

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Penelitian Pengembangan

1. Pengertian Penelitian Pengembangan

Penelitian pengembangan pada awalnya hanya sering digunakan dalam dunia industri, tetapi saat ini penelitian pengembangan mulai populer dikalangan praktisi dan teoritis pendidikan. Banyak penelitian dan pengembangan pendidikan yang dilakukan di berbagai belahan dunia.

Pengertian penelitian pengembangan didefinisikan oleh Sugiyono (2010: 407),

Metode penelitian dan pengembangan atau dalam bahasa inggrisnya *Research and Development* adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji keefektivan produk tersebut.

Pendapat yang hampir sama dikemukakan oleh Lasmawan (2005), penelitian pengembangan merupakan,

Salah satu jenis penelitian yang dimaksudkan untuk pengembangan dan pengujian sebuah desain, model, produk, atau instrumen untuk kepentingan tertentu, baik yang bersifat penguatan batang tubuh keilmuan maupun untuk penguatan sebuah produk dipangsa pasar tertentu.

Dari pendapat di atas dapat diketahui bahwa penelitian pengembangan bersifat bertahap, karena untuk dapat menghasilkan produk yang akan

dikembangkan digunakan tahapan-tahapan mulai dari analisis kebutuhan hingga pengujian keefektivan produk agar dapat digunakan secara luas.

2. Model-Model Penelitian Pengembangan

a. Model Sugiyono

Menurut Sugiyono (2011 : 298), langkah-langkah penelitian dan pengembangan ada sepuluh langkah sebagai berikut: (1) Potensi dan masalah, (2) Pengumpulan data, (3) Desain produk, (4) Validasi desain, (5) Revisi desain, (6) Uji coba produk, (7) Revisi produk, (8) Uji coba pemakaian, (9) Revisi produk, dan (10) Produksi massal.

b. Model Borg and Gall

Menurut Borg dan Gall (1989: 783-795), pendekatan *research and development* (R & D) dalam pendidikan meliputi sepuluh langkah. Adapun langkah-langkah penelitiannya adalah sebagai berikut: (1) Research and Information, (2) Planning, (3) Develop Preliminary form of product collecting, (4) Preliminary field testing, (5) Main product revision, (6) Main field testing, (7) Operational product revision, (8) Operational field testing, (9) Final product revision, (10) Dissemination and Implementation.

c. Model Dick and Carey

Model Dick and Carey adalah model desain Instruksional yang dikembangkan oleh Walter Dick, Lou Carey, dan James O Carey. Model Dick and Carey terdiri dari 10 langkah. Setiap langkah sangat jelas maksud dan tujuannya sehingga bagi perancang pemula

sangat cocok sebagai dasar untuk mempelajari model desain yang lain. Langkah-langkah Desain Pembelajaran menurut Dick and Carey adalah sebagai berikut: (1) Mengidentifikasi tujuan umum pembelajaran; (2) Melaksanakan analisis pembelajaran; (3) Mengidentifikasi tingkah laku masukan dan karakteristik siswa; (4) Merumuskan tujuan performansi; (5) Mengembangkan butir-butir tes acuan patokan; (6) Mengembangkan strategi pembelajaran; (7) Mengembangkan dan memilih materi pembelajaran; (8) Mendesain dan melaksanakan evaluasi formatif; (9) Merevisi bahan pembelajaran; dan (10) Mendesain dan melaksanakan evaluasi sumatif.

Dari tinjauan beberapa model yang disebutkan di atas, setiap model memiliki persamaan dan perbedaan, dari model-model tersebut langkah-langkah yang digunakan memiliki beberapa persamaan, meskipun kosakata yang digunakan berbeda. Ditinjau dari kebutuhan untuk mengembangkan modul (media pembelajaran) maka model penelitian pengembangan Sugiyono yang paling tepat digunakan.

B. Modul

1. Modul Sebagai Media Cetak

Media berbasis cetakan adalah media yang paling tua dan paling banyak digunakan. Hal ini disebabkan karena praktis dalam penggunaannya, tidak memerlukan peralatan pendukung khusus, relatif murah, dan mudah didapat. Media berbasis cetakan tersedia dalam berbagai jenis dan format. Salah satu diantaranya adalah buku ajar atau modul ajar.

Pengertian modul menurut Asyhar (2011: 155) yaitu:

Modul adalah salah satu bentuk bahan ajar berbasis cetakan yang dirancang untuk belajar secara mandiri oleh peserta pembelajaran karena itu modul dilengkapi dengan petunjuk untuk belajar sendiri.

Susilana dan Riyana (2007: 14) menjelaskan lebih spesifik lagi mengenai modul, yaitu:

Modul adalah suatu paket program yang disusun dalam bentuk satuan tertentu dan didesain sedemikian rupa guna kepentingan belajar siswa. Satu paket modul biasanya memiliki komponen petunjuk guru, lembar kegiatan siswa, lembar kerja siswa, kunci lembar kerja, lembar tes, dan kunci lembar tes.

Modul harus dapat meningkatkan motivasi siswa dan efektif dalam mencapai kompetensi yang diharapkan sesuai dengan tingkat kompleksitasnya. Untuk menghasilkan modul yang baik, maka penyusunannya harus sesuai dengan kriteria yang ditetapkan oleh Depdiknas (2008) sebagai berikut:

a. *Self Instructional*; yaitu mampu membelajarkan siswa secara mandiri.

Melalui modul tersebut, seseorang atau peserta belajar mampu membelajarkan diri sendiri, tanpa tergantung pada pihak lain. Untuk memenuhi karakter *Self Instructional*, maka dalam modul harus:

- 1) berisi tujuan yang dirumuskan dengan jelas;
- 2) berisi materi pembelajaran yang dikemas ke dalam unit-unit kecil/spesifik sehingga memudahkan belajar secara tuntas;
- 3) menyediakan contoh dan ilustrasi yang mendukung kejelasan pemaparan materi pembelajaran;

- 4) menampilkan soal-soal latihan, tugas, dan sejenisnya yang memungkinkan pengguna memberikan respon dan mengukur tingkat penguasaannya;
 - 5) kontekstual yaitu materi-materi yang disajikan terkait dengan suasana atau konteks tugas dan lingkungan penggunanya;
 - 6) menggunakan bahasa yang sederhana dan komunikatif;
 - 7) terdapat rangkuman materi pembelajarannya;
 - 8) terdapat instrumen penilaian/assessment, yang memungkinkan pengguna diklat melakukan *self assessment*;
 - 9) terdapat instrumen yang dapat digunakan penggunanya mengukur atau mengevaluasi tingkat penguasaan materi;
 - 10) terdapat umpan balik atas penilaian, sehingga penggunanya mengetahui tingkat penguasaan materi; dan tersedia informasi tentang rujukan/pengayaan/referensi yang mendukung materi pembelajaran dimaksud.
- b. *Self Contained*; yaitu seluruh materi pembelajaran dari satu unit kompetensi atau sub kompetensi yang dipelajari terdapat di dalam satu modul secara utuh. Tujuan dari konsep ini adalah memberikan kesempatan pembelajar mempelajari materi pembelajaran yang tuntas, karena materi dikemas dalam satu kesatuan yang utuh. Jika harus dilakukan pembagian atau pemisahan materi dari satu unit kompetensi harus dilakukan dengan hati-hati dan memperhatikan keluasan kompetensi yang harus dikuasai.

- c. *Stand Alone* (berdiri sendiri); yaitu modul yang dikembangkan tidak tergantung pada media lain atau tidak harus digunakan bersama-sama dengan media pembelajaran lain. Dengan menggunakan modul, pembelajar tidak tergantung dan harus menggunakan media yang lain untuk mempelajari dan atau mengerjakan tugas pada modul tersebut.
- d. *Adaptive*; modul hendaknya memiliki daya adaptif yang tinggi terhadap perkembangan ilmu dan teknologi. Dikatakan adaptif jika modul dapat menyesuaikan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta fleksibel digunakan. Modul yang adaptif adalah jika isi materi pembelajaran dapat digunakan sampai dengan kurun waktu tertentu.
- e. *User Friendly*; modul hendaknya bersahabat dengan pemakainya. Setiap instruksi dan paparan informasi yang tampil bersifat membantu dan bersahabat dengan pemakainya, termasuk kemudahan pemakai dalam merespon, mengakses sesuai keinginan. Penggunaan bahasa yang sederhana, mudah dimengerti serta menggunakan istilah yang umum digunakan merupakan salah satu bentuk *user friendly*. Begitu pula penampilan gambar dan format penyajiannya disesuaikan dengan selera siswa.

Kelima karakteristik modul di atas menjadi acuan bagi penyusun modul dan tim validasi dalam menetapkan dan menilai apakah modul tersebut baik atau tidak.

Modul sebagai media cetak yang baik, penyusunan desain isi modul disesuaikan dengan standar isi dari Badan Standar Pendidikan Nasional (BSNP) sebagai berikut:

a. Tata Letak Isi

1) Tata Letak Konsisten

Dalam modul tata letak setiap unsur diusahakan tetap (konsisten), mulai dari judul, sub judul, dan jarak antar paragraf.

2) Tata Letak Harmonis

Di dalam modul setiap unsur diletakan sehingga menimbulkan keharmonisan dari tiap unsurnya. Contohnya: Bidang cetak dan margin proporsional, teks dan ilustrasi berdekatan, dan kesesuaian bentuk, warna, dan ukuran unsur tata letak.

3) Tata Letak Lengkap

Setiap kelengkapan tata letak dalam modul dilengkapi sesuai struktur penyusunan modul.

b. Tipografi Isi

1) Tipografi Sederhana

Tipografi sederhana lebih menekankan pada penggunaan huruf yang akan digunakan, mulai dari jenis dan variasinya. Contohnya: tidak menggunakan terlalu banyak jenis huruf, tidak menggunakan huruf hias/dekoratif, dan penggunaan variasi huruf (*bold, italic, all capital, and small capital*) tidak berlebihan.

2) Tipografi Mudah Dibaca

Tipografi sederhana mencakup kemudahan terbacanya isi modul yang dibuat, mulai dari ukuran, panjang baris kalimat, dan spasi baris susunan teks normal.

3) Tipografi Memudahkan Pemahaman

Tipografi disesuaikan agar tidak mengganggu peserta belajar dalam memahami isi materi, meliputi: hierarki judul-judul jelas dan konsisten, dan hierarki judul-judul proporsional.

c. Ilustrasi Isi

1) Konsep Ilustrasi Jelas

Ilustrasi yang digunakan jelas, dalam artian mampu mengungkapkan makna/arti dari objek, bentuk yang proporsional, bentuk akurat, dan realistik.

2) Ilustrasi Menimbulkan Daya Tarik

Penggunaan ilustrasi dalam modul sebaiknya dapat menimbulkan daya tarik dengan memenuhi unsur-unsur berikut: keseluruhan ilustrasi serasi, goresan garis tegas dan jelas, menggunakan konsep kreatif, penggunaan warna sesuai objek, dan dinamis.

Selain 2 komponen di atas, komponen berikutnya meliputi rincian berikut:

a. Kelayakan Isi

Komponen kelayakan isi ini diuraikan menjadi beberapa subkomponen atau indikator berikut:

- 1) Kesesuaian dengan SK dan KD mata pelajaran dan perkembangan anak.
- 2) Substansi keilmuan dan *life skills*.
- 3) Wawasan untuk maju dan berkembang.
- 4) Keberagaman nilai-nilai sosial.

b. Kebahasaan

Komponen kebahasaan ini diuraikan menjadi beberapa subkomponen atau indikator berikut:

- 1) Keterbacaan.
- 2) Kesesuaian dengan kaidah bahasa Indonesia yang baik dan benar.
- 3) Logika berbahasa.

2. Struktur Penulisan Modul

Penstrukturan modul bertujuan untuk memudahkan peserta belajar mempelajari materi. Suatu modul dibuat untuk mengajarkan suatu materi yang spesifik supaya peserta belajar mencapai kompetensi tertentu.

Struktur penulisan modul dibagi menjadi tiga bagian, yaitu bagian pembuka, inti, dan penutup seperti diuraikan berikut ini (Depdiknas, 2008):

BAGIAN PEMBUKA

a. Judul

Judul modul perlu menarik dan memberi gambaran tentang materi yang dibahas.

b. Daftar isi

Daftar isi menyajikan topik-topik yang dibahas.

c. Peta Informasi

Modul perlu menyajikan peta informasi. Pada peta informasi akan diperlihatkan kaitan antara topik-topik dalam modul.

d. Daftar Tujuan Kompetensi

Penulisan tujuan kompetensi membantu siswa untuk mengetahui pengetahuan, sikap, atau keterampilan apa yang dapat dikuasai setelah menyelesaikan pelajaran.

e. Tes Awal

Pre-tes bertujuan untuk memeriksa apakah pembelajar telah menguasai materi prasyarat untuk mempelajari modul.

BAGIAN INTI

a. Pendahuluan/Tinjauan Umum Materi

Pendahuluan pada suatu modul berfungsi untuk; (1) memberikan gambaran umum mengenai isi materi modul; (2) meyakinkan pembelajar bahwa materi yang akan dipelajari dapat bermanfaat bagi mereka; (3) meluruskan harapan pembelajar mengenai materi yang akan dipelajari; (4) mengaitkan materi yang telah dipelajari dengan

materi yang akan dipelajari; (5) memberikan petunjuk bagaimana mempelajari materi yang akan disajikan.

b. Hubungan dengan Materi atau Pelajaran Lain

Materi dalam modul sebaiknya lengkap, dalam arti semua materi yang perlu dipelajari tersedia dalam modul. Namun apabila tujuan kompetensi menghendaki siswa mempelajari materi untuk memperluas wawasan berdasarkan materi di luar modul maka siswa perlu diberi arahan materi apa, dari mana, dan bagaimana mengaksesnya.

c. Uraian Materi

Uraian materi merupakan penjelasan tentang materi pembelajaran yang disampaikan dalam modul. Organisasikan isi materi pembelajaran dengan urutan dan susunan yang sistematis. Apabila materi yang akan dituangkan cukup luas, maka dapat dikembangkan ke dalam beberapa kegiatan belajar. Setiap kegiatan belajar memuat uraian materi, penugasan, dan rangkuman. Adapun sistematikanya misalnya sebagai berikut:

Kegiatan Belajar 1

- 1) Tujuan/Kompetensi
- 2) Uraian Materi
- 3) Tes Formatif
- 4) Tugas
- 5) Rangkuman

Kegiatan Belajar 2

- 1) Tujuan/Kompetensi
- 2) Uraian Materi
- 3) Tes Formatif
- 4) Tugas
- 5) Rangkuman

Dan seterusnya

d. Penugasan

Penugasan dalam modul perlu untuk menegaskan kompetensi apa yang diharapkan setelah mempelajari modul.

e. Rangkuman

Rangkuman merupakan bagian dalam modul yang menelaah hal-hal pokok dalam modul yang telah dibahas. Rangkuman diletakkan pada bagian akhir modul.

BAGIAN PENUTUPa. *Glossary* atau daftar istilah

Glossary berisikan definisi-definisi konsep yang dibahas dalam modul. Definisi tersebut dibuat ringkas dengan tujuan untuk mengingat kembali konsep yang telah dipelajari.

b. Tes Akhir

Tes akhir merupakan latihan yang dapat siswa kerjakan setelah mempelajari suatu bagian dalam modul. Aturan umum untuk tes akhir

adalah bahwa tes tersebut dapat dikerjakan oleh siswa dalam waktu sekitar 20% dari waktu mempelajari modul.

c. Indeks

Indeks memuat istilah-istilah penting dalam modul serta halaman di mana istilah tersebut ditemukan. Indeks perlu diberikan dalam modul supaya siswa mudah menemukan topik yang ingin dipelajari. Indeks perlu mengandung kata kunci yang memungkinkan siswa dapat mencarinya.

C. Multi Representasi

1. Pengertian Multi Representasi

Kress dalam Abdurrahman, Apriliyawati, & Payudi (2008: 373)

menyatakan bahwa,

Secara naluriah manusia menyampaikan, menerima, dan menginterpretasikan maksud melalui berbagai penyampaian dan berbagai komunikasi. Baik dalam pembicaraan, bacaan, maupun tulisan. Oleh karena itu, peran representasi sangat penting dalam proses pengolahan informasi mengenai sesuatu.

Menurut Ainsworth (2008) multi representasi merupakan,

Suatu cara yang digunakan untuk memperlihatkan suatu materi ataupun konsep dengan cara yang berbeda-beda, baik itu melalui gambar, teks, diagram, persamaan, dan lain sebagainya.

Dari pendapat di atas dapat disimpulkan bahwa multi representasi adalah cara menyampaikan sesuatu dalam berbagai bentuk. Representasi ditampilkan siswa sebagai suatu model atau bentuk pengganti dari suatu situasi masalah yang digunakan untuk mencari solusi dari masalah.

Dengan adanya multi representasi diharapkan siswa lebih mudah memahami suatu konsep melalui format representasi yang disajikan. Khususnya pada mata pelajaran fisika, multi representasi ini akan membantu siswa memahami konsep fisika dan menyelesaikan masalah fisika.

Hal ini ditegaskan oleh Kohl, Rosengrant, dan Heuvelen (2007),

Good use of multiple representations is considered key to learning physics, and so there is considerable motivation both to learn how students use multiple representation when solving problems and to learn how best to teach problem solving using multiple representations.

Contoh representasi dalam fisika meliputi kata-kata, simbol matematika, grafik, ilustrasi (gambar), simulasi, dan sebagainya. Hal ini sama seperti diungkapkan oleh Rosengrant (2007):

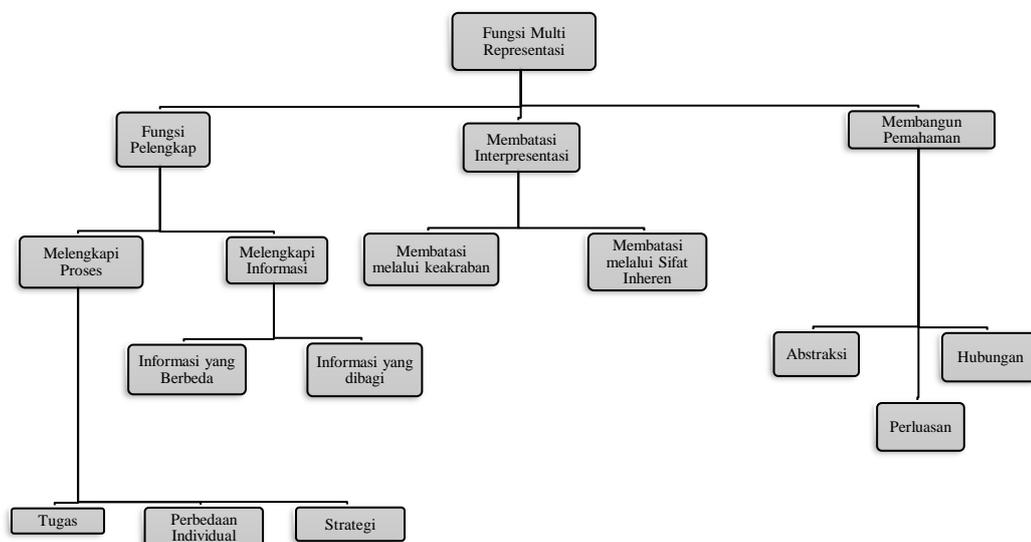
A representation is something that symbolizes or stands for object and or processes. Examples in physics include words, picture, diagrams, graphs, computer simulations, mathematical equations, etc.

Dalam multi representasi tujuan memecahkan soal fisika adalah merepresentasikan proses secara fisik melalui berbagai cara: verbal, gambar, diagram, grafik, dan persamaan matematik. Deskripsi verbal yang abstrak dihubungkan dengan representasi matematik yang abstrak oleh representasi gambar dan diagram fisik yang lebih intuitif. Dengan multi representasi akan terjadi pengolahan informasi internal dan eksternal untuk membangun suatu pemahaman yang lebih dalam mengenai suatu pengetahuan dengan menggabungkan berbagai format representasi yang berbeda yang digunakan sesuai dengan konteks permasalahan yang sedang dihadapi.

2. Fungsi Multi Representasi

Multi representasi memiliki tiga fungsi utama, yaitu sebagai pelengkap, pembatas interpretasi, dan pembangun pemahaman (Ainsworth, 1999).

Pertama, multi representasi digunakan untuk memberikan representasi yang berisi informasi pelengkap atau melengkapi proses kognitif. Kedua, satu representasi digunakan untuk membatasi kemungkinan kesalahan menginterpretasi representasi yang lain. Ketiga, dapat dipakai untuk mendorong siswa membangun pemahaman terhadap situasi secara mendalam. Ketiga fungsi tersebut dapat dibagi menjadi bagian-bagian lebih rinci, seperti pada Gambar 2.1 berikut:



Gambar 2.1. Fungsi Multi Representasi (diterjemahkan dari Ainsworth: 1999, 2006)

Beberapa alasan penting penggunaan multi representasi dalam pembelajaran adalah:

a. Kecerdasan majemuk

Siswa belajar menggunakan cara yang berbeda dan memiliki kecerdasan yang berbeda pula. Representasi yang berbeda yang cocok dengan gaya belajar yang berbeda dari setiap siswa memberikan kesempatan optimal untuk setiap jenis kecerdasan.

b. Visualisasi untuk otak

Kuantitas fisik dan konsep sering dapat dipahami lebih baik dengan menggunakan representasi nyata atau konkret.

c. Membantu membangun jenis lain dari representasi

Beberapa representasi konkret membantu dalam membangun representasi yang lebih abstrak.

d. Beberapa representasi yang berguna untuk penalaran kualitatif

Penalaran kualitatif sering dibantu dengan menggunakan representasi konkret.

e. Representasi matematik yang abstrak digunakan untuk penalaran

kuantitatif. Sebuah representasi matematis dapat digunakan untuk menemukan jawaban kuantitatif dalam suatu permasalahan.

Sesuai dengan karakteristik modul, yaitu *self instructional* memiliki kesamaan dengan fungsi pelengkap dalam multi representasi. Multi representasi memiliki fungsi sebagai pelengkap dalam memaparkan materi. Hal ini dapat digunakan sebagai pelengkap proses dan pelengkap

informasi. Secara langsung, multi representasi yang disajikan melengkapi karakteristik *self instructional* dalam modul.

Fungsi multi representasi sebagai pembangun pemahaman, dimana setiap siswa memiliki kecerdasan berbeda dalam menangkap representasi tertentu. Multi representasi membantu siswa menyesuaikan gaya belajarnya dengan representasi yang mudah dipahaminya. Ini akan membuat modul dapat digunakan dengan baik oleh siswa, sesuai dengan karakteristik modul yaitu *user friendly*.

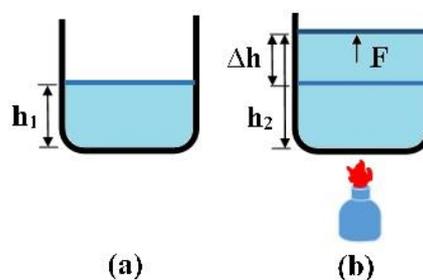
Setelah melakukan kajian pustaka sesuai yang telah dipaparkan di atas, maka akan disusun modul dengan materi termodinamika. Pada sub-sub materi termodinamika yang disampaikan, diawali dengan menggunakan ilustrasi gambar atau grafik, karena gambar dan grafik lebih nyata dan konkret dibandingkan verbal dan rumus matematika. Disusun demikian, bertujuan untuk membangun representasi nyata dan konkret terlebih dahulu kemudian diikuti dengan verbal dan persamaan matematika yang lebih abstrak. Susunan ini diharapkan akan membantu siswa untuk memahami konsep termodinamika.

D. Termodinamika

Termodinamika merupakan cabang ilmu fisika yang memusatkan perhatian pada energi (terutama energi panas) dan transformasinya. Transformasi energi pada termodinamika berdasarkan pada dua hukum, yaitu hukum pertama dan kedua termodinamika. Dalam hukum-hukum termodinamika kita perlu mendefinisikan terlebih dahulu mengenai sistem dan lingkungan. Sistem

adalah suatu benda atau keadaan yang menjadi pusat perhatian, sedangkan lingkungan adalah segala sesuatu di luar sistem yang mempengaruhi keadaan sistem secara langsung. Sistem dibedakan menjadi 3 macam, yaitu (1) sistem terbuka, jika antara sistem dan lingkungan memungkinkan terjadinya pertukaran energi dan materi, (2) sistem tertutup, jika yang terjadi hanya pertukaran energi, dan (3) sistem terisolasi, jika pertukaran energi maupun materi tidak mungkin terjadi.

1. Usaha



Gambar 2.2. Representasi Gambar Usaha Gas

Secara verbal dapat direpresentasikan seperti berikut:

Gambar 2.2 (a) : Suatu gas berada dalam bejana tertutup (ruang tertutup) dengan piston (penutup atas) yang dapat bebas bergerak, tinggi piston mula-mula adalah h_1 .

Gambar 2.2 (b) : Gas dalam bejana kemudian dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu, sehingga gas memuai dan mendorong piston mencapai ketinggian h_2 .

Jika luas penampang bejana atau luas penampang piston (tutup atas) adalah A , maka selama gas memuai gaya yang dilakukan oleh gas pada piston adalah:

$$P = \frac{F}{A} \quad , \text{ingat persamaan tekanan pada materi fluida}$$

$$F = P \cdot A$$

Usaha yang dilakukan oleh gas selama memuai:

$$W = F \cdot \Delta S$$

$W = F (h_2 - h_1)$, karena jarak dalam peristiwa ini adalah perubahan ketinggian.

$$W = P \cdot A (h_2 - h_1)$$

$$W = P \cdot A \Delta h \quad , A \Delta h = \Delta V$$

$$W = P \cdot \Delta V \dots\dots\dots (1)$$

Dengan W = Usaha

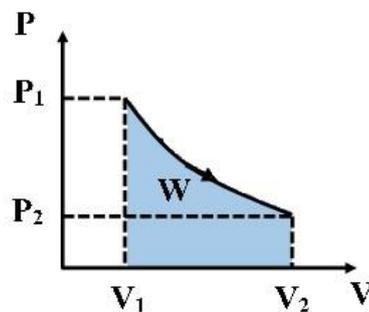
P = Tekanan

ΔV = Perubahan volum

Dari apa yang telah didapat di atas, dapat kita simpulkan bahwa usaha yang dilakukan oleh gas sebanding dengan tekanan dan perubahan volum.

2. Usaha pada Berbagai Proses Termodinamika

a) Proses Isotermal



Gambar 2.3. Representasi Grafik Proses Isotermal

Secara verbal dapat direpresentasikan seperti berikut:

- 1) Pada grafik di atas, dapat dilihat $P_1 \neq P_2$ atau dapat dikatakan terjadi perubahan tekanan (P) .
- 2) Dapat pula dilihat $V_1 \neq V_2$ atau dapat dikatakan terjadi perubahan volum (V).
- 3) Isotermal, termal identik dengan suhu, ini dapat kita ingat pada proses ini suhu (T) berada dalam keadaan konstan.

Pada keadaan ini, dapat kita gunakan persamaan gas ideal,

$$PV = nRT$$

$$P = \frac{nRT}{V} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan menggunakan persamaan usaha sebelumnya, dan memahami bahwa usaha juga merupakan luas daerah di bawah kurva maka,

$$W = P\Delta V$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV$$

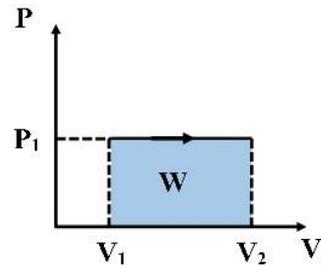
Karena nRT adalah konstanta maka dapat dikeluarkan,

$$W = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} \dots\dots\dots (3)$$

Dari penjelasan di atas, dapat kita simpulkan bahwa proses isothermal adalah proses dimana keadaan suhunya (T) tetap.

b) Proses Isobarik



Gambar 2.4. Representasi Grafik Proses Isobarik

Secara verbal dapat direpresentasikan seperti berikut:

- 1) Dari grafik, dapat dilihat bahwa $P_1 = P_2$, ini menandakan tidak terjadi perubahan tekanan (P) atau $P = \text{konstan}$.
- 2) Dari grafik, dapat dilihat bahwa $V_1 \neq V_2$, ini menandakan terjadinya perubahan volum (V).

Pada keadaan ini tidak perlu menggunakan persamaan gas ideal, karena P konstan, sehingga kita dapatkan persamaan usaha,

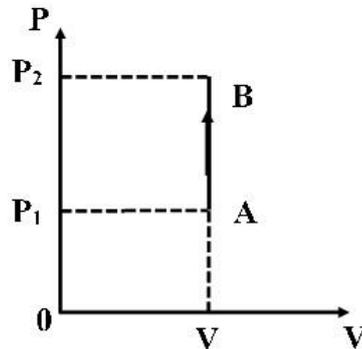
$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \, dV$$

$$W = P \int_{V_1}^{V_2} dV$$

$$W = P (V_2 - V_1) \dots \dots \dots (4)$$

Dari penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa pada proses isobarik tidak terjadi perubahan tekanan (P) atau $P = \text{konstan}$.

c) Proses Isokhorik



Gambar 2.5. Representasi Grafik Proses Isokhorik

Secara verbal dapat direpresentasikan seperti berikut:

- 1) Dari grafik, dapat kita lihat bahwa $P_2 \neq P_1$ atau keadaan tekanan (P) berubah.
- 2) Dari grafik, dapat kita lihat bahwa $V_1 = V_2$ atau keadaan volum (V) konstan.

Pada keadaan ini gunakan persamaan usaha yang didapat di awal,

$$W = P \cdot \Delta V$$

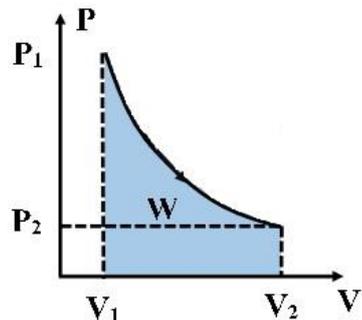
karena V konstan/tetap maka $\Delta V = 0$

$$W = P \cdot 0$$

$$W = 0 \dots\dots\dots (5)$$

Dari penjelasan di atas, dapat disimpulkan bahwa pada proses isokhorik tidak terjadi perubahan volum (V) atau $V = \text{konstan}$.

d) Proses Adiabatik



Gambar 2.6. Representasi Grafik Proses Adiabatik

Secara verbal dapat direpresentasikan seperti berikut:

- 1) Dari grafik dapat dilihat $P_1 \neq P_2$ atau dapat dikatakan terjadi perubahan tekanan (P).
- 2) Dari grafik, dapat dilihat $V_1 \neq V_2$ atau dapat dikatakan terjadi perubahan volum (V).
- 3) Pada proses ini terjadi perubahan suhu (T)
- 4) Pada proses ini tidak terjadi pertukaran kalor.

Dari penjelasan di atas, maka pada proses adiabatik memenuhi persamaan berikut,

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

$$T_1 V_1^{(\gamma-1)} = T_2 V_2^{(\gamma-1)}$$

Dengan $\gamma > 1$ yang merupakan hasil perbandingan kapasitas kalor pada tekanan konstan C_p dengan kapasitas kalor pada volum konstan C_v dan selanjutnya disebut konstanta *Laplace*.

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$

Karena sistem tidak menerima dan melepas kalor, maka usaha yang digunakan hanya untuk mengubah energi dalam,

$$PV^\gamma = k$$

$$P = \frac{k}{V^\gamma}$$

$$P = kV^{-\gamma}$$

Usaha yang dilakukan sistem,

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} kV^{-\gamma} dV$$

$$W = k \int_{V_1}^{V_2} V^{-\gamma} dV$$

$$W = \frac{k}{1-\gamma} (V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma})$$

Karena $P_1V_1^\gamma = k$, $P_2V_2^\gamma = k$, maka $kV_2^{1-\gamma} = P_2V_2$ dan

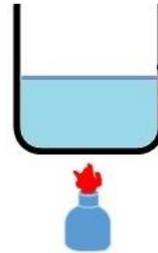
$kV_1^{1-\gamma} = P_1V_1$, sehingga diperoleh,

$$W = \frac{1}{1-\gamma} (P_2V_2 - P_1V_1) \dots\dots\dots (6)$$

Dari penjelasan di atas, dapat kita simpulkan bahwa pada proses isothermal tidak terjadi pertukaran kalor.

3. Hukum Pertama Termodinamika

a) Energi Dalam



Gambar 2.7. Representasi Gambar Energi Dalam Gas

Secara verbal dapat direpresentasikan seperti berikut:

- 1) Dari Gambar 2.7. di atas, kita perhatikan ketika sebuah bejana tertutup piston dan dipanaskan, maka akan ada beberapa perubahan yang terjadi, diantaranya:
 - a. Perubahan Volum
 - b. Perubahan Tekanan
 - c. Perubahan Suhu
- 2) Perubahan suhu (ΔT) ini menandakan adanya perubahan energi dalam (ΔU) dari gas tersebut.
- 3) Dapat disimpulkan, jika tidak ada perubahan suhu, maka tidak ada perubahan energi dalam ($\Delta T = 0$ maka $\Delta U = 0$)
- 4) Energi dalam (U) merupakan jumlah energi yang ada dalam proses (\bar{E}) dari seluruh molekul gas yang dipanaskan.

Perhatikan penjelasan no. 4, jika terdapat n molekul gas, maka energi dalam (U) merupakan hasil perkalian n dengan \bar{E} . Dapat dituliskan secara matematis sebagai:

$$U = n\bar{E} = nf \left(\frac{1}{2} R\Delta T \right) \dots\dots\dots (7)$$

Dengan f adalah derajat kebebasan.

Energi dalam gas, sesuai derajat kebebasannya adalah sebagai berikut:

- a. Gas monoatomik ($f = 3$) seperti He, Ne, dan Ar

$$\text{maka } U = \frac{3}{2} nR\Delta T$$

- b. Gas diatomik seperti H₂, O₂, dan N₂

Pada suhu rendah ($T = \pm 250 \text{ K}$), $f = 3$

$$\text{maka } U = \frac{3}{2} nR\Delta T$$

Pada suhu sedang ($T = \pm 500 \text{ K}$), $f = 5$

$$\text{maka } U = \frac{5}{2} nR\Delta T$$

Pada suhu tinggi ($T = \pm 1000 \text{ K}$), $f = 7$

$$\text{maka } U = \frac{7}{2} nR\Delta T$$

Kembali perhatikan Gambar 3.1, berdasarkan hukum pertama termodinamika, panas yang diterima (Q) akan digunakan untuk menaikkan energi dalam (ΔU) dan melakukan usaha (W), dapat kita lihat sesuai persamaan berikut:

$$Q = \Delta U + W \dots\dots\dots (8)$$

Maka untuk setiap proses termal yang sudah kita pelajari sebelumnya, dapat diperoleh:

1) Isotermal

$$Q = \Delta U + W$$

Ingat proses isotermal adalah suhu tetap, $\Delta T = 0$ maka $\Delta U = 0$

$$Q = 0 + W$$

$$Q = W$$

2) Isobarik

$$Q = \Delta U + W$$

Karena pada proses isobarik tidak ada nilai yang bernilai nol (0) maka persamaan matematikanya tetap.

3) Isokhorik

$$Q = \Delta U + W$$

Diketahui pada proses isokhorik, tidak terjadi perubahan volum sehingga $W = 0$, maka:

$$Q = \Delta U + 0$$

$$Q = \Delta U$$

4) Adiabatik

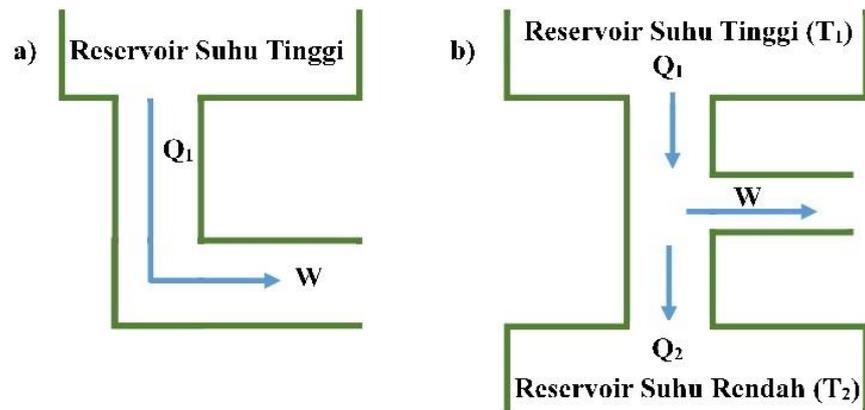
$$Q = \Delta U + W$$

Dikethui pada proses adiabatik tidak terjadi perpindahan kalor ($Q=0$), maka:

$$0 = \Delta U + W$$

$$W = -\Delta U$$

4. Hukum II Termodinamika



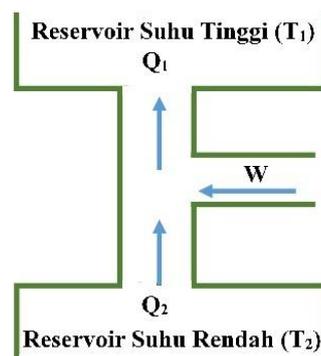
Gambar 2.8. Representasi Gambar Hubungan Kalor dan Usaha Menurut Planck

Secara verbal dapat direpresentasikan seperti berikut:

- 1) Gambar 2.8. (a) adalah proses yang tidak mungkin terjadi
- 2) Gambar 2.8. (b) adalah proses yang mungkin terjadi

Kedua di atas sesuai dengan pernyataan Kelvin Planck berikut:

Tidak mungkin membuat mesin yang bekerja dalam suatu siklus dan menghasilkan seluruh kalor yang diserapnya menjadi usaha



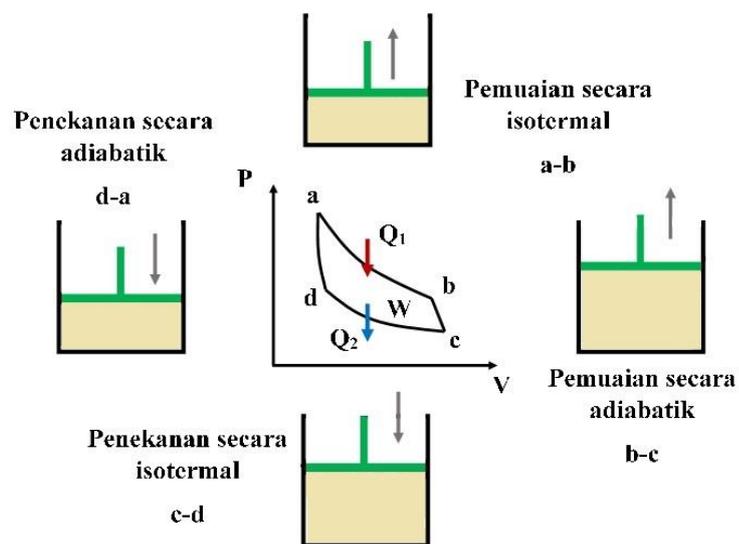
Gambar 2.9. Representasi Gambar Hubungan Kalor dan Usaha Menurut Clausius

Secara verbal dapat direpresentasikan seperti berikut:

Keadaan di atas sesuai dengan pernyataan Clausius berikut: kalor tidak dapat berpindah dari benda bersuhu rendah ke benda bersuhu tinggi tanpa adanya usaha luar yang diberikan kepada sistem.

5. Rangkaian Proses Termodinamika

a) Siklus Carnot



Gambar 2.10. Representasi Gambar Siklus Carnot

Secara verbal dapat direpresentasikan seperti berikut:

- 1) Gambar 2.10. Sistem di atas menyerap kalor dari lingkungan untuk menghasilkan usaha. Bila sistem melakukan rangkaian proses, maka usaha yang dihasilkan adalah jumlah usaha dari beberapa proses yang dilakukan. Bila proses itu dapat kembali ke posisi awal dikatakan sistem tersebut melakukan siklus.
- 2) Siklus di atas disebut siklus Carnot.
- 3) Proses a-b adalah proses pemuaiian secara isothermal

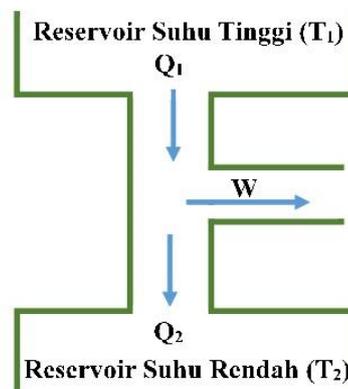
- 4) Proses b-c adalah proses pemuaian secara adiabatik
- 5) Proses c-d adalah proses penekanan secara isothermal
- 6) Proses d-a adalah proses penekanan secara adiabatik

Bila suatu sistem menyerap kalor Q_1 dan melakukan usaha W dengan melepaskan kalor Q_2 , maka:

$$Q_1 = W + Q_2$$

$$W = Q_1 - Q_2 \dots\dots\dots (9)$$

b) Efisiensi Mesin Kalor



Gambar 2.11. Representasi Gambar Mesin Kalor

Secara verbal dapat direpresentasikan seperti berikut:

- 1) Sesuai dengan pernyataan Planck bahwa kalor yang diterima (Q_1) tidak seluruhnya diubah menjadi usaha (W), akan tetapi sebagian dikeluarkan berupa kalor yang dibuang (Q_2).
- 2) Efisiensi mesin kalor maksimum akan sama dengan efisiensi mesin Carnot.

Efisiensi adalah persentase besarnya usaha yang dihasilkan (W) dari banyaknya kalor yang diterima (Q_1). Dari pernyataan tersebut, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{W}{Q_1}$$

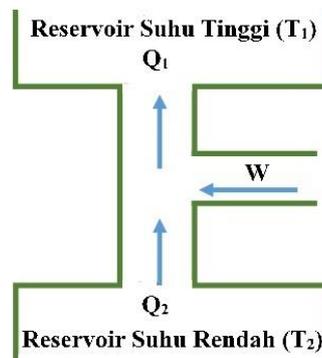
$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_1} - \frac{Q_2}{Q_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \quad ; \quad \frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \dots\dots\dots (10)$$

c) Mesin Pendingin



Gambar 2.12. Representasi Gambar Mesin Pendingin

Secara verbal dapat direpresentasikan seperti berikut:

- 1) Gambar 2.12. sesuai dengan pernyataan Clausius bahwa kalor tidak dapat berpindah dari benda bersuhu rendah ke benda bersuhu tinggi tanpa adanya usaha luar yang diberikan kepada sistem.
- 2) Kalor dapat dipaksa mengalir dari benda dingin ke benda panas dengan melakukan usaha pada sistem. Contohnya: lemari es dan pendingin ruangan.

- 3) Perhatikan Gambar 2.12. dengan menerima usaha (W) pada sistem (pendingin), sejumlah kalor (Q_2) diambil dari reservoir rendah (T_2) (misalnya dari dalam lemari es). Kemudian, sejumlah kalor (Q_1) dibuang ke reservoir bersuhu tinggi (T_1) (misalnya, lingkungan di sekitar lemari es)

Ukuran kemampuan mesin pendingin dinyatakan sebagai koefisien daya guna (koefisien performansi) yang dilambangkan K_P dan dirumuskan dengan persamaan:

$$K_P = \frac{Q_2}{W}$$

Karena usaha yang dinyatakan pada mesin pendingin tersebut adalah $W = Q_1 - Q_2$, persamaan di atas menjadi:

$$K_P = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

Jika gas yang digunakan dalam sistem adalah gas ideal, maka persamaan tersebut menjadi

$$K_P = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \dots\dots\dots (11)$$

Semakin tinggi nilai K_P , semakin baik mesin pendingin tersebut.