu detensi (t_d) = 5 menit = 300 detik, direncanakan $H = 5$ m, *freeboard* (f_b) = 0,3 m, saluran dari beton ($n = 0,015$), dengan tebal dinding 25 cm, dan sumur pengumpul direncanakan berbentuk persegi

2. Untuk Perancangan bangunan intake irigasi diketahui debit minimum sungai 24,6 m³/detik, Debit pengambilan 0,71 m³/detik. Hitung tinggi bersih pintu pengambilan (koefisien kontraksi pintu 0,9, tinggi tekanan 0,1 meter) !
3. Arah intake terhadap aliran sungai dibuat sedemikian rupa sehingga air aliran sungai dapat dengan mudah masuk melalui intake menuju jaringan saluran irigasi, jelaskan faktor yang harus diperhatikan dalam menentukan sudut arah intake.
4. Untuk merencanakan Pipa Penyadap pada bangunan Intake diketahui data sebagai berikut:
 - Q pipa = 281 L/dt = 0,281 m³/dt
 - V rencana = 1 m/dt
 - L pipa = 7,85 m (i) untuk H.W.L dan 5,35 m untuk L.W.L (ii)

Rencanakan pipa penyadap!

G. Rangkuman

Bangunan Intake adalah bangunan yang berfungsi sebagai penyadap atau penangkap air baku yang berasal dari sumbernya, dalam hal ini sungai. Bangunan intake memiliki tipe yang bermacam-macam, diantaranya adalah: *Direct Intake, Indirect Intake, Spring Intake, Intake Tower, dan Gate Intake.*

Beberapa komponen dari suatu intake, yaitu bangunan sadap, sumur pengumpul (*Sump well*), *screen*, saringan kasar (*coarse screen*), dan saringan halus (*fine screen*).

Bangunan Pengambilan pada Irigasi adalah bangunan yang digunakan untuk mengelakkan air agar masuk ke saluran irigasi. Diletakkan dekat bendung dan pada tikungan luar sebelah daerah irigasi yang akan dialiri, samping kiri atau kanan bendung atau keduanya (kiri dan kanan) jika suatu irigasi mempunyai dua daerah irigasi.

Untuk menghitung tinggi bukaan pintu maksimum dengan rumus hidrolis pada perhitungan bangunan pengambilan adalah :

$$Q = \mu.b.a.\sqrt{2.g.z}$$

Dimana :

μ = koefisien pengaliran

b = lebar intake (lebar bersih pintu intake)

a = tinggi bukaan pintu

g = percepatan gravitasi

z = beda tinggi muka air dihilu dan hilir intake

H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban latihan/tugas yang ada pada bahasan ini, hitunglah jawaban anda yang benar kemudian gunakan rumus ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi dalam bahasan ini.

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\Sigma \text{Jawaban yang benar}}{\text{jumlah soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang anda capai adalah :

90 % - 100 % : baik sekali

80 % - 89 % : baik

70 % - 79 % : cukup

60 % - 69 % : kurang

0 % - 59 % : gagal

Apabila anda mencapai tingkat penguasaan 80 % ke atas, maka anda dapat meneruskan dengan kegiatan belajar bahasan selanjutnya, tetapi jika tingkat penguasaan anda belum mencapai 80 %, maka anda harus mengulangi kegiatan belajar bahasan tersebut terutama pada bagian yang anda belum kuasai. Untuk mencapai pemahaman tersebut anda dapat melakukan pelatihan atau menghubungi narasumber pada saat pelatihan dan di luar waktu melalui media online

I. Kunci Jawaban

1. Penyelesaian :

- Luas (A) Sumuran : $\frac{Volume}{H} = \frac{Q \times td}{H} = \frac{0,281 m^3 \times 300 dt}{5m} = 16,86 m^2$

- Jika $p = l$, maka :
 $A = p \times l$
 $16,86 m^2 = l^2$
 $l = 4,1 m \rightarrow p = 4,1 m$

Jadi dimensi sumur pengumpul =

- 1) Kedalaman (H) + freeboard = 5 m + 0,3 m = 5,3 m
- 2) Panjang (p) + tebal dinding = 4,1 m + (2 x 0,25 m) = 4,6 m
- 3) Lebar (l) + tebal dinding = 4,1 m + (2 x 0,25 m) = 4,6 m

2. Penyelesaian:

$$Q = \mu \cdot b \cdot a \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot z} \quad (\text{direncanakan lebar pintu intake 1,5 meter})$$

$$0,71 = 0,9 \times 1,5 \times a \cdot \sqrt{2 \cdot (9,8)(0,1)}$$

$$a = 0,37 m$$

3. Jawaban:

- Angkutan sedimen
- Kemudahan dalam pengoperasian dan
- Kondisi topografi lokasi bending

4. Jawaban:

- $D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi \cdot V}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,281}{\pi \cdot 1}} = 0,6 m = 60 cm$ (sesuai pasaran)

- Kecepatan pada pipa suction

- $V = \frac{Q}{A} = \frac{0,281}{1/4 \cdot \pi \cdot (0,6)^2} = 1 m/dt$ OK!

- Hf yang terjadi pada pipa:

$$H_f = \frac{L \times Q^{1,85}}{(0,00155 \times C \times D^{2,63})^{1,85}}$$

$$= \frac{785 \times (281)^{1,85}}{(0,00155 \times 130 \times (60)^{2,63})^{1,85}} = 1,15 \text{ cm}$$

- Hf yang terjadi pada pipa:

- $$H_f = \frac{L \times Q^{1,85}}{(0,00155 \times C \times D^{2,63})^{1,85}}$$

- $$H_f = \frac{535 \times (281)^{1,85}}{(0,00155 \times 130 \times (60)^{2,63})^{1,85}} = 0,8 \text{ cm}$$

-

LEMBAR KERJA KB-5

LK-01

1. Jelaskan jenis-jenis bangunan intake berdasarkan tipe dan sumber air yang diambil?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Jelaskan komponen-komponen intake?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

LK-02

1. Hitung tinggi bukaan pintu maksimum dengan rumus hidrolis?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Jelaskan kriteria-kriteria perencanaan bangunan intake irigasi berdasarkan pedoman buku kriteria perencanaan?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. Jelaskan dengan sudut pengambilan terhadap arah aliran yang memberikan efektifitas yang tinggi?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

BAB VII

Kegiatan Pembelajaran 6

A. Judul

Konsep dasar hidrostatis untuk hidrolika terapan

B. Tujuan

1. Mencari besarnya gaya hidrostatis
2. Mencari gaya tekan air dari segala arah pada suatu titik yang bekerja pada bidang vertikal yang berada di bawah permukaan air
3. Mencari hubungan antara kedalaman benda yang terendam

C. Indikator Pencapaian Kompetensi

Menampilkan konsep dasar hidrostatis untuk hidrolika terapan

D. Uraian Materi Menampilkan konsep dasar hidrostatis untuk hidrolika terapan

1. Pengujian Tekanan Hidrostatis

Pengujian Tekanan Hidrostatis bertujuan untuk menentukan gaya hidrostatis dari air dan menyelidiki bagaimana hubungan antara tinggi air dan beban penyeimbang yang dipakai untuk menyeimbangkan lengan neraca. Pertama-tama dalam praktikum ini adalah menyiapkan alat-alat praktikum seperti menyeimbangkan bejana yang dipakai, menyiapkan beban penyeimbang mana yang dipakai, dll. Hal ini bertujuan agar pembacaan dapat lebih akurat. Benda yang tercelup atau yang terkena pengaruh gaya hidrostatis dan beban gantung berada pada satu lengan yaitu di sebelah kiri titik tumpu sementara di lengan seberangnya diatur beban penyeimbang. Lalu praktikan mengambil data tentang ukuran alat yang digunakan, yang ukuran tersebut nantinya akan dipakai untuk mencari gaya hidrostatis teoritis.

Percobaan ini sederhana, yang dilakukan dalam praktikum ini adalah *filling tank* dan *draining tank* atau mengisi dan mengurangi bejana dengan

air agar lengan neraca menjadi posisi seimbang per satuan beban yang dikaitkan atau dikurangi secara bertahap. Dalam praktikum ini, ketinggian air pada saat neraca seimbang dicatat setiap penambahan atau pengurangan beban 20 gram. Jadi ketika neraca menjadi tak seimbang akibat ditambah beban tertentu maka ditambahkan air sedemikian rupa sehingga neraca kembali seimbang. Begitu pula sebaliknya, ketika neraca menjadi tak seimbang karena dikurangi beban per 20 gram maka dikurangi air sedemikian rupa sehingga kembali seimbang. Karena arah momen dari beban gantung sendiri berlawanan dengan arah momen dari gaya hidrostatis. Percobaan ini dilakukan bergantian, pertama mengurangi beban bertahap lalu saat bebannya sebesar 50 gram ditambahkan lagi beban hingga beban semula yaitu 370 gram. Ketinggian air pun dicatat pada setiap posisi seimbang. Pada praktikum ini, dilakukan *filling* dan *draining* karena untuk mengambil data yang akurat mengenai tinggi airnya, karena dalam sekali pengambilan data mungkin saja bisa salah.

2. Tekanan pada Suatu Titik

Tekanan hidrostatis dapat dihitung dengan rumus:

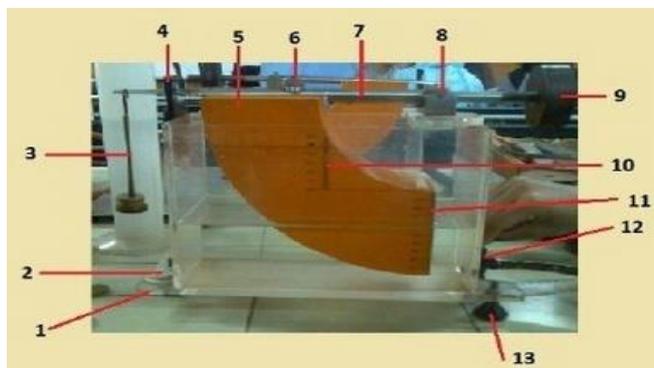
$$P = \rho \cdot g \cdot h$$

ρ = densitas dari air

g = gaya gravitasi ($g=9,81 \text{ m/detik}^2$)

h = jarak dari permukaan air

Pengujian dengan menggunakan alat : Meja hidrolika, Alat peraga tekanan hidrostatis, Beban, Mistar, dan Jangka sorong



Gambar 7.1. Praktek pengujian tekanan pada satu titik

Keterangan gambar::

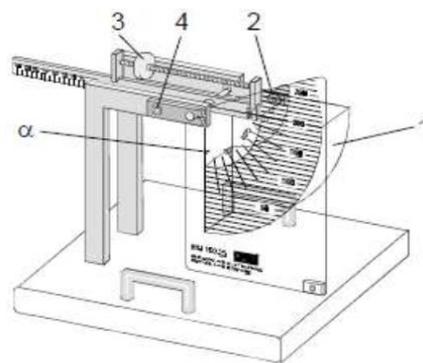
1. Bejana/tangki
2. Penyipat datar/nivo
3. Lengan piringan beban
4. Lengan timbangan
5. Benda kuadran
6. Sekrup pemegang lengan timbangan
7. Lengan timbangan
8. Poros tajam
9. Beban pengatur keseimbangan
10. Skala muka air
11. Bidang permukaan segiempat
12. Katup penguras
13. Kaki penyangga beruli

Prosedur Percobaan

a. Pusat Tekanan dengan posisi Bejana Air Vertikal

1) Seimbangkan posisi bejana dengan cara :

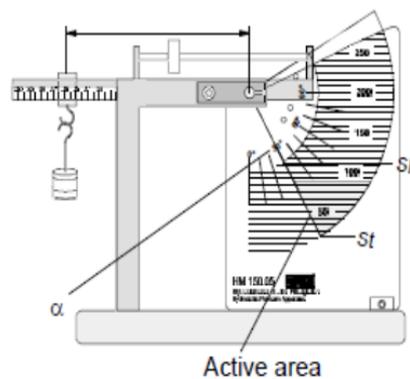
- Atur tangki air sampai sehingga sudut $\alpha = 0$ dengan menggunakan pengait (2) seperti terlihat pada gambar.



Gambar 7.2. Percobaan 1

- Gunakan *rider* (6), atur pada jarak $l = 150$ mm
 - Atur keseimbangan dengan menggunakan *slider* (3), letakkan *stopping* pada posisi yang tepat.
- 2) Lakukan pengukuran
- Isikan air ke dalam tangki air sampai mencapai posisi setimbang (posisi *stop pin* (4) pada lubang tengah)

- Catat ketinggian air (s)
 - Tambahkan beban dengan kenaikan 0.5 N sampai 1 N. Lakukan pengukuran hingga beberapa kali. Catat perubahan panjang lengan (l) dan beban tambahan (FG).
- 3) Tentukan titik pusat tekanan
 - 4) Tentukan gaya resultan
- b. Pusat tekanan dengan posisi bejana air dimiringkan
- 1) Ulangi prosedur 1.a untuk menyeimbangkan bejana. Atur posisi bejana air seperti ada gambar berikut ini:



Gambar 7.3. Percobaan 2

- 2) Catat pembacaan skala. Permukaan air paling rendah St dan permukaan air paling tinggi Sh dari permukaan aktif.
 - 3) Tentukan titik pusat tekanan
 - 4) Tentukan gaya resultan
4. Pengujian Benda Tenggelam Sebagian dan keadaan tenggelam seluruhnya

Setiap benda yang berada di dalam air akan mendapat tekanan tegak lurus permukaannya sebesar $\rho \cdot g \cdot h$ (ρ adalah massa jenis air) dengan letak titik kerjanya dari muka air adalah:

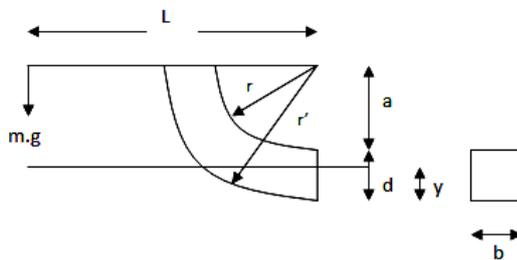
$$Z = \left[y + \frac{I}{A \cdot y} \right] \cdot \sin \theta$$

Dengan

ρ = massa jenis air

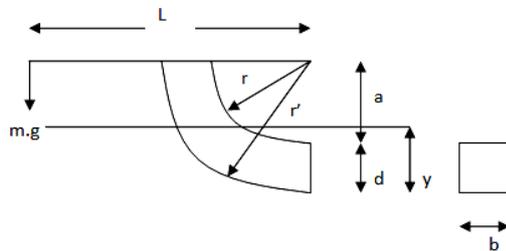
- g = percepatan gravitasi
- y = jarak titik berat bidang dari muka air
- A = luas permukaan bidang rata
- I = momen inersia bidang rata terhadap sumbu horizontal yang memotong titik berat bidang
- θ = sudut kemiringan bidang terhadap permukaan air
- Z = jarak titik kerja gaya dari muka air

Untuk keadaan tenggelam sebagian:



Gambar 7.4. Kondisi benda tenggelam sebagian

Untuk keadaan tenggelam seluruhnya



Gambar 7.5. Kondisi benda tenggelam seluruhnya

Prosedur pengujian:

- a) Mengukur panjang a , L , d , dan b pada alat peraga.
- b) Mengatur kaki penyangga agar bejana benar-benar datar.
- c) Meletakkan piringan beban pada ujung lengan timbangan.
- d) Mengatur beban pengatur keseimbangan sampai lengan timbangan kembali datar (seimbang).
- e) Meletakkan beban pada piringan beban.
- f) Menutup katup penguras dan mengisi bejana dengan air sedikit demi sedikit sampai lengan timbangan kembali mendatar.
- g) Mencatat ketinggian muka air (y) pada kolom data yang sesuai.

- h) Melakukan langkah e) s.d. g) sampai ketinggian muka air maksimum.
- i) Mengurangi beban, sesuai dengan penambahannya.
- j) Menurunkan muka air dengan membuka katup penguras sampai lengan timbangan kembali mendatar.
- k) Mencatat ketinggian muka air (y) pada kolom data yang sesuai.
- l) Melakukan langkah i) s.d. k) sampai ketinggian minimum.

E. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas 1 : Gaya Hidrostatik

Untuk dapat memahami dengan baik materi ini, anda harus membaca materi mengenai gaya-gaya hidrostatik dan mendiskusikan materi pendukung terutama konsep hidrostatika dengan membuktikan dalam bentuk praktikum.

Lakukan pengujian dengan menggunakan *filling tank* dan *draining tank*, buktikan bahwa gaya hidrostatik merupakan fungsi kedalaman air?

Hitung gaya-gaya hidrostatik yang bekerja pada luas dasar bidang yang berbeda-beda? Berikan resume dari hasil yang diperoleh?

Aktivitas 2 : Gaya Tekan Air pada Bidang Vertikal

Baca materi yang berhubungan gaya tekan air pada bidang vertikal beri resume dari materi yang anda baca.

Bagaimana anda menganalisa untuk bidang vertikal? berikan contoh bangunan air yang menggunakan konsep gaya tekan air bidang vertikal?

F. Latihan/Kasus/Tugas

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan Tekanan Hidrostatik !
2. Jelaskan apa yang dimaksud dengan Head Tekanan !
3. Jelaskan perbedaan *fluida compressible* dan *fluida incompressible* !
4. Berikan contoh-contoh penerapan tekanan hidrostatik !

G. Rangkuman

Pengujian Tekanan Hidrostatik ini bertujuan untuk menentukan gaya hidrostatik dari air dan menyelidiki bagaimana hubungan antara tinggi air dan beban penyeimbang yang dipakai untuk menyeimbangkan lengan neraca.

Tekanan pada suatu titik dalam fluida diam adalah sama dalam segala arah. Tekanan hidrostatik dapat dihitung dengan rumus:

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

Pengujian Benda tenggelam sebagian dan keadaan tenggelam seluruhnya, setiap benda yang berada di dalam air akan mendapat tekanan tegak lurus permukaannya sebesar $\rho \cdot g \cdot h$ (ρ adalah massa jenis air) dengan letak titik kerjanya dari muka air adalah:

$$Z = \left[y + \frac{I}{A \cdot y} \right] \cdot \sin \theta$$

H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban tugas yang ada pada bahasan ini, hitunglah jawaban anda yang benar kemudian gunakan rumus ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi dalam bahasan ini.

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\sum \text{Jawaban yang benar}}{\text{jumlah soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang anda capai adalah :

90 % - 100 % : baik sekali

80 % - 89 % : baik

70 % - 79 % : cukup

60 % - 69 % : kurang

0 % - 59 % : gagal

Apabila anda mencapai tingkat penguasaan 80 % ke atas, maka anda dapat meneruskan dengan kegiatan belajar bahasan selanjutnya, tetapi jika tingkat penguasaan anda belum mencapai 80 %, maka anda harus mengulangi kegiatan belajar bahasan tersebut terutama pada bagian yang anda belum kuasai. Untuk mencapai pemahaman tersebut anda dapat melakukan pelatihan atau menghubungi narasumber pada saat pelatihan dan di luar waktu melalui media online

I. Kunci Jawaban

1. Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang diakibatkan oleh gaya yang ada pada zat cair terhadap suatu luas bidang tekan pada kedalaman tertentu. Besarnya tekanan tergantung kepada ketinggian zat cair, massa jenis dan percepatan gravitasi.
2. *Head* tekanan adalah perbedaan *head* tekanan yang bekerja pada permukaan zat cair pada sisi tekan dengan *head* tekanan yang bekerja pada permukaan zat cair pada sisi isap.
3. *Fluida incompressible* (tidak termampatkan), yaitu fluida yang tidak dapat dikompresi atau volumenya tidak dapat ditekan menjadi lebih kecil sehingga massa jenisnya konstan. Contoh: Air. Sedangkan fluida *compressible* (termampatkan), yaitu fluida yang dapat dikompresi atau volumenya dapat ditekan menjadi lebih kecil sehingga massa jenisnya tidak konstan. Contoh: Gas nitrogen dan gas oksigen.
4. Contoh penerapan tekanan hidrostatik yaitu pada bendungan, kolam air, *reservoir*

LEMBAR KERJA KB-6

LK-01

1. Buktikan bahwa gaya hidrostatik merupakan fungsi kedalaman air?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Hitung gaya-gaya hidrostatik yang bekerja pada luas dasar bidang yang berbeda-beda? Berikan resume dari hasil yang diperoleh?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

LK-02

1. Bagaimana anda menganalisa untuk bidang vertikal?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Jelaskan contoh-contoh bangunan air yang menggunakan konsep gaya tekan air pada bidang vertikal?

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

BAB VIII

Kegiatan Pembelajaran 7

A. Judul

Konsep aliran dalam pipa untuk hidrolika terapan

B. Tujuan

1. Menentukan kehilangan tinggi tekan akibat gesekan dan kecepatan aliran air melalui pipa licin.
2. Menentukan bilangan *Reynolds* berdasarkan debit yang mengalir.
3. Menentukan jenis aliran dengan mempergunakan bilangan *Reynolds*.

C. Indikator Pencapaian Kompetensi

Menampilkan konsep aliran dalam pipa untuk hidrolika terapan

D. Uraian Materi Menampilkan konsep aliran dalam pipa untuk hidrolika terapan

1. Kehilangan Energi Aliran Pada Pipa

a. Gesekan aliran dalam pipa

Berdasarkan demonstrasi Osborne Reynolds terdapat dua tipe aliran dalam pipa:

- Aliran laminar pada kecepatan rendah dimana kehilangan tinggi tekan h_f merupakan fungsi kecepatan (u), (h dan u)
- Aliran turbulen pada kecepatan tinggi dimana (h dan u)
- Diantaranya terdapat aliran transisi dimana tidak terdapat hubungan h dan u yang jelas

b. Kehilangan tinggi tekan karena gesekan

Untuk pengaliran pipa penuh, kehilangan tinggi tekan karena gesekan (nH_2O) dapat dihitung dengan persamaan:

$$H_f = 4. f. V^2 / (2. g. d)$$

Dimana:

- d = diameter dalam pipa
- V = kecepatan rata-rata
- g = percepatan gravitasi
- f = koefisien gesekan / factor gesekan
- H_f = kehilangan gesekan

Untuk menentukan bilangan Reynolds diambil berdasarkan persamaan :

$$R_e = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

Di mana :

- ρ = *density* / kerapatan massa
- V = kecepatan rata-rata
- d = diameter pipa
- μ = *viskositas* / kekentalan mutlak

c. Hubungan antara f dan Re

1) Menurut Blasius ; bila e antara 750-25.000

$$f = 0,233 / R^{1.33}$$

2) Menurut Prantol van Karman ; bila e > 25.000

$$1 / f^{0.5} = 2 \cdot \log (R + f^{0.5}) + 0,4$$

3) Bila Re > 100.000

- Untuk pipa kasar

$$1 / f^{0.5} = 2 \cdot \log (R + f^{0.5}) + 0,4$$

$$\text{atau } 1 / f^{0.5} = 2 \cdot \log (R + f^{0.5}) - 0,8$$

- Untuk pipa halus

$$1 / f^{0.5} = 2 \cdot \log (Re / \Sigma) - 1,71$$

Di mana :

r = jari-jari pipa

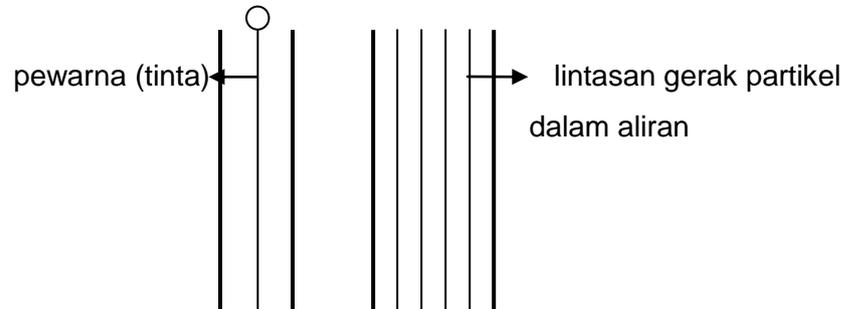
Σ = kekasaran permukaan

2. Jenis aliran Pada Pipa

Pada percobaan ini aliran yang diamati terdiri atas dua komponen yaitu air dan tinta hitam. Pesawat *Osborne Reynolds* digunakan untuk mengamati aliran fluida pada pengaliran dalam pipa atau aliran tertekan.

a. Aliran laminar

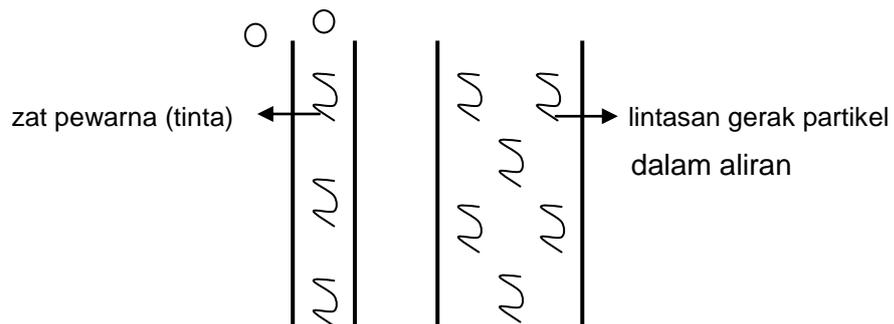
Kondisi aliran dengan garis-garis aliran mengikuti jalur yang sejajar sehingga tidak terjadi pencampuran antara bidang-bidang geser fluida.



Gambar 8.1. Aliran Laminer

b. Aliran turbulen

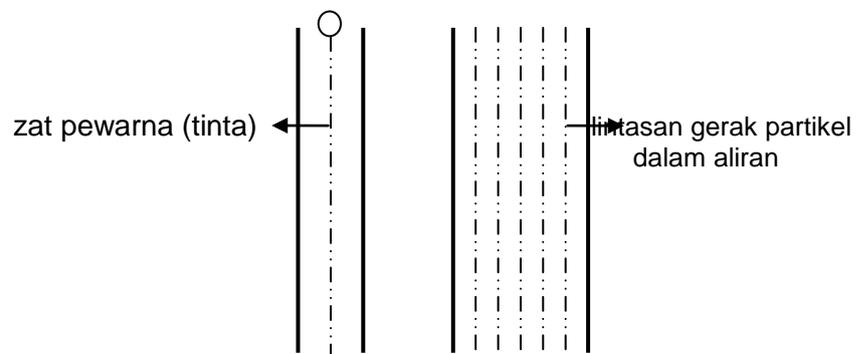
Aliran dengan garis-garis aliran yang saling bersilangan sehingga terjadi pencampuran antara bidang-bidang geser dalam fluida.



Gambar 8.2. Aliran Turbulen

c. Aliran transisi

Kondisi aliran peralihan dari aliran laminar menjadi aliran turbulen



Gambar 8.3. Aliran Transisi

Rumus-rumus yang digunakan :

a. Tentukan *viskositas* (μ) air dengan menggunakan data suhu pada tabel atau grafik.

b. Kecepatan

$$V = \frac{Q}{A}$$

c. Angka gesekan

$$\lambda = \frac{\Delta T \cdot \phi}{0,5 \cdot P \cdot V^2} \text{ atau } f = \frac{T}{0,5 \cdot P \cdot V^2}$$

d. Tegangan geser

$$\tau = \frac{f \cdot P \cdot V^2}{8}$$

e. Bilangan *Reynolds*

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

Dimana:

$Re < 2000$ = Aliran laminar

$2000 < Re < 4000$ = Aliran transisi

$Re > 4000$ = Aliran turbulen

3. Pengujian Penentuan Jenis Aliran melalui Pipa

Untuk menentukan jenis aliran melalui pipa pada pengujian di laboratorium (Percobaan Osborne Reynolds) berikut ini adalah langkah-langkah pengujiannya:

- Menstabilkan alat, lalu diperhatikan pada nivo (oleh instruktur).
- Memastikan saluran-saluran pemasukan dan pelimpah terpasang.
- Mengisi *reservoir* tinta dengan zat warna, kemudian menurunkan *injektor* zat warna sehingga ujungnya mencapai mulut "*inlet*" bagian atas.
- Menghidupkan/mengalirkan suplai air.
- Memastikan tinggi air yang konstan dengan terbuangnya aliran yang berlebihan pada saluran pelimpah.

- f. Membiarkan kondisi demikian hingga 5 menit, lalu mengukur suhu airnya dengan termometer.
 - g. Membuka katup pengontrol aliran sedikit demi sedikit dan atur katup jarum pengontrol zat warna sampai tercapai aliran laminar dengan zat warna, terlihat dengan jelas.
 - h. Menentukan besar debit yang lewat dengan menampung air yang lewat pipa pembuang selama selang waktu tertentu ke dalam gelas ukur.
 - i. Mengulangi prosedur di atas untuk debit (Q) yang berubah-ubah dari kecil (keadaan laminar) ke besar hingga tercapai aliran kritis dan turbulen.
 - j. Mengerjakan kebalikan dari proses di atas untuk debit yang berubah-ubah dari besar ke kecil hingga tercapai kembali kondisi transisi dan laminar.
 - k. Untuk mengetahui profil kecepatan, turunkan *injektor* zat warna ke dalam mulut inlet, dan dalam keadaan tidak ada aliran bukalah katup jarum dari *reservoir* zat warna dan teteskan zat warna dalam air. Bukalah katup pengontrol aliran dan amati tetesan zat warna tersebut.
 - l. Mengukur kembali temperatur pada setiap akhir percobaan.
 - m. Menggambar grafik hubungan antara kecepatan aliran (v) dan bilangan Reynolds (Re).
4. Pengujian Penentuan Kehilangan Energi Aliran melalui Pipa
- a. Atur selang penghubung pada katup-katup, peralatan atau konstruksi yang dikehendaki.
 - b. Tetapkan pipa yang akan diukur dan diamati, ukur jarak antara katup, ukur diameter dalam pipa.
 - c. Pastikan bahwa tabung air raksa manometer dalam keadaan bersih.
 - d. Hidupkan pompa, buka katup pengatur debit, baca ΔH pada manometer air raksa, atau tekanan kecil dapat dibaca pada manometer air, ukur volume per satuan waktu.
 - e. Ulangi percobaan untuk debit dan alat atau konstruksi lain.

E. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas 1 : Kehilangan Energi Aliran Pada Pipa

Untuk dapat memahami dengan baik materi ini, anda harus membaca materi mengenai kehilangan energi aliran pada pipa ditambah dengan materi pendukung dengan membuktikan dalam bentuk praktikum.

Dengan menggunakan alat uji demonstrasi Osborne Reynolds tentukan jenis aliran melalui pipa? (buktikan berdasarkan percobaan yang dilakukan Osborne Reynold)?

Jelaskan kehilangan energi mayor dan minor pada aliran pada pipa?

Aktivitas 2 : Jenis Aliran Mempgunakan Bilangan *Reynolds*.

Baca materi yang berhubungan menentukan jenis aliran melalui pipa pada pengujian di laboratorium (Percobaan Osborne Reynolds), beri resume dari materi yang anda baca. Lakukan langkah-langkah pengujiannya seperti yang terdapat pada meteri modul ini.

Mengapa dalam pengujian harus membedakan kekentalan zat cair? Apa pengaruh kecepatan aliran terhadap nilai Reynold?

F. Latihan/Kasus/Tugas

Data Hasil Percobaan dengan Diameter Pipa 13 mm dan Suhu 30°C, seperti pada tabel berikut:

Visual Aliran	Volume (ml)	Waktu (detik)		$t_{rata-rata}$ (detik)
		t_1	t_2	
Laminer	400	57,7	58,03	57,865
Transisi	400	7,83	7,73	7,78
Turbulen	400	5,43	6,08	5,755
Transisi	400	6,05	6,07	6,06
Laminer	400	81,18	81,04	81,11

Hitung debit aliran, Kecepatan aliran dan bilangan Reynolds (Re) !

G. Rangkuman

Semakin besar debit maka semakin besar pula bilangan Reynolds, dan besar kecilnya bilangan Reynolds dapat digunakan untuk menentukan jenis-jenis aliran.

Jenis-jenis aliran yaitu : Aliran Laminer, yaitu kondisi aliran dengan garis-garis aliran mengikuti jalur yang sejajar sehingga tidak terjadi pencampuran antara bidang-bidang geser fluida. Aliran Turbulen, yaitu kondisi aliran dengan garis-garis aliran yang saling bersilangan sehingga terjadi pencampuran antara bidang-bidang geser fluida. Aliran Transisi, yaitu kondisi aliran peralihan dari aliran Laminer menjadi aliran Turbulen, atau dari Turbulen menjadi Laminer.

H. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban tugas yang ada pada bahasan ini, hitunglah jawaban anda yang benar kemudian gunakan rumus ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi dalam bahasan ini.

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\sum \text{Jawaban yang benar}}{\text{jumlah soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang anda capai adalah :

90 % - 100 % : baik sekali

80 % - 89 % : baik

70 % – 79 % : cukup

60 % - 69 % : kurang

0 % - 59 % : gagal

Apabila anda mencapai tingkat penguasaan 80 % ke atas, maka anda dapat meneruskan dengan kegiatan belajar bahasan selanjutnya, tetapi jika tingkat penguasaan anda belum mencapai 80 %, maka anda harus mengulangi kegiatan belajar bahasan tersebut terutama pada bagian yang anda belum kuasai. Untuk mencapai pemahaman tersebut anda dapat melakukan

pelatihan atau menghubungi narasumber pada saat pelatihan dan di luar waktu melalui media online

I. Kunci Jawaban

1. Luas penampang:

$$A = \frac{1}{4} \pi \cdot D^2$$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (0,013)^2$$

$$A = 1,326 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$\text{Viskositas kinematik } (\nu) \text{ pada suhu } 30^\circ\text{C} = 8,04 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2/\text{det}$$

2. Menghitung debit (Q)

Diketahui:

$$\text{Volume (V)} = 400 \text{ ml} = 4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$t_{\text{rata-rata}} = 20,35 \text{ detik}$$

$$Q = \frac{V}{t_{\text{rata-rata}}}$$

$$Q = \frac{4 \cdot 10^{-4}}{20,35} = 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{detik}$$

3. Menghitung kecepatan (v)

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{1,96 \cdot 10^{-5}}{1,326 \cdot 10^{-4}} = 0,147 \text{ m/detik}$$

4. Menghitung bilangan Reynolds (Re)

$$Re = \frac{vD}{\nu}$$

$$Re = \frac{0,147 \cdot 0,013}{8,04 \cdot 10^{-7}}$$

$$Re = 2376,866$$

Bila $2000 < Re < 4000$, maka cairan dalam keadaan Transisi

LEMBAR KERJA KB-7

LK-01

1. Dengan menggunakan alat uji demonstrasi Osborne Reynolds tentukan jenis aliran melalui pipa? (buktikan berdasarkan percobaan yang dilakukan Osborne Reynold)?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Jelaskan kehilangan energi mayor dan minor pada aliran pada pipa?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

LK-02

1. Mengapa dalam pengujian harus membedakan kekentalan zat cair?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Apa pengaruh kecepatan aliran terhadap nilai Reynold?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

BAB IX

Kegiatan Pembelajaran 8

A. Judul

Prinsip aliran permukaan bebas untuk hidrolika terapan

B. Tujuan

1. Menentukan koefisien chezy (C)
2. Menentukan koefisien manning (n)
3. Dapat mengetahui debit aktual, bilangan Froude dan energi Spesifik

C. Indikator Pencapaian Kompetensi

Menampilkan prinsip aliran permukaan bebas untuk hidrolika terapan

D. Uraian Materi : Menampilkan Prinsip Aliran permukaan Bebas Untuk Hidrolika Terapan

1. Aliran Seragam dan Kemiringan Saluran

Aliran seragam (*uniform flow*) terjadi jika kecepatan aliran pada suatu waktu tertentu tidak berubah sepanjang saluran yang ditinjau. Syarat keberlakuan aliran seragam adalah :

- a. Kedalaman (y), luas penampang (A), kecepatan (v), dan debit (Q) sepanjang segmen saluran adalah konstan
- b. *Slope* energi, muka air, dan dasar saluran sejajar

Kemiringan saluran atau *slope* adalah kemiringan memanjang dasar saluran. Biasanya diatur oleh keadaan topografi dan tinggi energi yang diperlukan untuk mengalirkan air. Persamaan-persamaan yang berhubungan dengan aliran seragam dan kemiringan saluran adalah :

- a. Persamaan Chezy

$$V = C\sqrt{R.I}$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran (m/dtk)

C = konstanta tahanan aliran
R = jari-jari hidrolis (m)
I = *slope* energi

b. Persamaan Manning

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}}$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran (m/detik)
n = konstanta tahanan aliran
R = jari-jari hidrolis (m)
I = *slope* energi

c. Persamaan Reynold

$$R_e = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu} = \frac{V \cdot D}{\vartheta}$$

Dimana :

V = Kecepatan aliran (m/s)
R_e = bilangan Reynold
 ρ = *Densitas* (kg/m³)
D = Diameter hidrolis (4R) (m)
 ϑ = *viskositas* kinematik (N/m²)
 μ = *viskositas* dinamis (m²/s)

2. Langkah kerja pengujian di laboratorium

- a. Ukur temperatur air pada awal percobaan setelah hydraulic bench dinyalakan.
- b. Operasikan hydraulic bench dengan beban tertentu, catat beban yang digunakan dan waktu yang diperlukan untuk menaikkan bebannya.
- c. Kalibrasi alat pengukur kedalaman.
- d. Ukur lebar saluran terbuka.
- e. Ukur kedalaman di 6 titik sepanjang saluran (3 di hulu dan 3 di hilir dengan jarak yang sama) dengan menggunakan alat pengukur kedalaman. Catat posisi tiap titik (x).

- f. Lakukan percobaan sebanyak 5 variasi debit. Setiap kali variasi debit dilakukan tiga kali pengukuran waktu.
- g. Ukur temperatur air pada akhir percobaan.

3. Energi Spesifik

Loncatan hidrolis terjadi akibat pelepasan energi karena berubahnya kondisi aliran. Pelepasan energi pada aliran air terjadi akibat perubahan kondisi subkritis (sebelum pintu air), superkritis (sebelum loncatan dan subkritis (setelah loncatan). Sifat kritis aliran dapat diketahui dari bilangan Froude.

Karakteristik loncatan hidrolis :

- Kehilangan Energi (selisih energi spesifik sebelum dan sesudah loncatan hidrolis)
- Tinggi loncatan (selisih kedalaman air sebelum dan sesudah loncatan hidrolis)
- Perbandingan kedalaman akibat loncatan hidrolis (untuk menilai efektivitas loncatan hidrolis terhadap stabilitas aliran)
- Panjang loncatan (selisih posisi awal sebelum loncatan dan kedalaman stabil setelah mencapai subkritis)

Untuk mendapatkan nilai-nilai tersebut di atas di laboratorium dapat dilakukan pengujian untuk mendapatkan nilai-nilai tersebut. Adapun prosedur kerjanya adalah:

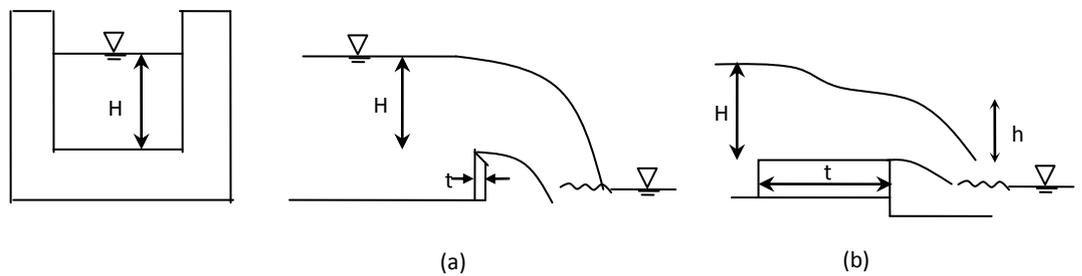
- a. Ukur suhu awal
- b. Jalankan Hydraulic Bench untuk memperoleh debit aktual
- c. Tempatkan sluice gate +/- 90 cm dari inlet sehingga membentuk loncatan hidrolis
- d. Atur bukaan sluice gate sehingga membentuk loncatan hidrolis
- e. Ukur panjang loncatan dan kedalaman aliran di 6 titik sesuai gambar
- f. Lakukan dengan 5 variasi debit
- g. Ukur suhu akhir

4. Peluap

Peluap didefinisikan sebagai bukaan pada salah satu sisi kolam atau tangki sehingga zat cair dalam kolam tersebut melimpah di atas perluap.

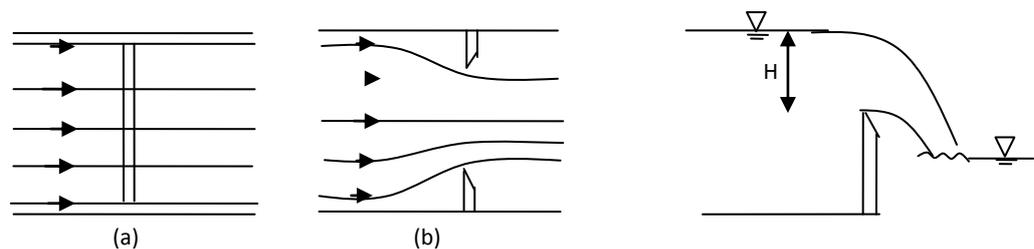
Lapis zat cair yang melimpas di atas ambang perluap disebut tinggi perluapan. Perluap biasanya digunakan untuk mengukur debit aliran misalnya pada bangunan irigasi, perluap digunakan pada saluran irigasi yang berfungsi untuk mengukur debit aliran melalui saluran.

Berdasarkan bentuk puncaknya, perluap dibagi atas ambang tipis dan ambang lebar. Disebut ambang tipis jika tebal perluap $t < 0,5 H$, dan disebut ambang lebar jika $t > 0,66$. Apabila $0,5H < t < 0,66H$ maka keadaan aliran tidak stabil.



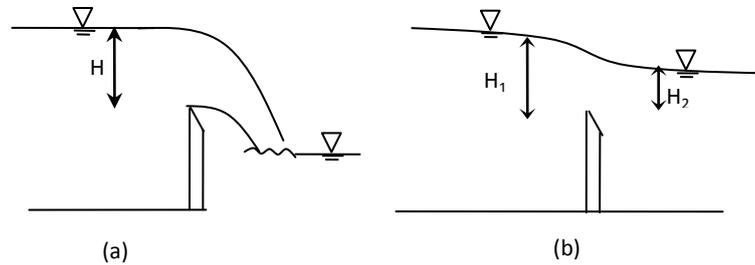
Gambar 9.1 Perluap ambang tipis (a), dan perluap ambang lebar (b)

Apabila panjang perluap sama dengan lebar kolam/saluran disebut perluap tertekan. Perluap tertekan biasanya berbentuk segi empat. Sedangkan apabila panjang perluap tidak sama dengan lebar kolam, maka perluapan mengalami kontraksi samping. Perluap tipe ini disebut perluap dengan kontraksi samping.



Gambar 9.2 Perluap tertekan (a) dan kontraksi samping(b)

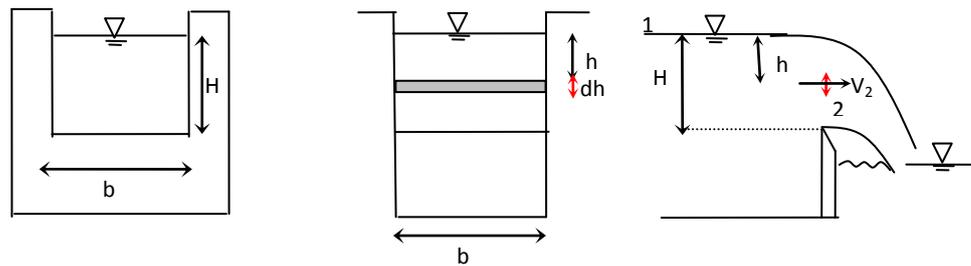
Berdasarkan elevasi muka air di hilir perluap dapat dibedakan menjadi perluap terjunan sempurna dan perluap terendam (terjunan tak sempurna). Perluap terjunan apabila muka air hilir di bawah puncak perluap sedangkan perluap terendam apabila muka air hilir di atas puncak perluap.



Gambar 9.3 Peluap terjuanan (a) dan peluap terendam (b)

5. Peluap segiempat

Menurut bentuknya, peluap dapat berupa di antaranya peluap segiempat. Pada peluap segiempat, air mengalir sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9.4 berikut, di mana b adalah lebar peluap, H adalah tinggi peluapan (tinggi air di atas peluap), C_d adalah koefisien debit.



Gambar 9.4 Peluap segiempat

Menggunakan persamaan Bernoulli, untuk titik 1 dan 2 (pada pias), maka:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} \quad (1)$$

Apabila di sebelah hulu peluap berupa kolam besar sehingga $v_1 = 0$ dan tekanan pada pias adalah atmosfer ($=0$) maka:

$$z_1 + 0 + 0 = z_2 + 0 + \frac{V_2^2}{2g} \quad (2)$$

atau :

$$v_2 = \sqrt{2g(z_1 - z_2)} = \sqrt{2gh} \quad (3)$$

Luas pias adalah:

$$dA=b dh \tag{4}$$

Debit melalui pias:

$$dQ = v_2 dA = \sqrt{2gh} b dh \tag{5}$$

$$dQ = b\sqrt{2g} h^{1/2} dh$$

dengan memasukkan koefisien debit ,maka debit aliran:

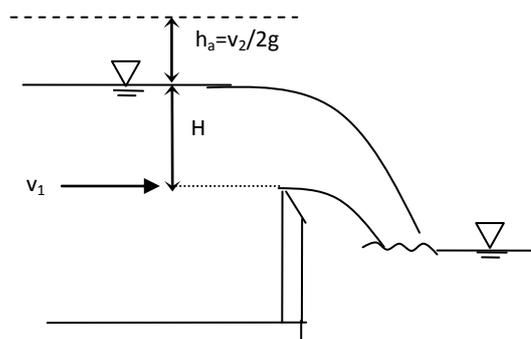
$$dQ = C_d v_2 dA = \sqrt{2gh} b dh \tag{6}$$

dengan mengintegrasikan persamaan 6.6, diperoleh debit total :

$$Q = \frac{2}{3} C_d b\sqrt{2g} H^{3/2} \tag{7}$$

Apabila air yang melalui peluap mempunyai kecepatan awal, maka tinggi peluapan harus ditambah dengan tinggi kecepatan $h_a = v^2/2g$, sehingga debit aliran menjadi :

$$Q = \frac{2}{3} C_d b\sqrt{2g} \left[(H + h_a)^{3/2} - h_a^{3/2} \right] \tag{8}$$

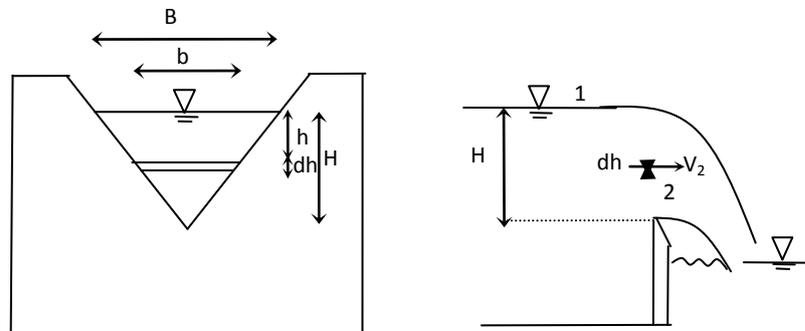


Gambar 9.5 Peluap segiempat dengan kecepatan awal

6. Peluap Segitiga

Peluap lainnya diantaranya berbentuk segitiga. Pada peluap segitiga, air mengalir sebagaimana ditunjukkan pada gambar 9.6 berikut, di mana H adalah tinggi peluapan (tinggi air di atas peluap) dan sudut peluap segitiga adalah α . Dari lebar tersebut lebar muka air adalah:

$$B = 2 H \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (9)$$



Gambar 9.6. Peluap segitiga

Dipandang pada pias setebal dh pada jarak h dari muka air, panjang pias tersebut adalah:

$$b = 2 (H - h) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad (10)$$

Luas pias:

$$dA = 2 (H - h) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} dh \quad (11)$$

Kecepatan air melalui pias:

$$v = \sqrt{2gh} \quad (12)$$

Debit aliran melalui pias:

$$dQ = C_d da \sqrt{2gh}$$

$$dQ = C_d 2(H - h) \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} dh \sqrt{2gh} \quad (13)$$

Dengan integrasi, diperoleh debit aliran melalui peluap segitiga:

$$Q = \frac{8}{15} C_d \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \sqrt{2g} H^{5/2} \quad (14)$$

Untuk sudut $\alpha = 90^\circ$, $C_d = 0,6$ dan percepatan gravitasi $g = 9,81 \text{ m/dt}^2$, maka debit aliran:

$$Q = 1,417 H^{5/2} \quad (15)$$

Dalam praktikum untuk menghitung debit saluran air dapat digunakan ambang lebar.

Dalam praktikum alat-alat yang digunakan antara lain:

- 1) *Multi purpose teaching flume*
- 2) Model ambang lebar/ *broad crester weir* (Model ini merupakan tiruan ambang lebar di saluran irigasi. Model ini terbuat dari *glass reinforced plastic* yang berbentuk prisma segi empat dengan punggung dibuat *streamline*. Konstruksi ini pada umumnya banyak digunakan di lapangan untuk mengukur debit di saluran terbuka, karena akan memberikan akurasi dan keandalan pengukuran, disamping juga kemudahan dalam pembuatan konstruksi dan perawatannya)
- 3) *Point gauge*
- 4) Mistar/ pita ukur
- 5) Ember plastik
- 6) *Stop wacth*
- 7) Gelas ukur

Berikut ini langkah-langkah praktikum untuk melihat fenomena aliran diatas ambang lebar pada aliran permukaan bebas:

- 1) Pasanglah ambang lebar pada model saluran terbuka.
- 2) Alirkan air kedalam model saluran terbuka.
- 3) Ukurlah debit aliran sampai 3 kali untuk 1 bukaan.
- 4) Catat harga h , Y_o , Y_c , Q , Y_t .
- 5) Amati aliran yang terjadi.
- 6) Gambar profil aliran yang terjadi.
- 7) Ulangi percobaan untuk variasi debit yang lain.
- 8) Menghitung harga C_d & C_v
- 9) Membuat grafik : C_d dan Q , C_v dan Q , v dan Q
- 10) Titik-titik pada grafik tersebut dihubungkan dengan garis yang dibuat dari suatu persamaan regresi.
- 11) Mencari bahasan dari hasil grafik, mengambil kesimpulan antara hubungan variabel tersebut.
- 12) Menentukan tingkat kekritikan aliran dengan menghitung angka *froud* untuk setiap percobaan (sebelum, di atas & sesudah ambang).

13) Persamaan tambahan yang bisa dipakai menghitung kecepatan aliran

$$(v) : V = \frac{Q}{A}$$

Sementara untuk pengujian ambang segitiga langkah kerja praktikumnya adalah:

- 1) Memasang alat ukur debit model segitiga pada model saluran terbuka.
- 2) Mengalirkan air pada mode saluran terbuka.
- 3) Menghitung V dan t.
- 4) Mengamati pengaliran yang terjadi.
- 5) Mencatat harga H yang terjadi.
- 6) Menghitung debit yang terjadi
- 7) Mengulangi percobaan diatas dengan variasi debit yang lain.

E. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas 1 : Menentukan Aliran dengan Persamaan Chezy dan Manning

Setelah anda mencermati materi kegiatan pembelajaran prinsip aliran permukaan bebas, maka pada aktivitas ini anda mendiskusikan bagaimana cara menentukan kecepatan aliran dengan persamaan-persamaan Chezy dan Manning. Untuk kegiatan ini anda harus menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

1. Bagaimana cara pengujian untuk menentukan koefisien Chezy dan Manning?
2. Jelaskan persamaan-persamaan kecepatan aliran dengan Chezy dan Manning
3. Apa pengaruh temperatur air pada pengujian aliran pada permukaan bebas?

Aktivitas 2 : Pengujian Untuk Energi Spesifik.

Setelah anda mencermati pengujian untuk mendapatkan energi spesifik pada aliran permukaan bebas, maka pada aktivitas ini anda mendiskusikan bagaimana cara menentukan energi spesifik dengan pengujian dilaboratorium.

Untuk kegiatan ini anda harus menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut dan jawaban anda ditulis pada lembar kerja yang tersedia.

1. Mengapa harus dilakukan pengukuran suhu pada pengujian? Apa pengaruhnya terhadap kecepatan aliran?
2. Loncatan air yang terjadi pada model *sluice gate* diakibatkan oleh perubahan jenis aliran apa? Menjadi aliran apa?
3. Jelaskan bangunan-bangunan air yang menggunakan prinsip energi spesifik?

F. Latihan/Kasus/Tugas

1. Sebuah peluap dengan panjang 0,75 m dibangun pada saluran segiempat dengan tinggi peluapan 0,3 m, jika koefisien debit $C_d = 0,62$ berapakah debit yang melalui peluap tersebut
2. Dengan kondisi yang sama dengan contoh 1, namun mempunyai kecepatan awal 0,5 m/dt, maka hitunglah debit yang melalui peluap.
3. Peluap segitiga dengan sudut $\alpha = 60^\circ$ digunakan pada suatu saluran untuk mengukur debit aliran. Jika diketahui tinggi peluapan $H = 30$ cm dan $C_d = 0,63$ maka hitunglah debit alirannya.

4. Rangkuman

Aliran seragam (*uniform flow*) terjadi jika kecepatan aliran pada suatu waktu tertentu tidak berubah sepanjang saluran yang ditinjau.

Kemiringan saluran atau *slope* adalah kemiringan memanjang dasar saluran. Biasanya diatur oleh keadaan topografi dan tinggi energi yang diperlukan untuk mengalirkan air.

Persamaan-persamaan yang berhubungan dengan aliran seragam dan kemiringan saluran antara lain persamaan Chezy, persamaan Manning, dan persamaan Reynold.

Loncatan hidrolis terjadi akibat pelepasan energi karena berubahnya kondisi aliran. Pelepasan energi pada aliran air terjadi akibat perubahan kondisi

subkritis (sebelum pintu air), superkritis (sebelum loncatan dan subkritis (setelah loncatan). Sifat kritis aliran dapat diketahui dari bilangan Froude.

5. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Cocokkan jawaban anda dengan kunci jawaban tes formatif yang ada pada bahasan ini, hitunglah jawaban anda yang benar kemudian gunakan rumus ini untuk mengetahui tingkat penguasaan anda terhadap materi dalam bahasan ini.

$$\text{Tingkat Penguasaan} = \frac{\sum \text{Jawaban yang benar}}{\text{jumlah soal}} \times 100\%$$

Arti tingkat penguasaan yang anda capai adalah :

90 % - 100 % : baik sekali

80 % - 89 % : baik

70 % – 79 % : cukup

60 % - 69 % : kurang

0 % - 59 % : gagal

Apabila anda mencapai tingkat penguasaan 80 % ke atas, maka anda dapat meneruskan dengan kegiatan belajar bahasan selanjutnya, tetapi jika tingkat penguasaan anda belum mencapai 80 %, maka anda harus mengulangi kegiatan belajar bahasan tersebut terutama pada bagian yang anda belum kuasai. Untuk mencapai pemahaman tersebut anda dapat melakukan pelatihan atau menghubungi narasumber pada saat pelatihan dan di luar waktu melalui media online.

6. Kunci Jawaban

1. Penyelesaian

$$Q = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} H^{3/2}$$

$$Q = \frac{2}{3} \times 0,62 \times 0,75 \times \sqrt{2 \times 9,81} \times 0,3^{3/2}$$

$$Q = 0,2256 \text{ m}^3 / \text{dtk}$$

2. Penyelesaian:

$$Q = \frac{2}{3} C_d b \sqrt{2g} \left[(H + h_a)^{3/2} - h_a^{3/2} \right]$$

$$h_a = \frac{v^2}{2g} = \frac{0,75^2}{2 \times 9,81} = 0,0287m$$

$$Q = \frac{2}{3} \times 0,62 \times 0,75 \times \sqrt{2 \times 9,81} \left[(0,3 + 0,0287)^{3/2} - 0,0287^{3/2} \right]$$

$$Q = 0,252m^3 / dtk$$

3. Penyelesaian:

$$Q = \frac{8}{15} C_d t g \frac{\alpha}{2} \sqrt{2g} H^{5/2}$$

$$Q = \frac{8}{15} \times 0,63 \times t g 30 \sqrt{2 \times 9,81} \times 0,3^{5/2}$$

$$Q = 0,04236m^3 / dtk$$

LEMBAR KERJA KB-8

LK-01

1. Bagaimana cara pengujian untuk menentukan koefisien Chezy dan Manning?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Jelaskan persamaan-persamaan kecepatan aliran dengan Chezy dan Manning

.....

.....

.....

.....

.....
.....

3. Apa pengaruh temperatur air pada pengujian aliran pada permukaan bebas?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

LK-02

1. Mengapa harus dilakukan pengukuran suhu pada pengujian? Apa pengaruhnya terhadap kecepatan aliran?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

2. Loncatan air yang terjadi pada model *sluice gate* diakibatkan oleh perubahan jenis aliran apa? Menjadi aliran apa?

.....
.....
.....
.....
.....
.....

3. Jelaskan bangunan-bangunan air yang menggunakan prinsip energi spesifik?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

EVALUASI

Pada bagian evaluasi ini, ada 3 jenis latihan yang akan diberikan untuk mengukur kemampuan anda, yaitu:

A. Kognitif skill

1. Jelaskan konsep hidrostatis, konsep aliran melalui pipa, konsep aliran air melalui permukaan bebas (saluran terbuka), dan prosedur konsep bangunan intake
2. Hitung gaya tekanan pada hidrostatis, tekanan pizometer
3. Hitung Debit aliran air melalui pipa, rencanakan dimensi pipa dengan debit tertentu dan hitung kehilangan energi primer dan sekunder aliran yang melalui pipa.
4. Hitung debit aliran melalui saluran terbuka, rencanakan dimensi saluran terbuka dan kapasitas aliran saluran terbuka serta perencanaan saluran ekonomis.
5. Rencanakan bangunan pengambilan (intake) berdasarkan kebutuhan air yang diperlukan.

B. Psikomotor Skill

1. Lakukan perancangan konstruksi bangunan yang berhubungan dengan hidrostatis (bak air, pintu air dan lain-lain)
2. Lakukan perancangan konstruksi aliran pada pipa dan aliran saluran terbuka (seperti perancangan jaringan pipa, perancangan saluran irigasi dan drainase serta perancangan bangunan intake).

C. Attitude Skill

Sebagai seorang guru bagaimana anda dalam melakukan perhitungan dan perancangan mulai dari bangunan-bangunan air yang tidak bergerak (hidrostatis) maupun aliran yang bergerak. Bagaimana cara anda menanamkan rasa ketaqwaan kepada tuhan yang maha esa, rasa tanggung jawab, dan rasa kejujuran terutama dalam perancangan bangunan-bangunan tersebut.

PENUTUP

1. Modul pasca UKG (Ujian Kompetensi Guru) yang membahas tentang penguasaan materi, struktur, konsep, dan pola pikir keilmuan diharapkan dapat berguna bagi anda dalam mengembangkan kompetensi dan meningkatkan kemampuan anda pada level berikutnya. Topik grade 8 mata pelajaran plambing dan sanitasi, merupakan topic dengan harapan dapat merencanakan bangunan air baik air diam atau air bergerak ditambah dengan bangunan intake sesuai spesifikasi teknis dan persyaratan yang berlaku merupakan dasar bagi topik-topik di grade berikutnya, maka dari itu dengan menguasai materi, struktur, konsep, dan pola pikir keilmuan yang mendukung mata pelajaran yang diampu anda bisa melanjutkan ke garde selanjutnya.
2. Anda dapat mengembangkan materi-materi berkaitan dengan penguasaan materi, struktur, konsep, dan pola pikir keilmuan yang tidak ada dalam modul ini. Modul ini masih butuh pengembangan sesuai dengan perkembangan ilmu pengetahuan dari hari ke hari.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anggrahini., 1996, "*Hidrolika saluran Terbuka*", CV. Citra Media, Surabaya.
2. Chow, V.T., 1992, "*Hidrolika saluran Terbuka*", Erlangga, Jakarta
3. Douglas. J.F., Gasiorek, J.M., Swaffield, J.A., 1986 "*Fluid Mechanics*", Longman Group Ltd, Longman Haouse, Burnt Mill, Marlow Essex CM 20 2JE, England
4. Kodoatie, Robert J, 2009, "*Hidrolika Terapan Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa*", Penerbit Andi Edisi Revisi, Yogyakarta.

5. Makrup, T., 2001, "*Dasar-dasar Analisis Aliran di Sungai dan Muara*", UII Pres, Yogyakarta.
6. Maryono, A., Muth, W., Eisenhauer, N., 2002, "*Hidrolika Terapan*", PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
7. Nalluri, C., Featherstone, R.E., 1995, "*Civil Engineering Hydraulics*", Blackwell Science, London.
8. Ridwan. (2014). "*Kata Kerja Operasional (KKO) K-13*" Diakses tanggal 9 Desember 2015 dari <https://ridwan202.wordpress.com>
9. Simon, A.L., 1981, "*Practical Hydraulics*", Jhon Wiley & Sons New York.
10. Triatmodjo, B., 1996, "*Hidrolika I*", Beta Offset, Yogyakarta.
11. Triatmodjo, B., 1996, "*Hidrolika II*", Beta Offset, Yogyakarta.