



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
DIREKTORAT JENDERAL GURU DAN TENAGA KEPENDIDIKAN
2016

MODUL GURU PEMBELAJAR

Paket Keahlian Teknik Produksi Minyak dan Gas

**Pedagogik : Menyusun Rancangan Pembelajaran
Profesional : Menghitung Faktor-Faktor Produksi Sumur Flowing**

**KELOMPOK
KOMPETENSI**





MODUL GURU PEMBELAJAR

Paket Keahlian Teknik Produksi Minyak dan Gas

Penyusun :

**Suratno, ST
SMKN 3 Mandau
suratno_rheno@yahoo.com
081392073326**

Reviewer :

**Tommy Erfando, ST., MT
T. Minyak UIR Riau
tomierfando@eng.uir.ac.id
0761-72126**

**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 Guru Pembelajar.

Pedoman Penyusunan Modul Diklat Guru Pembelajar Bagi Guru dan Tenaga Kependidikan merupakan petunjuk bagi penyelenggara pelatihan di dalam melaksanakan pengembangan modul. Pedoman ini disajikan untuk memberikan informasi tentang penyusunan modul sebagai salah satu bentuk bahan dalam kegiatan Guru Pembelajar 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 pedoman ini, mudah-mudahan pedoman ini dapat menjadi acuan dan sumber informasi bagi penyusun modul, pelaksanaan penyusunan modul, dan semua pihak yang terlibat dalam penyusunan modul diklat GP.

Jakarta, Maret 2016
Direktur Jenderal Guru dan Tenaga
Kependidikan,

Sumarna Surapranata, Ph.D,
NIP 19590801 198503 1002

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Tujuan	2
C. Peta Kompetensi	2
D. Ruang Lingkup	3
E. Saran Cara Penggunaan Modul	3
BAB II	4
Kompetensi Pedagogik	4
A. Tujuan	4
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	4
C. Uraian Materi	4
D. Aktivitas Pembelajaran	13
E. Latihan/Kasus/Tugas	13
F. Rangkuman	14
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut	15
G. Kunci Jawaban	16
BAB III	29
Kompetensi Profesional	29
Kegiatan Pembelajaran 1	29
A. Tujuan	29
B. Indikator Pencapaian Kompetensi	29
C. Uraian Materi	29

D. Aktivitas Pembelajaran.....	44
E. Latihan/Kasus/Tugas.....	57
F. Rangkuman.....	57
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut.....	57
Kegiatan Pembelajaran 2.....	60
A. Tujuan.....	60
B. Indikator Pencapaian Kompetensi.....	60
C. Uraian Materi.....	60
D. Aktivitas Pembelajaran.....	120
E. Latihan/Kasus/Tugas.....	128
F. Rangkuman.....	128
G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut.....	129
Kunci Jawaban.....	131
Evaluasi	133
PENUTUP.....	134
DAFTAR PUSTAKA.....	135

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Judul	Halaman
1	Bentuk ujung pipa	33
2	Grafik kehilangan tekanan pada pipa tegak	61
3	<i>Grafik Pressure Gradient</i>	63
4	<i>Aliran choke</i>	64
5	<i>Positif choke</i>	64
6	<i>Adjustable Choke</i>	65
7	Grafik IPR Aliran 1 (satu) fasa cair	68
8	Grafik IPR aliran 2 fasa (minyak dan gas)	69
9	Pola Aliran Menurut <i>Beggs dan Brill</i>	80
10	Liquid Hold-Up Versus Sudut Kemiringan Pipa	81
11	Sistem Aliran Fluida dalam Pipa	90
12	Konfigurasi Aliran Fluida pada Pipa Miring	94
13	Kurfa Faktor Gesekan	100
14	Kurfa Faktor Gesekan untuk Aliran Turbulen	101
15	Perbandingan Perhitungan Viskositas Campuran	104

DAFTAR TABEL

Tabel	Judul	Halaman
1	<i>Minimum Specified Yield Strength</i> – psi	34
2	Konstanta C_n untuk Masing-Masing A_n	75
3	Metoda-Metoda Perkiraan Kehilangan Tekanan dan Anggapan yang Digunakan	77
4	Range Parameter-Parameter Korelasi Beggs dan Brill	78
5	Batasan Pola Aliran Oleh Beggs dan Brill	81
6	Konstanta untuk Penentuan Liquid Hold-Up	83
7	Konstanta d, e, f, dan g Untuk Menghitung Harga C	83

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pendidik merupakan komponen dari 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 Guru Pembelajar (GP) adalah pengembangan kompetensi Guru dan Tenaga Kependidikan yang dilaksanakan sesuai dengan kebutuhan, bertahap, dan berkelanjutan untuk meningkatkan profesionalitasnya.

Guru Pembelajar 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 GP akan mengurangi kesenjangan antara kompetensi yang dimiliki guru dan tenaga kependidikan dengan tuntutan profesional yang dipersyaratkan.

Guru dan tenaga kependidikan wajib melaksanakan GP baik secara mandiri maupun kelompok. Khusus untuk GP dalam bentuk pembelajaran dilakukan oleh lembaga pelatihan sesuai dengan jenis kegiatan dan kebutuhan guru. Penyelenggaraan pembelajaran GP 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, latihan – latihan, tugas - tugas dan cara mengevaluasi yang disajikan secara sistematis dan menarik

untuk mencapai tingkatan kompetensi yang diharapkan sesuai dengan tingkat kompleksitasnya.

Oleh karena itu dibuatlah Modul Guru Pembelajaran Mata Pelajaran Teknik Produksi Migas Kelompok Kompetensi D bagi guru dan tenaga kependidikan pasca UKG untuk Sekolah Menengah Kejuruan dalam bidang Keahlian Teknik Produksi Migas. Modul ini dibuat untuk dijadikan bahan pelatihan yang diperlukan oleh guru Teknik Produksi Migas pasca UKG dalam melaksanakan kegiatan GP. Selain itu modul ini juga dijadikan sebagai bahan belajar oleh para guru maupun tenaga kependidikan Teknik Produksi Migas untuk meningkatkan kompetensi dalam bidang Produksi Migas.

B. Tujuan

Tujuan disusunnya Modul Guru Pembelajaran Mata Pelajaran Teknik Produksi Migas Kelompok Kompetensi D adalah memberikan pemahaman bagi para guru maupun tenaga kependidikan sekolah kejuruan pasca UKG bidang keahlian Teknik Produksi Migas.

C. Peta Kompetensi

Manfaat disusunnya Modul Guru Pembelajaran Mata Pelajaran Teknik Produksi Migas Kelompok Kompetensi D adalah untuk dijadikan acuan bagi instansi penyelenggara pelatihan dalam melaksanakan peningkatan dan pengembangan kemampuan Guru dan Tenaga Kependidikan pasca UKG.

1. Memastikan peran dan tanggung jawab Guru dan Tenaga Kependidikan atau penyedia layanan belajar maupun yang lainnya dalam mengembangkan ilmu pengetahuan dan teknologi khususnya dalam bidang Produksi Migas
2. Menjadi acuan dalam menyusun dan mengembangkan tingkat kemampuan guru Teknik Produksi Migas untuk kegiatan UKG berikutnya.
3. Menghasilkan guru –guru yang memiliki keprofesionalan dalam bidang Teknik Produksi Migas yang diampuh.

D. Ruang Lingkup

Ruang Lingkup penyusunan Modul Guru Pembelajaran Mata Pelajaran Teknik Produksi Migas Kelompok Kompetensi D yang berisi pengertian dan manfaat modul, ruang lingkup, saran cara penggunaan modul, indikator pencapaian kompetensi, uraian materi, aktivitas pembelajaran, latihan/tugas/kasus, rangkuman umpan balik/ tindak lanjut dan kunci jawaban, yang semua itu nantinya bisa mempermudah para guru Teknik Produksi Migas pasca UKG untuk meningkatkan kemampuannya.

E. Saran Cara Penggunaan Modul

Saran Cara Penggunaan Modul Guru Pembelajaran Mata Pelajaran Teknik Produksi Migas Kelompok Kompetensi D ini sebaga berikut:

1. Bacalah terlebih dahulu keseluruhan isi modul.
2. Pahami setiap materi yang terdapat pada uraian materi.
3. Pahami semua contoh – contoh soal yang terdapat pada uraian materi.
4. Kerjakanlah semua tugas/kasus maupun latihan – latihan yang terdapat dalam modul ini.
5. Kemudian diskusikanlah dengan teman maupun kelompok saudara tentang materi yang anda anggap susah maupun sulit dimengerti.
6. Buatlah kesimpulan tentang apa yang telah saudara pelajari, apakah saudara sudah lebih mengerti atau masih ada hal – hal yang belum anda ketahui.

Semoga dengan mempelajari modul ini ilmu saudara akan semakin bertambah dan ilmu saudara bermanfaat bagi orang lain.

BAB II

PEDAGOGIK

MENYELENGGARAKAN PEMBELAJARAN

YANG MENDIDIK

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1 :MENYUSUN PERANCANGAN PEMBELAJARAN

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti sesi ini, peserta diklat menyusun rancangan pembelajaran sesuai dengan tuntutan paket keahlian teknik pengolahan minyak, gas, dan petrokimia melalui ceramah, diskusi kelompok, brainstorming, dan penugasan mandiri.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

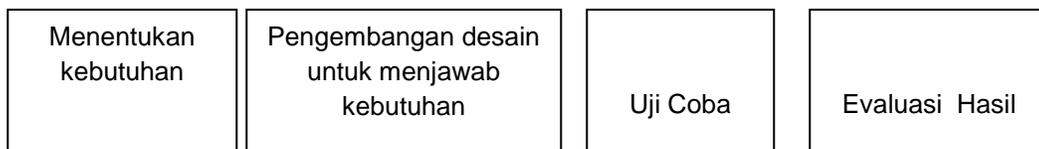
1. Rancangan pembelajaran yang lengkap diidentifikasi untuk kegiatan di dalam kelas, laboratorium, maupun lapangan.
2. Rancangan pembelajaran yang lengkap disusun untuk kegiatan di dalam kelas, laboratorium, maupun di lapangan sesuai dengan komponen-komponen RPP.

C. Uraian materi

Apakah yang dimaksud dengan perancangan pembelajaran? Terdapat beberapa pengertian rancangan pembelajaran. Herbert Simon (Dick dan Carey, 2006), mengartikan rancangan pembelajaran (*Instructional Desain*) sebagai proses pemecahan masalah. Atau lebih lengkapnya Perancangan pembelajaran dapat diartikan sebagai proses yang sistematis untuk memecahkan persoalan pembelajaran melalui proses perencanaan bahan-bahan pembelajaran beserta

aktivitas yang harus dilakukan, perencanaan sumber-sumber pembelajaran yang dapat digunakan serta perencanaan evaluasi keberhasilan.

Suatu rancangan pembelajaran, muncul karena kebutuhan manusia untuk memecahkan suatu persoalan. Melalui suatu rancangan orang bisa melakukan langkah-langkah yang sistematis untuk memecahkan suatu persoalan yang dihadapi. Dengan demikian suatu rancangan pada dasarnya adalah suatu proses yang bersifat linear yang diawali dari penentuan kebutuhan, kemudian mengembangkan rancangan untuk merespons kebutuhan tersebut, selanjutnya rancangan tersebut diujicobakan dan akhirnya dilakukan proses evaluasi untuk menentukan hasil tentang efektivitas rancangan (desain) yang disusun. Desain sebagai proses rangkaian yang bersifat *linear* tersebut digambarkan oleh Sambaugh (2006) seperti di bawah ini :



Gambar : Desain Pembelajaran sebagai proses sistematis bersifat linear

Dalam konteks pembelajaran, rancangan pembelajaran dapat diartikan sebagai proses yang sistematis untuk memecahkan persoalan pembelajaran melalui proses perencanaan bahan-bahan pembelajaran beserta aktivitas yang harus dilakukan, perencanaan sumber-sumber pembelajaran yang dapat digunakan serta perencanaan evaluasi keberhasilan. Pendekatan yang dapat digunakan dalam desain pembelajaran adalah pendekatan sistem, yang mencakup analisis tentang perencanaan, analisis pengembangan, analisis implementasi, dan analisis evaluasi.

Sejalan dengan pengertian di atas, Gagne (1992) menjelaskan bahwa rancangan pembelajaran disusun untuk membantu proses belajar siswa, dimana proses belajar itu memiliki tahapan segera dan tahapan jangka panjang. Menurut Gagne, belajar seseorang dapat dipengaruhi oleh dua factor yakni factor internal dan factor eksternal. Faktor internal adalah factor yang berkaitan dengan kondisi yang dibawa atau datang dari dalam individu siswa, seperti kemampuan dasar, gaya belajar seseorang, minat dan bakat serta kesiapan setiap individu yang belajar.

Faktor eksternal adalah factor yang datang dari luar individu, yakni berkaitan dengan penyediaan kondisi atau lingkungan yang didesain agar siswa belajar. Rancangan pembelajaran yang berkaitan dengan factor eksternal ini, yakni pengaturan lingkungan dan kondisi yang memungkinkan siswa dapat belajar.

Pendapat yang lebih spesifik lagi dikemukakan oleh Gentry (1994), yang berpendapat bahwa rancangan pembelajaran berkenaan dengan proses menentukan tujuan pembelajaran, strategi dan teknik untuk mencapai tujuan serta merancang media yang dapat digunakan untuk efektivitas pencapaian tujuan.

Agar siswa dapat belajar dengan baik, maka apa yang dipelajari sesuai dengan kondisi lingkungan atau hal apa yang terjadi di lingkungannya. John Dewey (1916) menyimpulkan bahwa murid akan belajar murida akan belajar dengan baik jika apa yang dipelajarinya terkait dengan apa yang telah diketahui. Pembelajaran ini menekankan pada daya pikir yang tinggi, transfer ilmu pengetahuan, mengumpulkan dan menganalisis data, memecahkan masalah-masalah tertentu baik secara individu maupun kelompok (Badruzman, 2006).

Sebelum melaksanakan pembelajaran, maka guru harus terlebih dahulu membuat rencana pembelajaran yang akan menjadi pedoman atau panduan di dalam kegiatan pembelajaran. Untuk membuat perencanaan yang baik dan dapat menyelenggarakan proses pembelajaran yang ideal, setiap guru harus mengetahui unsur-unsur perencanaan pembelajaran yang baik antara lain mengidentifikasi kebutuhan siswa, tujuan yang hendak dicapai, berbagai skenario dan strategi yang relevan, digunakan untuk mencapai tujuan dan kriteria evaluasi (Hunt, 1999:24) dari Abdul Majid (2012:249). Peran guru dalam mengembangkan strategi pembelajaran sangatlah penting karena aktivitas belajar siswa sangat dipengaruhi oleh sikap dan perilaku guru di dalam kelas. Jika guru antusias dan semangat tentunya siswa juga akan mengembangkan aktivitas belajar dengan baik, antusias, giat dan serius.

RPP adalah rencana kegiatan pembelajaran tatap muka untuk satu pertemuan atau lebih. RPP dikembangkan dari silabus untuk mengarahkan kegiatan pembelajaran peserta didik dalam upaya mencapai Kompetensi Dasar (KD). Setiap peserta didik pada satuan pendidikan berkewajiban menyusun RPP secara lengkap dan sistematis agar pembelajaran berlangsung secara interaktif, inspiratif,

menyenangkan, menantang, efisien, memotivasi peserta didik untuk berpartisipasi aktif serta memberikan ruang yang cukup bagi prakarsa, kreativitas dan kemandirian sesuai dengan bakat, minat dan perkembangan fisik serta psikologis peserta didik. RPP disusun berdasarkan KD atau subtopic yang dilaksanakan dalam satu kali pertemuan atau lebih.

Dalam menyusun RPP hendaknya memperhatikan prinsip-prinsip sebagai berikut:

1. Perbedaan individual peserta didik antara lain kemampuan awal, tingkat intelektual, bakat, potensi, minat, motivasi belajar, kemampuan sosial, emosi, gaya belajar, kebutuhan khusus, kecepatan belajar, latar belakang budaya, norma, nilai, dan/atau lingkungan peserta didik.
2. Partisipasi aktif peserta didik
3. Berpusat pada peserta didik untuk mendorong semangat belajar, motivasi, minat, kreativitas, inisiatif, inspirasi, inovasi dan kemandirian.
4. Pengembangan budaya membaca dan menulis yang dirancang untuk mengembangkan kegemaran membaca, pemahaman beragam bacaan, dan berekspresi dalam berbagai bentuk tulisan.
5. Pemberian umpan balik dan tindak lanjut RPP memuat rancangan program pemberian umpan balik, positif, penguatan, pengayaan dan remedial.
6. Penekanan pada keterkaitan dan keterpaduan antara KD, materi pembelajaran, kegiatan pembelajaran, indicator pencapaian kompetensi, penilaian, dan sumber belajar dalam satu keutuhan pengalaman pengalaman belajar.
7. Mengakomodasi pembelajaran tematik-terpadu, keterpaduan lintas mata pelajaran, lintas aspek belajar dan keragaman budaya.
8. Penerapan teknologi informasi dan komunikasi secara terintegrasi, sistematis dan efektif sesuai dengan situasi dan kondisi. RPP paling sedikitnya memuat: (1) tujuan pembelajaran, (2) materi pembelajaran, (3) metode pembelajaran, (4) sumber belajar, (5) penilaian.

Dalam merancang pembelajaran, guru harus memperhatikan beberapa hal sebagai berikut:

a. Perbaiki kualitas pembelajaran

Perbaikan kualitas pembelajaran haruslah diawali dengan perbaikan desain pembelajaran. Perencanaan pembelajaran dapat dijadikan titik awal dari upaya perbaikan kualitas pembelajaran. Hal ini dimungkinkan karena di dalam desain pembelajaran, tahapan yang akan dilakukan oleh guru atau dosen dalam mengajar telah dirancang dengan baik, mulai dari mengadakan analisis dari tujuan pembelajaran sampai dengan pelaksanaan evaluasi sumatif yang tujuannya untuk mengukur ketercapaian tujuan pembelajaran yang telah ditetapkan.

b. Pembelajaran dirancang dengan pendekatan sistem

Untuk mencapai kualitas pembelajaran, maka desain pembelajaran yang dilakukan haruslah didasarkan pada pendekatan system. Hal ini disadari bahwa dengan pendekatan system akan memberikan peluang yang lebih besar dalam mengintegrasikan semua variable yang mempengaruhi belajar., termasuk keterkaitan antara variable pengajaran, yakni variable kondisi pembelajaran, variable metode, dan variable hasil pembelajaran.

c. Desain pembelajaran mengacu pada bagaimana seseorang belajar

Kualitas pembelajaran juga banyak tergantung pada bagaimana pembelajaran itu dirancang. Rancangan pembelajaran biasanya dibuat berdasarkan pendekatan perancangannya. Apakah bersifat intuitif atau bersifat ilmiah. Jika bersifat intuitif, maka rancangan pembelajaran tersebut banyak diwarnai oleh kehendak perancangannya.

d. Desain pembelajaran diacukan pada siswa perorangan.

Setiap siswa memiliki potensi yang perlu dikembangkan. Tindakan atau perilaku belajar dapat ditata atau dipengaruhi, tetapi tindakan atau perilaku belajar tersebut akan tetap berjalan sesuai karakteristik siswa. Siswa yang lambat berpikir, tidak mungkin dipaksa segera bertindak secara cepat. Sebaliknya siswa yang memiliki

kemampuan berpikir tinggi, tidak mungkin dipaksa bertindak dengan cara lambat.

Dalam hal ini jika perencanaan pembelajaran tidak diacukan pada individu yang belajar seperti ini, maka besar kemungkinan siswa yang lambat belajar akan makin tertinggal, dan yang cepat berpikir makin maju pembelajarannya. Akibatnya, proses pembelajaran yang dilakukan dalam suatu kelompok tertentu akan banyak mengalami hambatan karena perbedaan karakteristik siswa yang tidak diperhatikan.

Hal lain yang merupakan karakteristik siswa adalah perkembangan intelektual siswa, tingkat motivasi, kemampuan berpikir, gaya kognitif, gaya belajar, kemampuan awal, dan lain-lain. Berdasarkan karakteristik tersebut, rancangan pembelajaran mau tidak mau harus diacukan pada pertimbangan ini.

- e. Desain Pembelajaran harus diacukan pada tujuan.

Hasil pembelajaran mencakup hasil langsung dan hasil tidak langsung (pengiring). Perancangan pembelajaran perlu memilah hasil pembelajaran yang langsung dapat diukur setelah selesai pelaksanaan pembelajaran, dan hasil pembelajarannya yang tidak diukur serta merta melalui keseluruhan poses pembelajaran, atau hasil pengiring.

- f. Desain Pembelajaran muaranya kemudahan belajar

Sebagaimana telah disebutkan pembelajaran adalah upaya membelajarkan siswa, dan perancangan pembelajaran adalah merupakan penataan upaya tersebut agar muncul perilaku belajar. Dalam kondisi yang ditata dengan baik, strategi yang direncanakan akan memberikan peluang dicapainya hasil pembelajaran. .

- g. Desain pembelajaran melibatkan variable pembelajaran.

Desain pembelajaran diupayakan mencakup semua variable pengajaran yang dirasa turut mempengaruhi belajar. Ada tiga variable pembelajaran yang perlu dipertimbangkan dalam merancang pembelajaran. Ketiga variable adalah variable kondisi, metode, dan variable hasil pembelajaran.

- 1) Kondisi pembelajaran mencakup semua variable yang tidak dapat dimanipulasi oleh perencana pembelajaran dan diterima apa adanya. Variabelnya antara lain tujuan pembelajaran, karakteristik bidang studi, dan karakteristik siswa.
- 2) Variabel metode pembelajaran mencakup semua cara yang dapat dipakai untuk mencapai tujuan pembelajaran dalam kondisi tertentu. Variabelnya antara lain strategi pengorganisasian pembelajaran, dan strategi pengelolaan pembelajaran.
- 3) Variabel hasil pembelajaran mencakup semua akibat yang muncul dari penggunaan metode tertentu pada kondisi tertentu, seperti keefektifan pembelajaran, efisiensi pembelajaran, dan daya tarik pembelajaran.

➤ **Komponen dan Struktur RPP**

Penyusunan program pembelajaran akan bermuara pada persiapan mengajar sebagai produk program pembelajaran jangka pendek yang mencakup komponen kegiatan belajar dan proses pelaksanaan program. Cynthia dalam Mulyasa (2004:82) mengemukakan bahwa proses pembelajaran yang dimulai dengan fase persiapan mengajar ketika kompetensi dan metodologi telah diidentifikasi, akan membantu dalam mengorganisasi materi standar serta mengantisipasi peserta didik dan masalah-masalah yang mungkin timbul di dalam pembelajaran. Sebaliknya guru yang melaksanakan proses pembelajaran tanpa membuat persiapan mengajar akan mengalami kendala-kendala dan masalah-masalah dalam kegiatan pembelajaran.

Agar guru dapat membuat persiapan mengajar yang efektif dan berhasil guru, dituntut untuk memahami berbagai aspek yang berkaitan dengan pengembangan persiapan mengajar, baik berkaitan dengan hakikat, fungsi, prinsip maupun prosedur pengembangan persiapan mengajar serta mengukur efektivitas mengajar. Rencana pembelajaran yang baik menurut Gagne dan Briggs (1974) hendaknya mengandung tiga komponen yang disebut *anchorpoint* yaitu: 1) tujuan

pengajaran; 2) materi pelajaran/bahan ajar, pendekatan dan metode mengajar, media pengajaran dan pengalaman belajar; 3) evaluasi keberhasilan.

RPP sebagai proses lanjutan dari silabus memiliki beberapa komponen. Komponen-komponen ini akan memberikan gambaran awal bagaimana proses pembelajaran di kelas akan berjalan. Komalasari (2013:194): Komponen dan struktur sebuah RPP adalah sebagai berikut:

- a. Identitas RPP
- b. Tujuan Pembelajaran
- c. Materi Ajar
- d. Metode pembelajaran
- e. Langkah-langkah pembelajaran
- f. Sumber belajar
- g. Penilaian hasil belajar

RPP menurut Permendikbud No. 103 Tahun 2014 tentang Pembelajaran Pada Pendidikan Dasar dan Menengah mempunyai komponen-komponen sebagai berikut:

- a. Identitas sekolah/madrasah, mata pelajaran atau tema, kelas/semester dan alokasi waktu.
- b. Kompetensi inti, kompetensi dasar, & indikator pencapaian kompetensi.
- c. Materi pembelajaran
- d. Kegiatan pembelajaran yang meliputi kegiatan pendahuluan, kegiatan inti dan kegiatan penutup.
- e. Penilaian, pembelajaran remedial dan pengayaan.
- f. Media, alat, bahan dan sumber belajar.

➤ **Mekanisme Pengembangan Indikator Pencapaian Kompetensi**

1. Menganalisis Tingkat Kompetensi dalam KI dan KD.

Langkah pertama pengembangan indikator adalah menganalisis tingkat kompetensi dalam KD. Hal ini diperlukan untuk memenuhi tuntutan minimal kompetensi yang dijadikan standar secara nasional. Sekolah dapat mengembangkan indikator melebihi standar minimal tersebut. Tingkat kompetensi

dapat dilihat melalui kata kerja operasional yang digunakan dalam KD. Tingkat kompetensi dapat diklasifikasi dalam tiga bagian, yaitu tingkat pengetahuan, tingkat proses, dan tingkat penerapan. Kata kerja pada tingkat pengetahuan lebih rendah dari pada tingkat proses maupun penerapan. Tingkat penerapan merupakan tuntutan kompetensi paling tinggi yang diinginkan. Selain tingkat kompetensi, penggunaan kata kerja menunjukkan penekanan aspek yang diinginkan, mencakup sikap, pengetahuan, serta keterampilan.

Pengembangan indikator harus mengakomodasi kompetensi sesuai tendensi yang digunakan dalam KD. Jika aspek keterampilan lebih menonjol, maka indikator yang dirumuskan harus mencapai kemampuan keterampilan yang diinginkan.

2. Menganalisis Karakteristik Mata Pelajaran, Peserta Didik, dan Sekolah

Pengembangan indikator mempertimbangkan karakteristik mata pelajaran, peserta didik, dan sekolah karena indikator menjadi acuan dalam penilaian. Sesuai Peraturan Pemerintah Nomor 32 Tahun 2013, setiap mata pelajaran memiliki karakteristik tertentu yang membedakan dari mata pelajaran lainnya. Perbedaan ini menjadi pertimbangan penting dalam mengembangkan indikator. Guru harus melakukan kajian mendalam mengenai karakteristik mata pelajaran sebagai acuan mengembangkan indikator.

Karakteristik mata pelajaran dapat dikaji pada dokumen standar isi mengenai tujuan, ruang lingkup dan Kompetensi Inti (KI) serta Kompetensi Dasar (KD) masing-masing mata pelajaran. Pengembangan indikator memerlukan informasi karakteristik peserta didik yang unik dan beragam. Oleh karena itu indikator selayaknya mampu mengakomodir keragaman tersebut. Karakteristik sekolah dan daerah juga menjadi acuan dalam pengembangan indikator karena target pencapaian sekolah tidak sama. Sekolah kategori tertentu yang melebihi standar minimal termasuk sekolah bertaraf internasional dapat mengembangkan indikator yang lebih tinggi dari tuntutan kompetensi.

3. Menganalisis Kebutuhan dan Potensi

Kebutuhan dan potensi peserta didik, sekolah, dan daerah perlu dianalisis untuk dijadikan bahan pertimbangan dalam mengembangkan indikator. Peserta didik mendapatkan pendidikan sesuai dengan potensi dan kecepatan belajarnya, termasuk tingkat potensi yang diraihnya. Indikator juga harus dikembangkan guna mendorong peningkatan mutu sekolah di masa yang akan datang berdasarkan informasi hasil analisis potensi sekolah yang berguna untuk mengembangkan kurikulum melalui pengembangan indikator.

4. Merumuskan Indikator

Indikator dirumuskan dalam bentuk kalimat dengan menggunakan kata kerja operasional. Rumusan indikator sekurang-kurangnya mencakup dua hal yaitu tingkat kompetensi dan materi yang menjadi media pencapaian kompetensi. Dalam merumuskan indikator perlu diperhatikan beberapa ketentuan sebagai berikut:

1. Indikator harus mencapai tingkat kompetensi minimal KD dan dapat dikembangkan melebihi kompetensi minimal sesuai dengan potensi dan kebutuhan peserta didik.
2. Indikator yang dikembangkan harus menggambarkan hirarki kompetensi.
3. Indikator harus dapat mengakomodir karakteristik mata pelajaran yang diampu.

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas pembelajaran yang dilakukan oleh peserta diklat adalah

1. Belajar mandiri dengan membaca modul dan berbagai sumber belajar.
2. Mengerjakan kasus-kasus yang ada
3. Melakukan diskusi
4. Mengerjakan tugas-tugas baik secara individu maupun kelompok
5. Mengikuti evaluasi untuk mengukur keberhasilan pembelajaran

E. Latihan/Kasus/Tugas

Peserta diminta untuk berkerja secara berkelompok, setiap kelompok terdiri dari maksimal 4 peserta, diskusikanlah pertanyaan dibawah .

1. Identifikasilah apa saja yang harus saudara pertimbangkan saat hendak menyusun rencana proses pembelajaran (RPP)?
2. Coba jelaskan format dan isi masing-masing komponen RPP yang saudara kembangkan di sekolah tempat saudara bertugas(Sekolah asal penugasan)
3. Mengapa guru harus menyiapkan rencana pembelajaran?
4. Pilih kompetensi dasar dari silabus anda, kemudian kembangkanlah indikator- indikatornya.

F. Rangkuman

Pembelajaran yang mendidik bukan hanya bertujuan meningkatkan pengetahuan dan keterampilan peserta didik tetapi aspek yang tidak kalah pentingnya adalah adanya perubahan perilaku ke arah yang lebih baik. Oleh sebab itu perlu adanya rencana pelaksanaan pembelajaran (RPP) , untuk menjamin keterlaksanaan proses pembelajaran yang baik.

RPP adalah rencana pembelajaran yang disusun guru yang akan digunakan sebagai panduan/pedoman dalam melaksanakan kegiatan pembelajaran

Perancangan pembelajaran dapat diartikan sebagai proses yang sistematis untuk memecahkan persoalan pembelajaran melalui proses perencanaan bahan-bahan pembelajaran beserta aktivitas yang harus dilakukan, perencanaan sumber-sumber pembelajaran yang dapat digunakan serta perencanaan evaluasi keberhasilan.

Rancangan pembelajaran yang berkaitan dengan factor eksternal ini, yakni pengaturan lingkungan dan kondisi yang memungkinkan siswa dapat belajar

Perancangan Pembelajaran harus memperhatikan; (1) untuk perbaikan kualitas pembelajaran; (2) dirancang dengan pendekatan system; (3) mengacu pada bagaimana seseorang belajar; (4) diacukan pada siswa perorangan; (5) harus diacukan pada tujuan (6) muaranya kemudahan belajar; (7) melibatkan variable pembelajaran.

Komponen RPP terdiri dari : Identitas Rencana Pelaksanaan Pembelajaran; Standar kompetensi; Kompetensi dasar; Indikator pencapaian kompetensi; Tujuan pembelajaran; Materi ajar; Alokasi waktu; Metode pembelajaran ; Kegiatan pembelajaran; Sumber belajar; Penilaian hasil belajar

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

- Apakah ada hal-hal yang menurut Anda penting, tetapi belum Anda dapatkan pada Penyusunan rancangan pembelajaran ?
- Hal-hal apa yang akan Anda lakukan untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi dalam proses penyusunan rancangan pembelajaran?

H. Evaluasi

1. Menurut PP No. 19 tahun 2005 tentang Standar Nasional Pendidikan, Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) minimal memuat ...
 - a. SK, KD, indikator dan kegiatan pembelajaran
 - b. Tujuan pembelajaran, materi ajar, metode pengajaran, sumber belajar
 - c. SK, KD, indikator, kegiatan pembelajaran, dan penilaian
 - d. Tujuan pembelajaran, materi pokok, kegiatan pembelajaran, metode pengajaran dan penilaian.
2. Komponen-komponen RPP saling berhubungan secara fungsional dalam mencapai kompetensi merupakan prinsip;
 - a.Konsisten. b. Menyeluruh
 - c. Fleksibel d. Kontekstual
3. Adanya hubungan yang konsisten antara kompetensi dasar, indikator, materi pembelajaran, metode pembelajaran, kegiatan pembelajaran, sumber belajar, dan sistem penilaian merupakan prinsip pengembangan RPP;
 - a.Konsisten. b. Sistematis
 - c. Fleksibel. d. Menyeluruh

4. Yang tidak merupakan kegiatan yang sifatnya memberi apersepsi kepada peserta didik seperti; adalah
 - a. Memotivasi;
 - b. Menyampaikan tujuan pembelajaran;
 - c. Memeriksa pekerjaan rumah
 - d. Menghubungkan dengan penalaman belajar yang lalu dan sebagainya.
5. Pernyataan yang menggambarkan proses dan hasil belajar yang diharapkan dicapai oleh peserta didik sesuai dengan kompetensi dasar, dan dirumuskan dalam kata kerja operasional yang terukur disebut:
 - a. Indikator; b. tujuan pembelajaran;
 - c. konfirmasi; d. elaborasi
6. Sebelum menyusun RPP, seorang guru harus terlebih dahulu melakukan kegiatan:
 - a. Mengkaji standar isi. c. Mengkaji standar proses
 - b. Mengkaji silabus d. Mengkaji bahan ajar

I. Kunci Jawaban

1. D
2. B
3. A
4. C
5. A
6. B

KEGIATAN BELAJAR 2 :MELAKSANAKAN PEMBELAJARAN

A. Tujuan Pembelajaran

Setelah mengikuti sesi ini, peserta diklat dapat Setelah mengikuti kegiatan pembelajaran ini peserta diharapkan: memiliki keterampilan dasar mengajar dan mampu melaksanakan pembelajaran sesuai dengan RPP yang telah disusun melalui ceramah, diskusi kelompok, brainstorming, dan penugasan mandiri.

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

- Pembelajaran yang mendidik di kelas, di laboratorium dan di lapangan disimulasikan sesuai dengan rancangan pembelajaran.
- Pelaksanaan pembelajaran yang mendidik di kelas, di laboratorium dan di lapangan dilaksanakan sesuai dengan rancangan pembelajaran.

C. Uraian Materi

➤ Keterampilan Dasar Mengajar

Dalam melaksanakan pembelajaran yang mendidik, seorang guru haruslah memiliki keterampilan dasar mengajar. Kemampuan guru dalam mengelola pembelajaran pada hakikatnya terkait dengan tafsiran sejauhmana kemampuan para guru mampu dalam menerapkan berbagai variasi metode mengajar dan model-model pembelajaran yang akan membawa siswa pada kegiatan pembelajaran yang aktif dan menyenangkan.. Dalam praktik pembelajaran seorang guru mestinya mengimplementasikan apa sudah direncanakannya atau dengan kata lain desain pembelajaran.

Turney (1973) yang dikutip dari Majid A. (2012:283) mengemukakan delapan (8) keterampilan dasar mengajar, yakni:

1) Keterampilan bertanya.

Keterampilan ini mensyaratkan guru harus menguasai teknik mengajukan pertanyaan yang cerdas. Untuk meningkatkan partisipasi siswa dalam proses belajar mengajar, guru perlu menunjukkan sikap yang baik pada waktu mengajukan

pertanyaan maupun ketika menerima jawaban siswa dan menghindari kebiasaan, seperti mengajukan pertanyaan dengan jawaban serentak, menentukan siswa yang harus menjawab sebelum bertanya dan memberikan pertanyaan ganda. Dalam proses belajar mengajar setiap pertanyaan baik berupa kalimat tanya ataupun suruhan yang menuntut respon siswa sehingga sehingga dapat menambah pengetahuan dan meningkatkan kemampuan berpikir siswa. Komponen-komponen dalam dasar mengajukan pertanyaan adalah pengungkapan pertanyaan secara jelas dan singkat, pemberian acuan, pemusatan, pemindahgilirian, penyebaran, pemberian waktu berpikir, dan pemberian tuntunan.

Turney (1979) mengidentifikasi 12 fungsi pertanyaan sebagai berikut:

- a. Membangkitkan minat serta keingintahuan siswa tentang suatu topik.
- b. Memusatkan perhatian pada masalah-masalah tertentu.
- c. Menggalakkan penerapan belajar aktif.
- d. Merangsang siswa mengajukan pertanyaan sendiri.
- e. Menstrukturkan tugas-tugas hingga kegiatan belajar dapat berlangsung secara maksimal.
- f. Mendiagnosis kesulitan belajar siswa.
- g. Mengkomunikasikan dan merealisasikan bahwa semua siswa harus aktif dalam kegiatan pembelajaran.
- h. Menyediakan kesempatan bagi siswa untuk mendemonstrasikan pemahaman tentang informasi yang diberikan.
- i. Melibatkan siswa dalam memanfaatkan kesimpulan yang dapat mendorong mengembangkan proses berpikir.
- j. Mengembangkan kebiasaan menanggapi pernyataan teman atau pernyataan guru.
- k. Memberikan kesempatan untuk belajar diskusi.
- l. Menyatakan perasaan dan pikiran murni kepada siswa.

2) Keterampilan memberi penguatan

Seorang guru perlu menguasai keterampilan memberikan penguatan karena penguatan merupakan dorongan bagi siswa untuk meningkatkan perhatian. Memberi penguatan atau *reinforcement* merupakan tindakan atau respon terhadap suatu bentuk perilaku yang dapat mendorong munculnya peningkatan kualitas tingkah laku tersebut di waktu yang lain. Respon ada yang positif dan negatif. Respon positif misalnya anak diberikan hadiah atau pujian sedangkan respon negatif adalah memberikan hukuman, namun kedua respon tersebut memiliki tujuan yang sama yaitu ingin mengubah tingkah laku seseorang. Penguatan adalah segala bentuk respon apakah bersifat verbal atau non verbal yang merupakan bagian dari modifikasi tingkah laku guru terhadap tingkah laku siswa, yang bertujuan memberikan informasi atau umpan balik (*feedback*) bagi si penerima atas perbuatannya sebagai suatu dorongan atau koreksi. Penguatan juga merupakan respon terhadap suatu tingkah laku yang dapat meningkatkan kemungkinan berulangnya kembali tingkah laku tersebut. Penggunaan penguatan dalam kelas dapat mencapai atau mempunyai pengaruh sikap positif terhadap proses belajar siswa dan bertujuan untuk meningkatkan perhatian siswa terhadap pelajaran, merangsang dan meningkatkan motivasi belajar serta membina tingkah laku siswa yang produktif.

Komponen-komponen penguatan terdiri dari penguatan verbal yang diungkapkan dengan kata-kata pujian, penghargaan, persetujuan dan sebagainya dan penguatan non verbal terdiri dari penguatan berupa mimik dan gerakan badan, penguatan dengan cara mendekati, penguatan dengan sentuhan, penguatan dengan kegiatan yang menyenangkan, dan penguatan berupa symbol atau benda. Penggunaan penguatan secara efektif harus memperhatikan tiga hal, yaitu: kehangatan dan efektivitas, kebermaknaan, dan menghindari penggunaan respon yang negatif.

Semua aspek yang terdapat pada pemberian penguatan dapat berpengaruh pada kelompok siswa usia manapun, baik pada anak yang sudah dewasa maupun anak yang belum dewasa. Hal yang perlu diperhatikan dalam pemberian penguatan adalah guru harus yakin bahwa siswa akan menghargainya dan menyadari akan respon yang diberikan guru. Pemberian penguatan dapat dilakukan pada saat:

- Siswa memperhatikan guru, memperhatikan kawan lainnya dan benda yang menjadi tujuan diskusi;
- Siswa sedang belajar, mengerjakan tugas dari buku, membaca dan bekerja di papan tulis.
- Menyelesaikan hasil kerja (seleksi penuh, atau menyelesaikan format).
- Bekerja dengan kualitas yang baik (kerapian, ketelitian, keindahan, dan mutu materi).
- Perbaiki pekerjaan (dalam kualitas, hasil atau penampilan).

3) Keterampilan mengajar kelompok kecil dan perorangan

Seorang guru dapat melakukan pendekatan secara pribadi, mengorganisasikan, membimbing dan memudahkan belajar serta merencanakan dan melaksanakan kegiatan belajar-mengajar. Secara fisik untuk pengajaran ini berjumlah terbatas yaitu berkisar antar 3-8 orang dan perseorangan. Pengajaran kelompok kecil dan perseorangan memungkinkan guru memberikan perhatian terhadap setiap siswa serta terjadinya hubungan yang lebih akrab antara guru dan siswa dan dengan siswa. Komponen keterampilan yang digunakan adalah keterampilan mengadakan pendekatan secara pribadi, keterampilan mengorganisasi, keterampilan membimbing dan memudahkan belajar dan keterampilan merencanakan dan melaksanakan kegiatan belajar mengajar.

4) Keterampilan menjelaskan

Keterampilan ini mensyaratkan guru untuk merefleksikan segala informasi sesuai dengan kehidupan sehari-hari. Keterampilan menjelaskan adalah penyajian informasi secara lisan yang diorganisasikan secara sistemik untuk menunjukkan adanya hubungan antara yang satu dengan yang lainnya. Penyampaian informasi yang terencana dengan baik dan disajikan dengan urutan yang cocok merupakan ciri utama kegiatan menjelaskan. Pemberian penjelasan merupakan salah satu aspek yang sangat penting dari kegiatan guru dalam interaksinya dengan siswa di kelas. Biasanya guru cenderung mendominasi pembicaraan dan mempunyai pengaruh langsung, misalnya dalam memberikan fakta, ide ataupun pendapat. Oleh

sebab itu hal ini haruslah dibenahi untuk ditingkatkan keefektifannya agar tercapai hasil yang optimal dari penjelasan dan pembicaraan guru tersebut sehingga bermakna bagi murid.

Tujuan memberikan penjelasan adalah sebagai berikut:

- Membimbing murid untuk mendapatkan dan memahami hukum, dalil, fakta, definisi, dan prinsip secara objektif dan bernalar.
- Melibatkan murid untuk berpikir dengan memecahkan masalah-masalah dan pertanyaan.
- Untuk mendapat balikan dari murid mengenai tingkat pemahamannya dan untuk mengatasi kesalahpahaman murid.
- Membimbing murid untuk menghayati dan mendapat proses penalaran dan mendapatkan bukti-bukti dalam pemecahan masalah.

5) Keterampilan membuka dan menutup pelajaran.

Membuka pelajaran (*set induction*) adalah usaha atau kegiatan yang dilakukan oleh guru dalam kegiatan belajar mengajar untuk menciptakan prakondisi bagi siswa agar mental maupun perhatian terpusat pada apa yang dipelajarinya sehingga usaha tersebut akan memberikan efek yang positif terhadap kegiatan belajar, sedangkan menutup pelajaran atau *closure* adalah kegiatan yang dilakukan oleh guru untuk mengakhiri kegiatan belajar mengajar.

Membuka pelajaran dapat diartikan sebagai aktivitas guru untuk menciptakan suasana siap mental dan menimbulkan atensi siswa agar terpusat terhadap apa yang akan dipelajari. Menutup pembelajaran adalah aktivitas guru untuk mengakhiri kegiatan inti pembelajaran. Hal ini terkait dengan pemberian gambaran menyeluruh tentang apa yang telah dipelajari murid, mengetahui tingkat pencapaian siswa dan tingkat keberhasilan guru dalam proses pembelajaran.

Keterampilan membuka pelajaran meliputi komponen: menarik perhatian siswa, menimbulkan motivasi, memberi acuan melalui berbagai usaha, dan membuat kaitan atau hubungan diantara materi-materi yang akan dipelajari. Komponen keterampilan menutup pelajaran meliputi: meninjau kembali penguasaan

inti pelajaran dengan merangkum inti pelajaran dan membuat ringkasan dan mengevaluasi.

6) Keterampilan membimbing diskusi kelompok kecil.

Hal terpenting dalam proses ini adalah mencermati aktivitas siswa dalam diskusi. Diskusi kelompok adalah suatu proses yang teratur yang melibatkan sekelompok orang dalam interaksi tatap muka yang informal dengan berbagai pengalaman atau informasi, pengambilan kesimpulan, atau pemecahan masalah. Diskusi kelompok merupakan strategi yang memungkinkan siswa menguasai suatu konsep atau memecahkan suatu masalah melalui suatu proses yang memberi kesempatan untuk berpikir, berinteraksi sosial serta berlatih bersikap positif. Dengan demikian diskusi kelompok dapat meningkatkan kreativitas siswa serta membina kemampuan berkomunikasi.

Keterampilan-keterampilan membimbing diskusi kelompok kecil bertujuan sebagai berikut:

- Siswa dapat saling memberi informasi atau pengalaman dalam menjelajahi gagasan baru atau masalah yang harus dipecahkan mereka.
- Siswa dapat mengembangkan pengetahuan dan kemampuan untuk berpikir dan berkomunikasi.
- Siswa terlibat dalam perencanaan dan pengambilan keputusan

7) Keterampilan mengelola kelas, mencakup keterampilan yang berhubungan penciptaan dan pemeliharaan kondisi belajar yang optimal serta pengendalian kondisi belajar yang optimal.

Pengelolaan kelas adalah keterampilan guru untuk menciptakan dan memelihara kondisi belajar yang optimal dan mengembalikannya bila terjadi gangguan dalam proses belajar mengajar. Dalam melaksanakan keterampilan mengelola kelas, maka perlu diperhatikan komponen keterampilan yang berhubungan dengan penciptaan dan pemeliharaan kondisi belajar yang optimal (bersifat preventif) berkaitan dengan kemampuan guru dalam mengambil inisiatif dan mengendalikan kegiatan pembelajaran.

8) Keterampilan mengadakan variasi, baik variasi dalam gaya mengajar, penggunaan media dan bahan pelajaran dan pola interaksi dan kegiatan.

Variasi stimulus adalah suatu kegiatan guru dalam konteks proses interaksi belajar mengajar yang ditujukan untuk mengatasi kebosanan siswa sehingga dalam situasi belajar mengajar, siswa senantiasa menunjukkan ketekunan, serta penuh partisipasi. Variasi di dalam proses belajar mengajar dimaksudkan sebagai proses perubahan dalam pengajaran yang dapat dikelompokkan ke dalam tiga komponen yaitu:

- Variasi dalam cara mengajar guru, meliputi penggunaan variasi suara (*teacher voice*), pemusatan perhatian siswa (*focusing*), kesenyapan atau kebisuan guru (*teacher silence*), mengadakan kontak pandang dan gerak (*eye contact and movement*), gerakan badan, mimik, variasi dalam ekspresi wajah, dan pergantian posisi guru dalam kelas (*teacher movement*).
- Variasi dalam penggunaan media dan alat pengajaran. Media dan alat pengajaran bila ditinjau dari indera yang digunakan dapat digolongkan tiga bagian yaitu: dapat di dengar, dilihat dan diraba.
- Variasi pola interaksi dan kegiatan siswa. Pola interaksi guru dengan murid dalam kegiatan belajar mengajar sangat beranekaragam coraknya. Penggunaan variasi pola interaksi dimaksudkan agar tidak menimbulkan kebosanan, kejemuhan, serta untuk menghidupkan suasana kelas demi keberhasilan siswa dalam mencapai tujuan.

➤ **Pelaksanaan Pembelajaran**

Prinsip-prinsip pelaksanaan pembelajaran berdasarkan Permendikbud Nomor: 103 Tahun 2014 tentang standar proses adalah sebagai berikut:

1) Kegiatan Pendahuluan

Dalam kegiatan pendahuluan guru:

- a. Menyiapkan peserta didik secara psikis dan fisik untuk mengikuti proses pembelajaran.

- b. Memberi motivasi belajar siswa secara kontekstual sesuai manfaat dan aplikasi materi ajar dalam kehidupan sehari-hari dengan memberikan contoh dan perbandingan local, nasional dan internasional.
- c. Mengajukan pertanyaan-pertanyaan yang mengaitkan pengetahuan sebelumnya dengan materi yang akan dipelajari.
- d. Menjelaskan tujuan pembelajaran atau kompetensi dasar yang akan dicapai; dan
- e. Menyampaikan cakupan materi dan penjelasan uraian kegiatan sesuai silabus.

2) Kegiatan Inti

Kegiatan inti menggunakan model pembelajaran, metode pembelajaran, media pembelajaran, dan sumber belajar yang disesuaikan dengan karakteristik peserta didik dan mata pelajaran. Pemilihan pendekatan tematik dan/atau tematik terpadu dan/atau saintifik dan/atau inkuiri dan penyingkapan (*discovery*) dan/atau pembelajaran yang menghasilkan karya berbasis pemecahan masalah (*project based learning*) disesuaikan dengan karakteristik kompetensi dan jenjang pendidikan.

a. Sikap

Sesuai dengan karakteristik sikap, maka salah satu alternative yang dipilih adalah proses afeksi mulai dari menerima, menjalankan, menghargai, menghayati, hingga mengamalkan. Seluruh aktivitas pembelajaran berorientasi pada tahapan kompetensi yang mendorong siswa untuk melakukan aktivitas tersebut.

b. Pengetahuan

Pengetahuan dimiliki melalui aktivitas mengetahui, memahami, menerapkan, menganalisis, mengevaluasi, hingga mencipta. Karakteristik aktivitas belajar dalam domain pengetahuan ini memiliki perbedaan dan kesamaan dengan aktivitas belajar dalam domain keterampilan. Untuk memperkuat pendekatan *scientific*, tematik terpadu dan tematik sangat disarankan untuk menerapkan belajar berbasis penyingkapan/penelitian (*discovery/inquiry learning*). Untuk

mendorong peserta didik menghasilkan karya kreatif dan kontekstual, baik individual maupun kelompok, disarankan menggunakan pendekatan pembelajaran yang menghasilkan karya berbasis pemecahan masalah (*project based learning*).

c. Keterampilan

Keterampilan diperoleh melalui kegiatan mengamati, mananya, mencoba, menalar, menyaji, dan mencipta. Seluruh isi materi (topic dan sub topic) mata pelajaran yang diturunkan dari keterampilan harus mendorong siswa untuk melakukan proses pengamatan hingga penciptaan. Untuk mewujudkan keterampilan tersebut perlu melakukan pembelajaran yang menerapkan modus belajar berbasis penyingkapan/penelitian (*discovery/inquiry learning*) dan pembelajaran yang menghasilkan karya berbasis pemecahan masalah (*project based learning*).

3) Kegiatan Penutup

Dalam kegiatan penutup, guru bersama siswa baik secara individual maupun kelompok melakukan refleksi untuk mengevaluasi:

- a. Seluruh rangkaian aktivitas pembelajaran dan hasil-hasil yang diperoleh untuk selanjutnya secara bersama menemukan manfaat langsung maupun tidak langsung dari hasil pembelajaran yang telah berlangsung.
- b. Memberikan umpan balik terhadap proses dan hasil pembelajaran.
- c. Melakukan kegiatan tindak lanjut dalam bentuk pemberian tugas, baik tugas individual maupun kelompok
- d. Menginformasikan rencana kegiatan pembelajaran untuk pertemuan berikutnya.

D. Aktivitas Pembelajaran

➤ Diskusi Kelompok

Petunjuk :

- Bentuk kelompok dengan 4 anggota.
- Masing-masing anggota kelompok mengajukan permasalahan dalam melaksanakan pembelajaran yang mendidik.

- Diskusikan solusi dari permasalahan tersebut.
- Presentasikan hasil diskusi Anda dengan PPT.
- Kelompok lain mengomentari.

E. Latihan/Kasus/Tugas

1. Susunlah Rencana pelaksanaan pembelajaran untuk mata pelajaran yang saudara ampu dengan mengacu pada prinsip penyusunan RPP yang telah saudara pelajari untuk pola 20 menit.
2. Selanjutnya simulasikan RPP tersebut di depan kelas, dengan menganggap peserta diklat sebagai peserta didik, dengan waktu 15 Menit.

F. Rangkuman

1. Penyusunan RPP dilakukan melalui pengkajian SK,KD dan indikator sebagai mana yang terdapat pada silabus
2. RPP berfungsi sebagai acuan pelaksanaan pembelajar yang harus dituruti oleh guru
3. RPP bukan hanya sekedar pemenuhan administrasi pendidikan, tetapi harus dipedomani oleh guru sebagai kompas dan peta untuk mengarahkan dan mempermudah pencapaian indikator kompetensi dan tujuan pembelajaran
4. Kegiatan belajar dalam bentuk, kegiatan awal, kegiatan inti dan kegiatan akhir.

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

1. Tulislah apa yang sudah Anda ketahui dari materi ini !
2. Apakah materi ini bermanfaat untuk membantu tugas Anda sebagai guru?
3. Materi apa yang masih diperlukan untuk membantu tugas Anda berkaitan dengan identifikasi masalah kesulitan belajar peserta didik ?
4. Adakah saran/koentar Anda berkaitan dengan identifikasi kesulitan belajar peserta didik?

H. Evaluasi

Lingkarilah lah salah satu jawaban yang menurut Anda benar !

1. Guru perlu menunjukkan sikap yang baik pada waktu mengajukan pertanyaan. Pernyataan ini memperlihatkan, bahwa guru harus memiliki keterampilan
 - a. bertanya
 - b. memberi penguatan
 - c. mengajar kelompok kecil
 - d. menjelaskan
2. Kata-kata berupa pujian, penghargaan, persetujuan, merupakan komponen dari
 - a. bertanya
 - b. penguatan
 - c. membuka pelajaran
 - d. menjelaskan
3. Keterampilan menjelaskan mensyaratkan guru untuk ...
 - a. Melakukan pendekatan secara pribadi
 - b. Menghargai/memberi penguatan
 - c. Merefleksikan segala informasi sesuai dengan kehidupan sehari-hari
 - d. Membuka dan menutup pelajaran
4. Kegiatan berupa menarik perhatian siswa, menimbulkan motivasi, memberi acuan melalui berbagai usaha, merupakan bagian dari...
 - a. Membimbing diskusi kelompok
 - b. Menutup pelajaran
 - c. Membuka pelajaran
 - d. Pemberian rangsangan
5. Keterampilan untuk menciptakan dan memelihara kondisi belajar mengajar adalah
 - a. Keterampilan mengelola kelas
 - b. Keterampilan mengadakan variasi
 - c. Keterampilan membimbing siswa
 - d. Keterampilan menjelaskan

I. Kunci Jawaban

1. A
2. B
3. C
4. C
5. A

BAB III

PROFESIONAL

KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

A. Tujuan

Setelah mempelajari modul ini diharapkan Saudara dapat:

1. Mengukur sistem pemipaan di permukaan

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Mengukur diameter pipa
2. Menentukan kapasitas aliran
3. Mengukur tekanan aliran terhadap pipa

C. Uraian Materi

C.3.A SISTEM PEMIPAAN DIPERMUKAAN

Pada umumnya pipa yang digunakan untuk penyaluran minyak dan gas bumi adalah pipa yang dibuat dari bahan baja (carbon steel) dan mengikuti standar API, ANSI dan ASTM. Secara umum pipa alir atau sering disebut dengan *Flow Line* dan dilengkapi dengan perlengkapan seperti :

- *Valve*,
- *Check valve*
- *Flensa*
- *Coupling*
- Manometer yang berguna sebagai penyambung pengontrol fluida di dalam pipa alir.

Dalam Pemakaian Pipa Perlu Diperhatikan Hal-Hal sbb:

Jenis dan keadaannya, produk yang akan dialirkan kedalam pipa dapat berupa fluida dengan keadaan panas, dingin bertekanan, korosive atau tidak korosive.

- Karena hal ini berkaitan dengan jenis material pipa, dimensi pipa dsb.
- Maka dalam investasi yang berhubungan dengan jumlah dana yang tersedia, maka dalam industri migas untuk pemilihan pipa transportasi dipilih pipa

dengan jenis dan deminsi tertentu, tetapi menjamin operasi ekonomis dan aman.

- Energi yang diperlukan untuk mengalirkan fluida, energi ini berhubungan dengan energi transfer (pompa & kompressor).
- *Safety*, berkaitan penataan pipa pada instalasi pipa yang memenuhi keamanan bagi kondisi operasi baik bagi tenaga kerja, lingkungan sekitar dan kemudahan dalam pemeliharaan.

Persyaratan *line pipe*.

Beberapa persyaratan pipa untuk transportasi minyak adalah:

1. Dinding dalam dari pipa harus halus, sehingga friksi sekecil mungkin.
2. Cukup kuat menahan tekanan.
3. Dapat membentuk saluran yang baik, dapat dibentuk sehubungan dengan profil dari tanah.
4. Harus tahan terhadap reaksi kimia yang berasal dari minyak yang berada didalamnya maupun tanah (soil pada dinding luarnya).
5. Harus tahan terhadap korosi sebagai akibat kemungkinan ada arus listrik.

Spesifikasi:

Pipa alir yang digunakan pada industri migas di buat dari baja *Carbon Steel*, dimana baja adalah merupakan paduan antara besi (Fe) sebagai bahan dasar dengan unsur kimia yang meliputi : - Mangan, Plumbum, Tembaga dll. Spesifikasi pipa akan menunjukkan :

- Sistem pembuatan
- Komposisi Kimia
- Normalitas dan Karakteristik.

Cara Pembuatan Pipa.

Pembuatan pipa menurut proses produksi dibagi menjadi dua :

- *Welded Steel Pipe* (pipa dengan sambungan las)
- *Seamless pipe* (pipa tanpa sambungan)

a. *Welded Steel Pipe* (disambung las)

Salah satu klasifikasi pipa berdasarkan cara pembuatannya dari pabriknya adalah sebagai berikut:

Furnace butt weld.

Biasanya untuk berukuran diameter 1/8 inch sampai 3 inch.

Furnace lap weld.

Untuk pipa berukuran diameter 1 1/4 inch sampai 30 inch pekerjaan dalam pembuatan pipa tipe ini adalah : *scarfing, bending, welding, sizing, strai, cutting, jointing* dan *inspecting*.

Electric weld.

Untuk pipa berukuran diameter 6 inch sampai 30 inch. Proses Pembuatan pipa dengan electric weld ini adalah lembar plat baja setelah dilengkungkan (*buttedge*) kemudian disambung dengan las listrik pada *welding unit*.

Berdasar pengelasan maka proses pembuatan pipa dengan sistem *welded* dapat dibedakan :

➤ *Electric Resistance Welded Pipe Process (ERW)*

Pada proses ini bahan baja di rol sehingga, membentuk pipa dengan diameter tertentu dan dilakukan pengelasan sisi yang berhadapan dng cara pada sisi-sisi tsb, diberikan beda potensial listrik yang tinggi shg, pipa menjadi pijar ($T = \pm 2600 \text{ }^\circ\text{ F}$) Sehingga kedua sisinya menyatu tanpa memberikan logam pengisi.

➤ *Double Submerged Arc Welded Longitudinal Proses.*

Hampir sama dengan proses *Electric Resistance Welded Pipe Process (ERW)*, bedanya propil pipa yg di las dibuat Tirus dan dipanasi dengan pemanasan api dan pakai bahan Pengisi/Elektroda. Pipa dilas dengan dua sisi dalam & luar dengan arah memanjang.

➤ *Spiral Seam Submerged Arc Welded Process.*

Pipa yang mempunyai pengelasan melingkar (*helical*) yang dibuat dengan proses automatic. Pembuatan pipa ini diperlukan plat baja yang panjang kemudian di Rol sehiga membentuk pipa dengan sambungan berbentuk Spiral.

b. *Seamless Pipe* (pipa tanpa sambungan)

Seamless pipe adalah pipa yang tidak mempunyai pelipit dan tidak pula di las, lebih halus dan sangat kuat. Diameter pipa seamless ini bervariasi antara 3 1/3 inch sampai 24 inch.

Seamless Pipe (pipa tanpa sambungan):

- Pipa yang dibuat dari baja *Silinder/Pejal* tanpa memakai sambungan.
- Baja *Silinder/pejal* di masukan Furnace dan Dipanaskan dengan, Temperatur. diatas temperatur. kritisnya (1400 ° C)
- Proses pemanasan ini pipa pejal di rol dan ditekan dengan menggunakan mandrel sebagai pembentuk diameter dalam.
- Sebagai media pendingin pada proses ini adalah dengan pendinginan udara.
- Setelah pipa dipotong sesuai panjang yang diinginkan & dilakukan pengerjaan finishing.
- Pipa *Seamless* banyak digunakan pada program Pemboran minyak dengan, tekanan Operasi yang sangat tinggi.
- Ø pipa ini bervariasi antara : 3 1/2 — sampai 24 inch.

Pipe And Finish

- Penyelesaian akhir dari pembuatan pipa adalah : proses pembentukan ujung pipa.
- Bentuk ujung pipa menentukan jenis sambungan pipa dengan pipa atau pipa dengan *fitting*.

Bentuk Ujung Pipa

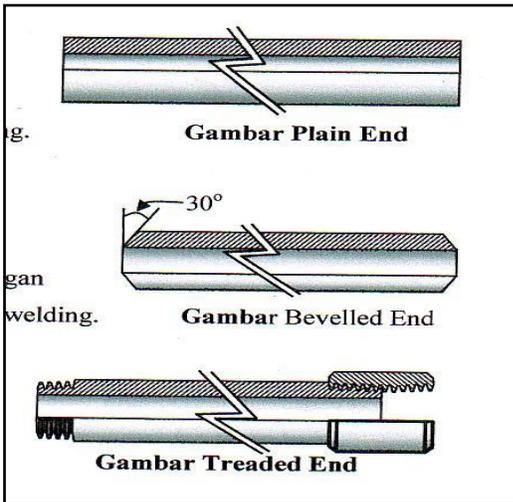
A. Plain End

Pada bentuk ini pipa dipotong tanpa ada bevel, dipakai pada sistem sambungan pipa dengan *socket welding*.

B. Bevelled End

Ujung dari pipa dibevel membentuk sudut 30 °, dipakai pada sistem sambungan pipa dengan *butt welding* dan *flanged welding*.

C. Treded End Bentuk ujung dari pipa adalah memakai sambungan ulir.



Gambar 1 Bentuk ujung pipa

Flow Lines.

Untuk individual *well flow line* kebanyakan dipakai pipa berdiameter 2 inch sampai 6 inch. *API steel line pipes* atau pipa *flow lines* yang kebanyakan dipakai dilapangan, biasanya spesifikasinya dibuat oleh —API Standards 5LII untuk pipa tekanan rendah (tekanan kerja dibawah 1000 psi) dan —API standard 5LXII untuk tekanan yang lebih tinggi.

Karakteristik

Dalam perencanaan pipa harus diperhitungkan gaya-gaya yg akan bekerja pada pipa.

Ada tiga macam gaya yang bekerja pada pipa :

- *Tension strength* (gaya tarik)
- *Internal pressure* (gaya dari dalam)
- *Eksternal pressure* (gaya dari luar)

a. Tension Strength (gaya tarik)

Tension streng adalah gaya tarik yang bekerja pada pipa. Tabel harga minimum *specifick yield strength* untuk pipa std API - 5L dan API 5 XL. *Yield strength* dari

baja yang dipakai dalam dua standard diatas seperti pada table.1 dibawah ini.
Minimum Specified Yield Strength – psi

Table.1 *Minimum Specified Yield Strength – psi*

Line pipe – API STD – 5 L			Hi test line pipe – API STD – 5 LX		
Butt weld	Seamless/elec. weld		Seamless / Elec. weld		
O.H.class	Grade A	Grade B	Grade X 42	Grade X 46	Grade X 52
25.000	30.000	35.000	42.000	46.000	52.000

b. Internal Pressure (gaya dari dalam)

- Adalah gaya tekanan yang bekerja dari dalam pipa yang diakibatkan oleh tekanan fluida yang berada dalam pipa.
- Ketahanan pipa terhadap *internal pressure* disebut *Brusting Resistance* ($BR = P_i \times SF$)
- Dalam perencanaan, harga *internal pressure* yang terjadi harus lebih kecil dari *brusting resistance*, dimana (SF : 1,1 - 1,3) hal ini disebabkan bila *internal pressure* diatas *brusting resistance*, maka pipa akan melengkung dan pecah (*brusting load*).
- Harga *internal pressure* terbesar yang boleh terjadi pada pipa dinyatakan dengan rumus :

b. Eksternal Pressure (gaya dari luar)

Adalah gaya/tekanan yang bekerja dari luar pipa, biasanya gaya ini berupa *hydrostatic pressure* ($P_H = 0,052 \times \text{berat jenis (ppg)} \times \text{kedalaman (ft)}$), Psi, untuk *line pipe* yang berada di *offshore*.

Ketahanan pipa terhadap *eksternal pressure* disebut *collapse resistance* ($CR = P_C \times SF$). Dalam perencanaan, besarnya *eksternal pressure* (P_C) yang boleh terjadi harus lebih kecil dari *colapse resistance*, dimana $SF = 1,25 - 1,50$.

C.3. B NORMALITAS & KARAKTERISTIK (untuk menunjukan dimensi atau ukuran & sifat dari pipa)

A. Diameter Pipa, Akan Menunjukan :

- Nominal Diameter, Menunjukkan Angka Urut & Berhubungan Dengan Ø Luar.
- Menurut Standar ANSI/ASME, Ukuran Diameter Nominal Pipa Ditentukan Sbb :
 - Untuk Pipa Ukuran : 1/8 - 12 — OD = Diameter Nominal Dan
 - Untuk Pipa Ukuran Lebih Besar Dari 14 — OD = Diameter Nominal.
 - *Outside Diameter*, menyatakan Ø luar dari pipa.
Outside Diameter selalu tetap dan besarnya lebih besar dari nominal Ø, kecuali untuk pipa² ukuran lebih besar 14 — dimana *Outside Ø* Sama dengan Nominal Diameter. *Outside Diameter* : Diukur pada Body pipa bukan pada Sambungan.
 - Inside Diameter, Menyatakan Ø Dalam pipa dari pipa.
 Inside Diameter pipa besarnya Selalu Berubah tergantung dari ketebalan dari Ketebalan Dinding pipa

B. Panjang Pipa, menyatakan panjang satuan pipa yang dinyatakan dalam suatu feet.

Panjang Pipa Dikelompokkan :

- *Uniform Length* : - panjangnya 21 ft.
- *Random Length* :
 - *Single Random* : 16 - 22 ft
 - *Double Random* : 30 ft
 - *One Halft Random* : 8 - 12 ft
 - *Out Length* : pipa sesuai pesanan.

C. Berat Nominal, adalah menyatakan berat pipa setiap satuan panjang.

Jika beratnya Dinyatakan dalam Pond (lb) dan Panjangnya dalam (ft), maka satuan untuk berat Nominal adalah : lb/ft.

D. Tebal Dinding, ini akan berkaitan dengan kekuatan pipa untuk menahan tekanan dari dalam pipa.

Maka untuk memilih pipa yang tepat sebagai media alir/transportasi, dapat dihitung dengan rumus : Barlows

ANSI B 31.8 Gas Transmission & Distribution.

Untuk pipa pada sumur minyak dan gas, di luar instalasi atau *refinery*. Tekanan gas *design pressure* dari pipa minyak dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$P = 2 \frac{Sxt}{D} xFxExT$$

dimana :

P : *design pressure* (psig)

T : *nominal wall thickness* (in)

D : *diameter outside* (in)

F : *construction type design factor*

F = 0.7 untuk pipa yang dipasang di luar kota.

F = 0.6 untuk pipa yang dipasang di dalam kota/ agak padat

F = 0.5 pipa yg dipasang pd daerah padat/menyeberang jalan

E : *joint factor*

E = 1.0 *seamless pipe*

E = 0.8 *spiral welded*

E = 0.6 *butt welded*, ASTM A 53, API 5 L.

T : *temperatur factor*

T = 1.000 untuk suhu 250⁰F

T = 0.967 untuk suhu 300⁰F

T = 0.933 untuk suhu 350⁰F

T = 0.900 untuk suhu 400⁰F

T = 0.867 untuk suhu 450⁰F

S : *minimum yield strength* (psi)

E : Joint Factor,

1 untuk *seamless pipe*

0,8 untuk *spiral welded*

0,6 untuk *butt welded*

T : Temperatur Factor,

1,000 untuk temperatur 250 ° F
0,967 untuk temperatur 300 ° F
0,933 untuk temperatur 350 ° F
0,900 untuk temperatur 400 ° F
0,867 untuk temperatur 450 ° F

Pipa Alir

Contoh soal :

Rencanakan suatu pemasangan pipa dengan tekanan design 711 Psig. Pada suatu daerah padat penduduknya pada perkotaan dengan temp. (T) fluida yang akan dialirkan 400°F.

Sedangkan pipa yang tersedia dng nominal diameter 4 *butt welded* ASTM.A 53.

Rate Korosinya = 0,02 In Per Year (IPY)

Min Spec. Yield Strength 35.000 Psi

Tentukan : tebal pipa bila design line 25 Tahun ?

Contoh perhitungan pressure loss:

Pemompaan minyak dari pusat penampung produksi ke kilang sepanjang 1 km dengan diameter pipa 4 inch.

$$h = 1,05 \frac{fxLxQ^2}{D^2}$$

Dimana:

h = pressure loss in Km of liquid

L = lengh of pipe in Km

D = internal pipe diameter in inchs

Q = Trough put in Cu m/haur

V = kinematic viscosity in CS (centi stokes)

F = friction factor

Reynol Number $Re = 580 \frac{Q}{DV}$

Laminar flow when $Re = < 1500$, *Friction factor* $= \frac{64}{Re}$

Turbulen flow when $Re = > 3000$, friction factor = $F = f_1 + \Delta p$

Diketahui:

Jarak pusat penampung produksi (PPP) ke refinery 1 Km, dengan diameter pipa 4 inch. Rate pemompaan (Q) 30 Cu m/hour, kinematic viscosity (V) = 4.0269 Cs (centi stoke). Berapa *pressure loss*?

Penyelesaian:

Problem Ekspansi

Dalam kondisi cuaca atau iklim yang normal tentang ekspansi flow line tidak menjadi masalah, tetapi jika perubahan suhu udara luar atau bahan yang ditransport sendiri menjadi ekstrim sangat panas atau sangat dingin, maka ekspansi flow line akan menjadi suatu masalah. Untuk mengatasi hal ini maka dipasang ekspansi loops.

Non metallic flow line.

Didalam pemakaian transportasi dari fluida yang sangat korosif, untuk mencegah kerusakan *flow lines* akibat korosi dipakai *non metallic flow lines*, misalnya terbuat dari *fiber glass*, dan *thermoplastic*.

Kebaikan *non metallic flow line*:

- Lebih tahan terhadap korosi.
- Kehilangan tekanan (pressure drop) lebih kecil.
- Tidak mudah diendapi *paraffin* atau *scale*.
- Ringan pengangkutannya

Kelemahannya:

- Kurang kuat dibanding pipa dari baja.
- Kurang tahan terhadap benturan.
- Adanya tendensi berkurang kekuatannya sehubungan dengan waktu.
- Hanya dipakai untuk tekanan dari temperature rendah.

Pipa non metallic biasanya dipakai untuk saluran air asin bertekanan rendah, tank drain lines, gravity and chemical injection lines, pipa ini dapat dijumpai pada ⁰API Standard 5L R⁰

Flow Line Dan Manifold Valves.

Valve (katup) bertekanan tinggi. Valve bertekanan tinggi atau yang mempunyai tenaga kerja 2000 psi keatas banyak dipakai pada X-mastree, terutama pada saluran vertical harus dapat membuka penuh (full bor) untuk maksud tertentu (misalnya: *swabbing, pressure stripping, work over* atau pekerjaan *fire line* dan sebagainya). Ujung sambungan biasanya dengan *flense*. Jenis *valve* untuk *chrismastree* ialah *flug valve, gate valve, dan ball valve*.

Transportasi Minyak Dan Gas (Pipa)

- Fungsi utama pipa adalah untuk memindahkan fluida dari sumur-sumur ke stasiun Pengumpul dan akhirnya ke *Refinery* melalui unit-unit pemroses maupun pengiriman produksi jadi ke konsumen.
- Salah satu bagian penting dari kegiatan produksi maupun pemasaran minyak dan gas bumi adalah Transportasi, mulai dari *block station* ke pusat penampungan produksi atau dari terminal ke tempat *refenery*.
- Untuk menunjang kelancaran operasi produksi migas, sistem perpipaan banyak digunakan.

Penggunaan sistem perpipaan didasarkan atas pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :

- Transportasi dengan menggunakan pipa lebih ekonomis dan dapat ditransportasikan, minyak dalam jumlah yang cukup besar.
- *Frekwensi* transportasi dapat berlangsung secara terus menerus dan tidak tergantung pada musim maupun cuaca, dalam hal ini ombak/gelombang pada sumur lepas pantai.
- Jangka waktu penggunaan sistem transportasi pipa lebih lama, bisa bertahan sampai 20 tahun bahkan bisa lebih lama lagi.

Agar transportasi dengan menggunakan pipa dapat beroperasi sesuai dengan kebutuhan dan efisien, maka perlu dilakukan

Komposisi Kimia

- 1) Bahwa pipa dibuat dari baja yang dipadu dengan unsur-unsur kimia yang berbeda, sehingga dicapai sifat-sifat dari pipa yang diinginkan.

- 2) Dengan campuran/paduan komposisi kimia yang berbeda akan mempunyai pengaruh terhadap material pipa itu sendiri seperti :
- Ketahanan terhadap korosi
 - Kemudahan pengerjaan penyambungan
 - Kemudahan pipa untuk di bentuk
 - Kekuatan terhadap gaya-gaya yang bekerja.

Standar Ketebalan Dinding Pipa

Ketebalan dinding pipa untuk masing-masing ukuran Nominal \emptyset atau garis tengah nominal berubah² sesuai dengan kelas dan kemampuan yg ditentukan untuk menahan tekanan dan suhu kerja aliran fluida.

Ada Tiga Standar ketebalan dinding pipa baja karbon :

1. *Standar Weight* (STD)

Ketebalan dinding pipa *Standard Weight* diperuntukan melayani Tekanan & Suhu yg relatif Rendah. Tekanan Kerja yg Aman untuk Standard ini Maksimum pada 150 Psi (± 11 kgm/cm²).

2. *Extra Strong atau Extra Heavy* (XS atau XH)

Ukuran yg lebih tebal dari standard weigh, diperlukan untuk melayani tekanan dan suhu menengah (± 300 Psi) dari fluida yang melewatinya.

3. *Double Extra Strong atau Double Extra Heavy* (XXS atau XXH)

Pipa standard XXS & XXH, mempunyai tingkat ketebalan yang lebih dibandingkan kedua standar lainnya, dan dipergunakan untuk melayani tekanan suhu yg Tinggi (> 600 Psi) dng berbagai variasi suhu fluida.

Schedule Number

Menurut *schedule*, Tebal dinding Pipa dikelompokkan atas 10 kelas Utama.

Yang disebut "Schedule Pipa" yaitu :

- *Schedule* 10, 20, 30, 40, 60, 80, 120, 140 dan 160.
- *Schedule* 10 adalah pipa yang dindingnya paling Tipis.
- *Schedule* 160 adalah pipa yang dindingnya paling tebal.

Tebal dari masing-masing Tebal dinding tersebut diatas seperti dalam tabel :

Dimension Of Seamless Steel Pipe ANSI - B 36.10

Untuk Perhitungan Kekuatan Pipa Harus Sesuai Dengan Ketentuan Standard ANSI B. 31 :

- ANSI B.31.1 : Power Piping System
- ANSI B.31.2 : Pipa Industri Gas Dan Udara
- ANSI B.31.3 : Pipa Dalam *Refinery* (Kilang)
- ANSI B.31.4 : Pipa Transportasi Minyak
- ANSI B.31.5 : Pipa Sistem Pendingin
- ANSI B.31.6 : Pipa Industri Kimia
- ANSI B.31.7 : Pipa Nuklir
- ANSI B.31.8 : Pipa Transmisi Gas

Standard Code, akan memuat spesifikasi dari material pipa seperti:

- Standard ukuran,
- Standard tebal dinding,
- Standard bahan,
- Sehingga kita dapat memilih pipa untuk digunakan.

C.3.C PERAWATAN JALUR PIPA

Perawatan terhadap semua fasilitas yang mendukung kelancaran operasional pada jalur transportasi Migas adalah : Mutlak dan harus ditangani khusus secara professional dalam menjaga kondisi pipa tersebut, agar tetap terjaga dengan baik sehingga Efisiensinya tetap tinggi. Beberapa macam pemeliharaan yang dilakukan oleh bagian khusus yang menangani perawatan tsb, yaitu Bagian *Production Coordination & Transmission*.

A. Pemeliharaan Pipa Bagian Luar (External Maintenance)

Extrenal Maintenance, pemeliharaan dari luar : suatu usaha untuk mencegah agar pipa tidak Terkontaminasi dari kemungkinan yang dapat menyebabkan terjadi Korosi, pada pipa yang akan mengakibatkan berkurangnya ketebalan pipa shg tidak dapat memenuhi STD keamanan Operasi.

Pemeliharaan Pipa Dari Luar Adalah :

- **Isolation Test**, yakni memeriksa kondisi *Coating* dan *Wrapping* pada pipa yg ditanam dalam tanah (Under Ground Pipa).
- **Painting**, adalah pengecatan terhadap jalur pipa di atas tanah dengan cat Spesifikasi dan jenis khusus.
- **Chatodik Protection**, yaitu bila suatu logam dalam hal ini baja yang terpapar di lingkungan elektrilit (air atau tanah) maka baja tersebut akan terkorosi.

Pemeliharaan Pipa Secara Operational

Permukaan dinding bagian dalam pipa adalah : merupakan bagian yang rentan terjadinya penipisan ketebalan akibat dari faktor Gesekan dari fluida ikutan (impuritis) nya. Untuk mengurangi, memantau terjadinya penipisan ketebalan pada dinding bagian dalam adalah Sbb :

- **Injeksi Bahan Kimia**, secara terus menerus ke dalam pipa untuk melapisi dinding pipa dengan jenis sesuai Rekomendasi Laboratorium.
- **Corrossion Coupon**, ini logam tipis yang dimasukan ke dalam pipa melalui laju korosi, kemudian logam secara periodik ± Sebulan Sekali dikeluarkan dari sistem untuk dievaluasi mengenai timbangan beratnya.

Pemeliharaan pipa bagian luar (External Maintenance)

Pemeliharaan bagian luar dinding pipa adalah suatu usaha untuk mencegah agar pipa tidak terkontaminasi dari kemungkinan yang dapat menyebabkan terjadinya Korosi pada pipa yang akan menghambat terdegradasinya ketebalan pipa sehingga tdk memenuhi standar keamanan operasi.

Macam Pemeliharaan Pipa dari Luar

- **Isolation test**, yakni memeriksa kondisi *coating / wrapping* pada pipa yang ditanam dalam tanah (under ground pipe) secara periodik apakah pipa masih terisolir atau terlindungi dengan baik dari kontaminan disekitar pipa tsb.
- **Painting** adalah pengecatan terhadap jalur pipa di atas tanah dengan cat spesifikasi dan jenis khusus.
- **Chatodic Protection**, didefinisikan sebagai teknik menurunkan laju korosi pada permukaan logam dengan melewatkan sejumlah arus katodik sehingga

meniadakan laju pelarutan pada anoda. Secara singkat dapat diterangkan bahwa penggunaan arus DC yang berasal dari luar untuk melawan arus korosi dari anoda suatu material yang berada pada medium yang mempunyai sifat konduktif/pengantar arus atau elektrolit seperti tanah dan air.

- **Coating**, adalah lapisan material yang tipis dalam bentuk cair atau bubuk, yang disebar diseluruh permukaan struktur sehingga membentuk suatu lapisan tipis yang dapat melindungi dan mencegah dari pengaruh kondisi lingkungan sekitarnya.
- **Coating** digunakan untuk meningkatkan penampilan, kemampuan dari pipa, mencegah terbentuknya endapan, mencegah bereaksinya kontaminan dengan dinding struktur dan mencegah terjadinya korosi.

Internal Corrosion

- *Inhibitor* adalah substansi yang dapat memperlambat reaksi kimia. Jadi *corrosion inhibitor* adalah substansi yang ditambahkan ke dalam lingkungan sehingga dapat memperlambat terjadinya korosi dari lingkungan/fluida dari dalam pipa.
- *Corrosion inhibitor* biasanya ditambahkan dalam jumlah yang sangat kecil sekali ke dalam asam, air pendingin, uap dan berbagai lingkungan fluida lainnya, yang dilakukan secara kontinyu atau berkala.

Perencanaan pipa salur meliputi :

1. Perhitungan tekanan *Upstream* atau *Downstream* untuk laju aliran dan diameter pipa tertentu.
2. Perhitungan laju aliran untuk perbedaan tekanan dan diameter pipa tertentu.
3. Perhitungan diameter pipa untuk perbedaan tekanan dan laju aliran tertentu.

Masukan yang diperlukan untuk perencanaan ini, selain dua dari tiga variabel di atas, adalah :

1. Panjang pipa salur.
2. Perbedaan ketinggian kedua ujung pipa salur.

Untuk daerah berbukit-bukit diperlukan data ketinggian setiap bukit yang dilalui pipa salur

ketinggian mana diukur dari titik masuk (*inlet*).

3. Sifat fisik fluida yang mengalir.

4. Jenis pipa salur.

Sesuai dengan jenis fluida yang mengalir, perencanaan pipa salur ini dibedakan menjadi perencanaan pipa salur untuk :

1. Aliran gas

2. Aliran cairan (minyak dan air)

3. Aliran gas dan cairan.

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas Pengantar

Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran sistem pemipaan di permukaan? Sebutkan dan jelaskan!
2. Bagaimana cara saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
6. Apa bukti yang harus diunjuk kerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-00**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran dengan mengamati gambar berikut ini.

Aktivitas 1. Menentukan Sistem Pemipaan

Saudara mungkin mempunyai pandangan yang berbeda dari teman-teman lain tentang Sistem Pemipaan. Apa yang Saudara temukan setelah memahami Sistem Pemipaan tersebut? Apakah ada hal-hal yang baik atau sebaliknya yang Saudara temukan? Diskusikan hasil pengamatan Saudara dengan anggota kelompok Saudara. Selanjutnya selesaikan **LK-01** dengan dipandu pertanyaan berikut.

1. Mengapa diperlukan Sistem Pemipaan? Tuliskan!, kegiatan apa saja yang perlu dilakukan sebelum Sistem Pemipaan? Apa yang akan terjadi jika Sistem Pemipaan tidak sesuai prosedur?
2. Menurut Saudara Parameter Sistem Pemipaan manakah yang memerlukan perhatian ekstra?
3. Apa saja langkah-langkah yang harus Saudara pikirkan dalam membuat Sistem Pemipaan? Coba anda uraikan!
4. Menurut Saudara Sistem Pemipaan manakah yang memerlukan perhatian ekstra?
5. Apa yang harus Saudara lakukan selaku guru kejuruan apabila melihat kondisi Sistem Pemipaan yang tidak optimal?

Saudara dapat menuliskan jawaban dengan menggunakan **LK-01**.

Hasil diskusi dapat Saudara tuliskan pada kertas plano dan dipresentasikan kepada anggota kelompok lain. Kelompok lain menanggapi dengan mengajukan pertanyaan atau memberikan penguatan. Saudara dapat membaca bahan bacaan tentang Sistem Pemipaan.

Aktivitas 2: Memahami Karakteristik dan Normalitas Pipa

Setelah Saudara memahami Sistem Pemipaan pada aktivitas 1, maka pada aktivitas 2 ini Saudara akan mendiskusikan Karakteristik dan Normalitas Pipa. Untuk kegiatan ini Saudara harus menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Apa yang Saudara ketahui tentang Karakteristik dan Normalitas Pipa?

2. Apa yang Saudara ketahui tentang kelebihan dan kekurangan menggunakan *non metallic flow line* ?

3. Menurut pendapat Saudara mengapa Karakteristik dan Normalitas Pipa penting bagi kelangsungan kinerja produksi minyak dan gas?

Saudara dapat menuliskan jawaban dengan menggunakan **LK-02**. Untuk memperkuat pemahaman Saudara tentang Karakteristik dan Normalitas Pipa. Bacalah bahan bacaan tentang Karakteristik dan Normalitas Pipa.

Aktivitas 3: Perawatan Jalur Pipa

Setelah Saudara memahami Karakteristik dan Normalitas Pipa 2, maka pada aktivitas 3 ini Saudara akan mendiskusikan tentang Perawatan Jalur Pipa. Untuk kegiatan ini Saudara harus menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Apa yang Saudara lakukan sebelum melakukan Perawatan Jalur Pipa?
2. Informasi apa saja yang diperlukan sebelum melakukan Perawatan Jalur Pipa?
3. Mengapa Perawatan Jalur Pipa sangat diperlukan sebelum menentukan suatu produksi minyak dan gas?
4. Menurut Saudara apa keuntungan dan kerugian Perawatan Jalur Pipa?
5. Apakah dampak dari keuntungan dan kerugian Perawatan Jalur Pipa pada performansi produksi minyak dan gas? Coba Saudara Uraikan?

Saudara dapat menuliskan jawaban dengan menggunakan **LK-03**. Untuk memperkuat pemahaman Saudara tentang Perawatan Jalur Pipa. Bacalah bahan bacaan tentang Perawatan Jalur Pipa.

LEMBAR KERJA (LK-00)

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran sistem pemipaan di permukaan? Sebutkan dan jelaskan!

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

2. Bagaimana cara saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

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

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

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

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....
.....

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

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

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

6. Apa bukti yang harus diunjuk kerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

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

LEMBAR KERJA (LK-01)

1. Mengapa diperlukan Sistem Pemipaan? Tuliskan!, kegiatan apa saja yang perlu dilakukan sebelum Sistem Pemipaan? Apa yang akan terjadi jika Sistem Pemipaan tidak sesuai prosedur?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Menurut Saudara Parameter Sistem Pemipaan manakah yang memerlukan perhatian ekstra?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....
.....

3. Apa saja langkah-langkah yang harus Saudara pikirkan dalam membuat Sistem Pemipaan? Coba anda uraikan!

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

4. Menurut Saudara Sistem Pemipaan manakah yang memerlukan perhatian ekstra?

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

.....
.....

5. Apa yang harus Saudara lakukan selaku guru kejuruan apabila melihat kondisi Sistem Pemipaan yang tidak optimal?

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

3. Menurut pendapat Saudara mengapa Karakteristik dan Normalitas Pipa penting bagi kelangsungan kinerja produksi minyak dan gas?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

LEMBAR KERJA (LK-03)

1. Apa yang Saudara lakukan sebelum melakukan Perawatan Jalur Pipa?

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

2. Informasi apa saja yang diperlukan sebelum melakukan Perawatan Jalur Pipa?

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

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

5. Apakah dampak dari keuntungan dan kerugian Perawatan Jalur Pipa pada performansi produksi minyak dan gas? Coba Saudara Uraikan?

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

E. Latihan/Kasus/Tugas

1. Sebutkan metoda pembuatan pipa?
2. Sebutkan klasifikasi pipa berdasarkan cara pembuatannya?
3. Sebutkan proses pembuatan pipa dengan sistem *welded*?
4. Apa yang dimaksud *Seamless pipe* jelaskan?
5. Sebutkan bentuk ujung pipa dan jelaskan?

F. Rangkuman

1. Pada umumnya pipa yang digunakan untuk penyaluran minyak dan gas bumi adalah pipa yang dibuat dari bahan baja (carbon steel) dan mengikuti standar API, ANSI dan ASTM.
2. Pembuatan pipa menurut proses produksi dibagi menjadi dua :
 - a. *Welded Steel Pipe* (pipa dengan sambungan las)
 - b. *Seamless pipe* (pipa tanpa sambungan)
3. Menurut Standar ANSI/ASME, Ukuran Diameter Nominal Pipa Ditentukan Sbb :
 - a. Untuk Pipa Ukuran : 1/8 - 12 — OD = Diameter Nominal
 - b. Untuk Pipa Ukuran Lebih Besar Dari 14 — OD = Diameter Nominal
4. Kecepatan maksimum yang dipakai untuk menentukan ukuran pipa untuk *liquid* adalah 15 ft/sec.

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

1. Jelaskan bagaimana kegiatan pembelajaran yang telah dilaksanakan?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

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

2. Apakah hasil pembelajaran dapat diimplementasikan dilingkungan kerja?

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

3. Jika belum bisa diterapkan di sekolah saudara , apa yang perlu ditingkatkan agar indicator pencapaian kompetensi dapat tercapai?

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

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

KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

A. Tujuan

Setelah mempelajari modul ini diharapkan Saudara dapat:

1. Menghitung faktor-faktor produksi sumur *flowing*

B. Indikator Pencapaian Kompetensi

1. Menghitung aliran dari *Reservoir* ke lubang sumur
2. Menghitung aliran fluida dari dasar sumur-pipa tegak
3. Menghitung aliran fluida melalui *choke*
4. Menghitung aliran fluida melalui pipa datar

C.3.D FAKTOR – FAKTOR PRODUKSI SUMUR *FLOWING*

Dalam memproduksi migas, hal yang harus diperhatikan adalah berapa besarnya kapasitas produksi optimum yang dapat diperoleh sesuai dengan kemampuan dan kondisi reservoir. Untuk keperluan tersebut perlu diperkirakan:

- 1) Kelakuan aliran fluida dari formasi produktif ke lubang sumur (inflow performance)
- 2) Kelakuan aliran fluida melalui kompleksi sumur (well completion)
- 3) Kelakuan aliran fluida dari dasar sumur ke permukaan (tubing performance)
- 4) Kelakuan aliran fluida melalui *bean / choke* (bean performance)
- 5) Kelakuan aliran fluida melalui pipa datar (flow line).

A. Kelakuan Aliran Fluida

1. Aliran fluida dari Formasi Produktif ke Lubang Sumur Fluida yang mengalir dari formasi produktif ke lubang sumur dipengaruhi oleh:
 1. Sifat fisik fluida
 2. Sifat fisik batuan
 3. Geometri dari sumur dan daerah pengurasan
 4. Jenis tenaga pendorong reservoir

Umumnya aliran fluida menuju ke lubang sumur dianggap radial, dengan demikian kapasitas aliran minyak yang bergerak menuju ke lubang sumur dapat diformulasikan sebagai:

$$q_o = \frac{0,007082 \cdot k_o \cdot h (P_r - P_{wf})}{\mu_o \cdot \beta_o \cdot \ln 0,472 \frac{r_e}{r_w}}$$

dimana:

P_r = tekanan rata-rata reservoir, Psi

P_{wf} = tekanan alir dasar sumur, Psi

q_o = kapasitas produksi minyak, STB/hari

β_o = factor volume formasi minyak, BBL/STB

k_o = permeabilitas efektif minyak, Md

h = tebal formasi produktif atau interval perforasi, ft

μ_o = viscositas minyak, cp

r_e = jari-jari pengurasan, ft

r_w = jari-jari sumur, ft

Sebagai catatan, minyak dianggap fluida yang *incompressible*, sebenarnya minyak adalah fluida yang *slightly compressible* dan fluida yang *incompressible* adalah air.

Asumsi untuk persamaan diatas adalah sebagai berikut:

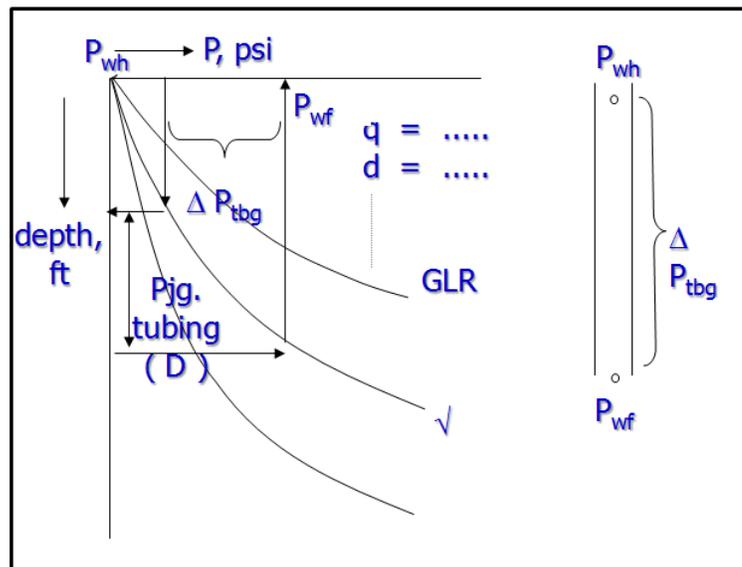
- 1) Aliran fluida *pseudo steady state* ($P_r - P_{wf}$ = tetap)
- 2) Fluida 1 (satu) fasa, cair dan *incompressible*
- 3) *Reservoir circular*, sumur ditengah-tengah
- 4) Batuan homogen
- 5) Tidak ada damage ($S = 0$)

2. *Vertical Lift Performance* *Vertical Lift performance* adalah analisa fluida dari dasar sumur ke permukaan melalui pipa tegak (tubing), dimana pada aliran melalui tubing ini terjadi kehilangan tekanan (pressure loss) paling besar Faktor-faktor yang mempengaruhi aliran fluida dari dasar sumur sampai ke permukaan antara lain:

- a) Gesekan antara fluida formasi dengan diameter dalam tubing.
- b) *Gradient* tekanan fluida
- c) Banyaknya gas yang terlarut dalam cairan

3. Kelakuan Aliran Fluida Melalui Pipa Tegak dan Pipa Datar

Untuk pipa tegak dapat menggunakan grafik *gradient* tekanan untuk pipa tegak. Untuk menghitung kehilangan tekanan di sepanjang tubing digunakan kurva *gradient* aliran vertikal (DPG = depth pressure gradient) Grafik kehilangan tekanan pada pipa tegak dapat dilihat pada gambar.



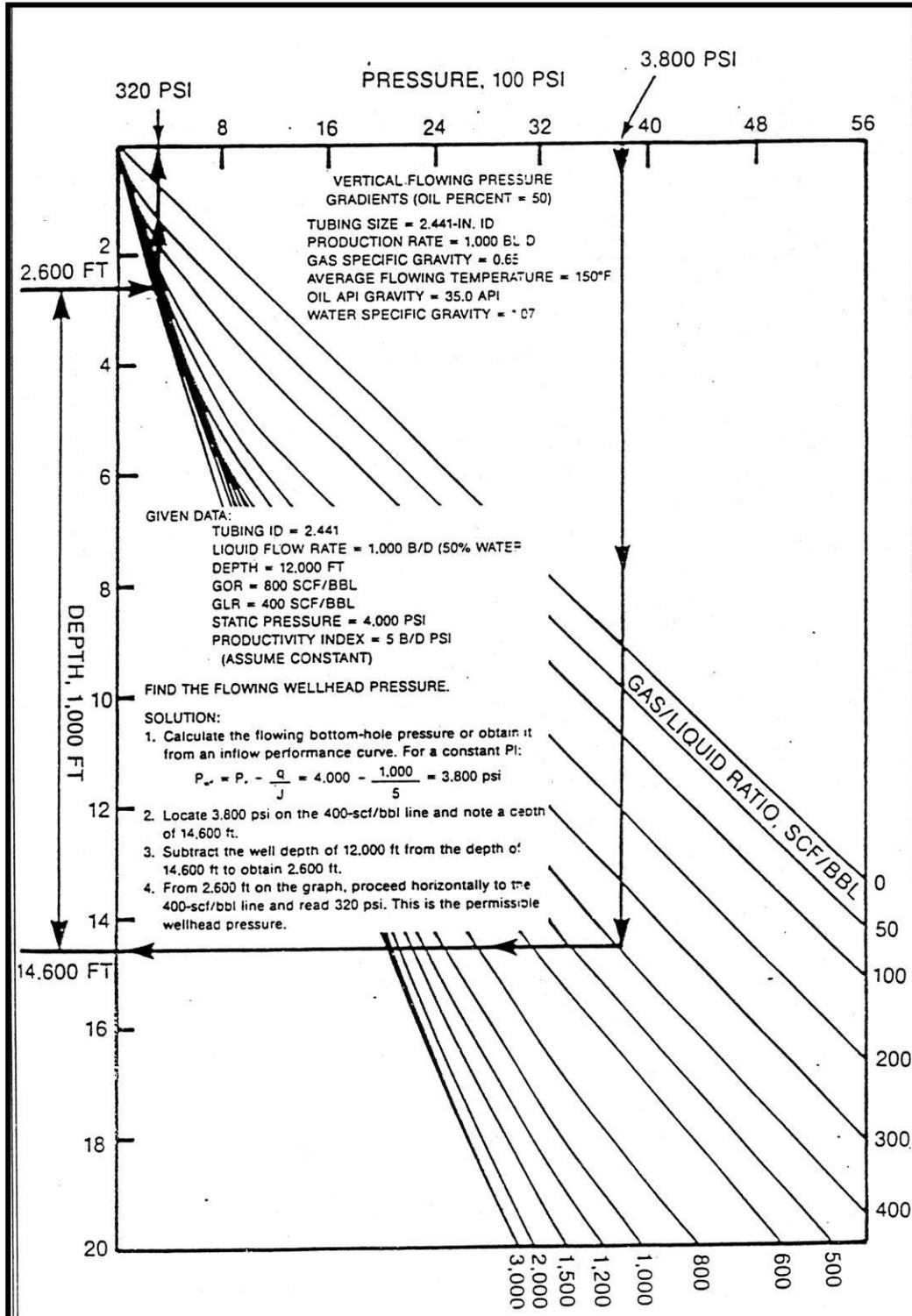
Gambar 2. Grafik kehilangan tekanan pada pipa tegak

4. Bean Performance

Bean performance adalah analisa mengenai kehilangan tekanan pada aliran fluida melalui pipa yang diameternya diperkecil pada suatu tempat dan akan meluas kembali seperti semula setelah melewati *bean*. Fungsi *bean*/jepitan adalah untuk menentukan besarnya laju produksi suatu sumur (BPD) dan akibat perubahan diameter *bean* akan berpengaruh terhadap besar kecilnya tekanan alir dasar sumur (P_{wf}) dan tekanan tubing (P_t).

Efek samping dari perubahan diameter *choke* adalah:

- Perubahan tekanan alir dasar sumur
- Perubahan tekanan *tubing*



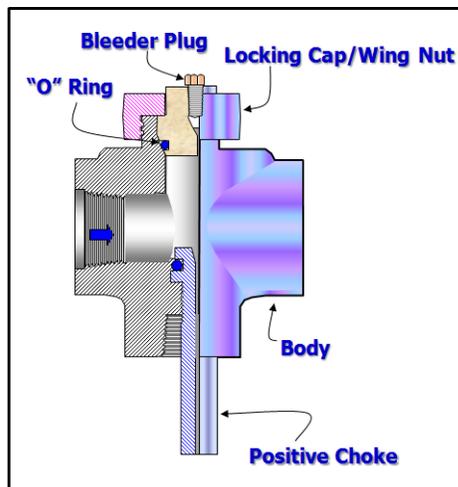
Gambar 3. Grafik Pressure Gradient

Jenis Choke

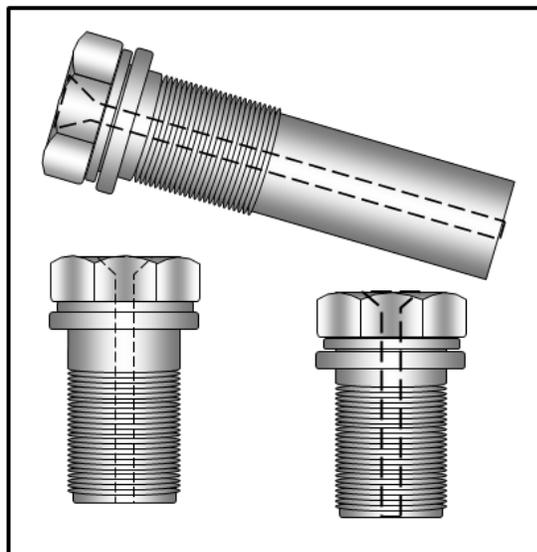
Choke dibagi dalam 2 (dua) macam :

1. *Positive choke* dibuat dari besi baja pejal, dimana bagian dalamnya terdapat lubang (orifice) dengan diameter tertentu untuk mengalirkan fluida ke *separator*. Ukuran *choke* dinyatakan per 64II (/64II).

Bila sumur migas menggunakan *single wing*, maka untuk mengganti choke sumur harus ditutup (shut-in), apabila sumur migas menggunakan *double wing*, maka arah aliran dapat dirubah.



Gambar 4. Aliran choke



Gambar 5. Positif choke

2. Adjustable Choke

Untuk merubah besar kecilnya diameter *choke*, dapat dilakukan dengan cara memutar *hand wheel*, sesuai diameter yang diinginkan tanpa menutup sumur atau mengalihkan arah aliran.

a. Menghitung besar kecilnya diameter *choke*

Dengan perhitungan :

Rumus Gilbert :

$$THP = \frac{435 \cdot R^{0,546} \cdot Q}{S^{1,89}} \text{ atau}$$

$$THP = \frac{600 \cdot R^{0,5} \cdot Q}{S^2}$$

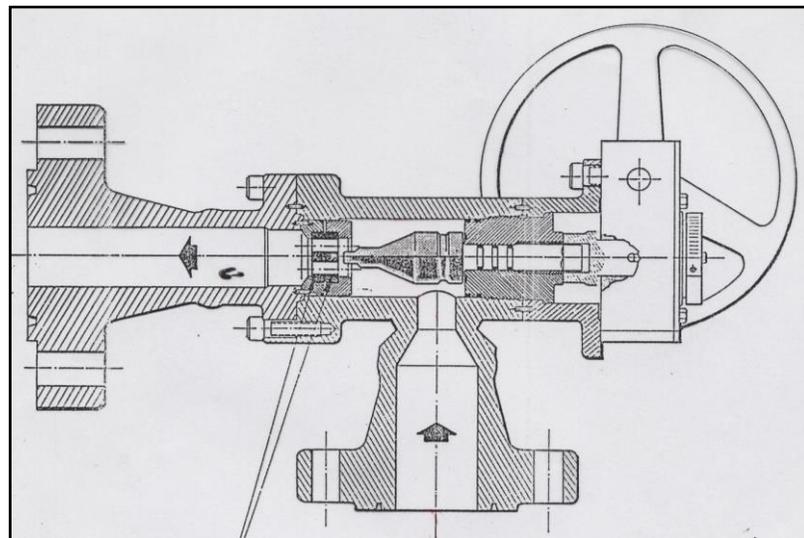
dimana:

THP = *Tubing head pressure*, Psig

R = *Gas liquid ratio*, Mcf/Bbl

Q = Laju produksi, Bbl/D

S = Diameter *choke/bean*, (1/64")



Gambar 6. Adjustable Choke

1 Evaluasi Sumur *Flowing*

Productivity Index

Produktivitas formasi merupakan kemampuan suatu formasi untuk memproduksi fluida yang dikandungnya pada kondisi tertentu. Untuk mengetahui kemampuan suatu sumur memproduksi pada setiap saat, maka digunakan konsep "Productivity Index" (Indeks Produktivitas) dimana dengan diketahuinya indeks produktivitas tersebut diharapkan masa hidup dari suatu reservoir dapat diketahui.

Indeks Produktivitas (*PI*) didefinisikan sebagai angka atau indeks yang menyatakan besarnya kemampuan suatu sumur/reservoir untuk memproduksi fluida pada kondisi tertentu, atau dapat pula didefinisikan sebagai perbandingan antara laju produksi (*q*) yang dihasilkan oleh suatu sumur tertentu dengan perbedaan tekanan dasar sumur dalam keadaan statik (P_s) dan tekanan dasar sumur dalam keadaan terjadi aliran (P_{wf}). Dalam bentuk persamaan, definisi tersebut dapat dinyatakan sebagai :

$$PI = \frac{q_o}{(P_s - P_{wf})}$$

dimana :

PI = Indeks Produktivitas, bbl/hari/psi

q_o = laju produksi minyak, bbl/hari

$P_s - P_{wf}$ = perbedaan tekanan atau "draw down", psi

Persamaan di atas didapat berdasarkan data test tekanan dan hanya digunakan untuk satu macam cairan (dalam hal ini hanya minyak).

Sedangkan untuk dua macam cairan (minyak dan air), maka

$$PI = \frac{q_o + q_w}{(P_s - P_{wf})}$$

dimana :

q_w = laju produksi air, bbl/hari

Disamping berdasarkan data tekanan dari test tekanan, harga PI dapat pula ditentukan berdasarkan persamaan aliran radial dari Darcy, sebagai berikut :

$$PI = \frac{7,082 k_o h}{\mu_o B_o \ln(r_e / r_w)}$$

Sedangkan untuk persamaan minyak dan air, berlaku persamaan :

$$PI = \frac{7,082 h}{\ln(r_e / r_w)} \left[\frac{k_o}{\mu_o B_o} + \frac{k_w}{\mu_w B_w} \right]$$

dimana :

- h = ketebalan lapisan reservoir, ft
- k_w = permeabilitas batuan terhadap air, D
- k_o = permeabilitas batuan terhadap minyak, D
- μ_w = viskositas air, cp
- μ_o = viskositas minyak, cp
- B_w = faktor volume formasi air, bbl/STB
- B_o = faktor volume formasi minyak, bbl/STB
- r_e = jari-jari pengurasan, ft
- r_w = jari-jari sumur, ft

Harga PI untuk setiap satuan ketebalan tidak sama, maka harus dihitung untuk setiap ketebalan, yaitu dengan menggunakan *specific productivity index* (SPI).

$$SPI = \frac{PI}{h}$$

dimana :

- SPI = indeks produktivitas spesifik, bbl/hari/psi/ft
- h = ketebalan bersih lapisan reservoir, ft

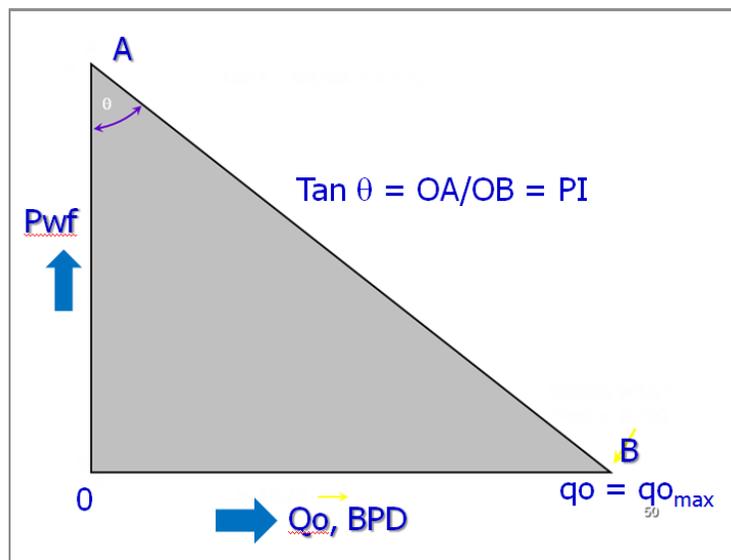
Inflow Performance Relationship (IPR) dan Potensial Sumur

Untuk perencanaan metoda produksi suatu sumur ataupun untuk melihat kelakuan suatu sumur selama berproduksi, hubungan antara kapasitas produksi minyak dengan tekanan alir dasar sumur biasanya digambarkan secara grafis dan disebut sebagai grafik *Inflow Performance Relationship*

(IPR) Untuk aliran fluida dimana tekanan alir lebih besar dari titik gelembung (PI = tetap), grafik IPR dibuat dari persamaan:

$$P_{wf} = P_r - \frac{q_o}{PI}$$

Berdasarkan persamaan tersebut maka secara grafis diperoleh hubungan berupa garis lurus. Titik A adalah harga saat $q_o = 0$ dan sesuai dengan persamaan diatas pada keadaan tersebut tekanan pada dasar sumur (P_{ws}) adalah P_r ($P_{ws} =$ shut in well pressure) sedangkan titik B adalah harga q_o pada $P_{wf} = 0$.



Gambar 7. Grafik IPR Aliran 1 (satu) fasa cair

Keterangan :

Titik A = $q_o = 0$ BPD

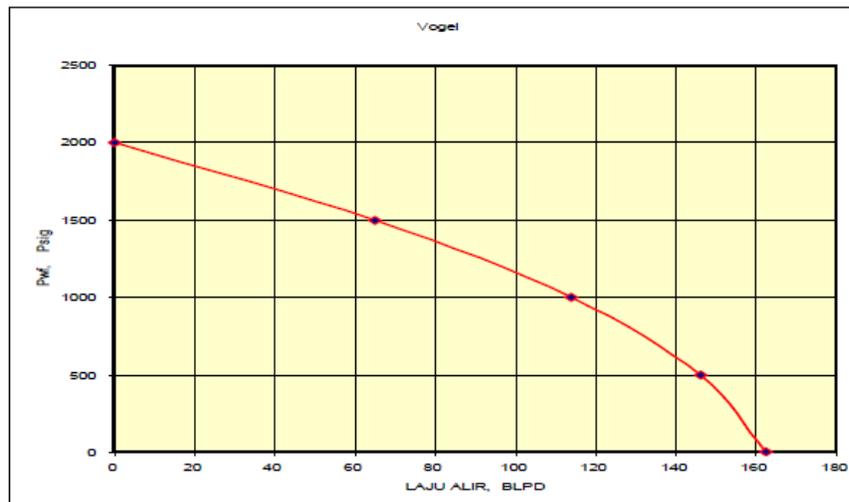
Titik B = $q_o = q_o(\text{max})$, dimana $P_{wf} = 0$ Psi

Keadaan tersebut laju produksi minyak adalah laju produksi maksimum. Laju produksi maksimum ini disebut sebagai potensial sumur. Harga ini merupakan batas kapasitas produksi maksimum yang diperbolehkan dari suatu sumur. Apabila sudut OAB adalah $= \theta$, maka tan

$\theta = PI$. Dengan demikian harga PI menyatakan kemiringan dari garis IPR, atau sering disebut *slope*. Apabila fluida yang mengalir terdiri dari fasa minyak dan gas, harga PI tidak konstan.

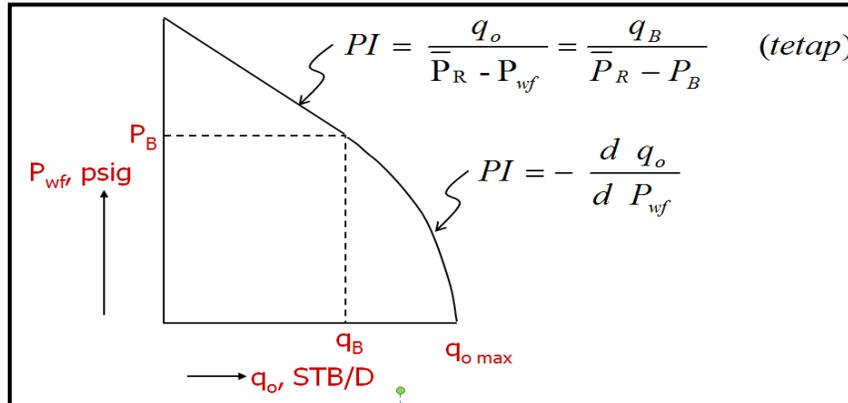
Grafik IPR untuk aliran 2 fasa akan merupakan garis lengkung, karena kemiringan IPR akan berubah secara kontinyu untuk setiap harga P_{wf} yang berbeda. Untuk aliran fluida dimana tekanan rata-rata reservoir (P_r) lebih kecil atau sama dengan tekanan titik gelembung (P_b), berlaku persamaan Vogel sebagai berikut:

$$\frac{q_o}{q_o(\max)} = 1 - 0,2 \frac{P_{wf}}{P_r} - 0,8 \left(\frac{P_{wf}}{P_r} \right)^2$$



Gambar 8. Grafik IPR aliran 2 fasa (minyak dan gas)

- a) IPR untuk reservoir jenuh (P_b), dimana fasa minyak dan gas mengalir bersama-sama dalam *reservoir* (lapisan produktif).



b) IPR untuk reservoir belum jenuh ($P_r > P_b$) Apabila tekanan rata-rata reservoir (P_r) lebih besar dari tekanan titik gelembung (P_b) atau *undersaturated reservoir*, maka kurva IPR akan terdiri dari 2 bagian, yaitu:

- 1) Bagian yang lurus untuk $P_{wf} > P_b$
- 2) Bagian lengkung (tidak linier) untuk harga $P_{wf} \leq P_b$ kurva IPR untuk kondisi tersebut dapat dilihat pada gambar 2-4 sehubungan dengan itu maka :
- 3) Untuk keadaan dimana $P_{wf} \leq P_b$, berlaku hubungan berikut:

$$\frac{q_o - q(ob)}{q_o(max) - q(ob)} = 1 - 0,2 \frac{P_{wf}}{P_b} - 0,8 \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right)^2$$

Besar $q_{o max}$ ditentukan dari persamaan :

$$q_o(max) = \frac{q_o.P_b}{1,8(P_r - P_{wf})} + q_{ob}$$

Bila aliran steady state, maka $P_e = \text{tetap}$ dan jari-jari pengurasan = r_e .

Bila aliran pseudo steady state, maka $P_r - P_{wf} = \text{tetap}$ dan jari-jari pengurasan = $0,472 . r_e$.

P_r adalah tekanan rata-rata reservoir dan P_e adalah tekanan pada batas daerah pengurasan (r_e) untuk aliran *steady state*. Semua persamaan diatas dikembangkan oleh Vogel dengan menganggap bahwa disekitar lubang sumur tidak terjadi kerusakan (formation damage). Dengan demikian dianggap efisiensi aliran (flow efficiency) = 1.

Efisiensi aliran (FE), didefinisikan sebagai perbandingan antara *drawdown ideal* (disekitar lubang sumur terjadi kerusakan) dengan *drawdown sebenarnya*. Secara persamaan, FE dapat dituliskan sebagai berikut

$$FE = \frac{\text{drawdown ideal}}{\text{drawdown sebenarnya}} = \frac{P_r - P_{wf}^1}{P_r - P_{wf}}$$

dimana : $P_{wf}^1 = P_{wf} + \Delta P_{skin}$

Dengan demikian :

$$FE = \frac{P_r - P_{wf} + \Delta P_{skin}}{P_r - P_{wf}}$$

Berdasarkan anggapan bahwa efisiensi aliran $\neq 1$, Standing membuat grafik IPR tidak berdimensi untuk FE antara 0,5 sampai 1,5 dan $P_r \neq P_b$,

Dengan grafik tersebut dapat ditentukan beberapa hal, yaitu:

- 1) Laju produksi minyak maksimum yang dapat diperoleh dari sebuah sumur yang mengalami kerusakan disekitar lubang sumur ($FE < 1$)
- 2) Laju produksi minyak maksimum yang dapat diperoleh dari sebuah sumur tidak yang mengalami kerusakan disekitar lubang sumur ($FE=1$)
- 3) Laju produksi minyak maksimum yang dapat diperoleh setelah kerusakan disekitar lubang sumur diperbaiki ($FE > 1$)

- 4) Laju produksi minyak yang dapat diperoleh untuk suatu tekanan alir dasar sumur tertentu dan FE yang berbeda.
- 5) Pembuatan grafik IPR untuk sumur yang mengalami kerusakan di sekitar lubang
- 6) Pembuatan grafik IPR setelah kerusakan disekitar lubang sumur diperbaiki.

Contoh

1. Dari hasil tes produksi dan tekanan diperoleh data sebagai berikut:

Tekanan rata-rata reservoir = 2000 Psi

Tekanan alir dasar sumur = 1500 Psi

Kapasitas produksi minyak (q_o tes) = 65 BBL/Day

Hitung kapasitas produksi minyak maksimum (q_{omax}) dan buatlah grafik IPR. Penyelesaian:

$$1. \quad PI = \frac{q_o}{(P_s - P_{wf})} = \frac{65}{2000-1500} = \mathbf{0,13 \text{ BPD/PSI}}$$

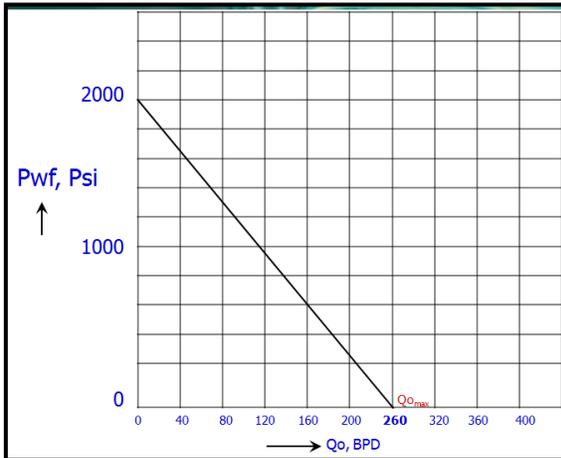
$$2. \quad Q_{omax} = 0,13 \times 2000 = 260 \text{ BPD}$$

3. Buat salib sumbu dengan P_{wf} pada sumbu vertical dan q_o pada sumbu horizontal

4. Plot $P_r = 2000$ Psi pada sumbu tegak (P_{wf})

5. Plot $q_{omax} = 260$ BPD pada sumbu horizontal (q_o)

6. Hubungkan kedua titik



Contoh

Dari hasil tes produksi dan tekanan diperoleh data:

Tekanan rata-rata reservoir, $P_r = 2000$ Psi

Tekanan alir dasar sumur, $P_{wf} = 1500$ Psi

Laju produksi minyak, $q_o = 65$ BPD

Efisiensi aliran, $FE = 1,0$

Dari analisa PVT diketahui bahwa $P_b = 2100$ Psi Buatlah grafik IPR dan tentukan $q_{o,max}$.

Penyelesaian:

1) Perhitungan q_o max

$$\frac{q_o - q(ob)}{q_o(max) - q(ob)} = 1 - 0,2 \frac{P_{wf}}{P_b} - 0,8 \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right)^2$$

$$(65/q_{o,max}) = 1 - 0,2 (1500/2000) - 0,8 (1500/2000)^2$$

$$65/q_{o,max} = 0,4$$

$$Q_{o,max} = 65/0,4 = 162,5 \text{ BPD}$$

2). Buat table P_{wf} ass vs q_o

Pwf asumsi	Pwf_{ass}/Pr	Qo/qo_{max}	Qo, Bbl/day
0	0,00	1,0	162,50
500	0,250	0,9	146,25
1000	0,500	0,7	113,75
1500	0,75	0,4	65,00
2000	1,00	0,00	0,00

- 3) Buat salib sumbu dengan Pwf assumpsi pada sumbu vertical dan qo pada sumbu horizontal
- 4) Plot Pwf assumpsi versus qo hasil perhitungan pada langkah-2
- 5) Hubungkan titik tersebut, maka lengkungan pada kurva IPR

Kurva IPR Tiga Fasa

Persamaan Pudjo Sukarno dikembangkan dengan menggunakan simulator untuk membuat kurva IPR tiga fasa. Anggapan yang dilakukan pada waktu pengembangan persamaan ini adalah :

- a. Faktor skin sama dengan nol.
- b. Gas, minyak dan air berada dalam satu lapisan dan mengalir bersama-sama, secara radial dari reservoir menuju lubang sumur.

Untuk menyatakan kadar air dalam laju produksi total, digunakan parameter *water cut*, yaitu perbandingan laju produksi air dengan laju produksi cairan total. Parameter ini merupakan parameter tambahan dalam persamaan kurva IPR yang dikembangkan.

Selain itu, hasil simulasi menunjukkan bahwa pada suatu harga tekanan *reservoir* tertentu, harga *water cut* berubah sesuai dengan perubahan tekanan alir dasar sumur, yaitu makin rendah tekanan alir dasar sumur, makin tinggi harga *water cut*. Dengan demikian perubahan *water cut* sebagai fungsi dari tekanan alir dasar sumur, perlu pula ditentukan.

Dalam pengembangan kelakuan aliran tiga fasa dari formasi ke lubang sumur, dengan menggunakan analisis regresi yang terbaik menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{q_o}{q_{t,max}} = A_o + A_1(P_{wf}/P_r) + A_2(P_{wf}/P_r)^2 \dots\dots\dots (1)$$

dimana : A_n , ($n = 0, 1$ dan 2) adalah konstanta persamaan, yang harganya berbeda untuk water cut yang berbeda. Hubungan antara konstanta tersebut dengan water cut ditentukan pula dengan analisis regresi, dan diperoleh persamaan berikut :

$$A_n = C_0 + C_1(WC) + C_2(WC)^2 \dots\dots\dots (2)$$

dimana : C_n , ($n = 0, 1$ dan 2) untuk masing-masing harga A_n ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Konstanta C_n untuk Masing-Masing A_n

A_n	C_0	C_1	C_2
A_0	0.980321	-0.115661×10^{-1}	0.179050×10^{-4}
A_1	-0.414360	0.392799×10^{-2}	0.237075×10^{-5}
A_2	-0.564870	0.762080×10^{-2}	-0.202079×10^{-4}

Sedangkan hubungan antara tekanan alir dasar sumur terhadap *water cut* pada suatu harga tekanan reservoir dapat dinyatakan sebagai P_{wf}/P_r terhadap $WC/(WC @ P_r)$ dimana $(WC @ P_r)$ telah ditentukan dengan analisis *regresi* yang menghasilkan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{WC}{WC @ P_r} = P_1 \times Exp\left[\frac{P_2 P_{wf}}{P_r}\right] \dots\dots\dots (3)$$

dimana P_1 dan P_2 tergantung dari harga *water cut*. Dari hasil analisis *regresi* menghasilkan persamaan berikut :

$$P_1 = 1.606207 - 0.130447 \times \ln(WC) \dots\dots\dots (4)$$

$$P_2 = -0.517792 + 0.110604 \times \ln(WC) \dots\dots\dots (5)$$

dimana *water cut* dinyatakan dalam persen (%) dan merupakan data uji produksi.

Prosedur pembuatan kurva IPR dengan menggunakan metoda Pudjo sukarno adalah sebagai berikut :

1. Siapkan data penunjang yang meliputi :
 - Tekanan *reservoir* (tekanan statik sumur).
 - Tekanan alir dasar sumur.
 - Laju produksi minyak dan air berdasarkan data uji produksi. Harga *water cut* selanjutnya dihitung dalam satuan persen,
2. Hitung konstanta P_1 dan P_2 dengan menggunakan persamaan (4) dan (5) berdasarkan harga *water cut* yang diperoleh dari data uji produksi.
3. Hitung $WC @ P_r$ dengan menggunakan persamaan (3), dimana *water cut* adalah dari uji produksi.
4. Berdasarkan harga $WC @ P_r$ pada langkah 3, hitung konstanta A_0 , A_1 dan A_2 dengan menggunakan persamaan (2). Harga konstanta ini tetap dan digunakan dalam perhitungan kurva IPR.
5. Berdasarkan data uji produksi, tentukan laju produksi cairan total maksimum dengan menggunakan persamaan (1) dan konstanta A_0 , A_1 dan A_2 yang diperoleh dari langkah 4.
6. Berdasarkan harga $q_{t,max}$ dari langkah 5, hitung laju produksi minyak untuk berbagai harga tekanan alir dasar sumur anggapan.

7. Laju produksi air untuk setiap tekanan alir dasar sumur tertentu dihitung dengan menggunakan langkah-langkah sebagai berikut :
 - a. Pada setiap harga tekanan alir dasar sumur anggapan, tentukan harga *water cut* dengan menggunakan persamaan (3) dan harga WC @ P_r dari langkah 3.
 - b. Hitung laju produksi air pada tekanan alir dasar sumur tersebut dengan menggunakan persamaan berikut :

$$q_w = q_o \frac{WC}{100 - WC} \dots\dots\dots (5)$$

C.3.E KELAKUAN ALIRAN FLUIDA RESERVOIR DALAM PIPA VERTIKAL

Aliran fluida vertikal terutama ditemui pada tubing yang digunakan untuk memproduksi suatu sumur. Dalam hal ini distribusi tekanan aliran sepanjang tubing harus diketahui, agar dapat dilakukan perencanaan ukuran tubing yang sebaiknya digunakan, untuk memperkirakan laju produksi yang dapat dihasilkan atau untuk tujuan perencanaan instalasi metoda produksi dengan pengangkatan buatan.

Anggapan-anggapan yang dilakukan oleh para ahli untuk mengembangkan korelasi kehilangan tekanan dalam pipa vertikal pada dasarnya dapat dikelompokkan menjadi tiga kelompok, yaitu :

1. Tanpa memperhatikan adanya slip serta pola aliran.
2. Memperhitungkan slip tetapi pola aliran diabaikan.
3. Memperhitungkan slip maupun pola aliran.

Tabel 3 memperlihatkan sebagian metoda-metoda perkiraan penurunan tekanan aliran sepanjang pipa serta kelompok anggapan dari metoda tersebut.

Tabel 3. Metoda-Metoda Perkiraan Kehilangan Tekanan dan Anggapan yang Digunakan

No.	Metoda	Kelompok Anggapan
-----	--------	-------------------

1	<i>Poetmann dan Carpenter</i>	1
2	<i>Baxendall dan Thomas</i>	1
3	<i>Fancher dan Brown</i>	1
4	<i>Hagedorn dan Brown</i>	2
5	<i>Duns dan Ross</i>	3
6	<i>Orkiszewski</i>	3
7	<i>Beggs dan Brill</i>	3

Selanjutnya metoda yang akan dibahas adalah metoda *Beggs dan Brill*, karena dalam metoda ini slip dan pola aliran diperhitungkan, selain itu juga mempertimbangkan sudut kemiringan pipa.

Pengembangan metoda *Beggs dan Brill* berdasarkan data percobaan dalam pipa, dalam skala kecil. Pipa yang digunakan adalah pipa *acrylic* dengan diameter 1 in dan 1.5 in dengan panjang 90 ft. Pipa tersebut dapat dimiringkan pada berbagai sudut kemiringan. Range dari parameter-parameter yang diukur adalah seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. *Range Parameter-Parameter Korelasi Beggs dan Brill*

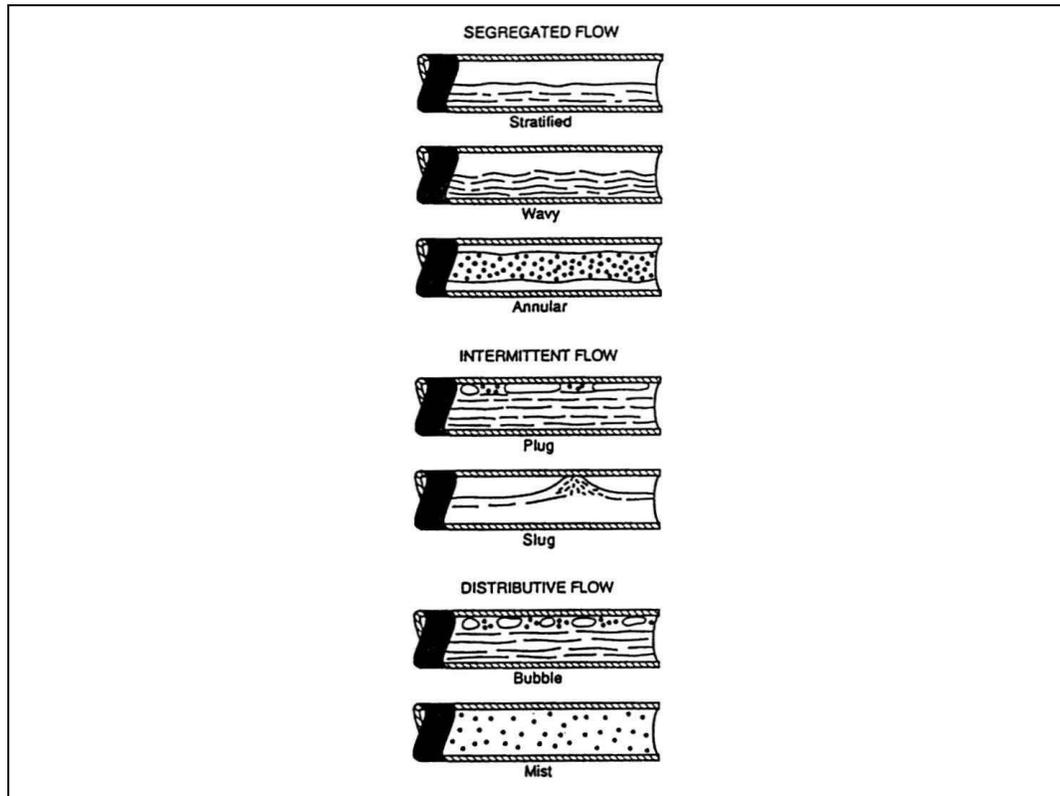
Parameter	Selang Pengukuran
1. Laju aliran gas	0 – 300 MSCFD
2. Laju aliran cairan	0 – 30 gpm
3. Tekanan sistem rata-rata	35 – 95 psia
4. Diameter pipa	1 dan 1.5 in

5. Liquid hold-up	0 – 0.87
6. Gradien tekanan	0 – 0.8 psi/ft
7. Sudut kemiringan	-90° – +90°
8. Pola aliran	Horizontal

Beggs dan Brill mengembangkan metodanya berdasarkan data pengukuran sebanyak 584 buah. Mula-mula liquid hold-up yang dihitung berdasarkan pola aliran pada kondisi pipa horisontal, kemudian apabila pipa miring dengan sudut kemiringan tertentu, maka liquid hold-up pada kondisi pipa miring tersebut ditentukan berdasarkan liquid hold-up pada pipa horisontal, setelah dilakukan koreksi terhadap kemiringan pipa tersebut.

Pola aliran pada kondisi horisontal tersebut dapat dilihat pada Gambar 9. Pola aliran yang diperlihatkan pada metoda *Beggs dan Brill*, yaitu membagi pola aliran menjadi daerah-daerah pola aliran. Daerah-daerah pola aliran tersebut adalah sebagai berikut :

1. *Segregated flow*, terdiri dari :
 - *Stratified flow*
 - *Wavy flow*
 - *Annular flow*
2. *Intermittent flow*, terdiri dari :
 - *Plug flow*
 - *Slug flow*
3. *Distributed flow*, terdiri dari :
 - *Bubble flow*
 - *Mist flow*
4. *Transition flow* :
 - *Interpolasi antara segregated dan intermittent flow.*



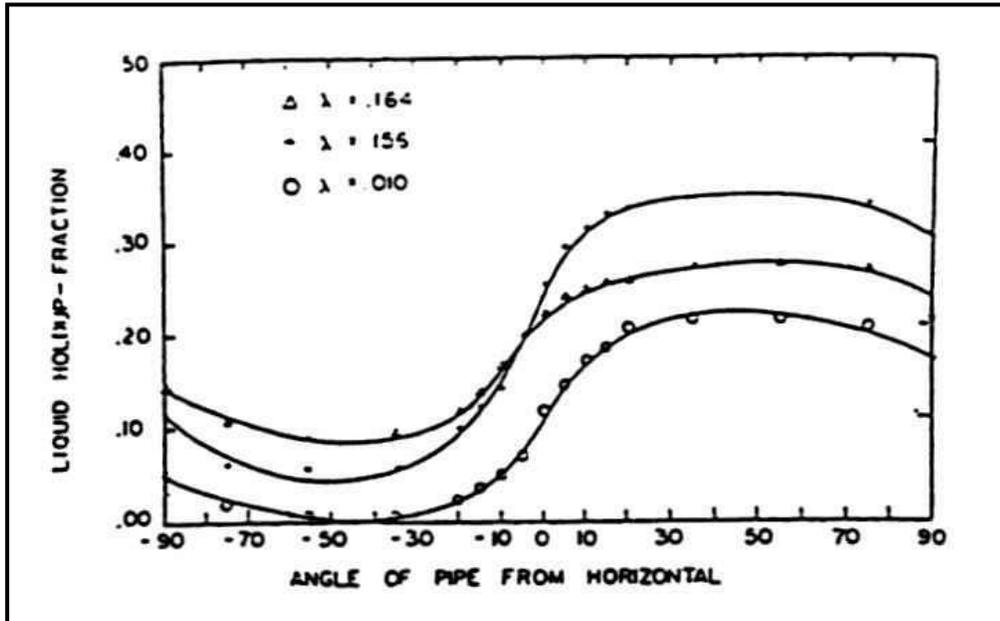
Gambar 9. Pola Aliran Menurut *Beggs dan Brill*

Hubungan antara *liquid hold-up* dengan sudut kemiringan pipa dapat dilihat pada Gambar 9, dimana *liquid hold-up* mencapai harga maksimum pada sudut $+50^\circ$ dari bidang horisontal dan mencapai harga minimum pada sudut -50° dengan bidang horisontal.

Faktor gesekan dua fasa dihitung dengan menggunakan persamaan dan tidak tergantung pada pola aliran, tetapi tergantung dari *liquid hold-up* dan *input liquid content*.

A. Penentuan Pola Aliran dan *Liquid Hold-Up*

Variabel-variabel berikut ini digunakan untuk menentukan pola aliran yang terjadi apabila pipa pada kedudukan horisontal. Dalam hal ini pola aliran merupakan parameter korelasi dan tidak menyatakan tentang pola aliran sebenarnya, kecuali apabila pipa pada kedudukan horisontal.



Gambar 10. *Liquid Hold-Up* Versus Sudut Kemiringan Pipa

$$N_{FR} = \frac{v_m^2}{g \times d} \dots\dots\dots (6)$$

$$\lambda_L = v_{sL} / v_m \dots\dots\dots (7)$$

$$L_1 = 316 \lambda_L^{0.302} \dots\dots\dots (8)$$

$$L_2 = 0.0009252 \lambda_L^{-2.4684} \dots\dots\dots (9)$$

$$L_3 = 0.10 \lambda_L^{-1.4516} \dots\dots\dots (10)$$

$$L_4 = 0.50 \lambda_L^{-6.738} \dots\dots\dots (11)$$

Batasan-batasan untuk pola aliran pada pipa dengan kedudukan horisontal adalah sebagaimana tercantum dalam Tabel III-4.

Tabel 5. Batasan Pola Aliran Oleh *Beggs dan Brill*

Pola Aliran	Batasan
1. <i>Segregated Flow</i>	$\lambda_L < 0.01$ dan $N_{FR} < L_1$ atau

	$\lambda_L \geq 0.01$ dan $N_{FR} < L_2$
2. <i>Transition Flow</i>	$\lambda_L \geq 0.01$ dan $L_2 < N_{FR} \leq L_3$
3. <i>Intermittent Flow</i>	$0.01 \leq \lambda_L < 0.4$ dan $L_3 < N_{FR} \leq L_1$ atau $\lambda_L \geq 0.4$ dan $L_3 < N_{FR} \leq L_4$
4. <i>Distributed Flow</i>	$\lambda_L < 0.4$ dan $N_{FR} \geq L_1$ atau $\lambda_L \geq 0.4$ dan $N_{FR} > L_4$

Apabila pola aliran merupakan pola aliran transisi, harga *liquid hold-up* dihitung dengan melakukan interpolasi antara pola aliran *segregated* dan *intermittent*, dengan menggunakan faktor interpolasi sebagai berikut :

$$H_{L(\text{transisi})} = AH_{L(\text{segregated})} + BH_{L(\text{intermittent})} \dots\dots\dots (12)$$

dimana :

$$A = (L_3 - N_{FR}) / (L_3 - L_2)$$

$$B = 1 - A$$

B. Penentuan Densitas Dua Fasa

Seperti yang telah dikemukakan sebelumnya, bahwa *liquid hold-up* ditentukan berdasarkan *liquid hold-up* pada kondisi horisontal dan untuk kedudukan pipa yang tidak horisontal dilakukan koreksi terhadap *liquid hold-up* pada kondisi horisontal. Hubungan tersebut adalah sebagai berikut :

$$H_{L(\theta)} = H_{L(0)}\psi \dots\dots\dots (13)$$

dimana :

$$H_{L(\theta)} = \text{liquid hold-up pada pipa dengan sudut kemiringan } \theta$$

$$H_{L(0)} = \text{liquid hold-up pada pipa pada kedudukan horisontal}$$

ψ = faktor koreksi.

Liquid hold-up pada kondisi horisontal dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$H_{L(0)} = \frac{a\lambda_L^b}{N_{FR}^c} \dots\dots\dots (14)$$

dimana harga-harga a, b, dan c tergantung dari pola aliran yang terjadi, seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Konstanta untuk Penentuan *Liquid Hold-Up*

Pola aliran	A	b	C
1. <i>Segregated flow</i>	0.980	0.4846	0.0868
2. <i>Intermittent flow</i>	0.845	0.5351	0.0173
3. <i>Distributed flow</i>	1.065	0.5824	0.0609

Batasan untuk $H_{L(0)}$ adalah : $H_{L(0)} \geq \lambda_L$.

Faktor koreksi ψ ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\psi = 1 + C \times [\sin (1.8 \times \theta) - 0.333 \times \sin^3 (1.8 \times \theta)] \dots\dots\dots (15)$$

dimana :

θ = sudut kemiringan pipa dengan bidang horisontal.

Dengan demikian, untuk aliran vertikal $\theta = 90^\circ$, maka persamaan (15) di atas disederhanakan menjadi :

$$\psi = 1 + 0.3 \times C \dots\dots\dots (16)$$

Harga C ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$C = (1 - \lambda_L) \ln (d \lambda_L^e N_{LV}^f N_{FR}^g) \dots\dots\dots (17)$$

dimana d, e, f dan g merupakan konstanta-konstanta yang besarnya tergantung dari pola aliran, seperti yang tercantum dalam Tabel 7.

Tabel 7. Konstanta d, e, f, dan g Untuk Menghitung Harga C

Pola aliran	d	e	F	G
1. <i>Segregated flow up-hill</i>	0.011	-3.7680	3.5390	-1.6140
2. <i>Intermittent flow</i>	2.965	0.3050	-0.4473	0.0978

3. <i>Distributed flow up-Hill</i>	Tidak perlu dikoreksi (C = 0)			
4. Semua pola aliran <i>down-hill</i>	4.700	-0.3692	0.1244	-0.5056

Batasan untuk C adalah : $C \geq 0$.

C. Penentuan Faktor Gesekan

Persamaan yang digunakan untuk menentukan gradien tekanan akibat gesekan adalah sebagai berikut :

$$\left(\frac{dP}{dZ}\right)_f = \frac{f_{tp} \rho_n v_m^2}{2g_c d} \dots\dots\dots (18)$$

dimana:

$$\rho_n = \rho_L \lambda_L + \rho_g \lambda_g$$

$$f_{tp} = f_n \frac{f_{tp}}{f_n} \dots\dots\dots (19)$$

Harga f_n ditentukan dari diagram Moody untuk pipa halus, atau dengan menggunakan persamaan berikut :

$$f_n = \frac{1}{\left[2 \times \log \left(\frac{N_{Re}}{4.5223 \log(N_{Re}) - 3.8215}\right)\right]^2} \dots\dots\dots (20)$$

N_{Re} pada persamaan (20) adalah bilangan Reynold yang dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$N_{Re} = \frac{\rho_n v_m d}{\mu_n} \dots\dots\dots (21)$$

dimana :

$$\mu_n = \mu_L \times \lambda_L + \mu_g \times \lambda_g$$

Perbandingan antara faktor gesekan dua fasa (f_{tp}) dengan faktor gesekan no-slip (f_n), adalah sebagai berikut :

$$\left(\frac{f_{tp}}{f_n}\right) = e^s \dots\dots\dots (22)$$

dimana :

$$S = \frac{\ln y}{-0.0523 + 3.182 \ln(y) - 0.8725(\ln y)^2 + 0.01853(\ln y)^4} \dots\dots\dots (23)$$

dan :

$$y = \frac{\lambda_L}{\{H_{L(\theta)}\}^2} \dots\dots\dots (24)$$

Harga S menjadi tidak terbatas untuk selang harga y : 1 < y < 1.2 dan pada selang harga ini, S ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut:

$$S = \ln(2.2 \times y - 1.2) \dots\dots\dots (25)$$

D. Persamaan untuk Menghitung Gradien Tekanan

Beggs dan Brill menentukan gradien tekanan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{\Delta P}{\Delta Z} = \frac{\frac{g}{g_c} \rho_{tp} \sin \theta + \frac{f_{tp} G_m v_m}{2g_c d}}{1 - \frac{\rho_{tp} v_m v_{sg}}{g_c P}} \dots\dots\dots (26)$$

Apabila persamaan (26) tersebut diuraikan untuk menghitung ΔZ, maka persamaan tersebut berubah menjadi :

$$\Delta Z = \frac{\Delta P \left[1 - \frac{\rho_{tp} v_m v_{sg}}{g_c P} \right]}{\frac{g}{g_c} \rho_{tp} \sin \theta + \frac{f_{tp} G_m v_m}{2g_c d}} \dots\dots\dots (27)$$

dimana :

G_m = total massa flux rate, lb/sec-ft².

Prosedur perhitungan gradien tekanan dengan menggunakan metode *Beggs dan Brill*, adalah sebagai berikut :

1. Hitung tekanan rata-rata dan kedalaman rata-rata antara dua titik tekanan.

$$\bar{P} = \frac{(P_1 + P_2)}{2} \text{ dan } \bar{Z} = \frac{(Z_1 + Z_2)}{2} \dots\dots\dots (28)$$

2. Tentukan temperatur rata-rata, pada kedalaman rata-rata. Temperatur rata-rata ini dapat ditentukan dari grafik hubungan antara temperatur dan kedalaman.

3. Dari data PVT atau korelasi PVT, hitung harga-harga R_s , B_o , μ_o , μ_g , μ_w , σ_o , σ_w , dan z (faktor kompresibilitas gas) pada tekanan dan temperatur rata-rata.

4. Hitung specific gravity minyak berdasarkan °API-nya.

5. Hitung densitas cairan dan gas pada kondisi tekanan dan temperatur rata-rata, yaitu sebagai berikut :

$$\rho_L = \rho_o \left(\frac{1}{1 + WOR} \right) + \rho_w \left(\frac{WOR}{1 + WOR} \right) \dots\dots\dots (29)$$

$$\rho_o = \frac{350\gamma_o + 0.0764R_s\gamma_g}{5.615B_o} \dots\dots\dots (30)$$

$$\rho_w = \frac{350\gamma_w}{5.615B_w} \dots\dots\dots (31)$$

$$\rho_g = \frac{0.0764\gamma_g \bar{P} 520}{14.7(\bar{T} + 460)z} \dots\dots\dots (32)$$

6. Hitung laju aliran cairan dan gas pada selang kedalaman tersebut, dengan persamaan berikut :

$$q_L = 6.49 \times 10^{-5} [q_o B_o + q_w B_w] \dots\dots\dots (33)$$

$$q_g = \frac{3.27 \times 10^{-7} z q_o (R - R_s)(\bar{T} + 460)}{\bar{P}} \dots\dots\dots (34)$$

7. Hitung kecepatan superficial cairan (v_{sL}), gas (v_{sg}) dan campuran (v_m) :

$$v_{sL} = q_L / A_p \dots\dots\dots (35)$$

$$v_{sg} = q_g/A_p \dots\dots\dots (36)$$

$$V_m = v_{sL} + v_{sg} \dots\dots\dots (37)$$

8. Hitung total massa flux rate cairan, gas dan campuran dengan persamaan :

$$G_L = \rho_L \times v_{sL} \dots\dots\dots (38)$$

$$G_g = \rho_g \times v_{sg} \dots\dots\dots (39)$$

$$G_m = G_L + G_g \dots\dots\dots (40)$$

9. Hitung input liquid content atau no-slip hold-up (λ_L) dengan persamaan :

$$\lambda_L = \frac{q_L}{q_L + q_g} \dots\dots\dots (41)$$

10. Hitung μ_L , μ_g , μ_m , dan N_{FR} dengan menggunakan persamaan (6).

11. Hitung no-slip bilangan Reynold ($(N_{Re})_{ns}$) dan liquid velocity number (N_{LV}).

$$(N_{Re})_{ns} = \frac{G_m d}{\mu_m} \dots\dots\dots (42)$$

$$N_{LV} = 1.938 v_{sL} \left(\frac{\rho_L}{\sigma_L} \right)^{0.25} \dots\dots\dots (43)$$

12. Hitung variabel-variabel yang merupakan batasan pola aliran, yaitu L_1 , L_2 , L_3 , dan L_4 dengan menggunakan persamaan (8) hingga (11).

13. Tentukan pola aliran berdasarkan harga variabel-variabel pada langkah 12.

14. Hitung liquid hold-up pada kondisi horisontal $H_{L(0)}$, dengan menggunakan persamaan (14).

15. Hitung adanya faktor koreksi kemiringan (C), dengan menggunakan persamaan (17).

16. Hitung faktor koreksi kemiringan untuk liquid hold-up (ψ), dengan menggunakan persamaan (15).

17. Hitung liquid hold-up sesuai dengan kemiringan pipanya dan densitas dua fasa dengan menggunakan persamaan (13), dimana :

$$\rho_{tp} = \rho_L \times H_L + \rho_g \times H_g \dots\dots\dots (44)$$

18. Hitung f_{tp}/f_n dengan menggunakan persamaan (22).

19. Hitung no-slip friction factor (f_n) dengan menggunakan persamaan (20).

20. Hitung f_{tp} dengan menggunakan persamaan (19).
 21. Hitung ΔZ dengan menggunakan persamaan (27).

C.3.F Persamaan Laju Aliran Fluida Reservoir Untuk Sumur Horizontal
Asumsi-asumsi yang digunakan :

- Fluida satu fasa
- Aliran mantap atau semi mantap
- Penetrasi sumur sempurna
- Bentuk reservoir persegi empat
- Bentuk daerah pengurasan lingkaran
- Aliran laminar
- Fluida sedikit compressible atau termampatkan
- Aliran 3-Dimensi
- Faktor skin dipertimbangkan

1. Kondisi Aliran *Steady State*

$$q_h = \frac{0.00708 \times k_h \times h \times L_h \times (P_R - P_{wf})}{(\mu_o B_o) \left[\left(L - W \sqrt{\frac{h}{L_h}} \right) + \beta h \left(\ln \left\{ \left(\frac{W}{2 r_w} \right) \sqrt{\frac{h}{L_h}} \right\} - \frac{1}{2} + S \right) \right]}$$

2. Kondisi Aliran *Pseudo Steady State*

$$q_h = \frac{0.00708 \times k_h \times h \times L_h \times (P_R - P_{wf})}{(\mu_o B_o) \left[\left(L - W \sqrt{\frac{h}{L_h}} \right) + \beta h \left(\ln \left\{ \left(\frac{W}{2 r_w} \right) \sqrt{\frac{h}{L_h}} \right\} - \frac{3}{4} + S \right) \right]}$$

dimana :

P_R : Tekanan reservoir, psi

P_{wf} : Tekanana aliran dasar sumur, psi

k_h : Permeabilitas horizontal, md

k_v : Permeabilitas vertikal, md

S : Skin faktor

B_o : Faktor volume formasi minyak, RB/STB

μ_o : Viscositas minyak, cp

r_w : Jari-jari lubang bor, ft

h : Tebal reservoir, ft

W : Lebar reservoir, ft

L : Panjang reservoir, ft

L_h : Panjang horizontal sumur horizontal, ft

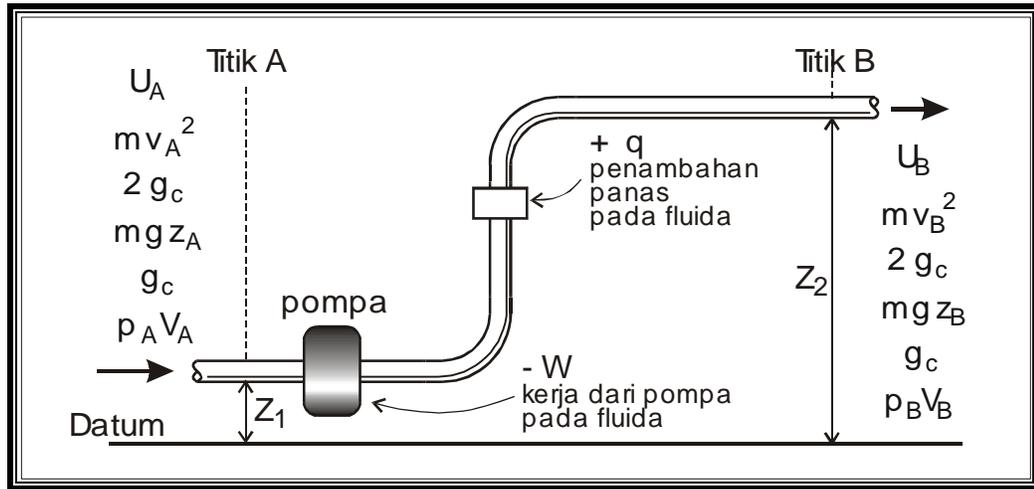
β : Konstanta heterogenitas reservoir (anisotropi , $\beta = \sqrt{\frac{k_h}{k_v}}$)

Aliran Fluida Dalam Pipa

Faktor yang berpengaruh terhadap aliran fluida dalam pipa adalah perkiraan besarnya kehilangan tekanan yang terjadi selama fluida mengalir. Berikut ini merupakan upaya pemecahan terhadap hal tersebut, mulai dari pengembangan persamaan kesetimbangan energi sampai pada perkiraan kehilangan fluida baik pada aliran fluida satu fasa maupun multi-fasa.

Persamaan Kesetimbangan Energi

Persamaan dasar kehilangan tekanan pada sistem aliran fluida dalam pipa dikembangkan dari persamaan kesetimbangan energi, yang merupakan kesetimbangan energi dua titik di dalam satu sistem aliran.



Gambar 11. Sistem Aliran Fluida dalam Pipa

Gambar 11. menyatakan bahwa besarnya energi yang masuk ke dalam pipa pada titik A, ditambah dengan kerja yang dilakukan fluida sepanjang pipa antara titik A dan titik B, dikurangi dengan energi yang hilang selama fluida mengalir antara kedua titik tersebut sama dengan besarnya energi yang keluar dari pipa pada titik B. Pernyataan tersebut disebut juga hukum konversi energi, yang secara matematis dapat ditulis dengan persamaan berikut :

$$U_A + \frac{mv_A^2}{2g_c} + \frac{mgz_A}{g_c} + p_A V_A + q - W = U_B + \frac{mv_B^2}{2g_c} + \frac{mgz_B}{g_c} + p_B V_B \dots (45)$$

dimana :

m = massa, lb_m

v = kecepatan, ft/sec

p = tekanan, atm

V = volume, $cu\ ft$

q = laju alir, $cu\ ft / sec$

g = percepatan gravitasi, ft/sec^2

g_c = konstanta konversi (= $32,174\ lb_m\ ft / lb_f\ sec^2$)

Parameter-parameter yang bekerja pada sistem kesetimbangan tersebut antara lain adalah :

a. Energi Dalam Fluida (*internal energy*, U)

Merupakan energi yang terbawa bersama dengan aliran fluida. Energi ini dapat berupa akumulasi energi-energi yang timbul akibat adanya pergerakan molekul fluida, baik itu energi putaran (*rotational*), perpindahan (*translational*), maupun energi getaran (*vibrational*).

b. Energi Kinetik ($\frac{m v^2}{2 g_c}$)

Merupakan energi yang timbul berkaitan dengan kecepatan aliran fluida.

c. Energi Potensial ($\frac{m g z}{g_c}$)

Merupakan energi yang berhubungan dengan perubahan ketinggian aliran fluida, dimana z merupakan besarnya ketinggian yang dihitung terhadap titik tertentu.

d. Energi Ekspansi (pV)

Sering juga disebut dengan energi kompresi atau energi tekanan, yaitu energi yang menunjukkan besarnya kerja selama fluida mengalir, atau besarnya energi potensial jika dihubungkan dengan perubahan tekanan.

e. Perpindahan Panas (q)

Merupakan parameter yang menyatakan besarnya energi panas yang masuk maupun yang meninggalkan sistem.

f. Kerja (*work*, W)

Menyatakan besarnya kerja yang dilakukan terhadap ataupun oleh sistem. Parameter W dapat berharga positif ataupun negatif, tergantung dari kedudukan kerja itu sendiri. Apabila kerja yang ada mengakibatkan aliran fluida, seperti halnya pada pompa, maka W berharga negatif. Sedangkan W akan berharga positif apabila kerja timbul karena adanya aliran fluida, seperti pada sistem turbin.

Persamaan (45) merupakan persamaan hukum konversi energi dalam bentuk energi alam, sehingga untuk memecahkannya perlu diubah dalam bentuk kesetimbangan energi mekanis, dengan menggunakan energi dalam prinsip termodinamika, yaitu entalpi dan entropi.

a. Entalpi (H)

Didefinisikan sebagai jumlah antara energi dalam dengan energi ekspansi, atau secara matematis dapat ditulis :

$$H = U + p V \dots\dots\dots (46)$$

b. Entropi (S)

Didefinisikan sebagai perubahan energi yang terjadi dalam sistem, dimana perubahan tersebut hanya dilihat dari kondisi awal dan akhir tanpa memperhatikan perubahan pada keseluruhan sistem.

Secara matematis entropi dapat ditulis sebagai berikut :

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\partial q}{T} \dots\dots\dots (47)$$

dimana :

q = jumlah panas yang dipindahkan pada proses *reversible*

T = temperatur

Pada kondisi tertentu, dimana perpindahan panas terjadi pada tekanan yang konstan, maka berlaku hubungan sebagai berikut :

$$q = m C_p \partial T \dots\dots\dots (48)$$

sehingga Persamaan (47) menjadi :

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 m C_p \frac{\partial T}{T} \dots\dots\dots (49)$$

dimana :

m = massa, lb_m

C_p = kapasitas panas pada tekanan konstan

Hubungan antara entropi dan energi dalam dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta U = \Sigma \text{ pengaruh (panas, kompresi, kimia, permukaan, lain) } \dots\dots (50)$$

dimana :

$$\text{Pengaruh panas} = \int_{S_1}^{S_2} T ds$$

$$\text{Pengaruh kompresi} = \int_{V_1}^{V_2} p(-\partial v)$$

Dalam pembahasan mengenai aliran fluida dalam pipa, yang dianggap berpengaruh adalah pengaruh panas dan kompresi sedangkan pengaruh yang lain dapat diabaikan, sehingga **Persamaan (50)** menjadi

$$\Delta U = \int_{S_1}^{S_2} T ds + \int_{V_1}^{V_2} p(-\partial V) \dots\dots\dots (51)$$

Jika dituliskan dalam bentuk persamaan differensial akan menjadi :

$$\Delta U + \Delta \left(\frac{m v^2}{2 g_c} \right) + \Delta \left(\frac{m g z}{g_c} \right) + \Delta(pV) - q + W = 0 \dots\dots\dots (52)$$

Substitusi **persamaan (51)** ke dalam **persamaan (52)** akan menghasilkan persamaan berikut :

$$\int_{S_1}^{S_2} T ds - \int_{V_1}^{V_2} p \partial V + \Delta \left(\frac{m v^2}{2 g_c} \right) + \Delta \left(\frac{m g z}{g_c} \right) + \int_{V_1}^{V_2} p \partial V + \int_{P_1}^{P_2} V \partial p - q + W = 0 \dots (53)$$

Dari prinsip thermodinamika diketahui bahwa :

$$\int_{S_1}^{S_2} T ds = q + lw \dots\dots\dots (54)$$

dimana, *lw (lost work)* merupakan jumlah energi yang hilang akibat dari proses *irreversible*.

Substitusi **persamaan (53)** ke dalam **persamaan (54)** akan menghasilkan persamaan :

$$\int_{P_1}^{P_2} V \partial p + \Delta \left(\frac{m v^2}{2 g_c} \right) + \Delta \left(\frac{m g z}{g_c} \right) + W + lw = 0 \dots\dots\dots (55)$$

Jika fluida yang mengalir dianggap 1 (satu) lb_m dan satuannya diubah ke dalam satuan lapangan (ft lb_f / lb_m) maka **Persamaan (55)** akan menjadi :

$$144 \left(\frac{g_c}{g} \right) V \partial p + \frac{g}{g_c} \partial z + \frac{v \partial v}{g_c} + \partial W + \partial(lw) = 0 \quad \dots\dots\dots (56)$$

Konversi faktor 144 digunakan dengan asumsi Δp diukur dalam satuan lb / sq. in. Apabila $V = 1 / \rho$, dimana ρ adalah densitas fluida yang mengalir, maka **Persamaan (56)** dapat ditulis sebagai berikut :

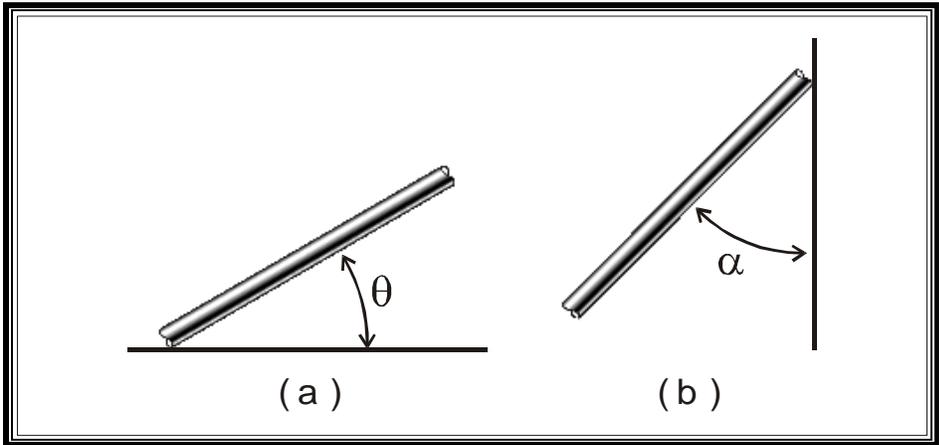
$$\frac{\partial p}{\rho} + \frac{g}{g_c} \partial z + \frac{v \partial v}{g_c} + \partial W + \partial(lw) = 0 \quad \dots\dots\dots (57)$$

Jika diasumsikan tidak ada kerja yang dilakukan aloeh fluida atau terhadap fluida (W = 0) maka

$$\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{g}{g_c} \rho + \frac{\rho v \partial v}{g_c \partial z} + \rho \frac{\partial(lw)}{\partial z} = 0 \quad \dots\dots\dots (58)$$

Dari **Persamaan (58)** dapat ditentukan besarnya gradien tekanan. Persamaan gradien tekanan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$\frac{\partial p}{\partial z} = - \left(\frac{g}{g_c} \rho + \frac{\rho v \partial v}{g_c \partial z} + \rho \frac{\partial(lw)}{\partial z} \right) \quad \dots\dots\dots (59)$$



Gambar 12. Konfigurasi Aliran Fluida pada Pipa Miring

(a) terhadap bidang horizontal

(b) terhadap bidang vertikal

Pada pipa yang membentuk sudut kemiringan sebesar θ derajat terhadap bidang horizontal, seperti yang terlihat pada **Gambar 12. (a)**, dan diketahui bahwa :

$$\rho \frac{\partial(lw)}{\partial z} = \left(\frac{\partial p}{\partial z} \right)_f (friction) = \frac{f \rho v^2}{2 g_c d} \dots\dots\dots (60)$$

dimana :

f = faktor gesekan; f(N_{Re} , K)

N_{Re} = bilangan Reynold

K = besaran permukaan pipa (*roughness*)

maka persamaan perhitungan penurunan tekanan menjadi :

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{g}{g_c} \rho \sin \phi + \frac{\rho v \partial v}{g_c \partial z} + \frac{f \rho v^2}{2 g_c d} \dots\dots\dots (61)$$

Sedangkan pada pipa yang membentuk sudut kemiringan sebesar α derajat terhadap bidang horizontal, seperti yang terlihat pada **Gambar 12. (b)**, dan maka persamaan perhitungan penurunan tekanan menjadi :

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{g}{g_c} \rho \cos \alpha + \frac{\rho v \partial v}{g_c \partial z} + \frac{f \rho v^2}{2 g_c d} \dots\dots\dots (62)$$

Pada dasarnya persamaan gradien tekanan terdiri dari tiga elemen, yaitu gradien kemiringan, gradien gesekan dan gradien kecepatan.

a. Gradien Kemiringan (*elevation*)

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z} \right)_{el} = \frac{g}{g_c} \rho \sin \theta$$

b. Gradien Gesekan (*friction*)

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_f = \frac{f \rho v^2}{2 g_c d}$$

c. Gradien Kecepatan (*acceleration*)

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_{acc} = \frac{\rho v \partial v}{g_c \partial z}$$

Dari **Persamaan (29)** dapat dikembangkan persamaan penurunan tekanan untuk aliran vertikal dan horisontal, sebagai berikut :

1. Aliran Vertikal

Pada aliran vertikal, maka sudut kemiringan (θ) = 90° , dan $\sin \theta = 1$, sehingga persamaan penurunan tekanan menjadi :

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{g}{g_c} \rho + \frac{\rho v \partial v}{g_c \partial z} + \frac{f \rho v^2}{2 g_c d} \dots\dots\dots (63)$$

2. Aliran Horisontal

Pada aliran horisontal, $\theta = 0^\circ$ dan $\sin \theta = 0$, sehingga persamaan menjadi :

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{\rho v \partial v}{g_c \partial z} + \frac{f \rho v^2}{2 g_c d} \dots\dots\dots (64)$$

Dasar persamaan aliran fluida di dalam pipa adalah persamaan energi yang menyatakan keseimbangan energi atau dapat dinyatakan bahwa energi fluida yang masuk ke dalam sistim ditambah dengan setiap perubahan energi terhadap waktu, harus sama dengan energi yang meninggalkan sistim.

Keseimbangan energi tersebut dapat ditulis sebagai berikut :

$$U_1 + P_1 V_1 + \frac{m V_1^2}{2 g_c} + \frac{m g Z_1}{g_c} - q - W_s = U_2 + P_2 V_2 + \frac{m V_2^2}{2 g_c} + \frac{m g Z_2}{g_c} \dots\dots\dots (65)$$

dimana

U = energi dalam

PV = energi ekspansi atau energi kompresi

$$\frac{mV^2}{2g_c} = \text{energi kinetik}$$

$$\frac{mgZ}{g_c} = \text{energi potensial}$$

q = energi panas yang masuk ke dalam fluida

W_s = kerja yang dilakukan terhadap fluida.

Z = ketinggian yang dihitung dari suatu datum tertentu.

Dengan membagi Persamaan (65) dengan m untuk mendapatkan energi per unit massa, maka dalam bentuk diferensial dapat ditulis sebagai :

$$dU + d\left(\frac{P}{\rho}\right) + \frac{vdv}{g_c} + \frac{g}{g_c}dZ - dq - dW_s \dots\dots\dots (66)$$

Persamaan di atas masih dalam bentuk energi dalam, sehingga dalam bentuk energi mekanik dimana tidak ada kerja yang dilakukan baik terhadap maupun oleh fluida, didapat :

$$\frac{dP}{\rho} + \frac{Vdv}{g_c} + \frac{gdZ}{g_c} + dL_w = 0 \dots\dots\dots (67)$$

untuk pipa miring dengan sudut kemiringan θ terhadap bidang horisontal dimana $dZ=dL \sin \theta$, maka :

$$\frac{dP}{\rho} + \frac{Vdv}{g_c} + \frac{g}{g_c}dL \sin \theta + dL_w = 0 \dots\dots\dots (68)$$

Bila persamaan (68) dikalikan dengan ρ/dL pada kondisi atau kemiringan tertentu, maka diperoleh :

$$\frac{dP}{dL} + \frac{\rho v dv}{g_c dL} + \frac{\rho g}{g_c} \sin \theta + \frac{\rho dL_w}{dL} = 0 \dots\dots\dots (69)$$

dimana dL_w adalah kehilangan energi akibat proses *irreversibilitas*, misalnya oleh adanya gesekan. Persamaan (69) diatas tersebut dapat digunakan untuk menghitung *gradien* tekanan dan dengan menganggap penurunan tekanan adalah positif dalam arah aliran, maka :

$$\frac{dP}{dL} = \frac{\rho v dv}{g_c dL} + \frac{\rho g}{g_c} \sin \theta + \left(\frac{dP}{dL}\right)_f = 0 \dots\dots\dots (70)$$

dimana :

$$\left(\frac{dP}{dL}\right)_f = \frac{\rho dL_w}{dL} = \text{gradien tekanan yang disebabkan adanya gesekan.}$$

Kehilangan tekanan untuk aliran di dalam pipa disebabkan oleh gesekan, perbedaan ketinggian serta adanya perubahan energi kinetik. Karena gesekan terjadi pada dinding pipa maka perbandingan antara *shear stress* (τ_w) dengan energi kinetik per satuan volume ($\rho v^2/2g_c$) menunjukkan peran *shear stress* terhadap kehilangan tekanan secara keseluruhan. Perbandingan ini membentuk suatu kelompok tidak berdimensi yang dikenal sebagai faktor gesekan *Fanning*, sebagai berikut :

$$f = \frac{\tau_w}{\rho v^2 / 2g_c} = \frac{2\tau_w g_c}{\rho v^2} \dots\dots\dots (71)$$

Gradien tekanan yang disebabkan oleh faktor gesekan dinyatakan dalam persamaan *Fanning*, yaitu :

$$\left(\frac{dP}{dL}\right)_f = \frac{2f\rho v^2}{g_c d} \dots\dots\dots (72)$$

Dalam bentuk faktor gesekan *Moody* (f_m), dimana $f_m = 4f$, sehingga persamaan (72) menjadi :

$$\left(\frac{dP}{dL}\right)_f = \frac{f_m \rho v^2}{2g_c d} \dots\dots\dots (73)$$

Aliran Fluida Satu Fasa dalam Pipa

Faktor yang menentukan dalam perhitungan kehilangan tekanan pada aliran fluida dalam pipa adalah faktor gesekan (*friction factor*) antara fluida yang mengalir dengan dinding pipa. Faktor gesekan didefinisikan sebagai perbandingan antara *shear stress* fluida dengan energi kinetik persatuan volume, atau secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$f = \frac{\tau_w}{\rho v^2 / 2g_c} = \frac{2 \tau_w g_c}{\rho v^2} \dots\dots\dots (74)$$

Besarnya gradien tekanan yang disebabkan oleh faktor gesekan, ditunjukkan pada Persamaan (28), yaitu

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_f = \frac{f \rho v^2}{2g_c d}$$

Faktor gesekan merupakan fungsi dari dua parameter yang tidak berdimensi, yaitu kekasaran relatif pipa (*relatif roughness*) dan bilangan Reynold (*Reynold's number*, N_{Re}). Kekasaran relatif pipa sendiri adalah perbandingan antara kekasaran absolut (*absolute roughness*, ϵ), yang diketahui untuk setiap jenis pipa, dengan diameter pipa (d , ft). Sedangkan besarnya bilangan Reynold dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$N_{Re} = \frac{\rho \bar{v} d}{\mu} \dots\dots\dots (75)$$

Penentuan faktor gesekan pada aliran fluida satu fasa, tergantung dari jenis alirannya. Pada fluida dengan bilangan Reynold kurang dari 2000, maka aliran yang terjadi adalah aliran laminar, dimana kecepatan alirannya membentuk profil parabola dengan kecepatan maksimal pada tengah pipa. Untuk fluida dengan bilangan Reynold lebih dari 4000, yang terbentuk adalah aliran turbulen. Sedangkan aliran yang terjadi pada fluida dengan bilangan Reynold antara 2000 dan 4000 adalah aliran transisi.

a. Aliran Laminar

Pada aliran laminar, faktor gesekan dapat ditentukan dengan persamaan :

$$f = \frac{64}{N_{Re}} \dots\dots\dots (76)$$

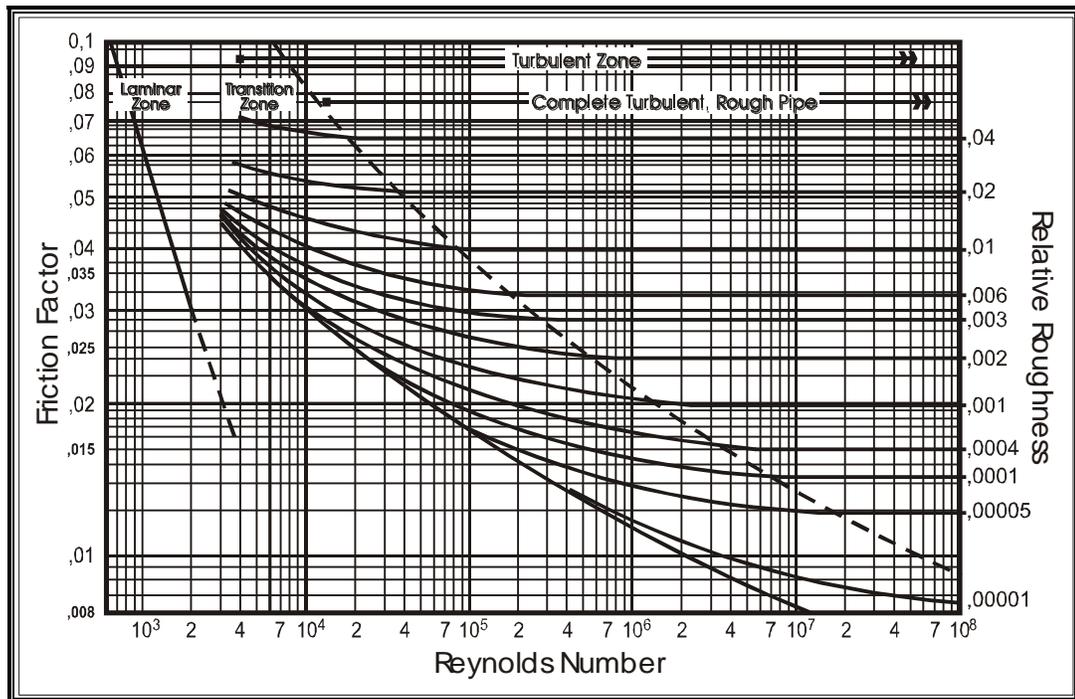
Dari persamaan diatas diketahui bahwa pada aliran laminar, besarnya faktor gesekan hanya dipengaruhi oleh bilangan Reynold fluida, dan tidak tergantung pada kekasaran pipa.

b. Aliran Turbulen

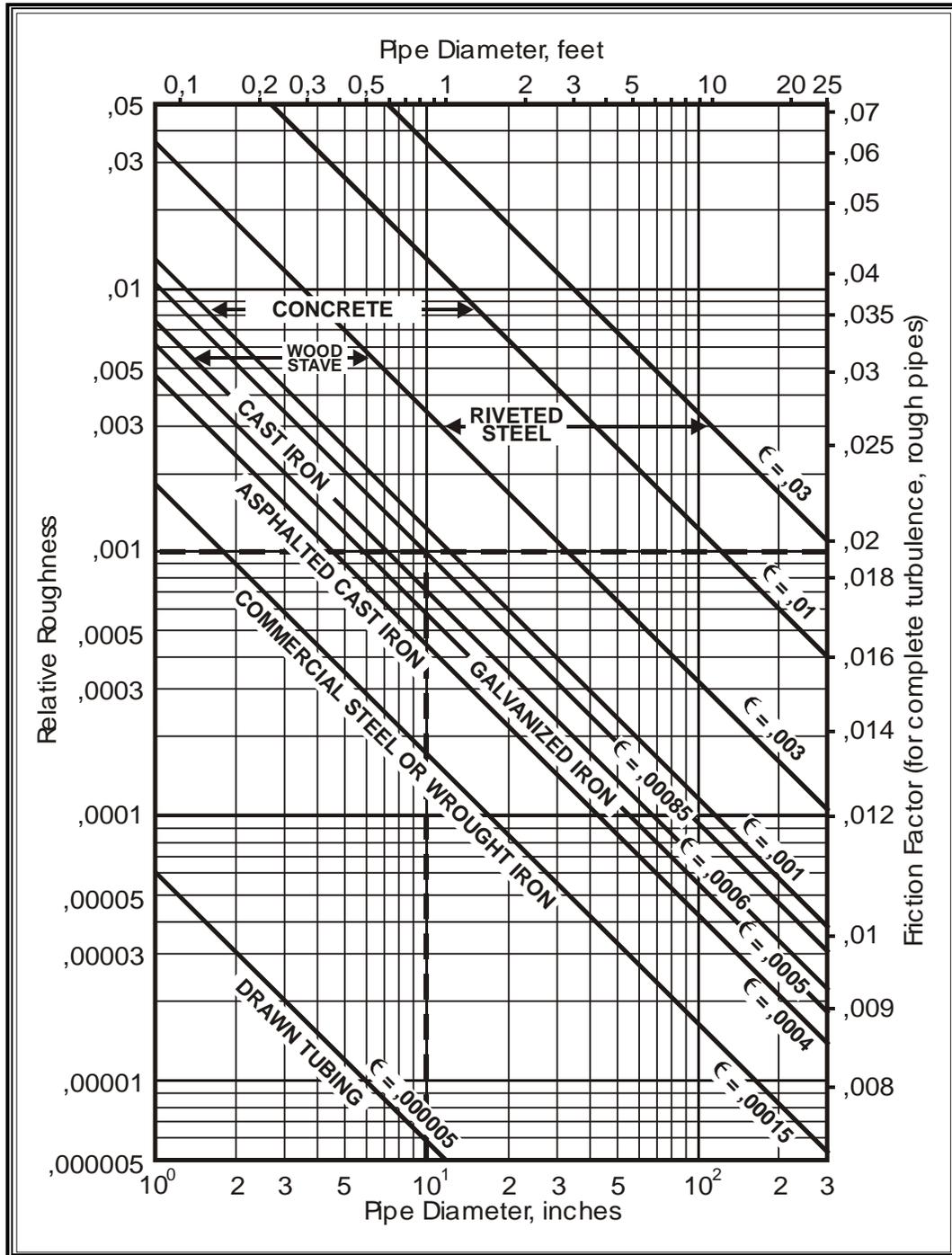
Pada aliran laminar, faktor gesekan dapat didekati dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh *Colebrook and White* (1939) berikut :

$$\frac{1}{f} = 1,74 - 2\text{Log}\left(\frac{2\epsilon}{d} + \frac{18,7}{N_{Re}}\right) \dots\dots\dots (77)$$

Selain dengan menggunakan persamaan-persamaan diatas, besarnya faktor gesekan terutama untuk aliran tubulen, dapat ditentukan menggunakan kurva pada **Gambar 12** dan **Gambar 13**, dengan mengetahui jenis dan diameter pipa serta bilangan Reynold fluidanya.



Gambar 13. Kurva Faktor Gesekan



Gambar 14. Kurva Faktor Gesekan untuk Aliran Turbulen

Aliran Fluida Multi Fasa dalam Pipa

Perhitungan gradien tekanan untuk aliran fluida multi fasa dalam pipa lebih kompleks, dimana semua parameter yang digunakan merupakan parameter gabungan dari fasa-fasa yang mengalir. Aliran multi fasa dapat berupa aliran fluida minyak dan air ataupun aliran minyak – gas atau bahkan dari ketiga fasa tersebut.

Untuk menentukan parameter gabungan digunakan suatu parameter penghubung yang disebut *hold-up*, yang jenisnya tergantung dari asumsi kondisi kecepatan masing-masing fasa yang mengalir.

a. Hold-Up (H)

Asumsi yang digunakan dalam penggunaan parameter ini adalah kecepatan aliran antara fluida dan fasa gas berbeda.

Hold-up untuk cairan (*liquid hold-up*, H_L) didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pipa yang terisi oleh fluida dengan volume pipa secara keseluruhan.

Sedangkan untuk gas *hold-up*, merupakan perbandingan antara volume pipa yang terisi oleh gas dengan volume pipa secara keseluruhan.

Kedua pengertian tersebut secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan :

$$H_L = \frac{V_L}{V_p} \dots\dots\dots (78)$$

$$H_g = \frac{V_g}{V_p} = 1 - H_L \dots\dots\dots (79)$$

b. No-Slip Hold-Up (λ)

Asumsi yang digunakan dalam penggunaan parameter ini adalah fluida dan gas mengalir dengan kecepatan yang sama.

Besarnya *no-slip hold-up* untuk cairan (*no-slip liquid hold-up*, λ_L) dapat ditentukan dengan membandingkan besarnya laju aliran volumetrik fluida dengan laju aliran volumetrik seluruh fasa (gas dan fluida).

Sedangkan harga *no-slip gas hold-up* (λ_g) ditentukan dengan membandingkan besarnya laju aliran volumetrik gas dengan laju aliran volumetrik seluruh fasa.

Secara matematis dituliskan dengan persamaan :

$$\lambda_L = \frac{q_L}{q_L + q_g} \dots\dots\dots (80)$$

$$\lambda_g = \frac{q_g}{q_L + q_g} = 1 - \lambda_L \dots\dots\dots (81)$$

Penggunaan parameter *hold-up* dalam penentuan parameter campuran dapat dilihat pada penentuan viskositas, densitas, parameter aliran dan faktor gesekan untuk aliran multi fasa, sebagai berikut :

a. Viskositas Campuran (μ_m)

Pada kondisi dimana terdapat perbedaan kecepatan aliran fluida dan gas, maka *viskositas* campuran ditentukan dengan persamaan :

$$\mu_m = \mu_L H_L + \mu_g (1 - H_L) \dots\dots\dots (82)$$

dan

$$\mu_m = \mu_L^{H_L} \cdot \mu_g^{1-H_L} \dots\dots\dots (83)$$

Perbandingan hasil perhitungan viskositas campuran dengan kedua persamaan diatas dapat dilihat pada **Gambar 14**.

Sedangkan pada kondisi dimana fluida dan gas mengalir dengan kecepatan yang sama, maka viskositas campuran ditentukan dengan persamaan :

$$\mu_m = \mu_L \lambda_L + \mu_g (1 - \lambda_L) \dots\dots\dots (84)$$

keterangan :

μ_L = viskositas cairan, ditentukan dengan persamaan :

$$\mu_L = \mu_o F_o + \mu_w F_w$$

dimana F merupakan fraksi volume untuk masing-masing komponen

H_L = hold-up cairan

λ_L = no-slip hold-up cairan

subscript,

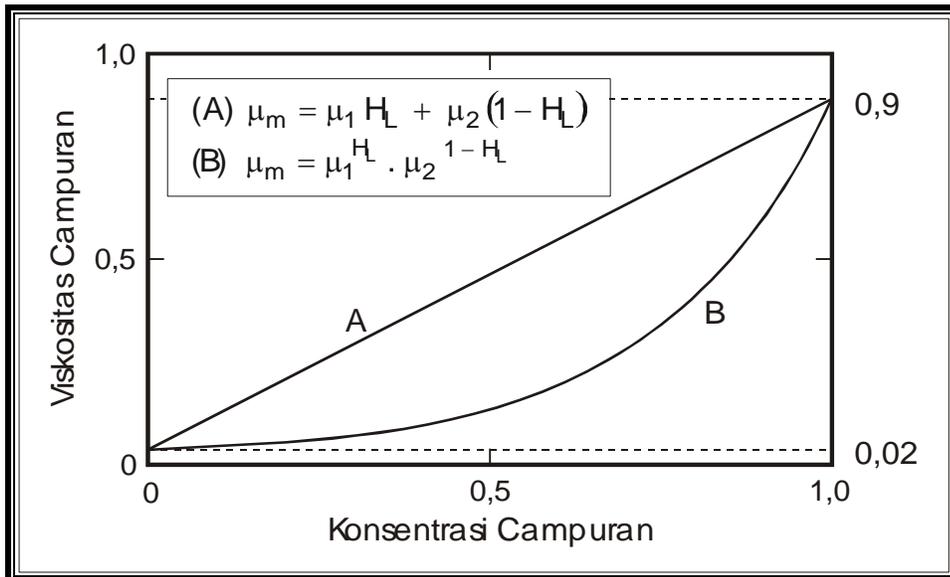
m = campuran (*mixture*)

L = cairan (liquid)

o = minyak (oil)

g = gas

w = air (water)



Gambar 15. Perbandingan Perhitungan Viskositas Campuran

b. Densitas Campuran (ρ_m)

Pada kondisi dimana terdapat perbedaan kecepatan aliran fluida dan gas, maka densitas campuran ditentukan dengan persamaan :

$$\rho_m = \rho_L H_L + \rho_g (1 - H_L) \dots\dots\dots (85)$$

Sedangkan pada kondisi dimana fluida dan gas mengalir dengan kecepatan yang sama, maka densitas campuran ditentukan dengan persamaan :

$$\rho_m = \rho_L \lambda_L + \rho_g (1 - \lambda_L) \dots\dots\dots (86)$$

keterangan :

ρ_L = densitas cairan, ditentukan dengan persamaan :

$$\rho_L = \rho_o F_o + \rho_w F_w$$

c. Parameter Aliran

Parameter aliran yang digunakan dalam perhitungan kehilangan tekanan adalah variabel kecepatan (*superficial velocity*, v_s), yang didefinisikan sebagai besarnya kecepatan suatu fasa untuk mengalir melewati keseluruhan penampang pipa, yang secara matematis adalah sebagai berikut :

$$v_s = \frac{q}{A H} \dots\dots\dots (87)$$

dimana :

v_s = kecepatan *superficial* fluida, ft/sec

q = laju alir, cu ft/sec

A = luas penampang pipa, ft²

H = *hold-up*

Besarnya kecepatan superfisial untuk fluida multi fasa (v_m) ditentukan dengan persamaan :

$$V_m = V_{sL} + V_{sg} \dots\dots\dots (88)$$

keterangan :

v_{sL} = kecepatan *superfisial* cairan, besarnya ditentukan dengan persamaan

$$v_{sL} = \frac{q_L}{A H_L}$$

v_{sg} = kecepatan *superfisial* gas, besarnya ditentukan dengan persamaan

$$v_{sL} = \frac{q_g}{A H_g}$$

d. Faktor Gesekan (f)

Komponen perhitungan faktor gesekan yang berubah pada aliran multi fasa adalah bilangan Reynold, yang merupakan gabungan dari fluida yang mengalir.

Persamaan untuk menentukan bilangan Reynold pada fluida multi fasa adalah sebagai berikut :

$$(N_{Re})_m = \frac{\rho_m \bar{v}_m}{\mu_m} \dots\dots\dots (89)$$

Khusus untuk perhitungan bilangan Reynold dengan tanpa memperhatikan kecepatan antar fluida, besarnya densitas campuran dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan :

$$\rho_m = \frac{\rho_L (\lambda_L)^2}{H_L} + \frac{\rho_g (1 - \lambda_L^2)}{1 - H_L} \dots\dots\dots (90)$$

Berdasarkan **Persamaan (89)** diatas, maka **Persamaan (76)** untuk aliran *laminer* dan **Persamaan (77)** untuk aliran turbulen, berubah menjadi :

$$f_m = \frac{64}{(N_{Re})_m} \dots\dots\dots (91)$$

$$\frac{1}{f_m} = 1,74 - 2 \text{Log} \left(\frac{2 \epsilon}{d} + \frac{18,7}{(N_{Re})_m} \right) \dots\dots\dots (92)$$

Dengan memperhatikan keseluruhan perhitungan parameter campiran untuk fluida multi fasa, maka besarnya *gradien* tekanan untuk aliran fluida multi fasa dapat ditentukan dengan menggunakan **Persamaan (20)**, yang disesuaikan menjadi persamaan berikut :

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{g}{g_c} \rho_m \cos \alpha + \frac{\rho_m v_m \partial v_m}{g_c \partial z} + \frac{f_m \rho_m (v_m)^2}{2 g_c d} \dots\dots\dots (93)$$

C.3.G PENENTUAN UKURAN PIPA BERDASARKAN LAJU ALIR MAKSIMUM TERJADINYA EROSI

7. EROSIONAL FLOW

Erosi akibat fluida terjadi jika butiran cairan menumbuk dinding pipa, sehingga dapat menimbulkan erosi yang dapat mengakibatkan korosi. Pada kecepatan aliran yang tinggi, kecenderungan terjadinya erosi terhadap pipa baja sangat tinggi. Dari percobaan untuk aliran dua fasa menunjukkan bahwa erosi terjadi jika kecepatan aliran melebihi harga yang diberikan

$$V_e = \frac{C}{(\rho_m)^{1/2}}$$

dimana V_e adalah kecepatan alir erosi (ft/sec), ρ_m adalah densitas fluida dan C adalah konstanta empirik. Beberapa harga C yang dipakai oleh API *Recommended Practice* 14E adalah 100 untuk kontinyu dan 125 untuk non-kontinyu. Beberapa harga yang dipakai adalah 160 dan 300. Erosi di pipa dapat pula terjadi jika ada partikel padatan yang berada dalam fluida. Persamaan yang mengevaluasi kecepatan *erosi metal* adalah

$$vol = \frac{KWV^2\beta}{gP}$$

dimana vol = volume metal yang tererosi, V = kecepatan partikel, P = kekerasan material, β = harga antara 0.5 – 1.0 tergantung sudut datang partikel, K = koefisien erosi, dan W = berat partikel. Laju erosi tergantung konsentrasi padatan dalam aliran fluida dan arah partikel menumbuk dinding. Untuk mengantisipasi *sand production*, biasanya pipa dibelokkan kekanan dengan radius yang besar.

2. PIPA UNTUK CAIRAN

Kecepatan maksimum yang dipakai untuk menentukan ukuran pipa untuk liquid adalah 15 ft/sec. Pengalaman menunjukkan bahwa batas ini cukup untuk memperkecil kebisingan, benturan akibat kecepatan air dan erosi. Kecepatan minimum di pipa untuk liquid biasanya dipakai untuk menentukan tidak terjadinya pengendapan padatan. Dalam praktek kecepatan 3 – 4 ft/sec cukup untuk menjaga tidak terjadinya pengendapan partikel. Oleh karena itu kecepatan minimum 3 ft/sec biasa dipakai. Kecepatan fluida dapat ditentukan

$$V = 0.012 \frac{Q_l}{d^2}$$

dimana V = kecepatan fluida, ft/sec, Q_l = laju alir *liquid*, bpd dan d = ID pipa, in.

3. PIPA GAS

Seperti pipa cairan, harus ada cukup tekanan supaya gas mengalir dipipa. Biasanya hal ini menjadi masalah pada sistem transmisi gas yang panjang. Pipa gas harus dijaga pada kecepatan minimum dan maksimum. Biasanya tetap dijaga pada kecepatan antara 10 - 15 ft/sec untuk mencegah terjadinya pengendapan cairan di daerah yang rendah. Biasanya kecepatan gas antara 60–80 ft/sec untuk memperkecil kebisingan dan mencegah korosi. Kecepatan erosi akibat sejumlah sedikit cairan dapat ditentukan dengan

$$V_e = 0.6C \left(\frac{T}{\gamma_g P} \right)^{1/2}$$

dimana

V_e = kecepatan erosi, ft/sec,

C = konstanta erosi,

T = temperatur, oR,

Γ_g = *specific gravity gas*,

P = tekanan, psia.

Untuk pipa transmisi gas bertekanan tinggi, sangat penting untuk mengecek kecepatan erosi sebelum menentukan ukuran pipa dengan kecepatan maksimum 60 ft/sec. Untuk sistem dengan CO₂ rendah (1 – 2 %), kecepatan harus lebih rendah dari 50 ft/sec. Pengalaman dilapangan menunjukkan bahwa terjadi kesulitan mencegah korosi CO untuk kecepatan aliran yang tinggi. Kecepatan alir gas dapat dinyatakan

$$V = 60 \left(\frac{Q_g T Z}{d^2 P} \right)$$

dimana Q_g adalah laju alir gas, MMscfd, T adalah temperatur, oR, d adalah diameter ID pipa, inch, P adalah tekanan, psia, V adalah kecepatan gas, ft/sec, dan Z adalah faktor kompresibilitas gas.

4. PIPA DUA FASA

Penentuan laju alir erosi pada *flowline* dari sumur, *manifold* dan *pipeline* dua fasa ditentukan metoda dua fasa. Sedangkan pipa gas yang keluar dari separator dan lainnya yang mengandung kadar cairan kecil ditentukan dengan metoda satu fasa. Sama seperti pada pipa untuk cairan yang keluar dari separator.

Meskipun kebanyakan pipa dua fasa dioperasikan pada tekanan tinggi, kehilangan tekanan biasanya tidak menjadi batasan terhadap penentuan

diameter pipa. Tetapi kehilangan tekanan harus diperhitungkan untuk pipa dua fasa yang panjang.

Disarankan bahwa kecepatan minimum antara 10 – 15 ft/sec untuk menjaga aliran fluida tetap bergerak dan memperkecil slugging di separator atau peralatan lainnya. Hal ini sangat penting untuk daerah dengan topografi tidak rata. Kecepatan maksimum dijaga 60 ft/sec untuk menjaga kebisingan, 50 ft/sec untuk mencegah korosi CO₂ atau erosi. Untuk aliran dua fasa, persamaan umum untuk kecepatan erosi adalah

$$V_e = \frac{C}{(\rho_m)^{1/2}}$$

dimana ρ_m adalah densitas rata-rata campuran pada tekanan dan temperatur alir, lb/cuft.

Densitas campuran ditentukan dengan

$$\rho_m = \frac{12409\gamma_l P + 2.7\gamma_g R_l P}{198.7P + ZR_l T}$$

dimana γ_l adalah *specific gravity* cairan, R_l adalah gas *liquid ratio*, cuft/bbl, T adalah temperatur, oR, dan γ_g *specific gravity* gas.

Perhitungan luas penampang pipa minimum untuk kecepatan maksimum yang diperbolehkan dinyatakan sebagai :

$$a = \left[\frac{9.35 + \frac{ZR_l T}{21.25P}}{1000V} \right] Q_l$$

dimana

a = luas penampang pipa minimum, in²,

Q_l = laju alir liquid, bpd,

V = kecepatan

maksimum yang diperbolehkan, ft/sec. Diameter pipa dapat ditentukan, dengan menggunakan persamaan (8) berikut:

$$d = \left[\frac{\left(11.9 + \frac{ZRT}{16.7P} \right) Q_l}{1000V} \right]^{1/2}$$

CONTOH SOAL

1. PIPA CAIRAN

Data

Laju produksi:

Kondensat = 800 bpd

Air = 230 bpd

SG kondensat = 0.87

SG air = 1.05

Tentukan diameter pipa minimum

Penyelesaian

Batasan kecepatan (V)

-maksimum = 15 ft/sec

-minimum = 3 ft/sec

Kecepatan

$$V = 0.012 \frac{800 + 230}{d^2} = \frac{12.36}{d^2}$$

V (ft/sec)	ID (Inc)
3	2,03
15	0,91

2. PIPA GAS

Data

Pipa gas ke dehidrator dengan tekanan operasi 800 psi.

Laju produksi gas = 23 MMscfd

SG gas = 0.85

Temperatur = 80°F

Penyelesaian

Batasan kecepatan

$V_{max} = 60$ ft/sec

$V_{min} = 10 - 15$ ft/sec

Z dihitung dengan grafik didapat $Z = 0.67$

Kecepatan

$$V = 60 \left(\frac{(23)(540)(0.67)}{d^2(815)} \right) = \frac{613}{d^2}$$

V (ft/sec)	ID (in)
10	7,83
15	6,39
60	3.20

3. PIPA DUA FASA

1. Pipa dua fasa menuju separator dengan tekana operasi 800 psi

Laju produksi:

Kondensat = 800 bpd

Air = 230 bpd

Laju produksi gas = 23 MMscfd

Temperatur = 80 oF

SG kondensat = 0.87

SG air = 1.05

SG gas = 0.85

Penyelesaian

Batasan kecepatan

$V_{max} = 60$ ft/sec

$V_{min} = 10 - 15 \text{ ft/sec}$

2. Z dihitung dengan grafik didapat $Z = 0.67$

3. SG liquid rata-rata

$$\gamma_l = \frac{Q_c \gamma_c + Q_w \gamma_w}{Q_c + Q_w} = \frac{(230)(1.05) + (800)(0.87)}{1030} = 0.91$$

4. Gas liquid ratio

$$R_l = \frac{Q_g}{Q_l} = \frac{22000000}{1030} = 22330 \text{ cuft/bbl}$$

5. Desitas campuran

$$\rho_m = \frac{12409 \gamma_l P + 2.7 \gamma_g R_l P}{198.7 P + Z R_l T}$$

$$\rho_m = \frac{12409 (0.91)(915) + 2.7 (0.85)(22330)(915)}{198.7(915) + (0.67)(22330)(540)}$$

$$\rho_m = 6.93 \text{ lb/cuft}$$

c. Kecepatan erosi

C.3.H Productivity Index dan Inflow Performance Relationship (IPR)

Productivity Index

Persamaan aliran darcy merupakan pengembangan dari aliran fluida dari media berpori dengan melakukan anggapan sebagai berikut :

- Fluida formasi terdiri dari satu fasa
- Formasi *homogen*
- Fluida tidak bereaksi terhadap formasi
- Aliran *steady state* (mantap)
- **Fluida incompressible**

Productivity Index (PI) secara umum didefinisikan sebagai perbandingan laju produksi yang dihasilkan oleh suatu sumur pada suatu harga tekanan aliran dasar sumur tertentu dengan perbedaan tekanan dasar sumur pada keadaan

statis (P_s) dan tekanan dasar sumur pada saat terjadi aliran (P_{wf}) yang secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut :

$$PI = J = \frac{q}{(P_s - P_{wf})} \dots\dots\dots (94)$$

dimana :

$PI = J =$ *Productivity Index*, bbl/hari/psi

q = laju produksi aliran total, bbl/hari

P_s = Tekanan statis reservoir, psi

P_{wf} = Tekanan dasar sumur waktu ada aliran, psi

Secara teoritis persamaan (94) dapat didekati oleh persamaan radial dari darcy untuk fluida *homogen, incompressible* dan horizontal. Dengan demikian untuk aliran minyak saja berlaku hubungan :

$$PI = \frac{7.082 \times 10^{-3} \times k \times h}{Bo \times \mu_o \times \ln(re/rw)} \dots\dots\dots (95)$$

$$PI = \frac{7.082 \times 10^{-3} \times h}{\ln(re/rw)} \left(\frac{k_o}{\mu_o Bo} + \frac{k_w}{\mu_w B_w} \right) \dots\dots\dots (96)$$

dimana :

PI = *productivity index*, bbl/hari/psi

k = *permeabilitas* batuan, mD

k_w = permeabilitas efektif terhadap sumur, mD

k_o = permeabilitas efektif terhadap minyak, mD

μ_o = *viscositas* minyak, cp

μ_w = *viscositas* air, cp

Bo = faktor volume formasi minyak, bbl/STB

B_w = faktor volume formasi air, bbl/STB

re = jari-jari pengurasan sumur, ft

rw = jari-jari sumur, ft

Untuk membandingkan satu sumur dengan sumur yang lainnya pada suatu lapangan terutama bila tebal lapisan produktifnya berbeda, maka digunakan

Specific Productivity Index (SPI) yang merupakan perbandingan antara *Productivity Index* dengan ketebalan lapisan yang secara matematis dapat dituliskan :

$$SPI = J_s = \frac{PI}{h} = \frac{7.082 \times 10^{-3} \times k}{Bo \times \ln(re/rw)} \dots\dots\dots (97)$$

Pada beberapa sumur harga *Productivity Index* akan tetap konstan untuk laju aliran yang bervariasi, tetapi pada sumur lainnya untuk laju aliran yang lebih besar *productivity index* tidak lagi *linier* tetapi justru menurun, hal tersebut disebabkan karena timbulnya aliran *turbulensi* sebagai akibat bertambahnya laju produksi, berkurangnya laju produksi, berkurangnya permeabilitas terhadap minyak oleh karena terbentuknya gas bebas sebagai akibat turunnya tekanan pada lubang bor, kemudian dengan turunnya tekanan di bawah tekanan jenuh maka *viskositas* akan bertambah (sebagai akibat terbebasnya gas dari larutan) dan atau berkurangnya *permeabilitas* akibat adanya *kompresibilitas* batuan.

Dalam praktek di lapangan laju produksi minyak yang melewati batas maksimum akan merugikan reservoir dikemudian hari, karena akan mengakibatkan terjadinya *water* atau gas *coning* dan kerusakan formasi (*formation damage*).

Berdasarkan pengalamannya, Kermitz E Brown (1967) telah mencoba memberikan batasan terhadap besarnya *produktivitas* sumur, yaitu sebagai berikut :

- PI rendah jika besarnya kurang dari 0,5
- PI sedang jika besarnya berkisar antara 0,5 sampai 1,5
- PI tinggi jika lebih dar 1,5

1. Inflow Performance Relationship (IPR)

Inflow Performance Relationship (IPR) adalah suatu studi tentang *performance* aliran fluida dari reservoir menuju lubang bor (sumur), dimana *performance* (ulah) ini akan tergantung kepada PI secara grafis.

Jika PI suatu sumur dianggap konstan, tidak tergantung pada laju produksi, maka persamaan (94), dapat ditulis :

$$P_{wf} = P_s - \frac{q}{PI} \dots\dots\dots (98)$$

Pada persamaan (98) terlihat bahwa P_{wf} dan laju produksi mempunyai hubungan yang linier, yang disebut *Inflow Performance Relationship*, yang menggambarkan reaksi-reaksi reservoir bila ada perbedaan tekanan didalamnya.

Bila $q = 0$, maka $P_{wf} = P_s$, dan bila $q = PI \times P_s$, maka $P_{wf} = 0$. Sudut θ yang dibuat oleh garis tersebut terhadap sumbu tekanan sedemikian rupa, sehingga :

$$\tan \theta = \frac{OB}{OA} = \frac{PI \times P_s}{P_s} = PI \dots\dots\dots (99)$$

Jadi sebenarnya PI merupakan koefisien arah dari kurva IPR, Harga q pada titik B, yaitu $PI \times P_s$ disebut sebagai potensial sumur, yaitu suatu laju produksi maksimum yang dapat diberikan oleh reservoir, dan akan terjadi bila harga P_{wf} sama dengan nol. Pada pembuatan grafik 2.43, bahwa PI tidak tergantung pada laju produksi yang merupakan hasil dari kemungkinan produksi sepanjang garis AB. Hasil ini berhubungan dengan persamaan aliran radial.

Tetapi kurva IPR disini tidak selalu linier tetapi ini tergantung pada jumlah fluida yang mengalir. Untuk fluida dua fasa kurva yang terbentuk akan lengkung (tidak linier), dan harga PI tidak lagi merupakan harga yang konstan karena kemiringan garis IPR akan berubah secara kontinyu untuk setiap harga P_{wf} .

2. IPR untuk Satu Fasa

Penentuan IPR untuk aliran fluida satu fasa ditentukan berdasarkan data-data sebagai berikut :

- A. Berdasarkan data hasil uji tekanan dan produksi
 - 1. Siapkan data hasil uji tekanan dan produksi, yaitu P_s , P_{wf} dan q_o .
 - 2. Hitung PI dengan menggunakan persamaan (94)
 - 3. Pilih tekanan aliran dasar sumur (P_{wf})
 - 4. Hitung laju aliran minyak (q_o) dan P_{wf} tersebut dengan menggunakan persamaan : $q_o = PI (P_s - P_{wf}) \dots\dots\dots (100)$

5. Kembali ke langkah 3 dengan harga Pwf yang berbeda
6. Plot q terhadap Pwf yang diperoleh dari langkah 3 dan 4 pada kertas grafis kartesian, dengan qo sebagai sumbu datar dan Pwf sebagai sumbu tegak.

B. Berdasarkan parameter batuan dan fluida reservoir

1. Siapkan data-data yang diperlukan sebagai berikut :
 - a. Parameter batuan *reservoir*, yaitu Ko, H dan re
 - b. Parameter fluida *reservoir*, yaitu Bo dan μo
 - c. Parameter sumur, yaitu rw
 - d. Tekanan statik dan faktor skin dari uji tekanan yaitu Ps dan s
2. Hitung PI dengan persamaan :

$$PI = \frac{0.007082}{\mu_o Bo (\ln 0,472 re/rw)} \dots\dots\dots (101)$$

3. Pilih tekanan dasar sumur (Pwf)
4. Hitung laju alir (qo) pada Pwf tersebut dengan menggunakan persamaan (100)
5. Ulangi langkah 3 dengan harga Pwf yang berbeda
6. Plot qo Vs Pwf yang diperoleh dari langkah 3 dan 4 pada kertas grafik kartesian, dengan qo sebagai sumbu datar dan Pwf sebagai sumbu tegak

3. IPR untuk Dua Fasa

Penentuan kurva IPR untuk aliran dua fasa pada faktor skin = 0 berdasarkan Ps, Pwf dan Pb adalah sebagai berikut :

- A. Jika tekanan statik lebih kecil dari tekanan jenuh (Pb)
1. Siapkan data hasil uji tekanan dan produksi yaitu Ps, Pwf dan qo
 2. Hitung Pwf/Ps
 3. Tentukan laju produksi maksimum (q.maks) berdasarkan data dari langkah 1, dengan persamaan di bawah ini :

$$q_{max} = \frac{q_o}{1 - 0,2 (Pwf/Ps) - 0,8 (Pwf/Ps)^2} \dots\dots\dots (102)$$

4. Pilih tekanan alir dasar sumur (Pwf) dan hitung Pwf/Ps
5. Hitung qo pada Pwf tersebut dengan menggunakan persamaan ini :

$$q_o = q_{\max} \left[1 - 0,2 (P_{wf}/P_s) - 0,8 (P_{wf}/P_s)^2 \right] \dots\dots\dots (103)$$

6. Ulangi langkah 4 untuk harga Pwf yang berbeda.
7. Plot qo terhadap Pwf yang diperoleh dari langkah 4 sampai dengan 6 pada kertas grafik kartesian dengan qo pada sumbu datar dan Pwf pada sumbu tegak
8. Pilih laju aliran (qo) dan hitung qo/qmax
9. Hitung pwf dengan menggunakan persamaan berikut :

$$P_{wf} = 0,125 P_s \left[-1 + 81 (q_o/Q_{\max}) \right] \dots\dots\dots (104)$$

10. Ulangi langkah 4 untuk harga qo yang berbeda

B. Jika tekanan statik lebih besar dari tekanan jeuh (Pb) dan tekan aliran dasar sumur dari uji produksi lebih besar dari tekanan jenuh atau (Ps > Pb) dan (Pwf > Pb).

1. Dari uji tekanan dan produksi diperoleh data-data : Pwf, Ps dan qo pada Pwf. Dalam ini Pwf dan Pb harus diketahui.
2. Hitung *Index Produktivity* untuk sumur Pwf > Pb (kondisi aliran satu fasa) dengan persamaan (95)
3. Dengan menggunakan harga Pi tersebut, hitung q dengan persamaan :

$$q_b = PI (P_s - P_b) \dots\dots\dots (105)$$

4. Hitung q max dengan persamaan :

$$q_{\max} = q_b + \frac{PI \times P_b}{1,8} \dots\dots\dots (106)$$

5. Pilih Pwf < Pb dan hitung Pwf/Pb
6. Hitung laju produksi pada Pwf tersebut dengan menggunakan persamaan :

$$q_o = q_b + (q_{\max} - q_b) \left[1 - 0,2 (P_{wf}/P_s) - 0,8 (P_{wf}/P_s)^2 \right] \dots\dots\dots (107)$$

7. Ulangi langkah 5 untuk harga pwf yang berbeda
8. Plot Pwf terhadap qo yang diperoleh dari langkah 5 sampai dengan langkah 7 pada kertas grafik kartesian dengan meletakkan qo pada sumbu mendatar dan Pwf pada sumbu vertikal

C. Jika tekanan statik lebih besar daripada tekanan jenuh ($P_s > P_b$) dan tekanan aliran dasar sumur dari uji produksi lebih kecil dari tekanan jenuh ($P_{wf} < P_b$).

1. Dari uji tekanan dan produksi diperoleh data-data P_{wf} , P_s dan q_o pada P_{wf} . Dalam hal ini $P_{wf} < P_b$
2. Hitung P_{wf}/P_b dan tentukan harga A, yaitu :

$$A = 1 - 0,2 (P_{wf}/P_b) - 0,8 (P_{wf}/P_b)^2 \dots\dots\dots (108)$$

3. Hitung harga PI untuk kurva IPR di atas tekanan jenuh yaitu :

$$PI = \frac{q_o}{P_s - P_b + (P_b/1,8)A} \dots\dots\dots (109)$$

4. Tentukan laju produksi pada $p_{wf} = P_b$, yaitu :

$$q = PI (P_s - P_b) \dots\dots\dots (110)$$

5. Hitung q maks dari persamaan :

$$q_{max} = q_b + \frac{PI \times P_b}{1,80} \dots\dots\dots (111)$$

6. Pilih P_{wf} yang lebih kecil dari tekanan jenuh, kemudian hitung P_{wf}/P_b
7. Hitung laju produksi pada P_{wf} tersebut dengan menggunakan persamaan (107)
8. Ulangi lagi untuk langkah 6 dengan harga P_{wf} yang berbeda
9. Plot P_{wf} vs q_o yang diperoleh dari langkah 6 sampai langkah 8 pada kertas grafik kartesian dengan q_o pada sumbu mendatar dan P_{wf} pada sumbu vertikal

D. Penentuan kurva IPR dua fasa untuk tekanan statik di bawah tekanan jenuh ($P_s < P_b$) dan faktor skin tidak sama dengan nol adalah :

1. Dari uji tekanan tentukan P_s dan s
2. Dari uji produksi tentukan harga P_{wf} dan q_o pada P_{wf}
3. Hitung konstanta persamaan kurva IPR, yaitu a_1 , a_2 , a_3 , a_4 dan a_5 masing-masing dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$a_1 = 0,183 e^{-0,364 s} + 1,646 e^{-0,0556 s}$$

$$a_2 = -1,476 e^{-0,456 s} + 1,646 e^{-0,442 s}$$

$$a_3 = -2,149 e^{-0,196 s} + 1,646 e^{-0,220 s}$$

$$a_4 = 0,022 e^{-0,088 s} - 0,260 e^{-0,211 s}$$

$$a_5 = -0,552 e^{-0,032 s} - 0,583 e^{-0,307 s}$$

4. Hitung harga Pwf/Ps berdasarkan data uji tekanan dan produksi
5. Hitung harga ruas kanan dari persamaan kurva IPR :

$$A = \frac{a_1 + a_3 (Pwf/Ps) + a_5 (Pwf/Ps)^2}{1 + a_2 (Pwf/Ps) + a_4 (Pwf/Ps)^2} \dots\dots\dots (112)$$

6. Hitung laju produksi maksimum (q maks) apabila s = 0 yaitu :

$$q_{\max} = q_0/A$$

dimana : q₀ adalah laju aliran dari uji produksi

7. Pilih harga Pwf dan Pwf/Ps, kemudian hitung harga A seperti langkah 5
8. Hitung laju produksi (q₀) pada Pwf tersebut, yaitu :

$$\begin{aligned} q_0 &= q_{\max} \text{ pada } s = 0 \\ &= q_{\max} A \end{aligned}$$

9. Ulangi langkah 7 dengan harga Pwf yang berbeda
10. Plot Pwf terhadap q₀ yang diperoleh dari perhitungan pada kertas grafik kartesian dengan q₀ pada sumbu mendatar dan pwf pada sumbu vertikal

D. Aktivitas Pembelajaran

Aktivitas Pengantar

Mengidentifikasi Isi Materi Pembelajaran

Sebelum melakukan kegiatan pembelajaran, berdiskusilah dengan sesama peserta diklat di kelompok Saudara untuk mengidentifikasi hal-hal berikut:

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran faktor-faktor produksi sumur flowing? Sebutkan dan jelaskan!
2. Bagaimana cara saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!
3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!
4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!
5. Apa kompetensi yang seharusnya dicapai oleh saudara sebagai guru kejuruan dalam mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

6. Apa bukti yang harus diunjuk kerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

Jawablah pertanyaan-pertanyaan di atas dengan menggunakan **LK-03**. Jika Saudara bisa menjawab pertanyaan-pertanyaan di atas dengan baik, maka Saudara bisa melanjutkan pembelajaran berikut ini.

Aktivitas 4: Memahami Produksi Sumur Flowing

Saudara mungkin mempunyai pandangan yang berbeda dari teman-teman lain tentang Produksi Sumur Flowing. Apa yang Saudara temukan setelah memahami Produksi Sumur Flowing tersebut? Apakah ada hal-hal yang baik atau sebaliknya yang Saudara temukan? Diskusikan hasil pengamatan Saudara dengan anggota kelompok Saudara. Selanjutnya selesaikan **LK-04** dengan dipandu pertanyaan berikut.

Saudara akan mendiskusikan bagaimana memahami Produksi Sumur Flowing. Untuk kegiatan ini Saudara harus menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Apa yang Saudara ketahui tentang Produksi Sumur Flowing?
2. Mengapa Saudara harus memahami Produksi Sumur Flowing? Sebutkan apa saja prosedur dalam penentuan Produksi Sumur Flowing?
3. Mengapa evaluasi Produksi Sumur Flowing sangat diperlukan sebelum menentukan suatu produksi minyak dan gas ?

Saudara dapat menuliskan jawaban dengan menggunakan **LK-04**.

Untuk memperkuat pemahaman Saudara tentang Produksi Sumur Flowing. Bacalah bahan bacaan 4 tentang Produksi Sumur Flowing

Aktivitas 5: Memahami Continuous Gas Lift

Setelah Saudara memahami Produksi Sumur Flowing pada aktivitas 4, maka pada aktivitas 5 ini Saudara akan mendiskusikan Produktivity Index dan Inflow Performance Relationship. Untuk kegiatan ini Saudara harus menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut.

1. Apa yang Saudara ketahui tentang Produktivity Index dan Inflow Performance Relationship?
 2. Mengapa Saudara harus memahami Produktivity Index dan Inflow Performance Relationship?
 3. Apakah dengan menggunakan laju Produktivity Index dan Inflow Performance Relationship dapat meningkatkan performansi produksi migas? Mengapa?
- Saudara dapat menuliskan jawaban dengan menggunakan **LK-05**. Untuk memperkuat pemahaman Saudara tentang Produktivity Index dan Inflow Performance Relationship. Bacalah bahan bacaan tentang Produktivity Index dan Inflow Performance Relationship

LEMBAR KERJA (LK-00)

1. Apa saja hal-hal yang harus dipersiapkan oleh saudara sebelum mempelajari materi pembelajaran faktor-faktor produksi sumur flowing? Sebutkan dan jelaskan!

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

2. Bagaimana cara saudara mempelajari materi pembelajaran ini? Jelaskan!

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

3. Ada berapa dokumen bahan bacaan yang ada di dalam Materi pembelajaran ini? Sebutkan!

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

4. Apa topik yang akan saudara pelajari di materi pembelajaran ini? Sebutkan!

.....

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

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

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

6. Apa bukti yang harus diunjuk kerjakan oleh saudara sebagai guru kejuruan bahwa saudara telah mencapai kompetensi yang ditargetkan? Jelaskan!

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

3. Mengapa evaluasi Produksi Sumur Flowing sangat diperlukan sebelum menentukan suatu produksi minyak dan gas ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Apakah dengan menggunakan laju Produktivity Index dan Inflow Performance Relationship dapat meningkatkan performansi produksi migas? Mengapa?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

E. Latihan/Kasus/Tugas

1. Sebutkan pertimbangan apa saja dalam penggunaan sistem perpipaan?
2. Sebutkan apa saja perencanaan pipa salur?
3. Sebutkan kelakuan aliran fluida?
4. Pipa gas ke dehidrator dengan tekanan operasi 800 psi. Laju produksi gas = 23 MMscfd, SG gas = 0.85, Temperatur = 80°F
5. Laju produksi: Kondensat = 800 bpd, Air = 230 bpd, SG kondensat = 0.87, SG air = 1.05. Tentukan diameter pipa minimum

F. Rangkuman

1. Faktor yang berpengaruh terhadap aliran fluida dalam pipa adalah perkiraan besarnya kehilangan tekanan yang terjadi selama fluida mengalir.
2. Persamaan aliran darcy merupakan pengembangan dari aliran fluida dari media berpori dengan melakukan anggapan sebagai berikut :
 - a. Fluida formasi terdiri dari satu fasa

- b. Formasi homogen
- c. Fluida tidak bereaksi terhadap formasi
- d. Aliran steady state (mantap)
- e. Fluida incompressible

G. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

1. Jelaskan bagaimana kegiatan pembelajaran yang telah dilaksanakan?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2. Apakah hasil pembelajaran dapat diimplementasikan dilingkungan kerja?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

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

3. Jika belum bisa diterapkan disekolah saudara , apa yang perlu ditingkatkan agar indicator pencapaian kompetensi dapat tercapai?

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

Kunci Jawaban

1. Metode pembuatan pipa yaitu:
 - a. Welded Steel Pipe (pipa dengan sambungan las)
 - b. Seamless pipe (pipa tanpa sambungan)
2. Klasifikasi pipa berdasarkan cara pembuatannya dari pabriknya adalah sebagai berikut:
 - Furnace butt weld
 - Furnace lap weld
 - Electric weld
3. Proses pembuatan pipa dengan sistem welded dapat dibedakan :
 - Electric Resistance Welded Pipe Process (ERW)
 - Double Submerged Arc Welded Longitudinal Proses
 - Spiral Seam Submerged Arc Welded Process
4. Seamless pipe adalah pipa yang tidak mempunyai pelipit dan tidak pula dilas, lebih halus dan sangat kuat.
5. Bentuk ujung pipa:
 - a. Plain End
Pada bentuk ini pipa dipotong tanpa ada bevel, dipakai pada sistem sambungan pipa dengan socket welding.
 - b. Bevelled End
Ujung dari pipa dibevel membentuk sudut 30 °, dipakai pada sistem sambungan pipa dengan butt welding dan flanged welding.
 - c. Treded End
Bentuk ujung dari pipa adalah memakai sambungan ulir.
6. Penggunaan sistem perpipaan didasarkan atas pertimbangan-pertimbangan sebagai berikut :
 - Transportasi dengan menggunakan pipa lebih ekonomis dan dapat ditransportasikan, minyak dalam jumlah yang cukup besar.
 - Frekwensi transportasi dapat berlangsung secara terus menerus dan tidak tergantung pada musim maupun cuaca, dalam hal ini ombak/gelombang pada sumur lepas pantai.

➤ Jangka waktu penggunaan sistem transportasi pipa lebih lama, bisa bertahan sampai 20 tahun bahkan bisa lebih lama lagi.

7. Perencanaan pipa salur meliputi :

1. Perhitungan tekanan *Upstream* atau *Downstream* untuk laju aliran dan diameter pipa tertentu.
2. Perhitungan laju aliran untuk perbedaan tekanan dan diameter pipa tertentu.
3. Perhitungan diameter pipa untuk perbedaan tekanan dan laju aliran tertentu.

8. Kelakuan aliran fluida yaitu:

1. Aliran fluida dari Formasi Produktif ke Lubang Sumur
2. Vertical Lift Performance Vertical Lift performance
3. Kelakuan Aliran Fluida Melalui Pipa Tegak Dan Pipa Datar
4. Bean Performance

9. **Penyelesaian**

Batasan kecepatan (V)

- maksimum = 15 ft/sec

- minimum = 3 ft/sec

Kecepatan

$$V = 0.012 \frac{800 + 230}{d^2} = \frac{12.36}{d^2}$$

V (ft/sec)	ID (Inc)
3	2,03
15	0,91

10. **Penyelesaian**

Batasan kecepatan

Vmax = 60 ft/sec

Vmin = 10 – 15 ft/sec

Z dihitung dengan grafik didapat Z = 0.67

Kecepatan

$$V = 60 \left(\frac{(23)(540)(0.67)}{d^2(815)} \right) = \frac{613}{d^2}$$

V (ft/sec)	ID (in)
10	7,83
15	6,39
60	3.20

Evaluasi

Setelah mempelajari materi yang ada di dalam modul ini saudara diharapkan mampu mengerjakan soal-soal latihan sebagai tolak ukur keberhasilan dalam pencapaian indikator. Materi yang disajikan didalam modul ini sebagai pembelajaran untuk memperbaiki nilai Uji Kompetensi Guru yang telah dilaksanakan, sehingga kedepannya bisa memberikan hasil yang memuaskan saat diadakan Uji Kompetensi Guru.

PENUTUP

Kesimpulan

Demikian Modul Guru Pembelajaran Mata Pelajaran Teknik Produksi Migas Kelompok Kompetensi D GP bagi Guru pasca UKG ini disusun. Modul ini disusun sebagai acuan bagi semua pihak yang terkait dalam pelaksanaan kegiatan pelatihan dan GP bagi guru dan tenaga kependidikan (GTK). Melalui Modul Guru Pembelajaran Mata Pelajaran Teknik Produksi Migas Kelompok Kompetensi D ini selanjutnya semua pihak terkait dapat menemukan kemudahan dalam melaksanakan UKG kelanjutan dan menambah pengetahuan dan wawasan pada bidang dan tugas masing-masing.

Modul Guru Pembelajaran Mata Pelajaran Teknik Produksi Migas Kelompok Kompetensi D GP bagi Guru pasca UKG ini disusun ini merupakan bahan pelajaran atau materi yang harus dipelajari oleh guru pasca UKG. Semoga Modul Guru Pembelajaran Mata Pelajaran Teknik Produksi Migas Kelompok Kompetensi D bagi Guru pasca UKG ini dapat bermanfaat dan bias mengarahkan dan membimbing peserta diklat terutama para guru dan widyaiswara/fasilitator untuk menciptakan proses kolaborasi belajar dan berlatih dalam pelaksanaan diklat Guru Pembelajar.

DAFTAR PUSTAKA

- Beggs, Dale: “*Gas Production Operations*”, OGCI Publications, Oil and Gas Consultants International Inc., Tulsa – Oklahoma.
- Bradley, Petroleum Engineering Handbook, Society of Petroleum Engineers, US 1987.
- Brown K. E.: “*The Technology of Artificial Lift Methods*”, Vol. I, PPC. Books, Tulsa - Oklahoma.
- Dr. John M. Campbell, Gas Conditioning and Processing, Vol. 1., Campbell Petroleum Series, Oklahoma.
- Dr. Skinner, Introduction to Petroleum Production Vol. 1-2, Gulf Publishing Company, Houston Texas, USA, 1981
- Francois, S. Manning et. Al., Field Handling of Petroleum, Tulsa, 1980
- Gas Processors Suppliers Association : “*Engineering Data Book*”, Ninth Edition, 1972, 1812 First Place, Tulsa - Oklahoma.
- Istarani. 2011. *58 Model Pembelajaran Inovatif*. Medan: Media Persada.
- Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan. (2014). Materi Pelatihan Guru Implementasi Kurikulum 2013 Tahun 2014 Mata Pelajaran Ekonomi.
- Komala, (2013). *Pembelajaran Kontekstual, Konsep dan Aplikasi*. Bandung: Refika Aditama
- Kunandar. 2013. Penilaian Autentik (Penilaian Hasil Belajar Peserta Didik Berdasarkan Kurikulum 2013): Jakarta. PT RajaGrafindo Persada.
- NN, The Petroleum industry, Production Operations, Acton System, Houston, 1982.
- Majid A.,(2012). *Belajar dan Pembelajaran PAI*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Morton, M. Denn: “*Process Fluid Mechanics*”, Prentice-Hall International Series, Englewood, New Jersey.
- Mulyasa. (2014). *Pengembangan dan Implementasi Kurikulum 2013*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Natawidjaja, dkk. (2007). *Rujukan Filsafat, Teori dan Praksis Ilmu Pendidikan*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia Press.

Nurfuadi. (2012). *Profesionalisme Guru*. Purwokerto: STAIN Press.

Permendikbud Nomor 60 Tahun 2014 tentang Struktur Kurikulum dan Silabus Mata Pelajaran Kelompok Dasar Bidang Keahlian (C1) SMK.

Permendikbud No. 103 Tahun 2014 tentang Pembelajaran pada Pendidikan Dasar dan Menengah.

PP Nomor 32 Tahun 2013 tentang Standar Nasional Pendidikan.

PP Nomor 17 Tahun 2010 tentang Pengelolaan dan Penyelenggaraan Pendidikan.

Sagala. (2005). *Konsep dan Makna Pembelajaran*. Bandung: Alfabeta.

Sanjaya. (2008). *Strategi Pembelajaran Berorientasi Standar Proses Pendidikan*. Jakarta: Kencana Prenada Media Group.

SK Direktur Jenderal Pendidikan Menengah Nomor 7013/D/KP/2013 tentang Spektrum Keahlian.

SK Direktur Jenderal Pendidikan Menengah Nomor 1464/D3.3/KEP/KP/2014 tentang Silabus Mata Pelajaran Kelompok Dasar Program Keahlian (C2) dan Paket Keahlian (C3) Sekolah Menengah Kejuruan (SMK).