



# THERMOFISIKA

## DIKTAT KULIAH II Teknik Perminyakan

Yusraida Khairani Dalimunthe, S.Pd., M.Sc

Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi  
Universitas Trisakti

# KATA PENGANTAR

Diktat ini berisi materi Fisika Dasar II untuk tingkat pertama di semester kedua fakultas sains dan teknik di perguruan tinggi negeri maupun swasta. Pembuatan diktat pembelajaran ini dilatarbelakangi karena ketiadaan diktat kuliah fisika dasar yang ditulis oleh dosen fisika di Program Studi Teknik Perminyakan selama berpuluh tahun serta belum tersedianya diktat khusus ilmu fisika yang terkait untuk Program Studi Teknik Perminyakan di Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi, Universitas Trisakti. Melalui penulisan diktat ini diharapkan mampu menjadi salah satu pedoman para dosen baik di perguruan tinggi negeri maupun swasta yang mengampu mata kuliah Fisika Dasar, khususnya bagian Thermofisika. Materi utama yang dibahas pada diktat ini mencakup Pengukuran Suhu, Pengaruh Panas Terhadap Bahan, Jumlah Kalor, Proses Perambatan Kalor, Teori Gas Kinetik, Termodinamika, dan Tekanan Hidrostatika yang diberikan selama setengah semester kedua perkuliahan sampai dengan dilaksanakannya Ujian Akhir Semester.

Pada diktat ini juga dibahas sejumlah fenomena yang terkait dengan ilmu serta prinsip-prinsip fisika yang penerapannya terkait dengan ilmu keteknikan serta sejumlah fenomena yang dijumpai dalam kehidupan sehari-hari dengan konsep yang dipelajari. Diharapkan dengan pendekatan ini menjadikan mahasiswa lebih tertarik dan menyadarkan mahasiswa akan pentingnya aplikasi konsep-konsep fisika yang pengaplikasiannya terkait fenomena sederhana yang ada di lingkungan sekitar hingga peralatan berteknologi canggih.

Dibandingkan dengan diktat atau buku sejenis, dalam diktat ini beberapa topik disajikan dengan tingkat kesulitan yang disesuaikan untuk alur berfikir mahasiswa tingkat pertama di perguruan tinggi yang bertujuan untuk mengajak mahasiswa agar lebih aktif berfikir dalam menyelesaikan permasalahan yang terkait dengan ilmu fisika terutama untuk bidang keilmuan yang diambilnya. Selain itu, untuk lebih memahami dan menguasai setiap pokok bahasan disediakan pula berbagai contoh soal serta pembahasannya .

Penulis menyadari tentu masih banyak kekurangan dalam penulisan diktat ini, untuk itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi perbaikan selanjutnya.

Kampus Trisakti

Februari 2023

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI .....	iii
BAB I    PENGUKURAN SUHU .....	1
1. Pengertian Suhu .....	3
2. Termometer .....	4
3. Skala Suhu .....	7
4. Konversi Suhu .....	8
5. Aplikasi suhu dalam bidang Teknik Perminyakan .....	10
BAB II    PENGARUH PANAS TERHADAP BAHAN .....	12
1. Pemuaian Zat Padat dan Zat Cair.....	12
2. Pemuaian Gas dan Hukum-hukum Gas Ideal .....	15
3. Aplikasi pengaruh panas terhadap bahan dalam bidang Teknik Perminyakan .....	19
BAB III    JUMLAH KALOR.....	21
1. Kapasitas Panas .....	23
2. Panas Jenis .....	23
3. Panas Jenis Molar .....	23
4. Kalorimeter .....	24
5. Perubahan Fasa Zat .....	24
6. Skema Perubahan Fasa Zat.....	25
7. Aplikasi jumlah kalor dalam bidang Teknik Perminyakan .....	28

BAB IV	PROSES PERAMBATAN KALOR .....	30
	1. Proses Konduksi .....	31
	2. Proses Konveksi .....	34
	3. Proses Radiasi .....	35
	4. Aplikasi perambatan kalor dalam bidang Teknik Perminyakan .....	37
BAB V	TEORI GAS KINETIK .....	40
	1. Tenaga Kinetis Translasi Rata-rata $\langle EK \rangle$ .....	42
	2. Tekanan Gas (P) .....	42
	3. Internal Energi (Energi Dalam) .....	43
	4. Aplikasi teori kinetik gas dalam bidang Teknik Perminyakan	45
BAB VI	THERMODINAMIKA.....	47
	1. Hukum Thermodinamika Pertama .....	48
	2. Ekuipartisi dan Energi.....	49
	3. Prinsip Energi Ekuipartisi dari Maxwell dan Boltzmann .....	49
	4. Panas Jenis Gas .....	50
	5. Entropi .....	55
	6. Hukum Thermodinamika II .....	55
	7. Hukum Thermodinamika III .....	56
	8. Aplikasi Thermodinamika dalam bidang Teknik Perminyakan	58
BAB VII	TEKANAN HYDROSTATIKA.....	60
	1. Definisi Tekanan .....	61

2. Tekanan dalam Zat Cair.....	61
3. Hukum Pascal .....	62
4. Hukum Stokes .....	62
5. Tegangan Permukaan Pada Zat Cair .....	63
6. Hukum Archimedes .....	64
7. Fluida Bergerak .....	64
8. Aplikasi Tekanan Hydrostatika dalam bidang Teknik Perminyakan .....	69
DAFTAR PUSTAKA.....	71

## **BAB I – PENGUKURAN SUHU**

### **Standar Kompetensi**

1. Mampu menerapkan ilmu dasar pengukuran suhu sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.
2. Mampu mengaplikasikan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang minyak, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan dengan teknologi informasi dan komputer.
3. Bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan mampu menunjukkan sikap religius.
4. Menjunjung tinggi nilai kemanusiaan dalam menjalankan tugas berdasarkan agama, moral dan etika.
5. Berkontribusi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat, berbangsa, bernegara, dan kemajuan peradaban berdasarkan pancasila.

### **Kompetensi Dasar**

Mahasiswa dapat mengerti ilmu dasar pengukuran suhu sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.

### **Indikator**

1. Menyatakan pengertian suhu.
2. Menjelaskan prinsip kerja termometer berdasarkan pemuaian zat cair (raksa/alkohol).
3. Menggunakan rumus konversi suhu untuk mengubah satuan dengan benar.
4. Memberi contoh penerapan pengukuran suhu dalam bidang teknik, seperti pada sistem pendingin, mesin, dan industri perminyakan.

Dalam kehidupan sehari-hari, kita tentu sering menyentuh berbagai benda di sekitar, mulai dari gagang pintu, meja belajar, gelas berisi air, hingga bodi motor yang terjemur matahari. Saat menyentuh benda-benda tersebut, kita mungkin pernah merasakan perbedaan sensasi: ada yang terasa dingin seperti logam di pagi hari, ada yang terasa hangat seperti permukaan meja kayu yang terkena sinar matahari, atau bahkan terasa panas seperti setrika yang baru digunakan. Sebaliknya, ada pula benda yang terasa biasa saja, tidak terlalu panas maupun dingin, mirip dengan suhu tubuh kita.

Perbedaan rasa panas dan dingin tersebut bukan sekadar soal perasaan atau dugaan belaka. Hal itu disebabkan oleh perbedaan suhu pada setiap benda yang kita sentuh. Suhu merupakan besaran fisika yang menunjukkan derajat panas atau dinginnya suatu benda. Artinya, semakin tinggi suhu suatu benda, semakin panas benda tersebut terasa, dan sebaliknya, semakin rendah suhunya, semakin dingin pula benda itu ketika disentuh.

Namun, bagaimana sebenarnya kita bisa mengetahui suhu suatu benda dengan pasti? Apakah cukup hanya dengan menyentuhnya? Tentu tidak. Perasaan kita terhadap panas atau dingin bersifat subjektif dan tidak selalu akurat. Oleh karena itu, para ilmuwan mengembangkan alat dan metode khusus untuk mengukur suhu secara objektif dan kuantitatif, sehingga kita bisa menyatakan suhu suatu benda dengan angka yang pasti, bukan hanya berdasarkan perkiraan.

Nah, untuk memahami lebih lanjut apa itu suhu, bagaimana cara mengukurnya dengan alat seperti termometer, dan apa saja satuan suhu



yang digunakan dalam fisika, mari kita pelajari bersama pada pembahasan berikutnya.

## **1. Pengertian Suhu**

Kita dapat mengartikan suhu sebagai suatu besaran fisika yang digunakan untuk menentukan tingkat panas atau dinginnya suatu benda atau keadaan. Dalam kehidupan sehari-hari, kita sering menggunakan istilah "panas" dan "dingin", tetapi tanpa nilai suhu yang pasti, kita hanya menebak-nebak berdasarkan perasaan saja. Dengan adanya konsep suhu sebagai besaran yang dapat diukur, kita bisa membedakan secara objektif antara benda yang benar-benar panas, hangat, atau dingin.

Suhu membantu kita memahami dan membandingkan kondisi termal suatu benda secara kuantitatif, bukan hanya berdasarkan sensasi sentuhan. Misalnya, dua gelas air mungkin terasa hangat di tangan, tapi dengan pengukuran suhu, kita bisa mengetahui bahwa suhu gelas pertama adalah  $45^{\circ}\text{C}$ , sedangkan yang kedua hanya  $37^{\circ}\text{C}$ . Artinya, suhu memberikan kepastian dan ketepatan dalam menyatakan kondisi panas suatu benda.

Dalam ilmu fisika, suhu termasuk ke dalam salah satu besaran pokok, yaitu besaran yang tidak diturunkan dari besaran lain. Suhu memiliki satuan internasional yang disebut Kelvin (K), meskipun dalam kehidupan sehari-hari kita juga sering menggunakan derajat Celcius ( $^{\circ}\text{C}$ ) atau dalam beberapa kasus Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ).

Jadi, dapat kita simpulkan bahwa suhu adalah besaran pokok dalam fisika yang digunakan untuk menyatakan derajat panas atau dinginnya suatu

benda secara ilmiah dan terukur. Pemahaman tentang suhu sangat penting karena menjadi dasar bagi banyak konsep dalam termodinamika, termasuk perpindahan kalor, pemuaian, hingga perubahan wujud zat.

## **2. Termometer**

Setelah kita memahami apa yang dimaksud dengan suhu, pertanyaan selanjutnya yang mungkin muncul adalah: bagaimana caranya kita mengukur suhu suatu benda dengan tepat? Apakah cukup hanya dengan menyentuhnya menggunakan tangan? Tentu tidak. Seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya, indra peraba kita bersifat subjektif dan sering kali menipu, karena itu kita membutuhkan alat ukur yang objektif dan terstandar untuk menentukan suhu secara akurat. Alat tersebut disebut dengan termometer.

Kata termometer berasal dari bahasa Yunani, yaitu *thermos* yang berarti "panas" dan *metron* yang berarti "ukuran" atau "mengukur". Jadi, secara harfiah, termometer berarti alat untuk mengukur panas, atau dalam konteks fisika, alat untuk mengukur suhu.

Termometer merupakan alat ukur suhu yang bekerja berdasarkan prinsip bahwa zat tertentu akan mengalami perubahan sifat ketika terjadi perubahan suhu. Umumnya, termometer berbentuk tabung kaca sempit yang diisi dengan cairan seperti raksa (merkuri) atau alkohol berwarna. Cairan ini akan memuai atau menyusut sesuai dengan perubahan suhu yang diterimanya. Ketika suhu meningkat, cairan di dalam pipa akan memuai dan naik; sebaliknya, ketika suhu turun, cairan akan menyusut dan turun. Tinggi rendahnya permukaan cairan ini menunjukkan nilai suhu

pada skala yang telah dikalibrasi.

Pemilihan raksa atau alkohol sebagai zat pengisi termometer bukan tanpa alasan. Raksa, misalnya, digunakan karena memiliki sifat mudah memuai secara teratur, tidak membasahi dinding kaca, dan mudah terlihat karena warnanya mengilap. Namun, karena raksa bersifat beracun dan tidak cocok untuk suhu sangat rendah, maka pada beberapa termometer digunakan alkohol yang telah diberi pewarna agar mudah dilihat.

Kini, seiring perkembangan teknologi, termometer tidak hanya hadir dalam bentuk cairan kaca, tetapi juga dalam bentuk termometer digital, inframerah, bimetal, dan termokopel, yang lebih praktis dan mampu memberikan hasil pengukuran dengan sangat cepat dan akurat.

Dengan menggunakan termometer, kita bisa mengukur suhu dengan presisi, baik dalam satuan Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ), maupun Kelvin (K), tergantung pada kebutuhan dan sistem yang digunakan.

Termometer bekerja dengan mendeteksi perubahan suhu melalui berbagai cara tergantung jenisnya. Adapun jenis-jenis termometer adalah sebagai berikut:

#### **a. Termometer Raksa**

Menggunakan raksa (merkuri) sebagai cairan pengisi, umum digunakan dalam pengukuran suhu tubuh dan laboratorium. Kelebihannya akurat dan stabil, raksa tidak membasahi dinding kaca dan rentang suhu cukup lebar (hingga  $\pm 357^{\circ}\text{C}$ ). Kekurangannya tidak cocok untuk suhu sangat rendah (raksa membeku pada  $-39^{\circ}\text{C}$ ), beracun jika pecah, dan kurang cocok untuk pengukuran suhu yang berubah cepat.

### **b. Termometer Alkohol**

Menggunakan alkohol berwarna, cocok untuk pengukuran suhu rendah. Kelebihannya dapat mengukur suhu sangat rendah (di bawah  $-70^{\circ}\text{C}$ ), aman tidak beracun, dan mudah dilihat karena berwarna. Kekurangannya membasahi dinding kaca, pembacaan bisa kurang akurat, mudah menguap jika bocor, dan tidak tahan suhu tinggi.

### **c. Termometer Digital**

Menggunakan sensor elektronik dan menampilkan suhu dalam angka digital. Kelebihannya cepat dan mudah dibaca, praktis (portable), dan beberapa model dapat menyimpan data. Kekurangannya membutuhkan baterai, sensitif terhadap air dan benturan, serta perlu kalibrasi untuk akurasi.

### **d. Termometer Inframerah**

Mengukur suhu tanpa kontak, menggunakan radiasi inframerah. Kelebihannya tidak perlu kontak langsung, cepat dan higienis, serta cocok untuk industri dan kesehatan. Kekurangannya kurang akurat untuk permukaan mengkilap atau tidak homogen, harga relatif mahal, dan perlu kalibrasi rutin.

### **e. Termometer Bimetal**

Menggunakan dua logam berbeda yang melengkung karena perubahan suhu. Kelebihannya sederhana dan kuat serta umum digunakan pada alat rumah tangga seperti oven dan AC. Kekurangannya yaitu kurang akurat serta lambat merespons perubahan suhu.

### **f. Termokopel**

Menggunakan dua logam berbeda untuk menghasilkan tegangan sesuai

suhu. Kelebihannya tahan suhu ekstrem (hingga ribuan °C) dan cocok untuk penggunaan industri dan mesin. Kekurangannya memerlukan alat pembaca khusus dan kurang cocok untuk penggunaan sehari-hari.

### **3. Skala Suhu**

Dalam ilmu fisika, suhu merupakan besaran pokok yang memiliki satuan ukur tertentu. Terdapat beberapa jenis satuan suhu yang digunakan di berbagai belahan dunia, antara lain Celsius (°C), Reamur (°R), Fahrenheit (°F), dan Kelvin (K). Masing-masing satuan ini dikembangkan berdasarkan acuan atau titik referensi yang berbeda, namun semuanya digunakan untuk menyatakan derajat panas atau dinginnya suatu benda atau lingkungan.

Di Indonesia dan banyak negara lainnya, satuan suhu yang paling umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah derajat Celsius (°C). Satuan ini diperkenalkan oleh ilmuwan asal Swedia, Anders Celsius, dan didasarkan pada dua titik tetap air: yaitu 0°C sebagai titik beku air dan 100°C sebagai titik didih air pada tekanan udara normal (1 atmosfer). Karena praktis dan mudah dipahami, skala ini banyak digunakan dalam kegiatan sehari-hari seperti memantau suhu tubuh, suhu udara, maupun memasak.

Selain Celsius, ada pula skala Reamur (°R) yang dahulu cukup populer di Eropa. Skala ini menggunakan 0°R sebagai titik beku air dan 80°R sebagai titik didihnya, sehingga rentangnya lebih pendek. Saat ini, Reamur sudah jarang digunakan dalam praktik ilmiah maupun kehidupan sehari-hari.

Di Amerika Serikat dan beberapa negara lain, satuan suhu yang masih lazim digunakan adalah Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ). Dalam skala ini,  $32^{\circ}\text{F}$  ditetapkan sebagai titik beku air dan  $212^{\circ}\text{F}$  sebagai titik didih air, juga pada tekanan normal. Skala Fahrenheit memiliki interval yang lebih kecil antara derajatnya, sehingga dianggap lebih sensitif untuk beberapa pengukuran praktis.

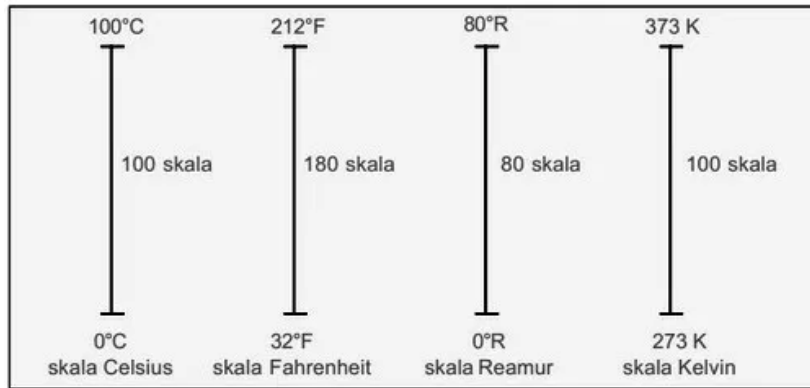
Adapun dalam Sistem Internasional (SI), satuan suhu yang resmi digunakan adalah Kelvin (K). Skala Kelvin tidak menggunakan derajat ( $^{\circ}$ ), dan dimulai dari 0 K yang dikenal sebagai nol mutlak, yaitu suhu terendah yang secara teoritis tidak bisa dicapai, di mana seluruh partikel berhenti bergerak. Satu derajat perubahan suhu dalam Kelvin setara dengan satu derajat perubahan suhu dalam Celsius, namun skala Kelvin dimulai dari titik 0 K, bukan  $0^{\circ}\text{C}$ , melainkan  $0\text{ K} = -273,15^{\circ}\text{C}$ .

Penggunaan satuan Kelvin sangat penting dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknik, terutama dalam kajian termodinamika, fisika modern, dan penelitian laboratorium, karena lebih merepresentasikan konsep suhu secara mutlak.

#### **4. Konversi Suhu**

Setelah kita mengetahui macam-macam satuan suhu, lalu bagaimana kita mengkonversi suatu suhu dalam satuan tertentu ke satuan yang lain? Untuk melakukan konversi kita memerlukan perbandingan skala antara keempat satuan suhu tersebut.

Gambar 1.1 menunjukkan perbandingan 4 skala suhu.



Gambar 1.1 Perbandingan 4 skala suhu

(sumber: <https://rumushitung.com/2016/02/20/pengukuran-suhu-dan-konversi-satuannya/>)

Dari bagan di atas maka dapat disimpulkan perbandingan keempat suhunya sebagai berikut:

$$C : R : F - 32 : K - 273 = 5 : 4 : 9 : 5$$

Tabel 1.1 Perbandingan suhu  $^{\circ}\text{C}$ ,  $^{\circ}\text{F}$ ,  $^{\circ}\text{R}$ ,  $^{\circ}\text{K}$

Dari	Ke Celcius	Ke Reamur	Ke Fahrenheit	Ke Kelvin
Celsius (C)	C	$C \cdot 4/5$	$(C \cdot 9/5) + 32$	$C + 273,15$
Reamur (R)	$R \cdot 5/4$	R	$(R \cdot 9/4) + 32$	$(R \cdot 5/4) + 273,5$
Fahrenheit (F)	$(F - 32) \cdot 5/9$	$(F - 32) \cdot 4/9$	F	$(F - 32) \cdot 5/9 + 273.15$
Kelvin (K)	$K - 273.15$	$(K - 273,15) \cdot 4/5$	$(K - 273.15) \cdot 9/5 + 32$	K

**Contoh soal:**

Konversikan  $30^{\circ}\text{C}$  ke Reamur, Fahrenheit dan Kelvin!

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}
 R &= C \cdot 4/5 & F &= (30 \cdot 9/5) + 32 & K &= 30 + 273,15 \\
 R &= 30 \cdot 4/5 = 24^{\circ}\text{R} & F &= 86^{\circ}\text{F} & K &= 303,15^{\circ}\text{K}
 \end{aligned}$$

## **5. Aplikasi suhu dalam bidang Teknik Perminyakan**

Suhu memiliki peranan yang sangat penting dalam berbagai proses di bidang teknik perminyakan. Dalam industri ini, pemahaman dan pengendalian suhu sangat krusial untuk menjaga efisiensi, keamanan, dan kualitas produk yang dihasilkan. Beberapa aplikasi suhu dalam bidang teknik perminyakan antara lain sebagai berikut:

### **1. Karakterisasi Fluida Reservoir**

Suhu digunakan untuk menentukan sifat-sifat fisik dan kimia fluida yang berada di dalam reservoir minyak dan gas, seperti viskositas, densitas, tekanan uap, dan titik didih. Data ini penting dalam merancang metode eksploitasi yang tepat.

### **2. Evaluasi Formasi Bawah Permukaan**

Pengukuran suhu bawah permukaan (subsurface temperature) memberikan informasi tentang kondisi termal lapisan batuan. Hal ini digunakan untuk memetakan zona produktif dan menganalisis kandungan hidrokarbon di dalamnya.

### **3. Perhitungan Thermal Recovery Method**

Salah satu metode peningkatan perolehan minyak (enhanced oil recovery/EOR) adalah dengan meningkatkan suhu reservoir, misalnya melalui injeksi uap (steam injection). Suhu tinggi membantu menurunkan viskositas minyak, sehingga lebih mudah mengalir ke permukaan.

### **4. Pengendalian Proses Pemisahan dan Pemurnian**

Dalam fasilitas produksi, suhu berperan dalam proses pemisahan minyak, gas, dan air, seperti pada separator dan heater treater. Suhu yang tepat diperlukan agar pemisahan berlangsung optimal.



## 5. Monitoring dan Keamanan Peralatan

Suhu juga menjadi parameter penting dalam pengoperasian peralatan seperti pipa, tangki, dan pompa. Pengendalian suhu mencegah overheating atau pembekuan, yang dapat merusak alat dan membahayakan keselamatan kerja.

## 6. Pemrosesan Lanjutan (Refining)

Dalam kilang minyak, suhu sangat mempengaruhi efisiensi proses distilasi, cracking, reforming, dan proses kimia lainnya. Setiap fraksi minyak memiliki titik didih yang berbeda, sehingga pengendalian suhu adalah kunci utama dalam pemisahan fraksi tersebut.

## BAB II - PENGARUH PANAS TERHADAP BAHAN

### Standar Kompetensi

1. Mampu menerapkan ilmu dasar bunyi sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.
2. Mampu mengaplikasikan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang minyak, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan dengan teknologi informasi dan komputer.
3. Bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan mampu menunjukkan sikap religius.
4. Menjunjung tinggi nilai kemanusiaan dalam menjalankan tugas berdasarkan agama, moral dan etika.
5. Berkontribusi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat, berbangsa, bernegara, dan kemajuan peradaban berdasarkan pancasila.

### Kompetensi Dasar

Mahasiswa dapat mengerti ilmu dasar bunyi sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.

### Indikator

1. Menyebutkan pengertian pemuaian dan penyusutan pada berbagai zat.
2. Menggunakan rumus pemuaian panjang, luas, dan volume dalam menyelesaikan soal.
3. Menjelaskan arti fisik dari koefisien muai panjang ( $\alpha$ ), luas ( $\beta$ ), volume ( $\gamma$ )
4. Memberikan contoh penerapan pemuaian dalam kehidupan sehari-hari (rel kereta api, sambungan jembatan, tutup botol, dll).
5. Menjelaskan aplikasi pemuaian dalam bidang teknik seperti perminyakan, mesin, dan konstruksi.

Pernahkah kalian memperhatikan rel kereta api yang memiliki celah-celah kecil di antara sambungannya? Atau mungkin kalian pernah melihat tutup botol kaca yang sulit dibuka, tapi menjadi lebih mudah setelah direndam dalam air panas? Nah, fenomena-fenomena sederhana seperti itu sebenarnya berkaitan erat dengan pengaruh panas terhadap benda.

Dalam kehidupan sehari-hari, benda-benda yang ada di sekitar kita baik padat, cair, maupun gas dapat berubah sifat fisiknya ketika menerima panas. Salah satu perubahan yang sering terjadi adalah pemuaian, yaitu bertambahnya ukuran (panjang, luas, atau volume) suatu benda ketika suhunya naik. Perubahan ini mungkin tampak sepele, tetapi dalam dunia teknik, konstruksi, industri, hingga kehidupan rumah tangga, pemuaian dapat menimbulkan pengaruh besar jika tidak diperhitungkan dengan baik.

### **1. Pemuaian Zat Padat dan Zat Cair**

Pada umumnya suatu zat padat apabila dipanaskan akan mengembang dan apabila didinginkan akan menyusut. Untuk zat padat jika ukuran lebar dan tebal jauh lebih kecil jika dibandingkan dengan ukuran panjangnya, maka pengembangan arah lebar dan tebal diabaikan, sedangkan jika hanya tebal saja yang mempunyai ukuran jauh lebih kecil maka arah tebal ini yang diabaikan sehingga yang ditinjau adalah luasan dari benda tersebut. Apabila ketiga dimensi tidak diabaikan maka yang ditinjau adalah ukuran volumenya. Jadi untuk zat padat dapat mengalami muai Panjang, muai luas ataupun muai volume tergantung dari ukuran benda tersebut.

Untuk zat cair jika dipanaskan maka arah pengembangannya selalu ketiga

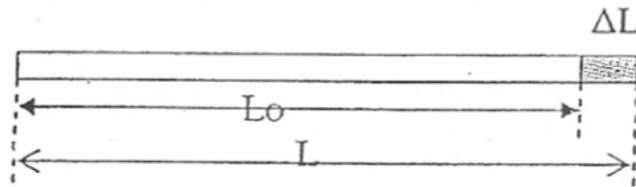
arah dimensinya atau perubahan volumenya. Jadi untuk zat cair selalu mengalami muai volume.

a. Muai Panjang

Suatu tongkat bila dipanaskan, akan bertambah Panjang sebesar  $\Delta L$  yang besarnya sebanding dengan panjang mula-mula ( $L_0$ ), dan perubahan temperature ( $\Delta T$ ), dituliskan:

$$\begin{aligned} (\Delta L &= \alpha L_0 \Delta T) \\ (\alpha &= (\Delta L) / L_0 \Delta T) \end{aligned}$$

$\alpha$  disebut koefisien muai linear, yang didefinisikan sebagai pertambahan panjang persatuan Panjang perderajat kenaikan temperature.



Gambar 2.1 Muai panjang pada batang (Cholis dkk, 2008)

Apabila Panjang setelah dipanaskan adalah  $L$ , maka dapat ditulis:

$$(L = L_0(1 + \alpha \Delta T))$$

b. Muai Luas

Misalkan benda padat berupa pelat tipis dengan luasan  $A_0 = L_0^2$ , pemuaian dari luasan  $A_0$  menjadi  $A$  sama dengan pemuaian dari kedua sisi luasan tersebut.

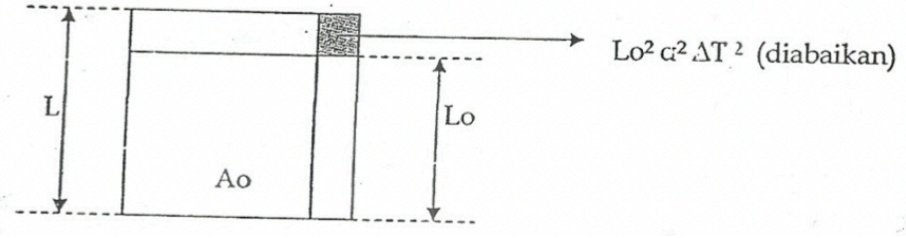
$$A = L^2 = L_0^2(1 + \alpha \Delta T)^2 = L_0^2(1 + 2\alpha \Delta T + \alpha^2 \Delta T^2)$$

Karena harga  $\alpha$  cukup kecil ( $\approx 10^{-5}$ ), maka harga  $\alpha^2 \Delta T^2$  dapat diabaikan, sehingga:

$$A = A_0 (1 + \beta \Delta T)$$

$\beta$  adalah koefisien muai luas ( $\beta = 2\alpha$ ), yang didefinisikan sebagai pertambahan luasan persatuan luas perkenaikan derajat temperature.

Skema perubahan luas benda sebelum dan sesudah pemanasan dapat dilihat p



Gambar 2.2 Muai luas pada batang (Cholis dkk, 2008)

### c. Muai Volume

Pemuaian volume dari  $V_0$  menjadi  $V$ , sama dengan pemuaian ketiga sisi dari volume tersebut, sehingga dengan analogi untuk muai Panjang dan muai bidang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$V = L^3 = L_0^3 (1 + \alpha \Delta T)^3$$

$$= L_0^3 (1 + 3\alpha \Delta T + 3\alpha^2 \Delta T^2 + \alpha^3 \Delta T^3)$$

Suku yang mengandung  $\alpha^2$  dan  $\alpha^3$  bernilai sangat kecil sehingga dapat diabaikan sehingga menjadi:

$$V = V_0 (1 + \gamma \Delta T)$$

$\gamma$  adalah koefisien muai ruang (muai volume), didefinisikan sebagai perubahan volume persatuan volume perkenaikan derajat temperature.

Ketiga muai tersebut jika dibandingkan menjadi =  $\alpha : \beta : \gamma = 1 : 2 : 3$

Untuk muai ruang, berlaku untuk zat padat maupun zat cair, sedangkan untuk muai Panjang dan muai luas hanya berlaku untuk zat padat.

## 2. Pemuaian Gas dan Hukum-hukum Gas Ideal

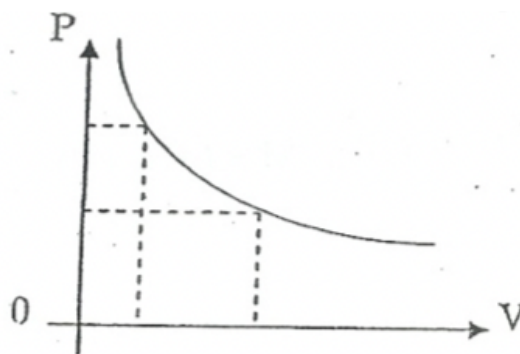
Gas ideal adalah suatu model teoretis dari gas yang digunakan untuk menyederhanakan perhitungan dan pemahaman tentang perilaku gas dalam berbagai kondisi. Dalam konsep gas ideal, diasumsikan bahwa

partikel-partikel gas bergerak bebas, tidak saling tarik-menarik, dan volumenya sendiri dapat diabaikan dibandingkan volume ruang yang ditempati. Meskipun tidak ada gas nyata yang benar-benar bersifat ideal, model ini sangat berguna karena mendekati perilaku gas-gas nyata pada suhu dan tekanan tertentu, terutama pada suhu tinggi dan tekanan rendah.

Hukum-hukum Gas Ideal:

1. Hukum Boyle

Pada temperatur yang tetap, tekanan gas ideal berbanding terbalik dengan volumenya, dituliskan:



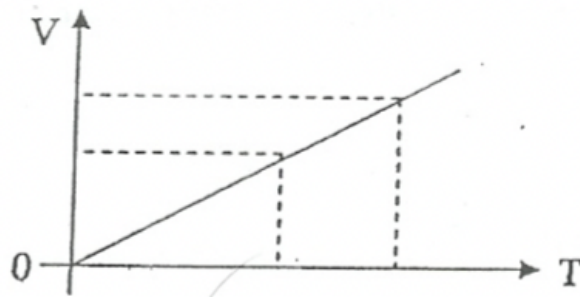
Gambar 2.3 Grafik  $V - P$  (Cholis dkk, 2008)

$$P V = \text{konstan, atau } P_1 V_1 = P_2 V_2$$

2. Hukum Gay Lussac

a. Pada tekanan konstan volume gas ideal berbanding lurus dengan temperatur mutlaknya (temperatur dalam skala Kelvin), dituliskan:

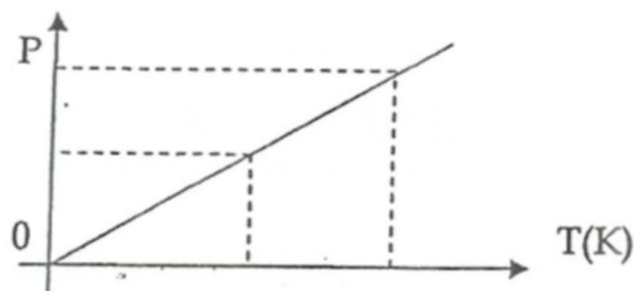
$$V/T = \text{konstan, atau } V_1/T_1 = V_2/T_2$$



Gambar 2.4 Grafik  $T - V$  (Cholis dkk, 2008)

- b. Pada volume konstan, tekanan dari gas ideal berbanding lurus dengan temperatur mutlaknya, dituliskan:

$$P/T = \text{konstan, atau } P_1/T_1 = P_2/T_2$$



Gambar 2.5 Grafik  $P - T$  (Cholis dkk, 2008)

Ketiga hukum di atas dikombinasikan menjadi satu menjadi hukum-hukum gas ideal, dituliskan menjadi:

$$\frac{PV}{T} = \text{konstan, atau}$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Andaikan gas ideal dengan massa  $m$  dan berat molekul  $M$ , maka jumlah molarnya menjadi:  $n = (m/M)$ , sehingga persamaannya dapat dituliskan

$$PV = nRT$$

dinamakan dengan : Persamaan Umum Gas Ideal

Dimana  $R$  adalah konstanta umum gas ideal, yang tidak bergantung pada

jumlah gas. Nilai R bergantung pada satuan yang digunakan, yaitu sebesar:

$$R = 8,31 \text{ joule/mol.K} = 1,99 \text{ kalori/mol.K}$$

$$= 0,082 \text{ lt.atm/mol.K}$$

$$1 \text{ joule} = 0,24 \text{ kalori} \text{ atau } 1 \text{ kalori} = 4,2 \text{ joule.}$$

### Contoh soal:

1. Penutup terbuat dari baja mempunyai diameter 10 cm, pada temperatur 30 °C. Pada suhu berapakah penutup baja tersebut dapat tepat masuk pada lobang berdiameter 9,997 cm? Jika diketahui koefisien muai linier baja  $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ .

Penyelesaian:

$$\Delta L = l_2 - l_1 = \alpha l_1 \Delta T$$

$$(9,997 - 10,000) \text{ cm} = (11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}) \times (10 \text{ cm}) \times \Delta T$$

$$\Delta T = -27,3^{\circ}\text{C}$$

Jadi penutup baja dapat tepat masuk lobang temperatur:

$$T = 30^{\circ}\text{C} + (-27,3^{\circ}\text{C}) = -2,7^{\circ}\text{C}$$

2. Sebuah meter baja dipakai untuk mengukur Panjang dari batang tembaga dan terukur sebesar 90,0 cm, pada temperatur 10 °C. Berapakah pembacaan skala meter baja tersebut apabila keduanya pada temperatur 30 °C. Asumsikan bahwa meter baja mempunyai skala dengan benar pada temperatur 10 °C. Diketahui koefisien muai Panjang baja dan tembaga masing-masing sebesar  $11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$  dan  $17 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ .

Penyelesaian:

Pemuaian yang terlihat nyata dari batang tembaga =

pemuaian batang tembaga – pemuaian dari meter baja

$$= \alpha_t l_1 \Delta T - \alpha_b l_1 \Delta T$$



$$= (\alpha_t - \alpha_b)l_1\Delta T = (17 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} - 17 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C} \times 90 \text{ cm} \times (30-20)^{\circ}\text{C}$$

$$= 0,01 \text{ cm}$$

Jadi pembacaan pada temperatur 30 °C = 90 cm + 0,01 cm = 90,01 cm

### **3. Aplikasi pengaruh panas terhadap bahan dalam bidang Teknik Perminyakan**

Dalam bidang teknik perminyakan, panas atau energi termal memainkan peran yang sangat penting dalam berbagai proses industri. Pengaruh panas terhadap bahan dapat menyebabkan perubahan fisik seperti pemuaian, perubahan viskositas, hingga transformasi fasa, yang semuanya harus diperhitungkan secara cermat demi efisiensi dan keselamatan operasional.

Salah satu contoh nyata dari pengaruh panas adalah pemuaian logam pada pipa-pipa penyalur minyak dan gas. Pipa yang terkena panas, baik dari suhu lingkungan maupun proses aliran fluida panas di dalamnya, akan mengalami pemuaian panjang. Jika perubahan panjang ini tidak diantisipasi, maka dapat menimbulkan tegangan berlebih yang menyebabkan retak atau bahkan kebocoran pipa. Oleh karena itu, dalam desain sistem perpipaan, biasanya ditambahkan ekspansi joint (sambungan pemuaian) untuk mengakomodasi perubahan ini.

Selain itu, panas juga memengaruhi sifat fluida minyak dan gas. Misalnya, dengan meningkatkan suhu pada reservoir melalui metode seperti steam injection (injeksi uap), viskositas minyak dapat diturunkan sehingga lebih mudah mengalir ke permukaan. Ini merupakan bentuk pemanfaatan panas secara langsung untuk meningkatkan efisiensi produksi — dikenal

sebagai bagian dari enhanced oil recovery (EOR).

Di sisi lain, alat-alat ukur dan sensor suhu juga banyak digunakan untuk memantau kondisi panas pada peralatan dan lingkungan kerja. Suhu yang terlalu tinggi dapat merusak struktur logam, menyebabkan pelumas menguap, dan menurunkan umur pakai peralatan.

Dengan demikian, pengaruh panas terhadap bahan dalam teknik perminyakan bukan hanya menjadi tantangan, tetapi juga bisa menjadi alat bantu strategis dalam mengoptimalkan proses eksplorasi, produksi, dan pengolahan minyak serta gas bumi.

## BAB III - JUMLAH KALOR

### Standar Kompetensi

1. Mampu menerapkan ilmu dasar kalor sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.
2. Mampu mengaplikasikan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang minyak, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan dengan teknologi informasi dan komputer.
3. Bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan mampu menunjukkan sikap religius.
4. Menjunjung tinggi nilai kemanusiaan dalam menjalankan tugas berdasarkan agama, moral dan etika.
5. Berkontribusi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat, berbangsa, bernegara, dan kemajuan peradaban berdasarkan pancasila.

### Kompetensi Dasar

Mahasiswa dapat mengerti ilmu dasar kalor sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.

### Indikator

1. Menjelaskan bahwa jumlah kalor yang dibutuhkan sebanding dengan massa, kalor jenis, dan perubahan suhu suatu zat.
2. Menggunakan rumus  $Q=m \cdot c \cdot \Delta T$  untuk menghitung jumlah kalor pada proses pemanasan atau pendinginan.
3. Menjelaskan konsep kalor laten pada perubahan wujud (mencair, menguap, membeku, dan mengembun).
4. Menggunakan rumus  $Q=m \cdot L$  untuk menghitung kalor yang dibutuhkan saat perubahan wujud.
5. Menyebutkan contoh aplikasi konsep kalor dalam kehidupan (misalnya: termos, pendingin ruangan, pemanas air, industri).

Dalam kehidupan sehari-hari maupun dalam dunia teknik, kita sering menjumpai proses pemanasan, baik itu saat memasak air, memanaskan ruangan, maupun dalam proses industri. Nah, secara ilmiah, proses tersebut melibatkan transfer energi panas (kalor) ke suatu sistem.

Besarnya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu suatu benda tidak sembarangan, melainkan dipengaruhi oleh beberapa faktor penting, yaitu:

1. Massa benda ( $m$ )

Semakin besar massa suatu benda, semakin banyak jumlah zat yang harus menerima panas. Oleh karena itu, untuk menaikkan suhu benda bermassa besar, diperlukan lebih banyak energi panas.

2. Kenaikan suhu ( $\Delta T$ )

Jika kita ingin menaikkan suhu benda lebih tinggi, maka kalor yang dibutuhkan juga akan lebih banyak. Misalnya, menaikkan suhu air dari 30°C ke 50°C membutuhkan lebih sedikit energi dibanding menaikkannya dari 30°C ke 90°C.

3. Jenis bahan (kalor jenis,  $c$ )

Setiap zat memiliki kemampuan menyerap panas yang berbeda-beda. Air, misalnya, memerlukan lebih banyak panas untuk naik suhunya dibanding logam seperti besi. Besaran ini disebut kalor jenis, yaitu jumlah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 kg zat sebesar 1°C.

Secara matematis, hubungan tersebut dirumuskan sebagai:

$$Q = m c \Delta T$$

dimana:

$Q$  = kalor (energi panas) yang diserap atau dilepas (dalam Joule)

$m$  = massa benda (dalam kg)

$c$  = kalor jenis zat (J/kg°C)

$\Delta T$  = perubahan suhu ( $T_{\text{akhir}} - T_{\text{awal}}$ )

Jadi, semakin besar massa dan kenaikan suhunya, maka semakin besar pula kalor yang dibutuhkan.

### 1. Kapasitas Panas

Kapasitas Panas ( $H$ ) adalah jumlah panas yang diperlukan / dilepaskan untuk menaikkan / menurunkan sejumlah zat per satuan perubahan temperatur, dituliskan:

$$H = (\Delta Q / \Delta T)$$

dimana:

$\Delta Q$  = jumlah panas yang diperlukan / dilepaskan (kalori)

$\Delta T$  = perubahan temperatur (°C)

$H$  = kapasitas panas (kalori / °C)

### 2. Panas Jenis

Panas jenis ( $c$ ) adalah jumlah panas yang diperlukan untuk menaikkan / menurunkan 1 gram zat per satuan perubahan temperatur, dituliskan:

$$c = (\Delta Q / m \Delta T)$$

dimana:

$m$  = massa zat (gram), dan  $c$  = panas jenis (kalori / gr°C)

Panas jenis air (cair) = 1 kalori / gram °C

1 kalori = panas yang diperlukan untuk menaikkan temperatur air sebesar 1 °C.

### 3. Panas Jenis Molar

Panas jenis molar (kapasitas panas molar spesifik) adalah panas jenis untuk 1 mol suatu zat.

Jumlah molar suatu zat ( $n$ ) adalah massa zat dibagi dengan berat molekul, ditulis:

$$n = (m/M)$$

dimana:

$M$  = berat molekul zat dan  $m$  adalah massa zat (gram)

Dalam satuan mole panas jenis zat dituliskan menjadi:

$$c = (\Delta Q/Mn \Delta T)$$

Hubungan antara kapasitas panas ( $H$ ) dengan panas jenis ( $c$ ), dapat dituliskan:

$$H = m c$$

#### **4. Kalorimeter**

Kalorimeter adalah cara pengukuran dari pertukaran panas secara kuantitatif. Alat yang digunakan dalam pengukuran ini dinamakan Kalorimeter.

Dengan asumsi bahwa tidak ada kalor yang hilang, akan berlaku hukum kekekalan energi, yaitu panas yang hilang dari salah satu sistem harus sama dengan panas yang diterima oleh sistem lainnya.

Hal ini dikenal dengan Azas Black, yaitu:

$$\text{Panas yang hilang} = \text{panas yang diterima}$$

#### **5. Perubahan Fasa Zat**

Pada umumnya suatu zat pada tekanan dan temperatur tertentu dapat berada pada keadaan padat, cair atau gas. Keadaan ini dinamakan fasa zat.

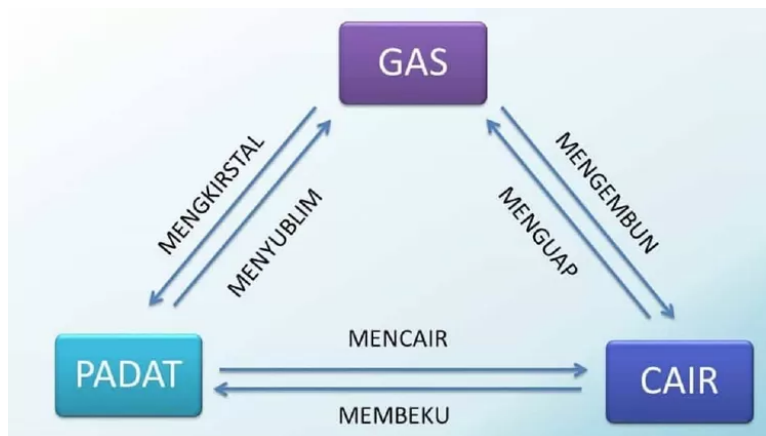
Fasa padat: atom-atom/ molekul-molekul terikat erat (bervariasi sekitar titik setimbang).

Fasa cair: atom-atom / molekul-molekul kurang terikat (dapat bergerak

dalam cairan tersebut).

Fasa gas (uap): atom-atom / molekul-molekul tidak terikat.

## 6. Skema Perubahan Fasa Zat



Gambar 3.1 Skema perubahan wujud benda (sumber: <https://assets.promediateknologi.id/crop/0x0:0x0/750x0/webp/photo/2022/11/12/884131117.jpeg>)

Kalor untuk mengubah fasa zat:

- Kalor lebur: kalor yang diperlukan untuk mengubah 1 kg zat fasa padat menjadi fasa cair.

Untuk air: Kalor Lebur,  $Q = 80 \text{ kal/gr}$ ,  $P = 1 \text{ atm}$

Temperatur dimana terjadi perubahan fasa ini dinamakan titik lebur (titik cair). Untuk air, titik lebur = titik cair =  $0^\circ\text{C}$

- Kalor beku: kalor yang dilepaskan untuk mengubah 1 kg zat fasa cair menjadi fasa padat.

Kalor beku = kalor lebur dan titik lebur = titik beku

- Kalor uap (kalor embun): kalor yang diperlukan / dilepaskan untuk

mengubah 1 kg zat dari fasa cair menjadi fasa uap / sebaliknya.

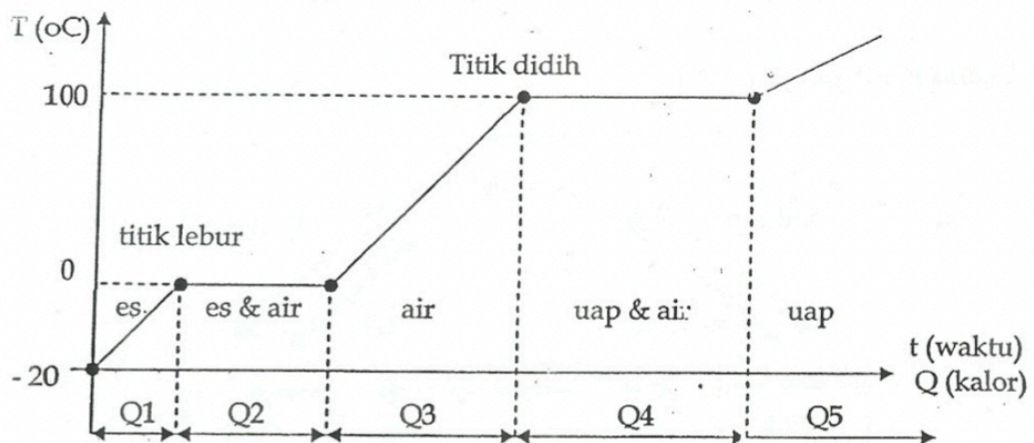
Untuk air : Kalor uap ( $L_{uap}$ ) = 540 kal/gr,  $P = 1$  atm

Suhu untuk kondisi ini disebut: titik didih/ titik embun.

Kalor yang diperlukan (dilepaskan) untuk mengubah fasa zat ini disebut dengan kalor laten, karena selama perubahan fasa zat temperaturnya selalu konstan.

Akan diperlihatkan grafik hubungan antara temperatur dengan waktu/jumlah kalor untuk air.

Terlihat bahwa selama perubahan fasa terjadi, temperaturnya konstan (diperlihatkan dengan grafik berupa garis lurus mendatar) seperti pada grafik Gambar 3.2.



Gambar 3.2 hubungan antara temperatur dengan waktu/jumlah kalor untuk air (Cholis dkk, 2008)

Jumlah kalor untuk kenaikan temperatur dan perubahan fasa pada skema di atas adalah sebagai berikut:

$$Q_1 = m_{es}c_{es} (\Delta t_1)$$

$$Q_2 = m_{es}L_{es}$$

$$Q_3 = m_{air}c_{air} (\Delta t_2)$$

$$Q_4 = m_{air}L_{uap}$$

$$Q_5 = \text{berupa uap air } \geq 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$



**Contoh soal:**

1. Hitung jumlah kalor yang diperlukan untuk menaikkan temperatur 100 gram tembaga dari 10 °C menjadi 100 °C. Diketahui panas jenis tembaga sebesar 0,093 kal/gr °C.

Penyelesain:

Panas yang diperlukan:

$$\begin{aligned}\Delta Q_1 &= m c \Delta t \\ &= 100 \text{ gr} \times (0,093 \text{ kal/gr } ^\circ\text{C}) \times (100 - 10) ^\circ\text{C} \\ &= 840 \text{ kalori.}\end{aligned}$$

2. Suatu bahan makanan sebanyak 250 gr dengan temperatur 30 °C dimasukkan ke dalam kulkas yang mempunyai daya serap kalor sebesar 40 watt. 35 menit kemudia temperatur makanan tersebut menjadi 10 °C, hitung panas jenis rata-rata makanan tersebut. Dalam proses tersebut dianggap tidak ada kalor yang hilang (dianggap proses adiabatik).

Penyelesain:

Jumlah kalor yang diserap oleh kulkas:

$$\begin{aligned}\Delta Q_1 &= m \times (c_{\text{rata-rata}} \times \Delta t) \\ &= 250 \text{ gr} \times c_{\text{rata-rata}} \times (30 - 10) ^\circ\text{C} = 5000 (c_{\text{rata-rata}}) \text{ kalori}\end{aligned}$$

Daya serap kulkas = 40 watt, artinya energi yang diserap sebesat 40 Joule per detik (40 Joule setiap detik).

Dalam waktu 35 menit, dapat menyerap kalor sebesar:

$$\begin{aligned}\Delta Q_2 &= (40 \text{ joule/detik}) \times (35 \times 60) \text{ detik} \\ &= 84.000 \text{ joule} = (84.000 \text{ joule}) \times (0,24 \text{ kal/joule}) \\ &= 20.160 \text{ kalori.}\end{aligned}$$

Menurut Azas Black, jumlah kalor yang diserap oleh kulkas sama dengan

jumlah kalor yang dilepaskan oleh makanan tersebut, sehingga diperoleh:

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_2$$

$$5000 (c_{\text{rata-rata}}) \text{ kalori} = 20.160 \text{ kalori}$$

$$c_{\text{rata-rata}} = (20.160/5000) \text{ kal/gr } ^\circ\text{C} = 4,03 \text{ kal/gr } ^\circ\text{C}$$

## **7. Aplikasi jumlah kalor dalam bidang Teknik Perminyakan**

Dalam bidang teknik perminyakan, pemahaman mengenai jumlah kalor sangat penting karena banyak proses industri yang melibatkan perpindahan panas atau pengaturan suhu. Kalor tidak hanya berperan sebagai bentuk energi, tetapi juga sebagai pengendali utama dalam berbagai tahapan proses produksi, pemrosesan, dan distribusi minyak dan gas bumi.

Salah satu aplikasi utama konsep jumlah kalor adalah dalam proses pemanasan fluida hidrokarbon, baik minyak mentah maupun gas alam. Minyak mentah yang baru diekstraksi dari sumur seringkali memiliki viskositas tinggi dan mengandung parafin atau senyawa berat lainnya yang mudah membeku. Oleh karena itu, diperlukan pemanasan awal (preheating) untuk menurunkan viskositas sehingga memudahkan proses pemompaan dan pengangkutan. Dalam proses ini, insinyur perminyakan harus menghitung jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu minyak dari suhu awal di reservoir hingga suhu yang diinginkan.

Selain itu, dalam proses pemisahan (separasi) antara minyak, gas, dan air di separator, suhu juga memainkan peran penting. Mengatur suhu optimal akan membantu mempercepat pemisahan fasa-fasa tersebut. Prinsip kalor jenis dan perubahan suhu digunakan untuk mengontrol agar fluida

berada pada kondisi termal yang sesuai.

Dalam pengolahan lanjutan, seperti pada unit distilasi (penyulingan), konsep kalor sangat dominan. Setiap fraksi hidrokarbon (bensin, solar, minyak tanah, dll.) memiliki titik didih yang berbeda. Maka dari itu, penghitungan jumlah kalor yang dibutuhkan untuk menguapkan masing-masing fraksi menjadi hal yang sangat krusial agar proses distilasi berlangsung efisien.

Tidak hanya itu, dalam sistem heat exchanger (penukar panas) yang digunakan secara luas di kilang minyak, prinsip transfer kalor antar fluida menjadi inti dari desain sistem. Perhitungan jumlah kalor digunakan untuk memastikan efisiensi maksimum tanpa pemborosan energi.

Oleh karena itu, penguasaan konsep jumlah kalor ( $Q = m \times c \times \Delta T$ ) dan kalor laten ( $Q = m \times L$ ) sangat penting bagi para teknisi dan insinyur di bidang perminyakan agar dapat mengoptimalkan proses kerja, meningkatkan efisiensi energi, serta menjaga keamanan dan kualitas produksi di lapangan maupun di kilang pengolahan.

## **BAB IV – PROSES PERAMBATAN KALOR (PANAS)**

### **Standar Kompetensi**

1. Mampu menerapkan ilmu dasar proses perambatan kalor sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.
2. Mampu mengaplikasikan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang minyak, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan dengan teknologi informasi dan komputer.
3. Bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan mampu menunjukkan sikap religius.
4. Menjunjung tinggi nilai kemanusiaan dalam menjalankan tugas berdasarkan agama, moral dan etika.
5. Berkontribusi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat, berbangsa, bernegara, dan kemajuan peradaban berdasarkan pancasila.

### **Kompetensi Dasar**

Mahasiswa dapat mengerti ilmu dasar proses perambatan kalor sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.

### **Indikator**

1. Menjelaskan definisi konduksi, konveksi, dan radiasi sebagai tiga cara perambatan kalor.
2. Menyebutkan faktor-faktor yang memengaruhi laju konduksi (panjang, luas penampang, perbedaan suhu, dan konduktivitas termal bahan).
3. Mengaitkan aplikasi perambatan kalor dengan teknologi dalam bidang teknik seperti sistem perpipaan, pemanas fluida, dan tungku industri.

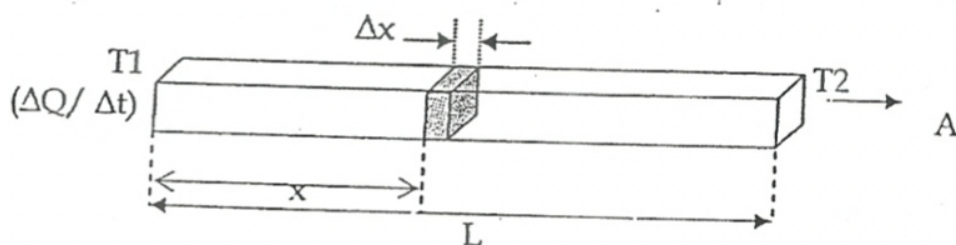
Panas adalah salah satu bentuk energi yang sangat erat kaitannya dengan kehidupan kita sehari-hari maupun berbagai bidang ilmu dan teknologi. Setelah memahami konsep suhu dan jumlah kalor, kini kita akan melangkah lebih jauh untuk mengetahui bagaimana panas atau energi kalor itu berpindah dari satu tempat ke tempat lain.

Pernahkah kamu memegang sendok logam yang dicelupkan dalam air panas dan kemudian merasakan ujung sendok menjadi hangat? Atau mungkin melihat bagaimana wajan logam menjadi panas ketika diletakkan di atas kompor, dan kemudian menghangatkan minyak di atasnya? Semua itu terjadi karena adanya proses perambatan kalor.

Proses perpindahan kalor tidak terjadi begitu saja, melainkan mengikuti mekanisme tertentu yang bisa dipelajari secara ilmiah. Tiga cara utama perambatan kalor adalah konduksi (hantaran), konveksi (aliran), dan radiasi (pancaran). Masing-masing cara ini memiliki karakteristik dan contoh aplikasinya sendiri dalam kehidupan maupun bidang teknik seperti perminyakan, industri, dan sistem pendinginan.

## 1. Proses Konduksi

### a. Aliran panas melalui batang



Gambar 4.1 Aliran panas melalui batang (Cholis dkk, 2008)

Jumlah panas ( $\Delta Q$ ) yang mengalir melalui penampang ( $A$ ) dalam interval waktu tertentu ( $\Delta t$ ), sebanding dengan luas penampang dan perbedaan temperatur, serta berbanding terbalik dengan tebal/Panjang ( $\Delta x$ ) dari bahan tersebut, dituliskan:

$$(\Delta Q/\Delta t) = -k A (\Delta T/\Delta x)$$

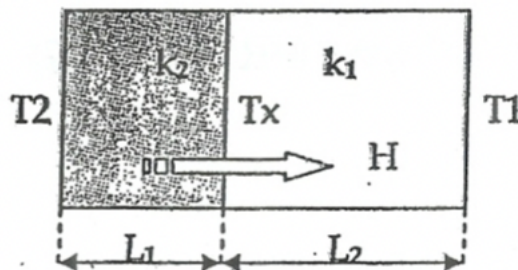
$k$  adalah konduktivitas panas dari material (kal/det.cm<sup>0</sup>)

Ruas kiri persamaan di atas disebut sebagai arah panas ( $H$ ), yaitu panas persatuan waktu yang mengalir melalui suatu luasan, yang penyelesaiannya dituliskan menjadi persamaan:

$$H = (\Delta Q/\Delta t) = k A (T_1 - T_2)/L$$

b. Aliran panas melalui dinding majemuk

Ditinjau suatu dinding terdiri dari 2 lapisan, masing-masing dengan konduktivitas  $k_1$  dan  $k_2$  sedang ketebalannya masing-masing adalah  $L_1$  dan  $L_2$ . Jika suhu permukaan luar masing-masing sebesar  $T_1$  dan  $T_2$ , akan dijabarkan arus panas melalui dinding majemuk tersebut.



Gambar 4.2 Aliran panas dinding majemuk (Cholis dkk, 2008)

Misalkan  $T_x$  adalah temperatur permukaan kontak kedua bahan, maka arus panas pada masing-masing bahan dituliskan:

$$H_2 = k_2 A (T_2 - T_x)/L_2 \text{ dan}$$

$$H_1 = k_1 A (T_x - T_1)/L_1, \text{ dimana } H_1 = H_2 = H$$

Dari kedua persamaan di atas, diperoleh nilai  $T_x$  sebagai berikut:

$$T_x = \{(k_2/L_2)T_2 + (k_1/L_1)T_1 / (k_1/L_1) + (k_2/L_2)\}$$

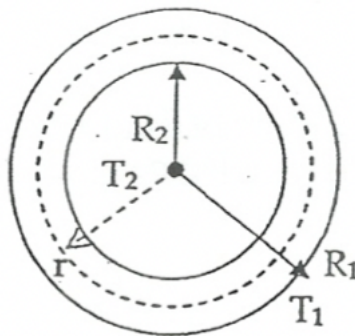
Substitusi kembali persamaan di atas ke dalam persamaan  $H_1 = H_2 = H$  diperoleh arus panas pada dinding dua lapis tersebut menjadi persamaan berikut:

$$H = A (T_2 - T_1) / (L_1/k_1 + L_2/k_2)$$

Secara umum untuk dinding majemuk dengan n buah lapisan memenuhi persamaan:

$$H = A (T_2 - T_1) / (\sum L_i/k_i)$$

c. Aliran panas radial pada bola



Gambar 4.3 Aliran panas radial pada bola (Cholis dkk, 2008)

Dua bola masing-masing dengan jari-jari  $R_2$ , suhu  $T_2$  dan jari-jari  $R_1$ , suhu  $T_1$  ( $T_2 > T_1$ ). Luas permukaan yang dilewati oleh arus berupa luasan kulit bola. Misalkan pada jarak  $r$  luasan kulit bola yang dilewati oleh kulit bola adalah  $A = 4\pi r^2$ . Arus panas yang mengalir ke arah radial dari dalam ( $H$ ), dituliskan:

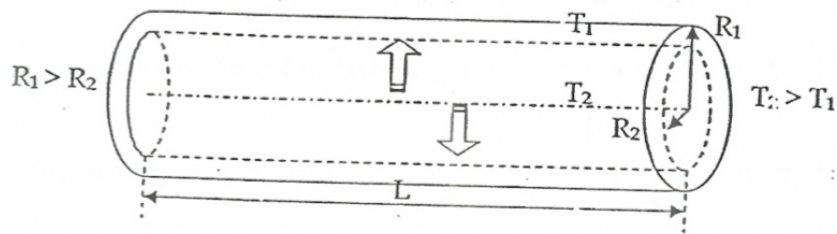
$$H = dQ/dt = -kA (dT/dr) = k(4\pi r^2)(dT/dr)$$

Hasil integral persamaan di atas, dengan syarat batas dari  $R_2$  dengan temperatur  $T_2$  sampai dengan  $R_1$  dengan temperatur  $T_1$  diperoleh:

$$H = 4\pi k(T_2 - T_1)R_1R_2 / (R_1 - R_2)$$

d. Aliran panas radial pada silinder

Dua silinder koaxial masing-masing dengan jari-jari  $R_2$  dan  $R_1$  dengan masing-masing temperatur  $T_2$  dan  $T_1$  (Gambar 4.4).



Gambar 4.4 Aliran panas radial pada silinder (Cholis dkk, 2008)

Luas permukaan kulit silinder  $A = 2\pi rL$ .

Arus panas ( $H$ ) =  $-kA(dT/dr) = -k(2\pi rL)(dT/dr)$

Hasil integral persamaan di atas, diperoleh persamaan arus panas arah radial pada silinder:

$$(H) = 2\pi kL(T_2 - T_1)/\ln(R_2/R_1)$$

## 2. Proses Konveksi

1. Terjadi gerakan dari medium yang membawa panas
2. Konveksi dapat digolongkan mejadi dua macam, yaitu:
  - a. Konveksi paksaan: medium dipaksa bergerak (memakai pompa/kipas angin, dll)
  - b. Konveksi bebas: bergerak karena perbedaan kerapatan medium.

Proses ini tergantung pada beberapa factor, yaitu:

- a. Bentuk geometris permukaan
- b. Karakteristik cairan / gas (kerapatan, panas jenis, viskositas)



c. Jenis aliran (streamline, turbulent)

Arus konveksi ( $H$ ) didefinisikan sebagai panas yang melalui luasan persatuan waktu, dituliskan:

$$H = (dQ/dt) = hA(T_1 - T_2)$$

$A$  : luas penampang permukaan kontak  $T_1$  dan  $T_2$  masing-masing adalah temperatur benda dan lingkungan dimana benda berada.

$h$  : adalah koefisien konveksi, yang didefinisikan sebagai panas yang hilang/didapat oleh permukaan persatuan luas, persatuan waktu, perderajat perubahan suhu.

Satuan koefisien konveksi ( $h$ ) adalah: kal/det.cm<sup>2</sup> °C (cgs).

Nilai  $h$  ditentukan secara eksperimen dalam kondisi tertentu (teoritis sulit).

Tabel 4.1 Koefisien konveksi ( $h$ ) dalam udara pada tekanan 1 atm

Konfigurasi dan posisi perlengkapan	$h$ (kal/det.cm <sup>2</sup> °C)
Pelat horizontal (menghadap ke atas)	$0,595 \times 10^4 (\Delta T)^{(1/4)}$
Pelat horizontal (menghadap ke bawah)	$0,314 \times 10^4 (\Delta T)^{(1/4)}$
Pelat vertikal	$0,424 \times 10^4 (\Delta T)^{(1/4)}$
Pelat dengan diameter $D$ (horizontal/vertikal)	$1,00 \times 10^4 (\Delta T)^{(1/4)}$

### 3. Proses Radiasi

- Perambatan panas melalui radiasi elektromagnetik
- Tidak diperlukan medium perantara

c. Laju perambatan dalam orde  $\approx 10^4$  m/s dan konveksi  $\approx 1$  m/s

Hukum Stefan Boltzmann:

Jumlah tenaga radiasi elektromagnetik yang dipancarkan oleh satuan luasan suatu benda persatuan waktu pada temperatur absolut T, sebanding dengan pangkat empat temperatur T dituliskan:

$$R = e\sigma T^4$$

dimana:

R = daya yang diradiasikan persatuan luasan, dengan satuan watt/m<sup>2</sup> (mks), atau erg/cm<sup>2</sup>.det (cgs)

$\sigma$  = konstanta Stefan Boltzmann =  $5,6699 \times 10^{-8}$  watt/m<sup>2</sup> K<sup>4</sup>

e = emitivitas (koefisien pancaran), yang bergantung pada permukaan.

Batas nilai emitivitas e adalah  $0 \leq e \leq 1$

benda hitam sempurna (e=1): berarti bahwa benda hitam menyerap/memancarkan seluruh panjang gelombang elektromagnetik, atau dikatakan bahwa benda merupakan penyerap/pemancar yang sempurna.

### **Contoh soal:**

1. Sebuah plat baja setebal 2 cm mempunyai tampang, lintang sebesar 5000 cm<sup>2</sup>. Salah satu sisi luar mempunyai temperatur 150 °C, sedang temperatur sisi lain sebesar 140 °C. Apabila konduktivitas termal baja sebesar 0,115 kal/detik °C. Hitung jumlah panas yang dilewatkan bahan tersebut setiap detiknya.

Penyelesaian:

$$\text{Arus panas} = H = k A (t_2 - t_1) / L$$

$$= (0,115 \text{ kal/det.cm } ^\circ\text{C}) (5000 \text{ cm}^2) (150-140) ^\circ\text{C} / (2 \text{ cm})$$

$$= 2880 \text{ kal/detik.}$$

2. Tongkat kuningan berbentuk silinder dengan jari-jari 1 cm dan Panjang 2 m, salah satu ujungnya dihubungkan dengan temperatur yang tetap sebesar  $250 ^\circ\text{C}$ . Apabila setelah tercapai kesetimbangan mempunyai aliran panas sebesar  $0,5 \text{ kal/detik}$ . Hitung temperatur pada bagian yang lebih dingin. Diketahui konduktivitas termal bahan kuningan tersebut sebesar  $k = 0,26 \text{ kal/det.cm } ^\circ\text{C}$ .

Penyelesaian:

$$\text{Luas penampang tongkat } A = \pi r^2 = \pi \text{ cm}^2$$

Arus panas pada tongkat sebesar :  $H = 0,5 \text{ kal/detik}$

$$H = k A (t_2 - t_1) / L$$

$$0,5 \text{ kal/det} = (0,26 \text{ kal/det.cm}^2 ^\circ\text{C}) (\pi \text{ cm}^2) (250 - t_1) ^\circ\text{C} / (200 \text{ cm})$$

$$(250 - t_1) ^\circ\text{C} = (100/0,82) ^\circ\text{C} = 122,43 ^\circ\text{C} \rightarrow t_1 = 127,6 ^\circ\text{C}.$$

Jadi temperatur pada ujung yang lebih dingin sebesar  $127,6 ^\circ\text{C}$ .

#### **4. Aplikasi perambatan kalor dalam bidang Teknik Perminyakan**

Dalam bidang teknik perminyakan, pemahaman tentang proses perambatan kalor sangat penting karena banyak operasi industri yang melibatkan perpindahan panas. Panas dapat merambat dari satu medium ke medium lain melalui tiga mekanisme utama: konduksi, konveksi, dan radiasi. Ketiga proses ini memiliki peranan signifikan dalam berbagai tahapan kegiatan eksplorasi, produksi, pengolahan, dan distribusi minyak serta gas bumi.

### 1. Konduksi (Hantaran Kalor) dalam Peralatan Industri.

Proses konduksi terjadi ketika panas berpindah melalui material padat, seperti logam. Dalam industri perminyakan, konduksi terjadi pada pipa-pipa logam, reaktor, dan heat exchanger. Sebagai contoh, ketika minyak panas mengalir di dalam pipa logam, panas akan menghantarkan dari bagian dalam pipa ke bagian luarnya. Oleh karena itu, insinyur perlu memperhitungkan laju konduksi kalor untuk mencegah kehilangan energi yang berlebihan atau potensi bahaya seperti overheating.

### 2. Konveksi (Aliran Kalor dalam Fluida)

Konveksi berperan besar dalam sistem perpindahan panas pada fluida, baik cair maupun gas. Contohnya, pada sistem pemanasan awal (preheating) minyak mentah di permukaan, konveksi alami dan paksa membantu menyebarkan panas secara merata dalam fluida. Selain itu, konveksi juga terjadi dalam reservoir bawah tanah, di mana perbedaan suhu memicu pergerakan fluida termal yang berdampak pada efisiensi ekstraksi minyak.

### 3. Radiasi (Pancaran Kalor tanpa Medium)

Meskipun tidak dominan, radiasi juga berperan, terutama dalam proses pemanasan dengan tungku atau burner pada unit pemrosesan. Kalor yang dipancarkan melalui radiasi dapat digunakan untuk memanaskan permukaan peralatan atau fluida yang tidak bersentuhan langsung dengan sumber panas.

Aplikasi perpindahan kalor juga krusial dalam desain alat penukar panas (heat exchanger) di kilang minyak. Dalam alat ini, fluida panas dan fluida dingin dipertemukan dalam sistem terisolasi, dan perpindahan kalor yang

efisien sangat bergantung pada pemahaman prinsip konduksi dan konveksi.

Selain itu, dalam enhanced oil recovery (EOR) seperti metode steam injection, uap panas diinjeksi ke dalam reservoir untuk menurunkan viskositas minyak berat. Di sini, mekanisme konveksi dan konduksi memainkan peran penting dalam distribusi energi panas ke seluruh zona produksi.

Dengan pemahaman yang baik tentang perambatan kalor, para teknisi dan insinyur perminyakan dapat merancang sistem termal yang efisien, mengurangi kerugian energi, serta menjamin keselamatan dan keberlanjutan proses produksi.

## BAB V - TEORI GAS KINETIK

### Standar Kompetensi

1. Mampu menerapkan ilmu dasar teori kinetik gas sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.
2. Mampu mengaplikasikan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang minyak, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan dengan teknologi informasi dan komputer.
3. Bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan mampu menunjukkan sikap religius.
4. Menjunjung tinggi nilai kemanusiaan dalam menjalankan tugas berdasarkan agama, moral dan etika.
5. Berkontribusi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat, berbangsa, bernegara, dan kemajuan peradaban berdasarkan pancasila.

### Kompetensi Dasar

Mahasiswa dapat mengerti ilmu dasar teori kinetik gas sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.

### Indikator

1. Menjelaskan tenaga Kinetis Translasi Rata-rata (EK)
2. Menjelaskan tekanan gas (P)
3. Menggunakan Internal Energi (Energi Dalam).
4. Menjelaskan aplikasi teori kinetik gas dalam teknik perminyakan, seperti injeksi gas, simulasi reservoir, dan transportasi fluida.

Setelah kita mempelajari berbagai konsep tentang suhu, kalor, dan cara perambatan energi panas, kini saatnya kita menelusuri lebih dalam bagaimana sifat mikroskopik suatu zat, khususnya gas, dapat menjelaskan perilaku makroskopiknya yang kita amati dalam kehidupan sehari-hari.

Pernahkah kamu bertanya-tanya mengapa ban sepeda bisa terasa lebih keras saat siang hari, atau kenapa balon bisa meletus saat dipanaskan? Semua fenomena ini ternyata dapat dijelaskan dengan satu konsep dasar dalam fisika, yaitu teori gas kinetik.

Teori ini menyatakan bahwa gas tersusun atas partikel-partikel kecil (atom atau molekul) yang selalu bergerak secara acak dan sangat cepat. Melalui gerakan inilah timbul tekanan, suhu, dan energi pada gas. Meskipun kita tidak dapat melihat pergerakan molekul secara langsung, pengaruh gerakan ini sangat nyata dalam berbagai proses, baik dalam sistem tertutup seperti ruang bertekanan tinggi, maupun dalam sistem terbuka seperti atmosfer bumi.

Pemahaman tentang teori gas kinetik bukan hanya penting secara akademik, tetapi juga menjadi dasar dalam banyak aplikasi teknik dan industri — mulai dari mesin pembakaran, sistem pendingin, hingga teknologi ruang angkasa.

Asumsi yang dilakukan dalam pembahasan teori gas kinetik adalah:

- a. Gas terdiri dari molekul-molekul
- b. Molekul-molekul bergerak secara random (acak)
- c. Jumlah total molekul-molekul sangat besar
- d. Volume molekul sangat kecil dibandingkan dengan volume gas
- e. Tidak ada gaya-gaya yang bekerja antar molekul, kecuali terjadinya

tumbukan

f. Tumbukan bersifat elastik sempurna

### 1. Tenaga Kinetis Translasi Rata-rata $\langle EK \rangle$

$$\langle EK \rangle = \langle 1/2 mv^2 \rangle$$

dimana:

m = massa molekul

$\langle v^2 \rangle$  = harga rata-rata kuadrat kecepatan

### 2. Tekanan Gas (P)

$$\text{Tekanan gas} = (2/3) \times \left( \frac{\text{jumlah molekul}}{\text{sauan volume}} \right) \times \left( \frac{\text{tenaga kinetis translasi}}{\text{rata-rata untuk satu mol}} \right)$$

$$\text{dituliskan } P = (2/3) (N/V) (1/2 mv^2) = (2/3) (N/V) \langle EK \rangle$$

Dari persamaan di atas:  $\langle EK \rangle = (3/2) (PV/N)$  atau  $(PV = (2/3) N \langle EK \rangle$

sedangkan dari persamaan gas ideal:  $PV = nRT$ . Substitusi kedua persamaan terakhir, diperoleh:

$$(2/3) n \langle EK \rangle = nRT, \text{ atau } \langle EK \rangle = (3/2) (nRT/N)$$

Menurut Avogadro, jumlah atom setiap mol atau jumlah molekul setiap mol =  $N_A$  = jumlah atom/mol =  $N/n = 6,02 \times 10^{23}$  atom/mol, yang apabila disubstitusikan ke dalam persamaan (5.2), diperoleh:

$$\langle EK \rangle = (3/2) (RT/N_A)$$

Nilai R dan  $N_A$  adalah konstanta yaitu sebesar:

$$(R/N_A) = (8,31 \text{ joule/mol.K}) / (6,02 \times 10^{23} \text{ atom/mol}) = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/Kelvin}$$

Nilai ini selanjutnya dinamakan konstanta Boltzmann,

$$k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J/Kelvin}$$

Jadi tenaga kinetis translasi rata-rata:

$$\langle EK \rangle = (3/2) kT$$

Didefinisikan besaran: Akar dari rata-rata kecepatan kuadrat (root



mean square),  $v_{rms} = \sqrt{\langle v^2 \rangle}$

### 3. Internal Energi (Energi Dalam)

Energi dalam adalah energi yang disebabkan oleh gerakan tidak teratur dari molekul-molekul gas dalam sistem.

Untuk N buah molekul :  $U = N \langle EK \rangle = N (1/2 mv^2) = N (3/2) kT$

Dengan mengingat:  $k = R/NA$  dan  $NA = (N/n)$ , maka  $k = (R/NA) = (R/N)$   
(n)

$U = N (3/2) kT = N(3/2)(R.n/N)T = (3/2) nR$

$U = (3/2) PV$  atau  $PV = (2/3) U$

#### Contoh soal:

- 1 mol molekul-molekul gas Oksigen pada suhu 300 K terdapat dalam suatu bejana tertutup. Hitunglah:
  - a. Energi kinetik rata-rata dari molekul.
  - b. Energi kinetik total.
  - c. Nilai rata-rata kuadrat kelajuan
  - d.  $v_{rms}$

Penyelesaian:

a.  $\langle EK \rangle = (1/2 mv^2) = (3/2) kT$

$$= (3/2) (1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K})(300\text{K}) = 6,21 \times 10^{-21} \text{ Joule}$$

b.  $U = N \langle EK \rangle$ , untuk 1 mol berarti:  $n = 1$  dan  $N = N_A$  (bilangan Avogadro)

Jadi:  $U = N_A \langle EK \rangle = (6,02 \times 10^{23} \text{ molekul/mol}) \times (6,21 \times 10^{-21} \text{ Joule})$

$$= 3740 \text{ Joule.}$$

c.  $\langle v^2 \rangle = (3 kT)/m$ ;  $m = M/N_A = (32 \text{ gr/mol})/(6,02 \times 10^{23} \text{ atom/mol})$

$$= 5,31 \times 10^{-26} \text{ kg/mol}$$

$$\text{Jadi: } \langle v^2 \rangle = (3kT)/m$$

$$= 3 (1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}) (300 \text{ K}) / (5,31 \times 10^{-26} \text{ kg/mol})$$

$$= 23,4 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\text{d. } v_{rms} = \sqrt{\langle v^2 \rangle} = (23,4 \times 10^4 \text{ m}^2/\text{s}^2)^{1/2} = 4,84 \times 10^2 \text{ m/s}$$

2. Setetes air raksa mempunyai jari-jari sebesar 0,2 mm. Hitunglah jumlah atom air raksa dalam tetesan tersebut apabila diketahui berat atom air raksa 202 dan rapat massanya sebesar 13,6 gr/cm<sup>3</sup>.

Penyelesaian:

$$r = 0,2 \text{ mm} = 0,2 \times 10^{-4} \text{ m}$$

$$\rho = 13,6 \text{ gr/cm}^3 = 13,6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume tetesan air} = V = (4/3) \pi r^3$$

$$= (4/3) \times \pi \times (0,2 \times 10^{-4} \text{ m})^3 = 3,35 \times 10^{-14} \text{ m}^3$$

$$\text{Massa tetesan air raksa} = m_s = \rho V$$

$$= (13,6 \times 10^3 \text{ kg/m}^3) \times (3,35 \times 10^{-14} \text{ m}^3)$$

$$= 4,56 \times 10^{-10} \text{ kg} = 4,56 \times 10^{-7} \text{ gr}$$

$$\text{Jumlah mol tetesan air raksa (Hg)} = n = (m_s/M)$$

$$= (4,56 \times 10^{-7} \text{ gr}) / (202 \text{ gr/mol})$$

$$= 2,26 \times 10^{-9} \text{ mol}$$

Jumlah atom dalam tetesan air raksa =

$$N = n \times N_A$$

$$= (2,26 \times 10^{-9} \text{ mol}) \times (6,02 \times 10^{23} \text{ atom/mol}) = 1,36 \times 10^{15} \text{ atom.}$$

#### **4. Aplikasi teori kinetik gas dalam bidang Teknik Perminyakan**

Teori kinetik gas merupakan fondasi ilmiah yang sangat penting dalam memahami perilaku gas di berbagai proses teknik, termasuk dalam dunia teknik perminyakan. Dalam industri ini, fluida yang ditangani tidak hanya berupa cairan seperti minyak mentah, tetapi juga berupa gas, baik gas bumi maupun gas yang terbentuk selama proses eksplorasi dan produksi.

##### **Pemahaman Tekanan Gas dalam Reservoir**

Di dalam reservoir minyak dan gas, terdapat gas yang terperangkap pada kondisi tekanan dan suhu tinggi. Dengan teori kinetik gas, insinyur dapat memahami bahwa tekanan gas disebabkan oleh tumbukan molekul gas dengan dinding wadah (pori-pori batuan). Ini membantu dalam memprediksi tekanan reservoir dan memperkirakan volume cadangan gas melalui hubungan  $PV = nRT$ .

##### **1. Desain dan Optimasi Sistem Injeksi Gas**

Pada teknik Enhanced Oil Recovery (EOR), gas seperti  $CO_2$  atau nitrogen diinjeksi ke dalam reservoir untuk meningkatkan produksi minyak. Teori kinetik gas membantu dalam menghitung bagaimana gas tersebut akan berperilaku pada suhu dan tekanan tinggi, termasuk difusi gas, kecepatan rata-rata molekul, serta energi kinetik yang menentukan efektivitas dorongan terhadap minyak.

##### **2. Pengangkutan dan Penyimpanan Gas**

Dalam proses pengangkutan gas melalui pipa, faktor tekanan dan suhu menjadi krusial. Teori kinetik gas digunakan untuk menghitung laju aliran gas, viskositas, dan kecepatan rambat gelombang tekanan

di dalam pipa. Hal ini penting untuk menghindari kehilangan tekanan berlebih dan untuk mendesain kompresor gas yang efisien.

### 3. Simulasi Termodinamika Gas

Dalam simulasi perangkat lunak perminyakan (seperti HYSYS atau Aspen HYSYS), teori kinetik gas menjadi dasar model perhitungan sifat termodinamika gas, termasuk kapasitas panas, konduktivitas termal, dan koefisien ekspansi. Hal ini sangat penting dalam desain proses pemisahan gas, pengolahan gas alam cair (LNG), dan perhitungan efisiensi sistem produksi.

### 4. Keselamatan dan Kontrol Tekanan

Dalam situasi ekstrem seperti kick gas (pelepasan tekanan gas secara tiba-tiba dari reservoir), pemahaman terhadap gerakan dan tekanan gas sangat penting untuk merancang sistem kontrol blowout dan katup pelepas tekanan. Tanpa memahami dasar teori kinetik, perancangan sistem ini berisiko tinggi.

Dengan memahami teori kinetik gas, para profesional di bidang teknik perminyakan dapat mengoptimalkan efisiensi, meningkatkan keselamatan kerja, serta meminimalkan kerugian energi selama seluruh siklus produksi dan pengolahan. Teori ini tidak hanya berguna secara akademik, tetapi juga sangat aplikatif di lapangan.

## BAB VI – THERMODINAMIKA

### Standar Kompetensi

1. Mampu menerapkan ilmu dasar thermodinamika sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.
2. Mampu mengaplikasikan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang minyak, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan dengan teknologi informasi dan komputer.
3. Bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan mampu menunjukkan sikap religius.
4. Menjunjung tinggi nilai kemanusiaan dalam menjalankan tugas berdasarkan agama, moral dan etika.
5. Berkontribusi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat, berbangsa, bernegara, dan kemajuan peradaban berdasarkan pancasila.

### Kompetensi Dasar

Mahasiswa dapat mengerti ilmu dasar teori kinetik gas sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.

### Indikator

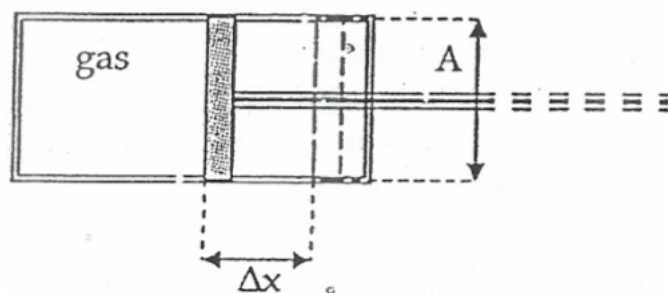
1. Menjelaskan pengertian sistem, lingkungan, dan jenis sistem termodinamika (tertutup, terbuka, terisolasi).
2. Menyebutkan dan menjelaskan makna fisika dari hukum ke-0, hukum pertama, dan hukum kedua termodinamika.
3. Menjelaskan konsep efisiensi mesin kalor dan prinsip mesin Carnot.
4. Mengidentifikasi penerapan hukum termodinamika dalam alat dan proses industri minyak dan gas (kompresor, pompa, heat exchanger, separator, dll).

Termodinamika berasal dari dua kata Yunani, yaitu therme yang berarti panas, dan dynamis yang berarti daya atau energi. Ilmu ini mempelajari hubungan antara panas, kerja, dan energi dalam suatu sistem. Melalui termodinamika, kita dapat memahami bagaimana energi berpindah, berubah bentuk, dan memengaruhi kondisi fisik suatu zat, baik dalam bentuk gas, cair, maupun padat.

Penerapan termodinamika sangat luas, mulai dari sistem pembangkit listrik, mesin kendaraan, pendingin ruangan, hingga reaksi kimia dan proses biologis dalam tubuh manusia. Dalam dunia teknik, khususnya teknik perminyakan, termodinamika berperan besar dalam proses eksplorasi, pemrosesan, dan transportasi minyak dan gas.

### 1. Hukum Termodinamika Pertama

Hukum Termodinamika merupakan hukum kekekalan energi. Tinjau tabung dengan piston seperti Gambar 6.1. Sejumlah panas ( $\Delta Q$ ) diberikan ke dalam gas tersebut, tekanan gas ( $P$ ) dipertahankan konstan maka dengan bertambahnya suhu, gas akan mengembang.



Gambar 6.1. Tabung dengan piston (Cholis dkk, 2008)

Misalkan piston bergeser ke kanan sejauh  $\Delta x$  dari kedudukan semula, sedangkan temperatur naik dari  $T$  menjadi  $(T + \Delta T)$ .

Usaha yang dilakukan adalah:

$$\Delta W = F (\Delta x) = P A (\Delta x) = P (A \Delta x) = P (\Delta V)$$

Jadi usaha yang dilakukan:  $dW = P dV$

Hukum Termodinamika Pertama menyatakan bahwa:

Panas yang diberikan = Tambahan energi dalam + Usaha luar yang dilakukan, ditulis:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W \text{ atau } dQ = dU + dW$$

dengan:  $dW = P dV$

## 2. Ekuipartisi dan Energi

Energi kinetik translasi rata-rata molekul =  $\langle E_K \rangle = 3/2 kT$

Untuk gas campuran dalam suatu ruang tertutup bervolume  $V$ , dalam kesetimbangan thermal  $T$ . Misalkan molekul ke- $i$  bermassa  $m$  maka:

$$\langle E_K \rangle = \frac{1}{2} m v_1^2 = \frac{1}{2} m v_2^2 = (3/2) kT$$

Artinya energi kinetik translasi rata-rata dari semua molekul sama, tidak tergantung massanya tetapi hanya tergantung temperatur saja.

## 3. Prinsip Energi Ekuipartisi dari Maxwell dan Boltzmann

a. Derajat kebebasan molekul

Setiap derajat kebebasan molekul memiliki energi dalam sebesar :

$$\frac{1}{2} kT$$

b. Untuk molekul dengan derajat kebebasan  $f$ , mempunyai energi dalam sebesar:

$$E_{\text{total}} = N \langle E_K \rangle = (f/2) NkT = (f/2) nRT$$

#### 4. Panas Jenis Gas

Didefinisikan untuk gas mempunyai dua pengertian panas jenis, yaitu:

a. Panas jenis molar pada volume konstan:

$$C_v = (1/n) (dU/dT)_v$$

b. Panas jenis molar pada tekanan konstan:

$$C_p = (1/n) (dQ/dT)_p$$

Catatan:

Pengertian jumlah panas:  $\Delta Q = m c \Delta T$ , untuk 1 mol gas (molar) berarti

$$m = n, \Delta Q = n C \Delta T \text{ atau } C = (1/n) (\Delta Q/\Delta T)$$

Untuk volume tetap:  $\Delta V = 0$ , yang jika diterapkan pada Hukum I

Thermodinamika:

$$Q = \Delta U + \Delta W = \Delta U + p \Delta V = \Delta U, \text{ sehingga dari persamaan di atas,}$$

$$C_v = (1/n) (\Delta Q/\Delta T)_v = (1/n) (\Delta U/\Delta T)_v$$

$$\text{Energi total : } E_{\text{total}} = U = (f/2) NkT = (f/2) nRT \quad \Delta U = (f/2) nR(\Delta T),$$

Yang apabila disubstitusikan ke dalam. Persamaan sebelumnya, diperoleh persamaan:

$$C_v = (1/n) (f/2) (nR\Delta T / \Delta T) = (f/2) R$$

Kembali ke persamaan Hukum Thermodinamika pertama:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W = \Delta U + P \Delta V$$

Dari persamaan gas ideal :  $PV = nRT$  atau  $V = (nRT/P)$  dan untuk P konstan, berarti:

$$\Delta V = nR (\Delta T) / P$$

Dari persamaan:  $\Delta W = P (\Delta V) = P (nR(\Delta T)/P) = nR(\Delta T)$ , yang bila disubstitusikan ke dalam pers. Hukum Thermodinamika Pertama, diperoleh persamaan:



$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W = \Delta U + P \Delta V = \Delta U + nR\Delta T$$

Menurut definisi:

$$C_p = (1/n) (\Delta Q/\Delta T)_p = (1/n) (\Delta U + nR\Delta T)/(\Delta T)_p = (1/n) ((\Delta U/\Delta T) + nR)$$

$$= (1/n) ((\Delta U/\Delta T) + (1/n) (nR)) = C_v + R$$

Jadi diperoleh relasi:  $C_p = C_v + R$  atau :  $C_p - C_v = R$

Berkaitan dengan derajat kebebasan:

$$C_p = C_v + R = (f/2)R + R = (f/2 + 1) R$$

Selanjutnya didefinisikan besaran: Perbandingan antara panas jenis gas pada tekanan konstan dengan panas jenis gas pada volume konstan ( $\gamma$ ) dituliskan:

$$\gamma = (C_p/C_v) = ((f/2) + 1) R / (f/2) R = ((f+2)/f)$$

1. Gas monoatomik (beratom tunggal): He, Ne, Ar, Kr dan Xe

Derajat kebebasan =  $f = 3$

$C_p = (f/2) + 1) R = (3/2) + 1) R = (5/2) R$  dan  $C_v = (f/2) R = (3/2) R$ , sehingga

$$\gamma = (C_p/C_v) = (5/2)R / (3/2) R = (5/3) = 1,67$$

2. Gas diatomic (beratom dua): Oksigen, Nitrogen,dll

Derajat kebebasan  $f=5$

$C_p = (f/2) + 1) R = (5/2) + 1) R = (7/2) R$  dan  $C_v = (f/2) R = (5/2) R$ , sehingga

$$\gamma = (C_p/C_v) = (7/2)R / (5/2) R = (7/5) = 1,4$$

3. Gas beratom tiga (lebih)

Derajat kebebasan  $f=6$

$C_p = (f/2) + 1) R = (6/2) + 1) R = 4R$  dan  $C_v = (f/2) R = (6/2) R = 3R$ ,, sehingga

$$\gamma = (C_p/C_v) = (4R / 3R = (4/3) = 1,33$$

c. Proses-proses Thermodinamika

Istilah-istilah yang perlu difahami:

1. Kesetimbangan Thermal: sistem yang terisolasi yang telah mencapai keadaan akhir dimana tidak lagi terjadi perubahan keadaan.
2. Persamaan Keadaan: hubungan antara sistem termodinamika dalam keadaan kesetimbangan.
3. Persamaan Reversible: proses dalam termodinamika yang dapat terjadi sebaliknya (Proses dapat terjadi kembali seperti semula)
4. Proses Irreversible: proses dalam termodinamika yang tidak dapat berjalan sebaliknya (tidak dapat kembali ke bentuk semula)
5. Diagram Keadaan: diagram proses reversible yang menggambarkan hubungan antara besaran-besaran P,V dan T.

Proses Termodinamika atau suatu perubahan keadaan, dapat berlangsung secara:

1. Isothermis: perubahan keadaan dengan tekanan tetap
2. Isobaris: perubahan keadaan dengan tekanan tetap
3. Isokhoris: perubahan keadaan dengan volume tetap
4. Adiabatis: perubahan keadaan dengan tidak terjadi pertukaran panas dengan sekelilingnya (lingkungannya)
5. Isentropis: perubahan adiabatik terjadi secara reversible
6. Polytropis: perubahan keadaan bila panas jenis zat tersebut konstan.
  - a. Proses Isothermis ( T konstan)
    1. T konstan, berarti  $\Delta T = 0$
    2. Dari persamaan  $U = (3/2) n RT$  berarti :  $\Delta U = (3/2) n RT (\Delta T) = 0$
    3. Dari persamaan Hk. Termodinamika I :  $\Delta Q = \Delta U + \Delta W = \Delta W$

Artinya, panas yang diberikan digunakan untuk melakukan usaha luar terhadap lingkungan.

4. Usaha luar yang dilakukan:

$$dW = P dV \quad \int_A^B dW = \int_{V_A}^{V_B} P dV$$

$$W_{AB} = \int_{V_A}^{V_B} ((nRT)/V) dV = nRT \ln(V_B/V_A)$$

Jadi usaha luar:  $W_{AB} = nRT \ln(V_B/V_A)$

b. Proses Isobaris ( P konstan)

1. P konstan berarti  $\Delta P = 0$

2. Dari definisi untuk 1 mol gas:  $C_v = (dU/dT)_v$  dan  $C_p = (dQ/dT)_p$   
berarti:  $\Delta U = C_v \Delta T$ , maka:

3. Dari persamaan Hk. Termodinamika I:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W = C_v \Delta T + P\Delta V$$

4. Usaha luar yang dilakukan:

$$\Delta W_{AB} = P (\Delta V) = P (V_B - V_A)$$

c. Proses Isokhoris (V konstan)

1. V konstan, berarti  $\Delta V = 0$

2. Dari persamaan Hk. Termodinamika I:  $\Delta W = P\Delta V = 0$

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W = \Delta U + P\Delta V = \Delta U$$

Berarti bahwa semua panas yang diserap oleh sistem digunakan untuk menaikkan energi dalam sistem tersebut.

3. Usaha luar yang dilakukan:

$$\Delta W_{AB} = P(\Delta V) = P (V_B - V_A) = 0$$

d. Proses Adiabatis

1.  $\Delta Q = 0$

2. Dari persamaan Hk. Termodinamika I:

$$\Delta Q = \Delta V + \Delta W \text{ berarti bahwa } \Delta U = -\Delta W$$

3. Usaha luar yang dilakukan:

a.  $W_{AB} = -\Delta U = -n C_V \Delta T = -n C_V (T_B - T_A) = n C_V (T_A - T_B)$

b.  $W_{AB} = (P_B V_B - P_A V_A) / (1-\gamma)$

4. Persamaan lain: a.  $P V_\gamma = \text{konstan}$  dan  $P^{(1-\gamma)} T^\gamma = \text{konstan}$

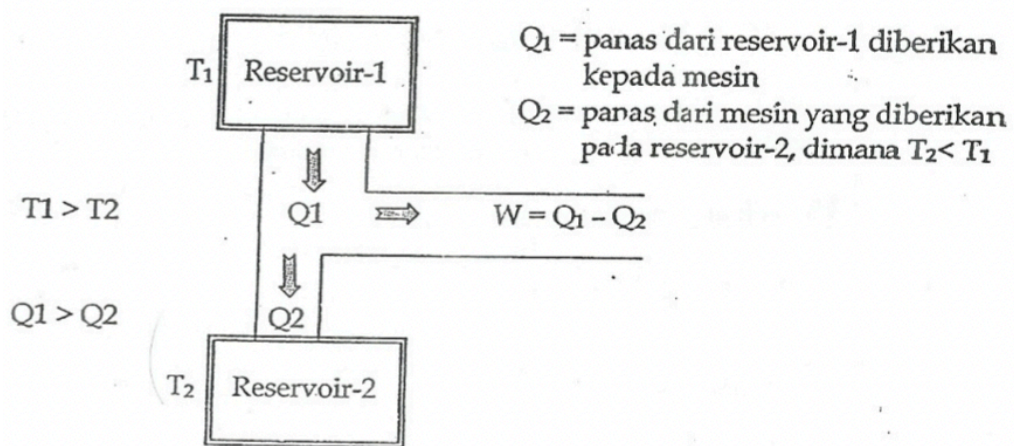
d. Konversi Panas Menjadi Energi

Bila suatu sistem melakukan suatu proses melingkar tertutup, maka jumlah energi dalam awal dan akhir harus sama besar, dituliskan:

$$\Delta U = U_2 - U_1 = 0$$

Dari hukum Termodinamika:  $\Delta Q = \Delta U + \Delta W$ , sehingga  $\Delta Q = \Delta W$

Artinya, bahwa panas yang mengalir masuk ke dalam sistem (mesin), untuk suatu proses melingkar tertutup adalah sama dengan usaha luar netto yang dilakukan oleh mesin tersebut.



Gambar 6.2 Mesin Kalor (Cholis dkk, 2008)

Panas netto yang diserap :  $Q = Q_1 - Q_2$

Usaha netto :  $W = Q = Q_1 - Q_2$

Efisiensi Thermal : perbandingan antara usaha luar yang dilakukan dengan panas yang diserap oleh mesin, dituliskan:

$$\eta = (W/Q_1) = \{(Q_1 - Q_2)/Q_1\} \times 100\%$$

Contoh Mesin Kalor:

1. Mesin Bensin : proses melingkar tertutup, terdiri dari 2 proses diabatis dan 2 isokhoris
2. Mesin Diesel : proses melingkar tertutup, terdiri dari 2 proses adiabatik, atau proses isobaris dan satu proses isokhoris.
3. Mesin Carnot : terdiri dari 2 proses adiabatik dan 2 proses isothermal, dengan efisiensi:

$$\eta = (W/Q_1) = (1 - Q_2/Q_1)/Q_1 = 1 - (T_2 - T_1)$$

## 5. Entropi

Definisi Entropi (S):

1. Mikroskopis : menurut Ludwig Boltzmann, pada tahun 1877 didefinisikan sbb:
2. Makroskopis : Pada tahun 1865 Rudolf Clausius menyatakan bila suatu sistem berubah dari suatu keadaan keseimbangan menjadi keadaan lainnya, maka perubahan entropinya ( $\Delta S$ ) sebesar:

$$\Delta S = (\Delta Q/T)$$

dimana:  $\Delta Q$  = jumlah panas, dan  $T$  = temperatur absolut

## 6. Hukum Termodinamika II

Hukum Termodinamika II menyatakan bahwa untuk suatu sistem yang terisolasi, maka proses-proses akan terjadi bila entropi dari sistem bertambah atau tetap, ditulis:

$$\Delta S \geq 0, \text{ dimana:}$$

Jika  $\Delta S > 0 \rightarrow$  proses irreversible

Jika  $\Delta S = 0 \rightarrow$  proses reversible

Jika  $\Delta S < 0 \rightarrow$  proses tidak terjadi

Definisi Hukum Termodinamika II:

1. Rudolf Calsius: perpindahan panas dari temperatur lebih rendah ke temperatur lebih tinggi tidak pernah merupakan satu-satunya hasil sederetan perubahan-perubahan keadaan yang dialami oleh suatu benda atau sistem
2. Lord Kelvin dan Max Plank: tidaklah mungkin dengan suatu proses melingkar mengubah panas keseluruhan menjadi usaha.

## 7. Hukum Termodinamika III

Dalam sembarang proses Fisika, adalah tidak mungkin untuk mencapai harga nol dari suatu temperatur absolut.

Dari persamaan Mesin Carnot:

$$\text{Efisiensi thermal: } \eta = (1 - (T_2 - T_1))$$

dimana:

$T_1$  = temperatur untuk reservoir tinggi

$T_2$  = temperatur untuk reservoir

Apabila nilai  $T_2 = 0$  K akibatnya efisiensi thermal :

$$\eta = (1 - (T_2 - T_1)) = 1 - 0 = 1$$

Berarti nilai efisiensi thermal 100%, hal ini tidak mungkin terjadi karena dalam kenyataan semua mesin mempunyai efisiensi ( $\eta$ ) < 100%.

Apabila nilai  $T_2 < 0$  akibatnya nilai efisiensi ( $\eta$ ) > 100%.

Hal ini berarti menyalahi Hukum Kekekalan Energi

**Contoh soal:**

1. Dalam suatu proses, sistem menerima kalor sebanyak 5000 kalori dan melakukan usaha luar sebesar 8000 joule. Hitung perubahan energi dalam sistem tersebut.

Penyelesaian:

$$\Delta Q = 5000 \text{ kalori} = (5000 \text{ kalori} \times 4,2 \text{ joule/kalori}) = 21.000 \text{ joule}$$

Dari hukum Thermodinamika pertama, berlaku persamaan:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W \text{ atau}$$

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W$$

$$= 21.000 \text{ joule} - 8.000 \text{ joule}$$

$$= 13.000 \text{ joule.}$$

2. Gas Nitrogen (BM = 28) sebanyak 300 gr dinaikkan temperaturnya dari 20 °C menjadi 90 °C dengan mempertahankan tekanan tetap. Apabila besar panas jenis gas tersebut pada tekanan tetap dan pada volume tetap masing-masing sebesar 6,95 kal/mol °C dan 4,96 kal/mol °C.

Hitunglah:

- a. Kenaikan energi dalam
- b. Usaha yang dilakukan oleh gas tersebut.

Penyelesaian:

- a. Jumlah mol gas Nitrogen:

$$n = (m/\text{BM}) = (300 \text{ gr}) / (28 \text{ gr/mol}) = 10,71 \text{ mol}$$

Pada tekanan tetap, energi dalam dapat dituliskan:

$$\Delta U = n C_v \Delta T = (10,71 \text{ mol}) \times (4,96 \text{ kal/mol } ^\circ\text{C}) \times (90 - 20) ^\circ\text{C}$$

$$= 3,72 \times 10^3 \text{ kalori} = 15,6 \times 10^3 \text{ joule.}$$

- b. Jumlah panas:

$$\begin{aligned}\Delta Q &= n C_p \Delta T = (10,71 \text{ mol}) \times (6,95 \text{ kal/mol } ^\circ\text{C}) \times (90-20) ^\circ\text{C} \\ &= 5210 \text{ kalori} = 21,9 \times 10^3 \text{ joule.}\end{aligned}$$

Dari hukum Termodinamika pertama:

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

$$\Delta W = \Delta Q - \Delta U = 21,9 \times 10^3 \text{ joule} - 15,6 \times 10^3 \text{ joule} = 6,3 \times 10^3 \text{ joule.}$$

## **8. Aplikasi Termodinamika dalam bidang Teknik Perminyakan**

Termodinamika memiliki peranan yang sangat penting dalam dunia teknik, terutama dalam industri perminyakan. Sebagai cabang ilmu fisika yang mempelajari hubungan antara panas, kerja, dan energi, termodinamika menjadi dasar dalam memahami dan mengendalikan berbagai proses yang terjadi selama eksplorasi, produksi, hingga pengolahan minyak dan gas bumi.

Dalam proses eksplorasi, termodinamika digunakan untuk memahami perilaku fluida (minyak, gas, dan air) di dalam reservoir bawah tanah. Dengan menganalisis kondisi tekanan, suhu, dan volume di dalam reservoir, para insinyur dapat memprediksi bagaimana fluida tersebut akan bergerak dan bagaimana sistem akan merespons terhadap perubahan-perubahan kondisi seiring waktu. Konsep keseimbangan termodinamika juga digunakan untuk menentukan distribusi fase gas dan cairan di dalam formasi batuan.

Selanjutnya, dalam proses produksi, prinsip-prinsip termodinamika sangat diperlukan untuk merancang dan mengelola sistem pemompaan, injeksi gas atau air, serta proses pemisahan fluida di permukaan. Misalnya, hukum pertama termodinamika digunakan untuk menghitung efisiensi



energi pada peralatan produksi, sedangkan hukum kedua termodinamika digunakan untuk menganalisis kerugian energi akibat entropi dan menentukan kemungkinan terjadinya perubahan fase, seperti kondensasi atau penguapan.

Dalam pengolahan dan pengilangan, termodinamika sangat berperan dalam proses pemanasan, distilasi, dan konversi kimia. Unit distilasi—yang memisahkan berbagai fraksi minyak bumi—didasarkan pada prinsip perubahan entalpi dan perbedaan titik didih, yang semuanya dianalisis melalui hukum-hukum termodinamika. Selain itu, pemahaman tentang diagram fase dan entalpi pembentukan memungkinkan insinyur merancang proses yang aman, efisien, dan hemat energi.

Dengan demikian, penguasaan konsep termodinamika tidak hanya penting secara teoritis, tetapi juga menjadi keterampilan inti yang wajib dimiliki oleh para profesional di bidang teknik perminyakan. Pemanfaatan prinsip-prinsip ini akan membantu meningkatkan efisiensi produksi, mengurangi biaya operasi, dan menjaga keberlanjutan energi di masa depan.

## **BAB VII – TEKANAN HYDROSTATIKA**

### **Standar Kompetensi**

1. Mampu menerapkan ilmu dasar tekanan hydrostatika sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.
2. Mampu mengaplikasikan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang minyak, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan dengan teknologi informasi dan komputer.
3. Bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan mampu menunjukkan sikap religius.
4. Menjunjung tinggi nilai kemanusiaan dalam menjalankan tugas berdasarkan agama, moral dan etika.
5. Berkontribusi dalam peningkatan mutu kehidupan bermasyarakat, berbangsa, bernegara, dan kemajuan peradaban berdasarkan pancasila.

### **Kompetensi Dasar**

Mahasiswa dapat mengerti ilmu dasar tekanan hydrostatika sebagai pendukung ilmu perminyakan, gas bumi, panas bumi serta energi terbarukan.

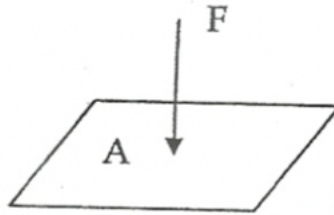
### **Indikator**

1. Menjelaskan pengertian tekanan hidrostatis dengan benar.
2. Mengidentifikasi hubungan antara tekanan, massa jenis, percepatan gravitasi, dan kedalaman zat cair.
3. Menggunakan rumus  $P = \rho gh$  untuk menghitung tekanan pada kedalaman tertentu.
4. Mengaitkan prinsip tekanan hidrostatis dengan sistem pengeboran dan pencegahan blowout dalam teknik perminyakan.

## 1. Definisi Tekanan

Tekanan yang dilakukan oleh suatu gaya pada suatu permukaan adalah gaya yang tegak lurus pada permukaan tersebut dibagi dengan luas permukaannya.

$$P = F/A$$



Gambar 7.1 Tekanan (Cholis dkk, 2008)

dimana:

P = Tekanan

F = Gaya yang tegak lurus pada permukaannya

A = Luas permukaan

Satuan Tekanan: satuan dari tekanan dapat dinyatakan dengan satuan

sbb:

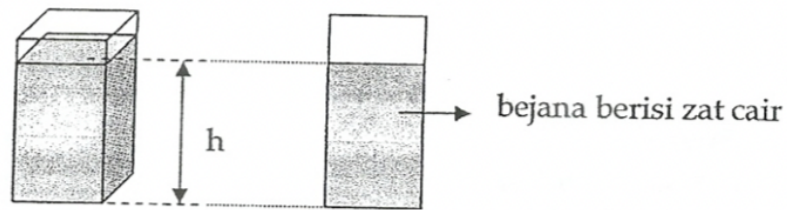
- N/m<sup>2</sup> atau dyne/cm<sup>2</sup>
- Atmosfir (1 atmosfir = 1.01 x 10<sup>5</sup> N/m<sup>2</sup>)
- Cm Air raksa (1 atm = 76 cm.Hg)

Catatan: 1 cmHg air raksa = 13,6 g dyne/cm<sup>2</sup>

$$1 \text{ Bar} = 10^3 \text{ dyne/cm}^2$$

## 2. Tekanan dalam Zat Cair

$$P_h = \rho g h \text{ (dyne/cm}^2\text{)}$$



Gambar 7.2 Tekanan dalam zat cair (Cholis dkk, 2008)

dimana:

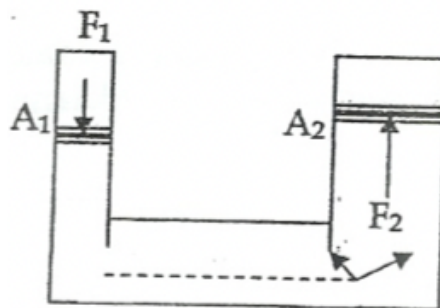
$P_h$  = tekanan yang disebabkan oleh zat cair setinggi  $h$  (cm)

$\rho$  = rapat massa zat cair (dalam bejana tsb),  $\text{gr/cm}^3$

$h$  = tinggi zat cair (dari dasar sampai dengan permukaan), cm

### 3. Hukum Pascal

Jika suatu fluida mendapat tekanan maka tekanan tersebut akan diteruskan ke segala arah dengan sama rata.



Gambar 7.3 Hukum Pascal (Cholis dkk, 2008)

Contoh penggunaan hukum Pascal yaitu pada pompa hidrolik dan penekan hidrolik.

$$P_1 = F_1 / A_1$$

$$P_2 = F_2 / A_2$$

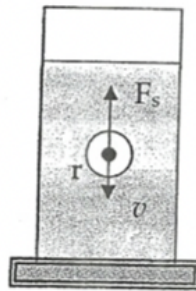
$$P_1 = P_2 \rightarrow F_2 = (A_1 / A_2) F_1$$

$$A_2 > A_1 \rightarrow F_2 > F_1$$

#### 4. Hukum Stokes

Jika benda bergerak di dalam fluida, maka benda akan mengalami gaya gesekan sebesar:

$$F_s = 6\pi\eta r v$$



Gambar 7.4 Hukum Stoke (Cholis dkk, 2008)

dimana:

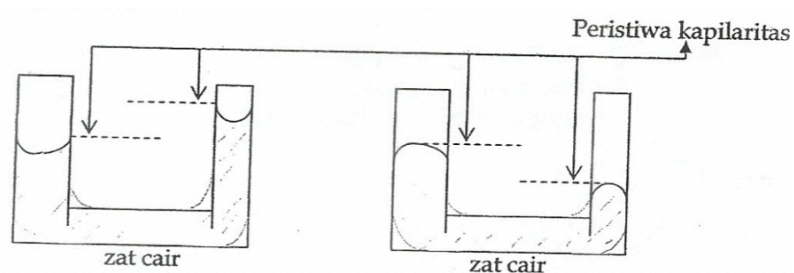
$F_s$  = Gaya Stokes

$r$  = jari-jari bola (benda)

$v$  = kecepatan benda

$\eta$  = koefisien kekentalan (viskositas) dalam satuan poise (cgs)

#### 5. Tegangan Permukaan Pada Zat Cair



Gambar 7.5 Peristiwa kapilaritas (Cholis dkk, 2008)

Contoh-contoh peristiwa, yang disebabkan tegangan permukaan adalah:

- Nyamuk dapat berdiri di atas permukaan zat cair

- b. Silet atau jarum dapat terapung di atas permukaan air
- c. Peristiwa kapiler

## 6. Hukum Archimedes

Suatu benda yang di dalam zat cair, akan mendapat gaya tekanan ke atas sebesar berat zat cair yang dipindahkannya.

$$F_A = V_C' \rho g$$

dimana:

$F_A$  = gaya ke atas = gaya apung = gaya Archimedes

$\rho$  = massa jenis (rapat massa) zat cair

$g$  = percepatan gravitasi bumi

$V_C'$  = volume zat cair yang dipindahkan

(volume benda yang tercelup di dalam zat cair)

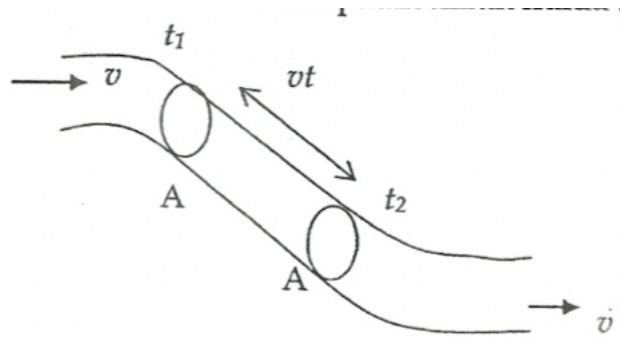
## 7. Fluida Bergerak

Semua zat yang dapat mengalir disebut Fluida, misalnya zat cair dan zat gas. Zat cair, bentuknya mengikuti tempatnya dan volumenya tetap. Sedangkan gas mempunyai bentuk dan volume sesuai dengan tempatnya. Pada fluida yang bergerak, ada dua hukum yang sering digunakan yaitu Hukum kontinuitas dan Hukum Bernoulli.

- a. Debit dari aliran fluida

Jika fluida mengalir melalui suatu pipa dengan kecepatan  $v$ , dan luas maka dalam waktu  $t$  detik, tiap bagian fluida akan mencapai jarak  $s = v t$ . Maka volume fluida per detik yang dialirkan adalah:

$$Q = (A Vt)/t = A V(m^3/det)$$



Gambar 7.6 Debit aliran fluida (Cholis dkk, 2008)

dimana:

$Q$  = debit dari aliran fluida

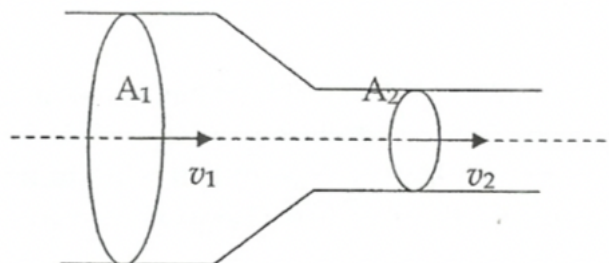
$A$  = luas penampang ( $m^2$ )

$V$  = kecepatan aliran fluida (m/det)

b. Hukum kontinuitas

Sebuah pipa terdiri dari dua penampang yang luasnya berbeda yaitu

$A_1$  dan  $A_2$  adalah  $V_1$  dan  $V_2$ .



Gambar 7.7 Hukum kontinuitas (Cholis dkk, 2008)

Maka debit aliran di  $A_1$  = debit aliran di  $A_2$

$$A_1 V_1 = A_2 V_2$$

$A V$  = konstan, disebut Hukum Kontinuitas

c. Hukum Bernoulli

Fluida mengalir dari ujung 1 dan keluar melalui ujung 2. Pada ujung

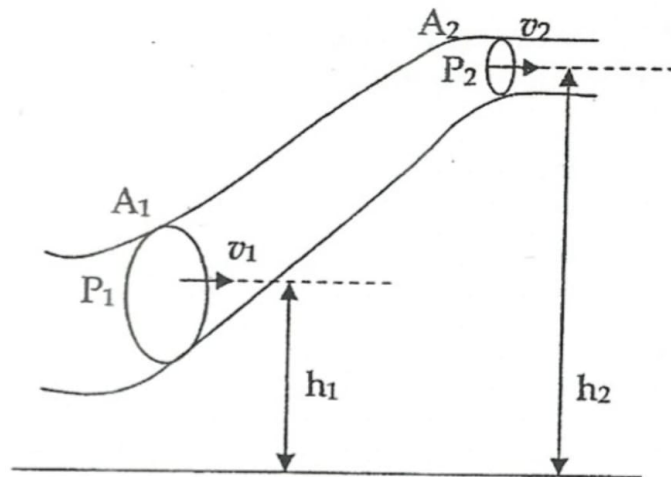
1:

Luas penampang =  $A_1$

Kecepatan aliran =  $V_1$

Ketinggian dari tanah =  $h_1$

Tekanan =  $P_1$



Gambar 7.8 Hukum Bernoulli (Cholis dkk, 2008)

Pada ujung 2:

Luas penampang =  $A_2$

Kecepatan aliran =  $V_2$

Ketinggian dari tanah =  $h_2$

Tekanan =  $P_2$

Dengan menggunakan hukum kekekalan energi dan hukum kontinuitas, maka dapat dituliskan sebagai berikut:

$$P_1 + \rho gh_1 + 1/2\rho V_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + 1/2\rho V_2^2$$

$$P = \rho gh + 1/2\rho V^2 = \text{konstan, dinamakan Hukum Bernoulli}$$

dimana:

$P$  = tekanan ( $\text{N/m}^2$  atau  $\text{dyne/cm}^2$ )

$\rho$  = rapat massa fluida ( $\text{kg/m}^3$ )



$V$  = kecepatan aliran fluida (m/det atau cm/det)

$g$  = kecepatan gravitasi

$h$  = ketinggian dari tanah

**Contoh soal:**

1. Sebuah pipa panjang memiliki tiga penampang yang berbeda. Luas penampang bagian 1, 2, dan 3 berturut-turut adalah  $200 \text{ cm}^2$ ,  $100 \text{ cm}^2$  dan  $400 \text{ cm}^2$ . Jika kelajuan air yang melalui bagian 1 adalah  $6 \text{ m/det}$ .

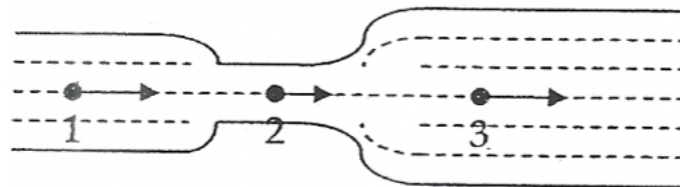
Tentukan:

- Volume air yang melalui bagian 2 dan 3 per menit
- Kelajuan air yang melalui bagian 2 dan 3

Penyelesaian:

$$A_1 = 200 \text{ cm}^2 = 2 \times 10^{-2} \text{ m}^2; A_3 = 400 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 100 \text{ cm}^2 = 1 \times 10^{-2} \text{ m}^2; V = 6 \text{ m/det}$$



- Debit adalah suatu besaran yang nilainya konstan dan dapat dihitung dengan menggunakan persamaan

$$Q = A_1 V_1 = (2 \times 10^{-2} \text{ m}^2) (6 \text{ m/det}) = 0,12 \text{ m}^3/\text{det}$$

Volume yang melalui 2 dan 3 permenit (1 menit = 60 detik) adalah:

$$V = (60 \text{ det}) \times (0,12 \text{ m}^3/\text{det}) = 7,2 \text{ cm}^3$$

- Dengan menggunakan persamaan Kontinuitas, diperoleh:

$$A_2 V_2 = A_1 V_1 \rightarrow V_2 = (A_1/A_2) V_1$$

$$= (200 \text{ cm}^2/100 \text{ cm}^2) \times 6 \text{ m/det} = 12 \text{ m/det}$$

$$A_3 V_3 = A_1 V_1 \rightarrow V_3 = (A_1/A_3) V_1$$

$$= (200 \text{ cm}^2/100 \text{ cm}^2) \times 6 \text{ m/det} = 12 \text{ m/det}$$

Jadi, kelajuan air yang melalui bagian 2 dan 3 adalah 12 m/det dan 3 m/det.

- Air PAM memasuki rumah melalui sebuah pipa berdiameter 2,0 cm pada tekanan 4,0 atm (1 atm =  $1,0 \times 10^5$  Pa). Pipa menuju kamar mandi lantai kedua pada ketinggian 5,0 m dengan diameter pipa 1,0 cm. jika kelajuan aliran pada pipa masukan adalah 3,0 m/det. Hitunglah kelajuan, debit dan tekanan air di dalam bak mandi.

Penyelesaian:

Anggap pipa masukan ke rumah sebagai titik 1 dan pipa bak mandi sebagai titik 2:

Pipa masuk titik 1:

$$\text{Diameter } D_1 = 20 \text{ cm} = 2,0 \times 10^{-1} \text{ m}$$

$$\text{Tekanan } P_1 = 4,0 \text{ atm} = 4,0 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$\text{Kelajuan } V_1 = 3,0 \text{ m/det, dan ketinggian } h_2 = 5,0 \text{ m}$$

Besaran-besaran yang ditanyakan adalah  $V_2$ , Q dan  $P_2$

Kelajuan air bak mandi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kontinuitas untk perbandingan diameter yang diketahui:

$$V_2 = (D_1/D_2)^2 \times V_1 \text{ (sebab } V \text{ berbanding terbalik dengan kuadrat diameter)}$$

$$= (20 \text{ cm}/1,0 \text{ cm})^2 (3,0 \text{ m/det}) = 12 \text{ m/det}$$

Debit air dapat dihitung:

$$Q = A_2 V_2 = (\Pi D_2^2 / 4) V_2 = \Pi(10^{-2})^2 / 4 (12) = 3\Pi \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{det}$$

Tekanan air dalam pipa bak mandi dapat dihitung dengan menggunakan hukum Bernoulli.

Ambil massa jenis air  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$  dan  $g = 10 \text{ m/det}^2$

$$P_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2} \rho V_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2} \rho V_2^2 \rightarrow (h_1 = 0)$$

$$P_2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho (V_1^2 - V_2^2) + \rho gh_2$$

$$= 4,0 \times 10^5 + \frac{1}{2} (1000) (3,2^2 - 12^2) - 1000(10) (5,0)$$

$$= 2,8 \times 10^5 \text{ Pa atau } 2,8 \text{ atm}$$

### **8. Aplikasi Tekanan Hidrostatika dalam bidang Teknik Perminyakan**

Dalam dunia teknik perminyakan, tekanan hidrostatik memiliki peranan yang sangat penting, terutama dalam hal keselamatan kerja, perancangan peralatan, dan pengendalian fluida di bawah permukaan bumi. Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang disebabkan oleh berat fluida (seperti air, minyak, atau lumpur bor) yang berada dalam kolom vertikal tertentu.

Salah satu aplikasi utama tekanan hidrostatik di bidang perminyakan adalah pada proses pemboran sumur minyak. Saat mengebor sumur, fluida pengeboran (drilling mud) digunakan untuk menjaga kestabilan lubang bor dan mencegah masuknya fluida dari formasi (seperti gas atau minyak) ke dalam sumur secara tidak terkendali. Di sinilah pentingnya tekanan hidrostatik, tekanan dari kolom lumpur bor harus cukup besar untuk menyeimbangkan atau bahkan melebihi tekanan formasi, agar tidak terjadi blowout atau semburan tak terkendali dari dalam tanah.

Selain itu, tekanan hidrostatik juga digunakan dalam penentuan tekanan reservoir, yaitu tekanan alami dari fluida yang terperangkap di dalam formasi batuan. Dengan mengetahui tekanan ini, para insinyur dapat

merancang strategi produksi yang tepat, seperti injeksi air atau gas, agar aliran fluida dari reservoir ke permukaan dapat dikendalikan secara optimal dan aman.

Pada proses pengangkatan minyak dari kedalaman tertentu, tekanan hidrostatik juga mempengaruhi desain dan pemilihan pompa, pipa produksi, dan sistem pengendalian tekanan. Perbedaan tekanan antara dasar sumur dan permukaan menentukan efisiensi aliran fluida serta kebutuhan alat bantu produksi seperti gas lift atau pompa submersible.

Dengan memahami dan menerapkan konsep tekanan hidrostatik, para profesional di industri perminyakan dapat menjaga keselamatan kerja, meningkatkan efisiensi operasi, serta memaksimalkan perolehan minyak dan gas secara ekonomis dan berkelanjutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, M. (2017). Fisika Dasar 2, Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2015). Thermodynamics: An Engineering Approach (8th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Cholis, B., & Yuniarti, H. (2008). Fisika Gel. Bunyi dan Optik, Universitas Trisakti.
- Daryanto. (2010). Fisika untuk Perguruan Tinggi Teknik: Mekanika, Termodinamika, Gelombang, dan Optik. Bandung: Yrama Widya.
- Giancoli, D. C. (2005). Physics: Principles with Applications (6th ed.). New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). Fundamentals of Physics (10th ed.). Hoboken: John Wiley & Sons.
- Sears, F. W., Zemansky, M. W., & Young, H. D. (1982). University Physics (6th ed.). Addison-Wesley.
- Sutrisno. (2009). Fisika Dasar 2: Suhu dan Kalor, Listrik, Optika, dan Fisika Modern. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Yuberti. (2014). Konsep Materi Fisika Dasar 2, Anugrah Utama Raharja.
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). Physics for Scientists and Engineers (6th ed.). New York: W. H. Freeman and Company.
- Young, H. D., & Freedman, R. A. (2012). University Physics with Modern Physics (13th ed.). Boston: Addison-Wesley.