

**1. JUDUL : DIAGNOSA KESULITAN BELAJAR MAHASISWA PADA MATA KULIAH TERMODINAMIKA DITINJAU DARI KEMAMPUAN MENAFSIRKAN GRAFIK, PENGUASAAN DIFERENSIAL PARSIAL, PEMAHAMAN KONSEP DAN PENERAPANNYA**  
*(Penelitian Tindakan Berbasis Kelas yang berorientasi pada inovasi-inovasi pembelajaran yang melibatkan utilisasi peralatan baru JICA dan PGSM dengan pendekatan teknik)*

**2. PENDAHULUAN**

**2.1 Latar belakang masalah**

Perjuangan panjang yang memakan waktu hampir 10 tahun yang dilakukan oleh staf Dosen di lingkungan FPMIPA UPI untuk bekerjasama dengan proyek JICA ( Japan International Cooperation Agency) dari Jepang kini telah membuahkan hasil. Sejumlah alat-alat praktikum maupun untuk demonstrasi telah diterima oleh 4 Jurusan yang ada di FPMIPA UPI. Hibah yang diberikan pemerintah Jepang itu tiada lain adalah untuk meningkatkan mutu hasil belajar MIPA. Oleh karena itu dengan adanya bantuan tersebut maka fasilitas untuk mengembangkan inovasi-inovasi pembelajaran di lingkungan FPMIPA UPI menjadi sangat terbuka.

Sebagai dosen mata kuliah Termodinamika yang telah mengajar mata kuliah tersebut selama 4 tahun, kami sering mengamati bahwa umumnya mahasiswa yang mengikuti perkuliahan Termodinamika sering mengalami kesulitan *dalam menafsirkan grafik, penguasaan diferensial parsial dan interpretasi fisisnya, memahami konsep-konsep termodinamika dan tidak mengetahui aplikasi konsep-konsep termodinamika dalam kehidupan sehari-hari dan dalam teknologi*, sehingga materi termodinamika seakan-akan terpisah dari kehidupan nyata. Kebiasaan belajar fisika ketika mereka masih menduduki bangku SMU yang berorientasi pada ‘rumus-rumus jadi’ dan pembahasan soal-soal secara langsung tanpa menghiraukan pemahaman konsep-konsepnya, merupakan kendala utama mereka sehingga mereka sulit beradaptasi pada cara pembelajaran di Perguruan Tinggi.

Diperparah lagi dengan cara pembelajaran fisika di SMU yang hanya mengandalkan buku dan kapur tulis, sehingga pembelajaran fisika menjadi “melangit” dan jauh dari kehidupan nyata karena pembelajarannya hanya informatif saja. Hal ini dapat dilihat dari data berikut ini. Berdasarkan data hasil penelitian dari Pusat Kurikulum ( PUSKUR), bahwa muatan kurikulum fisika SMU memiliki prosentase sub topik yang secara eksplisit mencerminkan penerimaan lebih maju yang lebih besar, yaitu 57 % ( kelas I), 38 % (kelas II), dan 42 % (kelas III). Dalam implementasinya, kegiatan belajar mengajar tidak terlaksana sebagaimana mestinya, hal ini disebabkan bahwa baik siswa ( 83,3%) maupun guru ( 80,6%) beranggapan bahwa metode ceramah dengan guru menulis dipapan tulis merupakan metode yang paling sering digunakan,

diikuti dengan metode latihan (80,6 % guru dan 77,5 % siswa), pemecahan masalah (45,2 % guru dan 42,9% siswa) dan tanya jawab (64,5% guru dan 35,8% siswa). Menarik untuk dicermati bahwa siswa cenderung menyatakan negatif mengenai pendekatan pembelajaran melalui demonstrasi dan eksperimen (hanya 5% dan 10% yang menyatakan sering) dibanding guru (38,7% dan 25,8%). Tetapi dari data ini terungkap bahwa hanya sekitar 34,7 % siswa yang merasa kebingungan dan tidak mampu mengembangkan diri. Berarti sekitar 65,3% merasa dapat mengembangkan diri. Hal ini tergantung proses pembelajarannya.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Pusat Kurikulum (PUSKUR) secara nasional, terungkap bahwa metode belajar mengajar atau pendekatan yang dipakai oleh Guru dan dilaporkan oleh guru dan siswa, dapat dilihat pada Tabel 1 berikut ini :

**Tabel 2**

Responden Metode/ Pendekatan	Guru ( 31 orang )			Siswa ( 240 orang )		
	Sering	Kadang- Kadang	Jarang/tak pernah	Sering	Kadang- Kadang	Jarang/ Tak pernah
Ceramah	80,6%	16,1%	0	83,3%	11,7%	5,4%
Tanya Jawab	64,5%	9,7%	0	35,8%	11,3%	0,4%
Demonstrasi	38,7%	58,1%	0	5%	26,3%	64,2%
Latihan	80,6%	12,9%	22,6%	77,5%	7,9%	0,8%
Menulis Kreatif	6,5%	45,2%	3,2%	3,3%	15,8%	26,3%
Diskusi kelompok	38,7%	58,1%	6,5%	27,5%	53,8%	16,7%
Percobaan	25,8%	61,3%	12,9%	10%	44,6%	42,1%
Memecahkan Masalah	45,2%	35,5%	32,3%	42,9%	40%	12,9%

Dari tabel 2 jelas terungkap bahwa baik guru maupun siswa beranggapan ceramah dan menulis di papan tulis merupakan metode yang paling sering digunakan, diikuti dengan metode latihan, pemecahan masalah dan tanya jawab. Menarik untuk dicermati bahwa siswa cenderung menyatakan negatif mengenai pendekatan pembelajaran melalui demonstrasi dan eksperimen. Kebiasaan seperti ini terbawa terus oleh mahasiswa walaupun di tahun pertama sudah memperoleh perkuliahan fisika dasar I dan II. Untuk menghilangkan kebiasaan ini diperlukan proses yang panjang. Sehingga Dosen-Dosen di Perguruan Tinggi mempunyai kewajiban moral untuk merubahnya.

Matakuliah termodinamika merupakan matakuliah siklus kedua yang berperan *untuk meningkatkan pemahaman mahasiswa pada fisika dasar dan untuk membekali mahasiswa mengikuti matakuliah yang ada di siklus ketiga* baik pada struktur kurikulum pendidikan fisika maupun program fisika, terutama perkuliahan fisika statistik dan seminar fisika. Sehingga termodinamika sebagai salah satu sosok fisika yang memberikan deskripsi keadaan makroskopis sangat penting memformulasikan deskripsi keadaan mikroskopis.

Namun demikian tujuan dari matakuliah termodinamika seperti yang tertuang dalam deskripsi matakuliah tersebut diatas belum seperti yang diharapkan. Hal ini

terlihat dari data hasil belajar mahasiswa yang mengikuti perkuliahan termodinamika 3 tahun terakhir, baik secara kualitatif maupun kuantitatif pada tabel berikut ini :

**Tabel 2**  
**Data Kelulusan Matakuliah Termodinamika**  
**3 Tahun Terakhir di Jurusan Pendidikan Fisika**  
**FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia**

No	Tahun Ajaran	Semester	Jumlah Peserta Kuliah	Jumlah Mahasiswa yang lulus dengan Nilai			
				A	B	C	E
1.	1998/1999	2	96	2	14	37	43
2.	1997/1998	2	87	4	9	40	34
3.	1997/1998	1	41	3	7	14	17
4.	1996/1997	2	68	5	7	21	35
5.	1996/1997	1	36	2	5	16	13
6.	1995/1996	2	52	3	4	13	32

Data diatas memberikan isyarat bahwa perlunya pengungkapan yang mendalam tentang berbagai faktor yang mempengaruhi ketidاكلulusan mahasiswa pada mata kuliah termodinamika. Banyak faktor yang mempengaruhi kuantitas dan kualitas kelulusan mahasiswa pada perkuliahan termodinamika, yaitu : Perencanaan perkuliahan, penyajian materi, pemberian motivasi, evaluasi, umpan balik, tindak lanjut, dan lain sebagainya. Pada penelitian ini kami akan memprioritaskan pada faktor penyajian materi perkuliahan dengan penekanan pada *penafsiran grafik-grafik, penguasaan konsep diferensial parsial serta interpretasi fisisnya, penguasaan konsep-konsep termodinamika dan penerapannya dengan pendekatan teknik melalui penelitian tindakan berbasis kelas*, sehingga diharapkan melalui tindakan berbasis kelas yang dibantu dengan alat-alat peraga kiriman proyek JICA dan PGSM ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas maupun kuantitas kelulusan termodinamika.

Mengingat dalam matakuliah termodinamika banyak konsep-konsep essensial yang diperlukan sebagai prasyarat untuk mempelajari fisika lanjut, maka usaha-usaha untuk meningkatkan penguasaan terhadap konsep-konsep dan prinsip-prinsip termodinamika untuk memudahkan pemahaman pada fisika lanjut sangat mendesak untuk dilakukan. Salah satu usaha yang akan diupayakan adalah memperbaiki berbagai aspek proses pembelajaran dalam perkuliahan termodinamika melalui penelitian ini

## 2.2 Identifikasi Masalah

Dari pengalaman kami selama mengajar matakuliah termodinamika umumnya mahasiswa peserta matakuliah tersebut mengalami kesulitan dalam hal-hal sebagai berikut :

1. Termodinamika adalah ilmu yang mempelajari perilaku zat dibawah kontrol suhu. Keadaan zat dalam kesetimbangan termodinamik dapat digambarkan oleh persamaan keadaannya. Persamaan keadaan adalah persamaan yang menyatakan cara berhubungannya koordinat-koordinat termodinamika atau

variabel sistem. Perubahan satu variabel sistem dapat mempengaruhi variabel sistem yang lain. Untuk mengkuantitatifkan perubahan infinit pada sistem diperlukan *penguasaan diferensial parsial*, terutama tafsiran-tafsiran fisis tentang diferensial eksak dan tak eksak, bagaimana cara mencari persamaan keadaan suatu sistem, bagaimana membedakan besaran fisika yang merupakan fungsi keadaan dan bukan fungsi keadaan, perumusan-perumusan termodinamika secara lengkap dari Maxwell dan sebagainya. Dalam hal inilah umumnya mahasiswa mengalami kesulitan belajar. Sehingga penulis akan merancang *program matematika khusus untuk termodinamika, yang mengacu pada Buku yang berjudul Matematika Untuk Teknik yang ditulis oleh K.A Stroud*. Yang akan ditiru dari buku ini adalah teknik penyajian materinya yang menggunakan sistem bingkai dengan bahasa moduler.

- 2. Tafsiran-tafsiran fisis dari representasi grafis tentang segala proses yang terjadi pada sistem**, misalnya proses isokhorik, isotermik, isobarik, adiabatik dan isentropik umumnya direpresentasikan dalam diagram P-V, P-T, V-T, dan T-S. Ini merupakan dasar untuk memahami macam-macam siklus. Begitu pula tentang gambaran grafis keadaan sistem, diagram P-V-T gas, keadaan agregasi atau fase zat murni, dan sebagainya. Hal ini sulit untuk difahami bila pembelajarannya hanya bersifat informatif saja. Sehingga perlu dirancang *pembelajaran yang menekankan pada pemahaman grafik yang menggunakan data nyata dari eksperimen*.
- 3. Termodinamika untuk program S-1** dibatasi hanya untuk sistem-sistem setimbang, sehingga banyak batasannya, misalkan proses harus berjalan kuasistatik, reversibel, non disipatif, dan sebagainya. Misalkan interaksi antara sistem dan lingkungan baik interaksi usaha, kalor, maupun massa harus berjalan kuasistatik, maka diperlukan syarat-syarat praktis dan teoritis agar keadaan tersebut tercapai. *Umumnya mahasiswa kesulitan dalam memahami hukum-hukum dan prinsip-prinsip termodinamika dengan pembatasan-pembatasan tersebut*, sehingga perlu dirancang pembelajaran yang inovatif untuk mengatasi persoalan tersebut. Misalkan suatu sistem menerima kalor dan sistem tersebut mengalami perubahan suhu, bagaimana membayangkan perubahan suhu yang kuasistatik.
- 4. Mahasiswa tidak akan termotivasi untuk mempelajari sesuatu secara serius, bila manfaat dari apa yang dipelajarinya itu tidak terlihat**. Dalam termodinamika mereka belajar tentang hukum-hukum termodinamika. Misalkan mereka mempelajari hukum ke-nol tentang kesetimbangan termal, jika pembelajarannya sampai pada perancangan alat ukur suhu dengan menggunakan thermometric property pada saat menjelaskan hukum ke-nol tersebut, maka mahasiswa tidak akan mengalami kesulitan dalam hal tersebut. Begitu pula untuk hukum-hukum termodinamika yang lainnya. Dalam hal ini penulis diilhami oleh sebuah buku termodinamika terbaru yang berjudul : *Thermodynamics An Engineering Approach, Second Edition, Yunus A.Cengel, Michael A. Boles (1999)*. Dalam buku ini semua konsep-konsep termodinamika disertai dengan terapannya dalam kehidupan sehari-hari dan dalam teknologi. Dalam penelitian ini akan dicobakan proses pembelajaran yang mengacu pada buku termodinamika tersebut.

Sebagai ilustrasi, sedikit penulis ungkapkan tentang bagaimana mudahnya memahami siklus Otto pada buku termodinamika dengan pendekatan teknik yang dikarang oleh *Yunus A.Cengel dan Michael A. Boles*. Pada motor bakar, bensin di dalam ruang bakar dibakar sehingga gas yang terjadi akibat pembakaran tadi mengandung tenaga panas (kalor) dimana *temperatur* dan *tekanannya* tinggi. Gas yang panas ini mengembang atau memuai dan menekan atau mendorong piston. Gerak dari piston yang lurus itu diteruskan melalui batang penggerak ke crank-shaft (poros engkol) yang berubah menjadi gerak putar. Motor bakar semacam itu disebut *motor bakar model piston* atau *motor bolak-balik*.

Campuran antara bensin dan udara dihisap kedalam silinder, ditekan kemudian dibakar. Pembakaran gas tersebut menimbulkan panas yang memungkinkan gas itu mengembang dan menekan gas sisa pembakaran sebelumnya keluar. Selanjutnya gas campuran itu dihisap, ditekan, dibakar, mengembang lalu dibuang. Hal ini berlangsung berulang-ulang. Proses inilah yang merupakan prinsip pokok kerja dari suatu motor bakar tiap satu kali proses yakni : hisap, tekan, bakar, pengembangan dan pembuangan disebut satu siklus (cycle). Satu siklus = dua putaran crankshaft (*untuk mesin 4 tak*)

Piston bergerak didalam silinder diantara bagian atas silinder dan bagian bawah silinder. Bagian atas silinder disebut *titik mati atas (TMA)* dan bagian bawah silinder disebut *titik mati bawah (TMB)*. Panjang atau jarak gerak piston dari titik mati atas sampai titik mati bawah disebut *jarak langkah gerak piston* atau dengan istilah asing disebut *stroke*.

Mesin disebut 4 tak apabila gerakkan piston dalam satu siklus meliputi :

- Piston bergerak dari TMA ke TMB (langkah penghisapan)
- Piston bergerak dari TMB ke TMA (langkah kompresi)
- Piston bergerak dari TMA ke TMB (langkah pengembangan/ langkah kerja)
- Piston bergerak dari TMB ke TMA (langkah pembuangan)

Jadi piston itu mengadakan 4 langkah gerakkan dalam satu siklus dan dua putaran crankshaft (poros engkol).

Selanjutnya kita bahas lebih detail tentang mesin 4 tak, yaitu sebagai berikut :

#### **a. Langkah penghisapan**

Pada waktu piston mulai bergerak dari TMA maka klep masuk membuka. Kemudian campuran antara bahan bakar dan udara yang telah dicampur didalam karburator masuk dan dihisap kedalam silinder. Ketika piston berada pada posisi TMB maka klep masuk akan menutup kembali.

#### **b. Langkah kompresi (Penekanan)**

Selanjutnya pada waktu piston bergerak dari TMB menuju TMA, klep masuk dan klep buang tertutup sehingga gas yang telah dihisap kedalam silinder tidak dapat keluar pada waktu ditekan oleh piston yang mengakibatkan tekanan gas ini akan mencapai tekanan optimum. Beberapa saat piston sebelum mencapai TMA gas yang telah mencapai tekanan optimum itu dinyalakan atau dibakar oleh bunga api listrik dari busi.

#### **c. Langkah Pengembangan/kerja**

Gas-gas hasil pembakaran tadi yang mempunyai suhu dan tekanan tinggi akan mengembang menekan piston kebawah, sehingga dengan tenaga yang kuat sekali piston ditekan dan dipaksa menuju TMB. Pada saat inilah pertama kali tenaga panas (kalor)

diubah menjadi tenaga mekanis ( tenaga mesin ). Tenaga ini kemudian disalurkan melalui batang-batang penggerak dan oleh crankshaft diubah menjadi tenaga putar. Pada langkah ini klep masuk dan klep buang dalam keadaan tertutup.

#### **d. Langkah Pembuangan**

Pada saat piston mulai bergerak dari TMB ke TMA klep buang membuka dan sisa-sisa pembakaran tertekan oleh piston keluar melalui klep buang menuju udara bebas. Dengan terbuangnya gas sisa pembakaran itu maka kerja keempat langkah mesin 4 tak selesai untuk satu siklus.

Demikian pula terapan-terapan untuk konsep-konsep termodinamika yang lainnya, dalam buku tersebut diberikan contoh-contoh nyatanya dalam kehidupan sehari-hari dan dalam teknologi. Disamping itu pula penulis juga mempunyai pengalaman dalam bidang otomotif, sehingga lebih mudah menjelaskannya.

### **2.3 Perumusan Masalah**

Berdasarkan masalah yang telah diidentifikasi diatas, maka masalah dalam penelitian tindakan berbasis kelas ini dapat dirumuskan sebagai berikut : ***Bagaimana mendiagnosa kesulitan belajar mahasiswa pada matakuliah Termodinamika ditinjau dari kemampuan menafsirkan grafik, penguasaan diferensial parsial, pemahaman konsep dan penerapannya melalui penelitian tindakan berbasis kelas yang berorientasi pada inovasi-inovasi pembelajaran yang melibatkan utilisasi peralatan baru JICA dan PGSM dengan pendekatan teknik***

### **2.4 Tujuan dan Kegunaan Penelitian**

Hasil yang diharapkan dari penelitian tindakan ini dibagi menjadi empat kelompok, yaitu :

1. Peningkatan keahlian dosen dalam memperbaiki kemampuan mahasiswa tentang penafsiran grafik-grafik, penguasaan konsep diferensial parsial serta interpretasi fisisnya, penguasaan konsep-konsep termodinamika dan penerapannya.
2. Perbaikan bahan ajar termodinamika dan proses belajar mengajarnya. Di akhir penelitian tindakan ini akan dirancang dua macam modul, yaitu yang pertama ***modul matematika khusus untuk termodinamika*** dan yang kedua ***modul termodinamika dengan pendekatan teknik***.
3. Meningkatkan hasil belajar mahasiswa pada mata kuliah termodinamika, baik secara kuantitatif maupun kualitatif.
4. Perbaikan isi matakuliah MKPBM dan MKDK bagi mahasiswa Universitas Pendidikan Indonesia ( UPI).

## **3. Kerangka Teoritis dan Hipotesa Penelitian Tindakan**

### **3.1 Pengertian Grafik**

Grafik secara sederhana adalah gambar yang terdiri dari titik-titik dan garis yang menghubungkan titik-titik tersebut. Pengertian sederhana tentang grafik tersebut diungkapkan oleh Wai & Kaicher (1976 : 1) menyatakan : “ ***The graphs that we are about to discuss of point ( nodes) and lines ( edges) which connect some of these points.*** Sedangkan Wilson ( 1998:8) mengungkapkan bahwa grafik adalah garis horizontal dan vertikal yang menghubungkan antara dua titik.

Pengertian grafik yang lain diungkapkan oleh Selby ( 1979:13) dengan menyatakan bahwa grafik adalah alat bantu untuk mengungkapkan dua macam data atau lebih. Sementara itu Herbert ( 1986:132) memberikan pengertian bahwa :” *The graphs is a series of points, each corresponding to abscissa and ordinate defined by the arguments and function values expressed in a table.* Pengertian-pengertian grafik tersebut dilengkapi oleh Harper ( 1988:42) dengan menyatakan bahwa grafik adalah alat untuk menampilkan data berupa garis atau kurva yang menghubungkan suatu variabel dengan variabel yang lain.

### 3.2 Fungsi Grafik

Grafik mempunyai fungsi yang begitu luas, pada berbagai cabang ilmu dengan berbagai tujuan. Hal tersebut diakui oleh beberapa ahli seperti yang dikemukakan berikut ini.

Sudarso ( 1988:102 ) mengungkapkan bahwa grafik sebagai salah satu alat visual untuk menampilkan data mempunyai fungsi untuk membantu mempermudah dan memperjelas ide pokok dari data yang disampaikan. Selain itu grafik dapat menyajikan data yang banyak dalam bentuk yang sederhana.

Sedangkan Selby (1979:1) menekankan fungsi grafik pada berbagai cabang ilmu, seperti yang dikatakannya “*with the growing use of graphs and tables to summarise data from every branch of science, industry, business, and government*”. Dengan demikian pada dasarnya semua orang memerlukan dan menggunakan grafik untuk membantu mereka dalam menampilkan data.

Dalam sains fungsi grafik lebih terasa lagi. Hal ini diakui oleh Subianto ( 1988:116) dengan mengatakan bahwa “*grafik merupakan alat komunikasi yang sering digunakan dalam ilmu alam* “. Khusus dalam ilmu fisika, sebagai salah satu cabang ilmu alam, Selby (1979 :10) menegaskan “... *in fact, all the physical sciences routinely plot data on various types at graph grid to simplify information display* “.

Pentingnya grafik dalam fisika juga dikemukakan oleh Wai & Kaicher ( 1976:1) sebagai berikut :” *Graphs have been found extremely useful in modeling system arising in physical sciences*”.

Terdapat beberapa alasan digunakannya grafik pada berbagai cabang ilmu termasuk fisika, diantaranya dikemukakan oleh Selby(1979:40) sebagai berikut :

1. Grafik cepat memberikan informasi karena dapat menunjukkan bagian penting dalam waktu yang singkat.
2. Grafik dapat menampilkan lebih banyak titik berat dibandingkan alat presentasi data lainnya seperti teks atau tabel.
3. Grafik lebih menarik daripada teks atau tabel karena lebih mudah diamati dan dimengerti.
4. Grafik padat karena dapat memuat banyak informasi dalam tempat atau bidang yang relatif kecil.
5. Grafik dapat digunakan untuk meramalkan data yang tidak diperoleh dari eksperimen atau fakta dengan cara ekstrapolasi.

Dari berbagai pendapat para ahli tersebut dapat disimpulkan bahwa fungsi grafik yang utama adalah untuk membantu memperjelas presentasi data pada berbagai cabang ilmu termasuk ilmu fisika.

### 3.3 Jenis-jenis grafik

Terdapat bermacam-macam jenis grafik dan berbagai cara mengklasifikasikannya. Namun demikian, disesuaikan dengan tujuan penelitian, maka yang dikemukakan disini adalah jenis-jenis grafik yang dinyatakan dari uraian Selby ( 1979:21-27) ,yaitu :

1. Line graphs (grafik garis), yang terdiri dari : Straight line ( garis lurus), curvilinear( Kurva linier), Zigzag, dan step ( tangga).
2. Surface graphs ( Grafik bidang ), yang terdiri dari : Simple zigzag (zigzag sederhana), simple step ( tangga sederhana), dan subdivided zigzag ( zigzag bertingkat atau berlapis).
3. Special graphs (grafik khusus), yang terdiri dari : Grafik kombinasi (grafik bidang dan tangga, grafik batang dan tangga) dan grafik lain ( piktograf, histogram, grafik lingkaran).
4. Bar graphs ( grafik batang ), yang terdiri dari : Grafik batang vertikal dan grafik batang horizontal.

Sedangkan Levens ( 1962:238-248) dan Cameron ( 1970: 5-11) mengungkapkan jenis grafik yang sering digunakan dalam sains adalah *grafik polar, grafik trilinear, bagan alir, grafik koordinat kartesius, dan homogram.*

### 3.4 Grafik dalam fisika khususnya termodinamika

Fisika tak dapat digambarkan tanpa bahasa ilmiah, salah satu bahasa ilmiah yang tepat digunakan untuk fisika adalah matematika ( Druxes,1986:33). Brochaus ( dalam Druxes,1986:35) mengemukakan bahwa fisika adalah pelajaran tentang kejadian alam yang memungkinkan untuk diteliti dengan percobaan, diadakan pengukuran apa yang diperoleh dan disajikan secara matematika. Produk matematika dalam fisika tidak hanya dalam bentuk persamaan (rumus-rumus), tetapi produk matematika yang lazim dipergunakan adalah grafik.

Salah satu bagian ilmu fisika yang banyak menggunakan grafik adalah *termodinamika*. Banyak data atau konsep-konsep termodinamika dapat disajikan dengan grafik. Ini tidak lepas dari arti dan fungsi grafik itu sendiri seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

### 3.4 Termodinamika dengan pendekatan teknik

Didasarkan atas studi literatur terhadap buku-buku termodinamika diperoleh perbandingan bahwa buku-buku termodinamika yang disajikan dengan pendekatan teknik lebih mudah difahami daripada buku-buku termodinamika yang murni teoritis. Konsep-konsep atau prinsip-prinsip termodinamika yang disajikan dengan pendekatan teknik dirasakan bersifat aplikatif dan “membumi”.

Yang dimaksud pendekatan teknik adalah bahwa konsep-konsep atau prinsip-prinsip termodinamika disajikan dengan disertai contoh-contoh nyata dalam kehidupan sehari-hari dan penerapannya dalam teknologi, yang mengacu pada buku *Thermodynamics An Engineering Approach, Second Edition, Yunus A.Cengel, Michael A. Boles (1999).*

Konsep-konsep termodinamika merupakan representasi terhadap aspek tertentu dari realita dalam alam, dan prinsip-prinsip termodinamika menyatakan keteraturan perilaku alam dalam bentuk hubungan antar konsep . Dengan kata lain termodinamika merupakan *peta* untuk memahami berbagai perilaku alam dibawah kontrol suhu, seperti

layaknya suatu peta kota adalah *representasi wilayah kota* dibawah kontrol tertentu. Melalui konsep dan prinsip termodinamika kita dapat berfikir untuk menjelaskan berbagai peristiwa dalam alam atau dalam menyelesaikan berbagai masalah yang kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari.

Dalam bentuk yang terlalu abstrak ekspresi berbagai konsep dan prinsip termodinamika dikenal sebagai persamaan keadaan, yang jauh dari realitas sehari-hari yang dialami oleh mahasiswa. Akibatnya termodinamika terasa kurang relevan terhadap kehidupan sehari-hari para mahasiswa, dan terasa membosankan, sehingga mahasiswa tidak termotivasi untuk menguasainya. Termodinamika hendaknya disuguhkan kepada para mahasiswa sebagai suatu cerita yang menarik, serta mengajak para mahasiswa untuk berfikir sendiri dengan menggunakan berbagai konsep dan prinsip Termodinamika. Penguasaan konsep dan prinsip termodinamika umumnya fisika hendaknya dianggap sebagai suatu sasaran antara, dengan tujuan akhir adalah kemampuan untuk menjelaskan peristiwa dalam kehidupan nyata ( Sutrisno;2000)

Proses pembelajaran yang efektif adalah proses yang membuat para mahasiswa aktif, yaitu tidak sekedar mendengar, namun *berbuat, berbicara, dan didengar* ( Sutrisno;2000). Ada ungkapan bahwa agar dapat belajar sains, para mahasiswa harus diajak *berbicara* tentang sains. Jadi dalam hal ini mahasiswa hendaknya menjadi *subjek* dalam proses pembelajaran, bukan sekedar hanya *objek*.

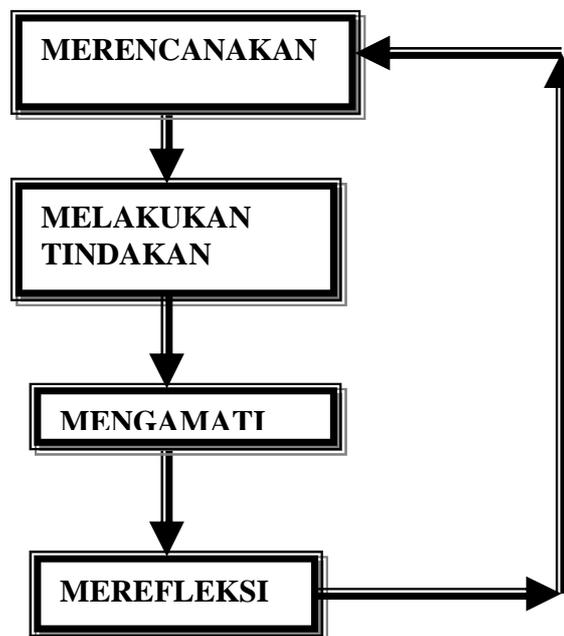
### 3.5 Hasil penelitian yang relevan

Lilian C.Mc Dermott dan rekan-rekannya di Departemen Fisika Universitas Washington pada Februari 1986 mengemukakan hasil penelitiannya tentang kesulitan-kesulitan para mahasiswa di Universitas Washington dalam menghubungkan grafik dengan fisika. Dalam penelitiannya mereka mengambil objek penelitian mengenai konsep kinematika. Mereka membagi dua bagian pokok masalah dalam penelitian ini, yaitu :

1. ***Kesulitan dalam menghubungkan grafik untuk konsep fisika*** diantaranya : membedakan antara kecondongan (slope) dan ketinggian dari suatu grafik, menginterpretasikan perubahan-perubahan ketinggian dan perubahan-perubahan kecondongan, menghubungkan suatu macam grafik terhadap lainnya, mencocokkan informasi ceritera dengan ciri-ciri yang relevan dari suatu grafik, dan menginterpretasikan luas daerah dibawah kurva suatu grafik.
2. ***Kesulitan-kesulitan dalam menghubungkan grafik untuk dunia nyata.*** Kesulitan-kesulitan ini terutama difokuskan dalam kesalahan-kesalahan yang dibuat mahasiswa terhadap berbagai tipe yang berbeda dari grafik gerak. Kesalahan-kesalahan ini dikelompokkan dalam lima kesulitan, yaitu : Menggambarkan gerak yang kontinu dengan suatu garis yang kontinu, memisahkan bentuk suatu grafik dari garis kontinu gerak, menggambarkan suatu kecepatan negatif dalam suatu grafik  $v-t$ , menggambarkan suatu percepatan tetap dari suatu grafik  $a-t$ , dan membedakan antara tipe-tipe yang berbeda dari grafik gerak.

### 3. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian tindakan berbasis kelas. Secara singkat penelitian tindakan kelas didefinisikan sebagai bentuk kajian yang bersifat reflektif oleh pelaku tindakan, yang dilakukan untuk meningkatkan kemantapan rasional dari tindakan-tindakan mereka dalam melaksanakan tugas, memperdalam pemahaman terhadap tindakan-tindakan yang dilakukannya itu, serta memperbaiki kondisi dimana praktek-praktek pembelajaran tersebut dilakukan. Untuk mewujudkan tujuan-tujuan tersebut, penelitian tindakan kelas dilaksanakan berupa pengkajian berdaur (cyclical) yang terdiri atas 4 tahap yaitu :



Gambar 1  
Kajian Berdaur 4 tahap penelitian tindakan kelas

Setelah dilakukan perenungan atau refleksi yang mencakup analisis, sintesis, dan penilaian terhadap hasil pengamatan proses serta hasil tindakan tadi, kemungkinan muncul permasalahan atau pemikiran baru yang perlu mendapat perhatian, sehingga pada gilirannya perlu dilakukan perencanaan ulang. Dalam penelitian ini hanya akan dilakukan untuk **2 siklus saja**.

Penelitian ini akan dilakukan di Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA Universitas Pendidikan Indonesia kepada mahasiswa semester V yang mengambil perkuliahan termodinamika yang berjumlah 50 orang.

Untuk membantu menyelesaikan masalah-masalah seperti yang disebutkan sebelumnya, akan dilakukan penelitian tindakan mengenai kesulitan-kesulitan mahasiswa dalam mengikuti perkuliahan termodinamika dalam hal :

1. Menafsirkan grafik.
2. Penguasaan diferensial parsial dan interpretasi fisisnya.
3. Pemahaman konsep-konsep termodinamika

4. Menerapkan konsep-konsep termodinamika dalam kehidupan nyata dan dalam teknologi.

Pendekatan yang akan digunakan adalah campuran antara kualitatif dan kuantitatif yang akan dilaksanakan melalui perlakuan (ceramah, demonstrasi, diskusi, eksperimen dengan pendekatan teknik), observasi kelas, wawancara, dan tes.

Langkah-langkah penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengadakan studi eksplorasi untuk memahami kondisi kelas dan mahasiswa. Hal ini dimaksudkan untuk menggali informasi tentang keadaan mahasiswa secara akademik.
2. Merancang naskah bahan ajar matematika untuk termodinamika yang didalamnya berisi pendalaman diferensial parsial yang langsung diterapkan pada persoalan-persoalan termodinamika sekaligus pendalaman mengenai teori grafik yang mengacu pada buku *Termodinamika Untuk Teknik karangan K.A Stroud.*
3. Merancang Diktat termodinamika dengan pendekatan teknik .
4. Merancang jenis tes untuk mengukur kemampuan interpretasi grafik.
5. Merancang jenis tes untuk mengukur penguasaan diferensial parsial yang langsung diterapkan pada persoalan-persoalan termodinamika.
6. Merancang jenis tes untuk mengukur penguasaan konsep-konsep termodinamika.
7. Merancang jenis tes untuk mengukur kemampuan menerapkan konsep-konsep termodinamika kedalam kehidupan nyata dan dalam teknologi yang mengacu pada buku *Thermodynamics An Engineering Approach, Second Edition, Yunus A.Cengel, Michael A. Boles (1999).*
8. Menadakan refleksi berdasarkan pada hasil studi eksplorasi dan diikuti dengan perencanaan tindakan siklus kedua.
9. Melakukan tindakan atau perlakuan pada mahasiswa dalam kelas ( dan pada saat yang sama melakukan observasi kelas dan refleksi.
10. Mengevaluasi setiap perlakuan dan membandingkannya dengan kelas kontrol yang diberi tindakan konvensional.
11. Menulis draft laporan sementara.
12. Diseminasi hasil temuan sementara melalui diskusi dan semlok baik lokal, regional, maupun nasional.
13. Publikasi artikel.
14. Menyusun rencana untuk penulisan draft buku termodinamika untuk perguruan tinggi sesuai hasil penelitian ini, dan rencananya akan diterbitkan.

## 5. Daftar Pustaka

1. D. Hopkins, *A Teacher Guide to Classroom Research*, 2<sup>nd</sup> ed, Open University Press, Philadelphia, 1992.

2. M. Johnston, *Action Research in a School or University Partnership*, AERA, Chicago, IL in 1997.
3. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan (1990), *Pedoman Penulisan Karya Ilmiah*, Bandung, P2TK IKIP Bandung.
4. *Kerangka Acuan Penelitian Tindakan Kelas*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan, Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Proyek Pengembangan Guru Sekolah Menengah, 1998.
5. Ratna Wilis Dahar, *Teori-Teori Belajar*, 1989, Erlangga.
6. Syambasri Munaf, dkk., *Pengembangan Alat Evaluasi Pendidikan di Jurusan Pendidikan Fisika*, Jurusan Fisika FPMIPA IKIP Bandung.
7. Tim Pelatih Proyek PGSM, *Penelitian Tindakan Kelas* ( Classroom Action Research), Depdikbud, Dirjen Dikti, Proyek Pengembangan PGSM, 1999.
8. Hasanudin, *Profil Kemampuan Mahasiswa dalam Membuat Grafik*, Jurusan Pendidikan Fisika, Skripsi, tidak diterbitkan, 1993.
9. Kinkin Asikin, *Penguasaan Siswa Mengenai Konsep-konsep Mekanika Melalui grafik Ditinjau dari Jenis Pengetahuan Prosedural dan Analisis Tugas Belajar*, FPS IKIP Bandung, Tesis, tidak diterbitkan, 1994.
10. Mc Dermott L.C, Rosenquist M.L, dan Emily H. Van Zee, *Student Difficulties in Connecting Graphs and Physics : Example from Kinematic*, Am.J.Phy.55,503-513, 1987.
11. Peter H.Selby, *Using Graph and Tables*, New York, John Wiley and Son Inc, 1979

#### 4. JADWAL PENELITIAN TINDAKAN

Kegiatan penelitian tindakan berbasis kelas ini akan dilaksanakan dalam rentang waktu 6 bulan dengan jadwal sebagai berikut :

No	Kegiatan	Bulan ke					
		1	2	3	4	5	6
1.	Studi eksplorasi	V					
2.	a.Persiapan b.Pengukuran	V V	V V				
3.	Memberi tindakan atau perlakuan		V	V	V	V	
4.	Mengevaluasi setiap tindakan		V	V	V	V	
5.	Mengadakan refleksi		V	V	V	V	
6.	Membuat draft laporan sementara					V	
7.	Diseminasi hasil temuan: a. Seminar lokal b. Seminar regional c. Seminar Nasional						V V V
8.	Publikasi artikel						V
9.	Membuat draft laporan akhir						V
10.	Finalisasi penulisan naskah buku Termodinamika dengan Pendekatan Teknik						V

## 6. Anggaran Biaya Penelitian

( Justifikasi anggaran dapat dilihat pada lampiran B)

No.	JENIS PENGELUARAN	RINCIAN	JUMLAH
1.	Upah pelaksana : Ketua Anggota ( 1 orang)	(jam x Rp x orang) 200 x 5.000,00 x 1 100 x 5.000,00 x 1	1.000.000,00 500.000,00
2.	Peralatan : a. Sewa 1 bh PC pentium/100MHZ b. Sewa laser printer	(jumlahxRp/6bulan) 1 x 400.000,00 1 x 200.000,00	400.000,00 200.000,00
3.	Biaya pembuatan instrumen : a. Kemampuan grafik b. Penguasaan Dif.Parsial c. Pemahaman konsep d. Penerapan konsep e. Pembuatan 2 bh modul	(orang x jam xRp) 2 x 50 x 5.000,00 2 x 50 x 5.000,00 2 x 50 x 5.000,00 2 x 50 x 5.000,00 2 x 50 x 5.000,00	500.000,00 500.000,00 500.000,00 500.000,00 500.000,00
4.	Biaya pengumpulan dan pengolahan data	(orang x jam x Rp) 2 x 30 x 10.000,00	600.000,00
5.	Laporan penelitian a. Penulisan laporan b. Penggandaan laporan	(penulis x jam x Rp) 2 x 10 x 10.000,00 5 x 20.000,00	200.000,00 100.000,00
6.	Biaya seminar a. Konsumsi b. Narasumber c. Transport lokal	(orang x Rp x hari) 25 x 5.000,00 x1 1 x 125.000,00 25 x 10.000 x 1	125.000,00 125.000,00 250.000,00
7.	Lain-lain : a. 4 rim HVS 80 A4 b. 1 lusin pensil c. 2 lusin ballpoint d. 5 bok transparan laser e. 5 bok spidol white board f. 2 tube tuner laser printer	(jml x itm xRp) 4 x 25.000,00 1 x 15.000,00 2 x 15.000,00 5 x 50.000,00 5 x 25.000,00 2 x 125.000,00	100.000,00 15.000,00 30.000,00 250.000,00 125.000,00 250.000,00
	Total anggaran		7.640.000,00 ( tujuh juta enam ratus empat puluh ribu rupiah )

### a. Ketua

Nama : Drs.Saeful Karim,M.Si  
NIP : 131 946 758  
Pangkat/Gol : Penata Tk.I/IIIC  
Unit Kerja : Pendidikan Fisika FPMIPA\_UPI

**b. Anggota**

**Nama** : **Dra. Ida Kaniawati,M.Si**  
**NIP** : **131 993 870**  
**Pangkat/Gol** : **Penata Muda Tk.I/IIIb**  
**Unit Kerja** : **Pendidikan Fisika FPMIPA UPI**

**9. ANGGARAN BIAYA PENELITIAN****10. LOKASI PENELITIAN**

Penelitian ini akan dilaksanakan di Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA UPI Jalan Dr.Setiabudi no.229 Bandung.

**11. DAFTAR PUSTAKA****12. CURRICULUM VITAE**

Ketua Penelitian :

a. Nama : Drs.SaefulKarim,M.Si  
b. NIP : 131 946 758  
c. Tempat dan Tgl. Lahir : Garut, 7 Maret 1967  
d. Unit Kerja : Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA UPI  
e. Alamat Kantor : Jl.Dr. Setiabudi No.229 Bandung  
f. Alamat Rumah : Jl.Sentral –Sirnarasa No.191 Cibabat- Cimahi

## g. Riwayat Pendidikan

Nama Sekolah	Tahun lulus	Jurusan	Tempat
SDN Neglasari	1977		Garut
SMPN Cisompet	1983		Garut
SMAN Garut	1986		Garut
S1 Pendidikan (IKIP Bandung)	1990	Fisika	Bandung
Pra-S2 ITB	1993	Fisika	Bandung
S2 ITB	1996	Fisika	Bandung

## h. Riwayat Bekerja

No.	Institusi	Jabatan	Periode Bekerja
1.	SMU Taruna Bakti	Guru Fisika	1990-1998
2.	SMU Taruna Bakti	Wakil Kepala Sekolah	1996-1998
3.	IKIP Bandung	Dosen Fisika	1991-Sekarang

## i. Daftar Penelitian yang sudah dilakukan

KEGIATAN -1

Perkuliahan termodinamika ini dimulai pada tanggal 2 September 1999. Dua minggu sebelum kegiatan perkuliahan dimulai, yang pertama kali dipersiapkan adalah membuat paket program matematika khusus untuk menunjang perkuliahan

termodinamika yang ditulis merujuk pada paket program matematika teknik berbingkai yang dikarang oleh K.A Stroud yang berjudul **Matematika Untuk Teknik**. Paket program ini berupa diktat kecil yang ditulis dengan menggunakan bahasa modul yang interaktif sehingga pembaca seolah-olah merasakan kehadiran seorang guru pembimbing. Diktat kecil ini diberi judul **Matematika Untuk Termodinamika**. Bagian awal dari diktat ini membahas apakah termodinamika itu sampai pada uraian pentingnya konsep diferensial parsial dan keterampilan mendiferensiasikan suatu fungsi keadaan bila beberapa koordinat yang menggambarkan keadaan suatu sistem termodinamika berubah secara kuasistatik. Selanjutnya diperkenalkan beberapa persamaan keadaan sistem termodinamika dalam spektrum yang lebih luas, yaitu persamaan keadaan sistem hidrostatis, sistem paramagnetik, sistem dielektrik, dan lain-lain. Bagian akhir dari diktat ini membahas beberapa hubungan penting diferensial parsial yang diperlukan untuk mengatasi fungsi-fungsi implisit, serta penerapannya dalam memecahkan persoalan-persoalan termodinamika. Setiap konsep matematika yang dibahas dalam diktat ini disertai dengan contoh-contoh penerapannya secara langsung dalam termodinamika. Di setiap akhir pembahasan sub pokok bahasan tertentu, mahasiswa dituntut untuk mengerjakan soal-soal yang telah disediakan, dan hasil pekerjaannya dievaluasi dengan melihat kunci jawaban yang telah disediakan diakhir setiap sub pokok bahasan tertentu. Diktat kecil ini harus sudah dipelajari oleh mahasiswa sebelum acara perkuliahan dimulai. Jadi fungsi perkuliahan matematika untuk termodinamika sebagai sarana pengulangan hasil belajar dan sekaligus pendalaman materi sehingga mahasiswa akan mampu mengerjakan sejumlah soal-soal standar yang disediakan di akhir diktat ini. Soal-soal yang disediakan di akhir diktat ini dijadikan sebagai tugas wajib yang harus dikumpulkan dan diberi nilai tertentu. Untuk mengevaluasi kebenaran jawaban yang telah dikerjakan oleh mahasiswa yang berkaitan dengan tugas tersebut, setelah semua mahasiswa menyerahkan tugasnya, maka semua soal dibahas bersama, untuk melihat kekeliruan pengerjaan soal-soal tersebut. (Diktat Matematika Untuk Termodinamika terlampir).

## KEGIATAN-2

Perkuliahan termodinamika ini terdiri dari 3 SKS . Pengertian 3 SKS adalah 150 menit tatap muka, 150 menit belajar mandiri, dan 150 menit mengerjakan tugas berstruktur. Untuk mengefisienkan pelaksanaannya, maka point **belajar secara mandiri** dijadwalkan secara resmi. Sehingga pelaksanaan perkuliahan menjadi seminggu dua kali, yaitu hari Senin ( 150 menit ) diisi dengan kegiatan pendalaman materi melalui diskusi, melatih konsep-konsep kedalam soal-soal latihan, membahas struktur termodinamika untuk setiap pokok bahasan secara utuh, membahas tugas-tugas berstruktur, dan membahas persoalan-persoalan yang muncul dari hasil kajian mandiri mahasiswa terhadap buku panduan yang telah ditetapkan. Sedangkan jadwal yang satunya lagi adalah hari kamis(100 menit ) diisi dengan seminar yang ditampilkan oleh masing-masing kelompok.

Kegiatan perkuliahan dimulai pada hari kamis ( 2 September 1999 ), yang diisi dengan : Penjelasan isi perkuliahan termodinamika secara keseluruhan, penjelasan buku referensi yang akan digunakan, pembagian kelompok seminar, dan penjelasan sistem evaluasi perkuliahan.

Isi perkuliahan termodinamika dijelaskan secara menyeluruh pada perkuliahan yang pertama agar mahasiswa mendapatkan gambaran secara utuh tentang struktur materi perkuliahan, yang meliputi :

- **Bab I, Matematika untuk termodinamika** : Apakah termodinamika itu, diferensial fungsi variabel tunggal, diferensial fungsi dua variabel, diferensial eksak dan tak eksak, hubungan penting antara diferensial parsial, tugas mengerjakan soal-soal yang berkaitan dengan bab I. Isi perkuliahan Bab I ini akan dibahas pada **minggu pertama dan minggu kedua**. Jadi pada minggu pertama dan kedua sambil membahas isi materi Bab I, mahasiswa diberi kesempatan selama dua minggu untuk mempersiapkan makalah bahan seminar yang bahannya didasarkan pada buku : **Thermodynamics An Engineering Approach, Second Edition, Yunus A.Cengel, Michael A. Boles.**
- **Bab II, Konsep-konsep dasar termodinamika** : Penjelasan tentang penerapan termodinamika ( untuk memberikan motivasi kepada

mahasiswa tentang betapa pentingnya termodinamika ), dimensi dan satuan, Sistem satuan internasional dan sistem inggris, sistem tertutup dan sistem terbuka, bentuk-bentuk energi, sifat-sifat besaran dari suatu sistem, pengertian keadaan kesetimbangan dan persamaan keadaan, pengertian proses dan silus, postulat suatu keadaan, konsep suhu dan hukum kenol termodinamika, manometer, barometer, pengukuran suhu, dan tugas mengerjakan soal-soal yang berkaitan dengan Bab II.

- **Bab III, Sistem dan persamaan keadaannya** : Unsur murni, fase-fase unsur murni, proses perubahan fase unsur murni, diagram T-V, diagram P-V, diagram P-V unsur murni, keadaan keseimbangan dan persamaannya, perubahan infinit pada keadaan keseimbangan, mencari persamaan keadaan, dan soal-soal yang berkaitan dengan Bab III.
- **Bab IV, Usaha** : Proses kuasistatik, usaha kuasistatik, konvensi tanda usaha, diagram P-V dan W sebagai luas, usaha pada sistem hidrostatik, usaha pada sistem paramagnetik, usaha pada sistem dielektrik, usaha pada sistem majemuk, dan soal-soal yang berkaitan dengan Bab IV.
- **Bab V, Hukum pertama termodinamika sistem tertutup** : Pengertian kalor, perpindahan kalor, macam-macam perpindahan kalor, perpindahan kalor secara kuasistatik, berbagai bentuk perumusan hukum pertama termodinamika, pendekatan sistematis untuk menyelesaikan masalah, kapasitas kalor, dan soal-soal yang berkaitan dengan Bab V.
- **Bab VI, Hukum pertama termodinamika sistem terbuka** : Analisis termodinamika sistem terbuka, prinsip kekekalan massa, laju aliran massa dan volume, prinsip kekekalan energi, aliran usaha atau energi, energi total aliran fluida, proses-proses aliran tunak, aplikasi aliran tunak pada peralatan teknik, proses-proses aliran tak tunak, dan soal-soal yang berkaitan dengan dengan Bab VI.
- **Bab VII, Gas ideal** : Persamaan keadaan gas ideal, persamaan keadaan Van der Waals, persamaan keadaan Beattie- Bridgmen, persamaan keadaan Benedict-Webb-Rubin, persamaan keadaan gas nyata, energi

dalam gas ideal, energi dalam gas nyata, kapasitas kalor gas ideal, kapasitas kalor gas nyata, dua proses penting gas ideal, dan soal-soal yang berkaitan dengan Bab VII.

- **Bab VIII, Hukum kedua termodinamika** : Perubahan usaha menjadi kalor, perubahan kalor menjadi usaha, efisiensi mesin kalor dan mesin pendingin, berbagai perumusan hukum kedua termodinamika, beberapa proses bersiklus, dan soal-soal yang berkaitan dengan Bab VIII.
- **Bab IX, Siklus Carnot dan reversibilitas** : proses reversibel, siklus carnot adalah siklus yang mendekati reversibel, siklus carnot memiliki efisiensi tertinggi, siklus otto dan siklus diesel adalah siklus yang tak reversibel, siklus carnot, hukum kedua, dan suhu nol, dan soal-soal yang berkaitan dengan Bab IX.
- **Bab X, Entropi** : Bukti adanya fungsi keadaan entropi ;teorema Clausius, entropi gas ideal, perubahan entropi pada proses reversibel, perubahan entropi pada proses tak reversibel, asas entropi dan pemakaiannya, entropi dan ketidaktertiban, dan soal-soal yang berkaitan dengan Bab X.
- **Bab XI, Potensial termodinamika** : Gambaran grafis keadaan sistem, diagram P-V-T gas ideal, diagram P-V-T gas Van der Waals, keadaan agregasi, empat potensial termodinamika dan sifat-sifatnya (U,H,F,G), soal-soal yang berkaitan dengan Bab XI.
- **Bab XII, Perumusan lengkap termodinamika** : Besaran yang mudah diukur atau ditentukan dari eksperimen, dua hubungan matematika tambahan, 4 macam hubungan Maxwell, 3 macam persamaan T dS, rumus-rumus dengan  $C_p$  dan  $C_v$ , rumus-rumus tentang energi dalam, soal-soal yang berkaitan dengan Bab XII.

Selanjutnya penjelasan mengenai buku-buku yang dijadikan referensi. Sebagai buku referensi wajib adalah sebagai berikut :

- Thermodynamics An Engineering Approach, Second Edition, Yunus A.Cengel and Michael A. Boles, International Edition, McGraw-Hill, 1994. Buku ini dijadikan sebagai rujukan pendekatan tekniknya, karena setiap

konsep termodinamika yang dibahas disertai dengan contoh-contoh kongkrit dalam kehidupan sehari-hari dan dalam teknologi. Semua contoh konsep dan data-data yang disajikan merupakan konsep dan data sebenarnya. Sehingga konsep termodinamika dalam hal ini lebih membaur. Buku ini terdiri dari 15 bab, tetapi yang dipelajari hanya 9 bab, yaitu bab I sampai dengan bab IX.

- Diktat perkuliahan termodinamika ITB, Darmawan Djonoputro, 1990. Isi diktat ini dijadikan bahan acuan minimal perkuliahan termodinamika secara teoritik, karena isi diktat ini sangat teoritik.
- Heat and Thermodynamics, Zemansky M.W and Dittman R.H, McGraw-Hill, International Book Company, Tokyo, 1981.
- Thermodynamics, Kinetic Theory and Statistical Mechanics, Sears F.W and Salinger G.L, Addison-Wesley Publishing Co, Inc, Reading, Mass, 1975.

Sebagai buku rujukan tambahan, mahasiswa dipersilahkan mencari sendiri buku-buku yang sesuai dengan topik-topik bahasan diatas, yang dianggap memberikan kemudahan dalam mempelajari bahan ajar termodinamika.

Kegiatan berikutnya pada perkuliahan pertama ini adalah membagi mahasiswa menjadi 8 kelompok. Dan setiap kelompok diberi materi bahasan untuk didiskusikan pada kelompoknya yang diambil dari buku Thermodynamics An Engineering Approach, Second Edition, Yunus A. Cengel and Michael A. Boles, International Edition, McGraw-Hill, 1994. Hasil diskusi kelompok yang bersangkutan, ditulis dalam bentuk makalah dan diseminarkan di depan 7 kelompok yang lainnya. Demikian hal ini terus bergilir, sampai semua materi selesai diseminarkan. Adapun kelompok mahasiswa dan materinya adalah sebagai berikut :

- **Kelompok I** : Saleh Tulhayat, Isep Budiman, Atin Kuraesin, Yuli Yana, Ine Meilani Hidayat. Bahan seminarnya adalah Bab I dan Bab II ( Bab I : Basics concepts of thermodynamics dan Bab II : Properties of pure substances ).

- **Kelompok II** : Etin Kuraesin, Eneng Heliyana, Dinar Endarti, Saeful Hakim, Deny hermawan, Muhammad Fuad Qori. Bahan seminarnya adalah bab III ( The first law of thermodynamics Closed System ).
- **Kelompok III** : Tuti Hastuti, Meilani Amelia, Nurlailah, Ade Novarina, Tian Kurniati, Rina Ferawati. Bahan seminarnya adalah Bab IV ( The first law of thermodynamics control volumes ).
- **Kelompok IV** : Wenti Yusdianti, Elis Kurnia, Yeni Chumaeni, Slamet Mugiono, Rojak. Bahan seminarnya adalah Bab V ( The second law of thermodynamics ).
- **Kelompok V** : Azis Ali Rasyid, Elis Suryani, Eha, Cepi Ceptian Ibrahim, Shofiah, Duli Muhlis Munawar. Bahan seminarnya adalah bab VI (Entropy).
- **Kelompok VI** : Rangga mulyana, Dirman Yassin, Octolia Togibasa, Fatimah, Tirta Darmawan, Imas Sholihat. Bahan seminarnya adalah bab VII ( Second law analysis of engineering systems ).
- **Kelompok VII** : Jeni Susanto, Eva Shofiah, Yuli Damayanti, Tita Dewi Larasati, Rachmawati Purnama, Cucun cunayah. Bahan seminarnya adalah Bab VIII ( Gas power cycles ).
- **Kelompok VIII** : Dinny Hadiany, Ina Surtina, Bambang Setiyo, Adis Darwin, Deti Suherni, Eti Kusmiati, Muhammad Adhari. Bahan seminarnya adalah Bab IX ( Vapor and combined power cycles ).

Supaya mahasiswa memiliki pegangan dalam sistem evaluasinya, maka pada perkuliahan yang pertama ini dijelaskan pula sistem evaluasi sebagai berikut : Nilai akhir termodinamika merupakan nilai yang dihitung dari aspek-aspek sebagai berikut :

- Ujian terdiri dari : Ujian I, Ujian II, dan Ujian III.
- Tugas terdiri dari 8 buah tugas, sedangkan yang dinilai hanya 3 buah saja, yang dipilih secara acak ( mahasiswa harus selalu siap dengan tugas-tugas tersebut ).
- Seminar

Dengan perhitungan nilai akhir sebagai berikut :

Nilai Akhir = Ujian I + Ujian II + Ujian III + Nilai rata-rata tugas + Nilai Seminar dibagi lima.

### KEGIATAN 3

Perkuliahan yang kedua berlangsung pada hari Senin ( 6 September 1999). Sebelum perkuliahan yang kedua ini dimulai mahasiswa diharapkan sudah membaca diktat **Matematika Untuk Termodinamika** di rumah, sehingga mereka sudah mempunyai bahan untuk didiskusikan dalam perkuliahan ini.

Materi yang dibicarakan dalam perkuliahan ini meliputi : Wawasan tentang termofisika yang terdiri dari kalorimetri, termometri, perpindahan kalor, termodinamika, teori kinetik gas, dan fisika statistik serta batasan-batasannya. Selanjutnya membicarakan 8 koordinat termodinamika untuk sistem hidrostatis, dan koordinat termodinamika untuk sistem paramagnetik dan sistem dielektrik beserta sifat-sifatnya sehingga untuk ini diperlukan alat matematika. Penekanan didasarkan atas filosofisnya perlu matematika untuk hal ini. Selanjutnya membicarakan diferensial fungsi tunggal dan diferensial dua fungsi sebagai pengulangan dari mata kuliah Fisika Matematika I. Namun disini langsung dibawa pada contoh-contoh kongkrit yang berhubungan langsung dengan persoalan termodinamika. Keterampilan mendiferensiasi suatu fungsi implisit menjadi inti pembicaraan pada pokok bahasan ini, karena hal ini akan banyak dijumpai pada persoalan termodinamika.

Kegiatan perkuliahan menggunakan pendekatan ceramah, tanya-jawab, diskusi, dan berlatih soal-soal secara individual. Kegiatan perkuliahan berlangsung lancar dan interaktif, karena mahasiswa sebelumnya sudah memiliki kemampuan yang diperoleh lewat membaca sendiri diktat Matematika untuk Teknik yang ditulis secara moduler. Jadi diperkuliahan ini lebih banyak mendiskusikan hal-hal yang menjadi hambatan kesulitan pemahaman mahasiswa. Pada akhir perkuliahan mahasiswa diberi tugas mengerjakan soal-soal yang sudah ditentukan.

### KEGIATAN 4

Perkuliahan yang ketiga berlangsung pada hari Kamis ( 9 September 1999 ). Sebelum perkuliahan ini berlangsung, mahasiswa sudah membaca diktat Matematika untuk Termodinamika lanjutan dari pembahasan materi pada perkuliahan sebelumnya. Sebelum perkuliahan ini dilanjutkan mahasiswa diberi soal-soal diferensial parsial yang harus dikerjakan sebelum perkuliahan berikutnya dimulai. Sampai disini hampir 80 % mahasiswa dapat menyelesaikan soal-soal diferensial parsial, namun mereka masih kesulitan mendiferensiasi langsung secara implisit. Oleh karena itu sebelum dilanjutkan pada materi diferensial eksak dan tak eksak, mereka dilatih kembali keterampilan diferensial parsialnya dengan menyajikan soal-soal fungsi implisit.

Selanjutnya perkuliahan diisi dengan mendiskusikan pengertian diferensial eksak dan tak eksak dengan menggunakan contoh-contoh kongkrit dalam fisika, misalnya perumusan usaha mekanik secara empiris  $W = P dV$ , dan lain-lain, maupun dengan menggunakan contoh-contoh matematik, dengan menggunakan **syarat Euler**. Kemudian secara mendalam didiskusikan pengertian fisis dari diferensial eksak dan diferensial tak eksak dari suatu fungsi.

Untuk memperluas pemahaman sifat diferensial eksak dan tak eksak, selanjutnya ditinjau dari segi integrasinya. Untuk mempermudah mendiferensiasikan suatu fungsi, kemudian diturunkan secara bersama-sama beberapa hubungan penting antara diferensial parsial mengikuti petunjuk yang sudah cukup jelas pada diktat Matematika untuk Termodinamika. Setelah semua materi selesai dibicarakan, selanjutnya mendiskusikan penyelesaian dari beberapa contoh soal yang diberikan yang berkaitan dengan materi yang dibicarakan. Sebagai penutup kegiatan perkuliahan, mahasiswa diwajibkan mengerjakan soal-soal yang telah disediakan di rumah, dan wajib dikumpulkan.

#### KEGIATAN 5

Perkuliahan keempat berlangsung pada hari Senin ( 13 September 1999 ). Perkuliahan yang keempat masih membicarakan isi diktat Matematika untuk Termodinamika. Pada perkuliahan sebelumnya, semua teori dan prinsip-prinsip diferensial parsial telah rampung dibicarakan, dan kemampuan mahasiswa dalam

mendiferensiasikan secara bertingkat suatu fungsi baik yang implisit maupun yang eksplisit telah kelihatan. Di akhir perkuliahan sebelumnya mahasiswa diwajibkan mengerjakan tugas yang tertera pada akhir diktat Matematika untuk Termodinamika yang terdiri dari 13 soal standar. Untuk mengevaluasi hasil pekerjaan rumah mahasiswa, maka pada perkuliahan ini setiap mahasiswa disuruh maju secara bergantian untuk membahas 13 soal yang ada pada diktat ini secara bersama-sama. Soal-soal yang tidak dapat dipecahkan oleh mahasiswa kemudian dibimbing oleh dosen agar mereka dapat memecahkannya secara sempurna.

13 soal yang disediakan pada akhir diktat Matematika untuk Termodinamika adalah soal-soal pilihan yang bila mahasiswa telah dapat memecahkan semua soal tersebut, maka dapat disimpulkan bahwa mahasiswa tersebut telah memiliki pengetahuan matematika yang cukup untuk mempelajari termodinamika, walaupun ini bukan merupakan jaminan. Perkuliahan yang keempat ini adalah perkuliahan penutup Matematika untuk Termodinamika untuk mempersiapkan mahasiswa mempelajari termodinamika secara baik.

#### KEGIATAN 6

Kegiatan perkuliahan berikutnya berlangsung pada hari Kamis ( 16 September 1999). Perkuliahan ini adalah awal pembicaraan mengenai konsep-konsep dasar termodinamika melalui kegiatan seminar. Yang tampil berseminar adalah kelompok I yang membawakan materi ( Bab I : Basics concepts of thermodynamics dan Bab II : Properties of pure substances ) dari buku *Thermodynamics An Engineering Approach, Second Edition*, Yunus A. Cengel and Michael A. Boles, International Edition, McGraw-Hill, 1994.

Mahasiswa dituntut untuk 'active learning', belajar menggali pengetahuan secara mandiri dulu melalui buku, contoh-contoh nyata dalam kehidupan, maupun dari data-data pengamatan . Disini juga mahasiswa dilatih tentang cara membaca buku teks baik yang berbahasa Indonesia maupun yang berbahasa Inggris. Serta dilatih pula untuk dapat menyimpulkan hasil bacaanya dan mengkomunikasikannya kepada orang lain baik melalui lisan ( kegiatan seminar ) maupun melalui bahasa tertulis ( pembuatan makalah ). Kebiasaan ini perlu

difasilitasi agar kebiasaan menyampaikan pendapat baik secara lisan maupun secara tertulis dapat tumbuh berkembang di kalangan mahasiswa calon guru. Peserta seminar yang tidak dapat menangkap pengertian yang disampaikan oleh pembicara dapat bertanya secara langsung, sehingga kegiatan diskusi dapat berjalan dalam kelas. Dosen dalam hal ini hanya berfungsi sebagai pengarah materi dan waktu yang tersedia agar seluruh program dapat diselesaikan tepat waktu

Materi yang diseminarkan dan langsung didiskusikan adalah : termodinamika dan energi (disini lebih banyak dibicarakan bidang-bidang aplikasi dari termodinamika ), dimensi dan satuan, sistem tertutup dan sistem terbuka, bentuk-bentuk energi, besaran-besaran pada suatu sistem, keadaan keseimbangan dan persamaan keadaannya, pengertian proses dan siklus ( dengan mengambil contoh-contoh aplikasi pada proses penghasilan usaha mekanik pada motor bakar seperti mesin-mesin dengan bahan bakar bensin, solar dan lain-lain), postulat keadaan, tekanan ( disini dibahas alat-alat ukur tekanan seperti manometer dan barometer ), serta suhu dan hukum ke-0 termodinamika ( disini dibahas tentang prinsip kerja alat-alat ukur suhu yang didasarkan pada thermometric property ). Semua materi ini dibahas dengan pendekatan teknik yang disertai dengan contoh-contoh nyata dalam kehidupan nyata dan dalam teknologi seperti yang disajikan dalam buku referensinya.

Berdasarkan hasil pengamatan selama berlangsungnya seminar, mahasiswa cukup aktif dalam berdiskusi untuk memahami konsep-konsep termodinamika, karena penyajian materinya disamping menggunakan alat bantu OHP ,juga disertai dengan gambar-gambar yang diambil dari contoh-contoh kehidupan nyata. Namun perlu dikatakan disini bahwa belum semua mahasiswa aktif terlibat dalam diskusi ini, karena ini baru permulaan dan mereka belum terbiasa.

### KEGIATAN 7

Kegiatan perkuliahan berikutnya adalah hari Senin ( 20 September 1999 ). Pada perkuliahan ini materi yang diseminarkan pada perkuliahan sebelumnya dibahas lagi lebih dalam menurut struktur keilmuan termodinamika. Tidak semua materi yang dibahas pada seminar hari Kamis ( 16 September 1999) didalami

disini. Pembahasan hanya diarahkan pada pokok bahasan yang essensial saja dan yang paling penting untuk pembahasan materi berikutnya. Materi yang didalami pada perkuliahan ini adalah : Konsep suhu dan hukum keol termodinamika dibahas lebih dalam. Mulai dari pengertian suhu secara formal, pengertian sistem dan lingkungan, interaksi termal melalui dinding diatermik dan adiabatik, penegasan perumusan hukum keol termodinamika, pengertian thermometric property dalam alat ukur suhu, macam-macam alat ukur suhu dan thermometric property-nya, termometer gas volume konstan, pengertian suhu tripel air, mengkalibrasi termometer, pengertian termometer gas ideal dan suhu gas ideal, dan mengkonversi skala termometer. Semua pembahasan dikaitkan dengan pendekatan teknik yang sudah dibahas pada acara seminar sebelumnya. Dengan demikian mahasiswa mendapatkan kesimpulan-kesimpulan penting dari penekanan materi pada perkuliahan ini, sehingga bisa memilih materi-materi essensial dari pokok bahasan pada bab ini. Adapun perkuliahannya berlangsung melalui diskusi, tanya jawab, dan ceramah.

### KEGIATAN 8

Kegiatan berikutnya adalah perkuliahan ketujuh yang berlangsung pada hari Kamis ( 23 September 1999 ). Perkuliahan ketujuh ini diisi oleh kegiatan seminar lanjutan kelompok I mengenai besaran-besaran unsur murni. Jadi ini adalah seminar kedua. Materi yang dibahas pada seminar yang kedua ini adalah : Pembatasan mengenai sistem yang berupa unsur murni, fase-fase unsur murni, proses perubahan fase unsur murni, cairan kompressibel dan cairan jenuh, uap jenuh dan pemanasan uap, temperatur jenuh dan tekanan jenuh, diagram proses perubahan fase ( diagram T-V, diagram P-V, dan diagram P-T untuk beberapa unsur murni ), perluasan diagram sampai fase padat, diagram permukaan P-V-T, keadaan cairan jenuh dan uap jenuh, campuran cairan uap jenuh, persamaan keadaan gas ideal, faktor kompresibilitas, persamaan keadaan yang lain ( Van der Waals, Beattie- Bridgeman, Benedict-Webb-Rubin, Virial ).

Pembahasan materi-materi di atas menggunakan contoh-contoh nyata dan data-data hasil penelitian, baik dalam bentuk tabel maupun dalam bentuk grafik.

Pada pokok bahasan ini mahasiswa yang berseminar dituntut untuk dapat menjelaskan grafik-grafik dari hasil eksperimen pada unsur-unsur tertentu. Demikian juga diskusinya lebih banyak diarahkan pada pemahaman grafik baik grafik dua dimensi maupun grafik tiga dimensi.

Pada perkuliahan ini diskusi lebih hidup daripada perkuliahan sebelumnya, karena penyaji berusaha untuk tidak membuat kesalahan-kesalahan seperti pada seminar sebelumnya, dan peserta sudah lebih berani untuk berpendapat dan mengemukakan pendapatnya. Disamping itu media yang tersedia, yaitu transparansi yang ditampilkan lebih lengkap memuat gambar-gambar dan grafik-grafik yang didiskusikan.

#### KEGIATAN 9

Perkuliahan selanjutnya adalah perkuliahan kedelapan yang berlangsung pada hari Senin ( 27 September 1999 ). Perkuliahan ini adalah pendalaman materi dari perkuliahan sebelumnya, yaitu yang dilaksanakan pada kegiatan seminar tanggal 23 September 1999. Pendalaman materi dilakukan pada materi-materi sebagai berikut : Yang pertama perlu dibahas lebih mendalam tentang keadaan keseimbangan termodinamika yang meliputi keadaan setimbang mekanis, kimiawi, termal, dan fase. Selanjutnya dibahas tentang sistem hidrostatik ( gas, cairan, atau campurannya ) tanpa memperhatikan sifat listrik dan magnetiknya, sistem hidrostatik unsur murni dan tak murni, sistem paramagnetik dan sistem dielektrik beserta koordinat termodinamikanya ( sampai pada teori Langevin dan teori Brillouin ), perubahan infinit pada keadaan keseimbangan, koefisien muai kubik isobarik, koefisien kompresibilitas isotermik, sampai pada materi mencari persamaan keadaan dengan 3 cara, yaitu : dengan mengintegrasikan salah satu diferensial parsialnya, mengintegrasikan kedua diferensial parsial dan membandingkan hasilnya untuk diidentifikasi, dengan menentukan batas integrasinya.

Perkuliahan berlangsung melalui diskusi dan tanya jawab yang dipandu oleh dosen. Setiap penjelasan konsep selalu disertai dengan contoh-contoh problem dan mendiskusikan pemecahannya. Di akhir perkuliahan mahasiswa diberi tugas

terstruktur untuk dikerjakan di rumah dan dikumpulkan pada pertemuan tanggal 4 Oktober 1999, hari Senin.

#### KEGIATAN 10

Perkuliahan yang kesembilan diisi lagi oleh kegiatan seminar yang berlangsung pada hari Kamis (30 September 1999). Pembicara pada seminar ini adalah kelompok II yang membawakan materi hukum pertama termodinamika sistem tertutup.

Materi yang dibicarakan pada seminar ini adalah : Pengertian sistem tertutup, interaksi kalor dan usaha, transfer kalor, cara-cara transfer kalor ( konduksi, hukum Fourier, konveksi, hukum pendinginan Newton, radiasi, konsep benda hitam, dan hukum Kirchoff ), usaha mekanik, daya mekanik, proses politropik, usaha gravitasi, usaha percepatan, usaha batang ( shaft work ), usaha pegas, usaha yang dikerjakan pada batang padat elastik, hukum pertama termodinamika, pendekatan sistematis pemecahan masalah, panas jenis, panas jenis gas ideal, dan aspek-aspek termodinamika sistem biologis.

Pembahasan semua materi diatas menggunakan pendekatan teknik, yaitu dengan menggunakan contoh-contoh nyata dalam kehidupan nyata dan beberapa aplikasi dalam teknologi, seperti pada pembahasan sebelumnya berdasarkan pendekatan buku *Thermodynamics An Engineering Approach, Second Edition*, Yunus A. Cengel and Michael A. Boles, International Edition, McGraw-Hill, 1994.

#### KEGIATAN 11

Perkuliahan yang ke sepuluh berlangsung pada hari Senin, 4 Oktober 1999. Kegiatan perkuliahan ini diisi dengan pendalaman materi yang telah diseminarkan oleh kelompok II pada hari Kamis tanggal 30 September 1999 melalui kegiatan diskusi dan pengembangan materi dengan problem solving.

Pada perkuliahan ini materi yang dibahas adalah : Tiga cara interaksi dalam termodinamika antara sistem dan lingkungannya melalui interaksi usaha luar, interaksi kalor atau interaksi melalui keduanya ; Selanjutnya ditegaskan bahwa semua interaksi dalam termodinamika harus berlangsung secara kuasistatik, untuk

memperjelasnya mahasiswa diberi beberapa contoh dan selanjutnya disuruh mencari contoh-contoh lain yang nyata tentang proses kuasistatik; Selanjutnya membahas pengertian usaha luar (dalam termodinamika) dan usaha dalam ( dalam fisika statistik) agar kelihatan perbedaannya secara tegas, yang dilanjutkan dengan membahas usaha kuasistatik dan non-kuasistatik Tentang perjanjian tanda usaha diberi tekanan tersendiri, karena masalah ini sangat penting; Mahasiswa sebelumnya sudah mendapatkan konvensi tanda yang kurang konsisten pada buku pelajaran fisika di SMA. Selanjutnya mahasiswa dilatih untuk dapat menyatakan usaha kuasistatik pada diagram P-V dengan cara diberi persamaan kurvanya dengan batas integrasi tertentu, lalu menyatakannya sebagai usaha yang dikerjakan pada sistem atau usaha yang dikerjakan oleh sistem dari diagram tersebut.

Sebagai akhir dari perkuliahan ini mahasiswa diberi soal tentang usaha yang dinyatakan pada diagram P-V yang dinyatakan sebagai siklus, lalu disuruh menghitung usahanya secara keseluruhan. Hampir 50 % mereka dapat menyelesaikan persoalan tersebut. Untuk lebih memperjelas, soal-soal tersebut dibahas bersama melalui kegiatan diskusi. Sebagai pendalaman materi, mahasiswa diberi tugas mendalami usaha pada sistem paramagnetik, usaha pada sistem majemuk, pada zat dielektrik, dawai tegang, selaput tipis, dan sel listrik, dengan bahan-bahannya sudah disediakan, yang penjelasannya dengan menggunakan pendekatan teknik. Dan selanjutnya mereka diberi tugas mengerjakan soal-soal yang selanjutnya dikumpulkan pada pertemuan minggu berikutnya. Untuk mengukur kemampuan mahasiswa dalam menjawab soal-soal yang diberikan, mereka diwajibkan melihat solusinya pada papan pengumuman yang telah disediakan. Perlu dilaporkan disini bahwa semua tugas yang diberikan pada mahasiswa, solusinya selalu diberitahukan melalui papan pengumuman agar mereka mendapatkan umpan balik, sehingga menyadari kekeliruannya untuk diperbaiki pada penyelesaian tugas berikutnya.

## KEGIATAN 12

Perkuliahan yang kesebelas berlangsung pada hari Kamis tanggal 7 Oktober 1999. Perkuliahan ini diisi dengan kegiatan seminar dan diskusi. Seminar kali ini

dibawakan oleh kelompok III yang membawakan materi **Hukum Pertama Termodinamika** ( control volume atau sistem terbuka ). Hal-hal yang dibicarakan adalah sebagai berikut : Proses aliran tunak dan tak tunak, analisa sistem terbuka dan perbedaannya dengan sistem tertutup yang telah dibahas pada kegiatan seminar sebelumnya oleh kelompok II, prinsip kekekalan massa, laju aliran massa dan laju aliran volume, prinsip kekekalan energi untuk sistem terbuka, konsep aliran energi, energi total aliran fluida, sifat-sifat aliran tunak, beberapa aplikasi konsep aliran tunak dalam peralatan teknik yang meliputi : pipa semprot dan alat penyebar ( nozzle dan difuse ), turbin dan lompressor, katup hambatan, ruang pencampur ( semacam karburator pada mobil ), pipa dan aliran duct, dan analisa sistem terbuka secara keseluruhan.

Karena pengetahuan mahasiswa sampai tahap ini sudah cukup banyak, maka kegiatan diskusi lebih hidup daripada kegiatan diskusi sebelumnya, terutama pada pembahasan aplikasi dari konsep-konsep termodinamika untuk sistem terbuka seperti yang disebutkan diatas. Pertanyaan-pertanyaan yang dilontarkan oleh mahasiswa sudah sangat terarah, walaupun jawaban yang dikemukakan oleh pembawa makalah masih harus selalu diarahkan, karena mereka masih kesulitan dengan bahasa buku teksnya yaitu bahasa Inggris. Walaupun demikian, keberhasilan latihan memahami buku teks sudah cukup baik. Jika semua mata kuliah mewajibkan mahasiswanya untuk membaca buku teks yang aslinya, maka mahasiswa menjadi terbiasa memahami buku teks dalam bahasa asing, dan berlatih merangkumnya.

Sebelum kegiatan seminar ini ditutup, mahasiswa diberi penjelasan tentang materi-materi esensial dengan memberikan rangkuman dari semua pembicaraan yang berlangsung pada kegiatan seminar tersebut. Untuk melihat daya serap, maka pada akhir seminar ini diadakan kuis selama 10 menit, mahasiswa diberikan 3 pertanyaan yang menyangkut materi pokok dari sub pokok bahasan yang sedang dibicarakan, dan ternyata hasilnya cukup menggembirakan, dimana hampir 80% mahasiswa dapat menjawab semua pertanyaan dalam kuis itu dengan jawaban yang cukup baik. Dari sini tanda-tanda kearah peningkatan penguasaan pemahaman materi yang diharapkan sudah nampak.

### KEGIATAN 13

Perkuliahan yang keduabelas berlangsung pada hari hari Senin tanggal 11 Oktober 1999. Perkuliahan ini mendalami pembahasan pada kegiatan seminar tanggal 7 oktober 1999. Tidak semua materi yang dibicarakan pada kegiatan seminar tersebut dibahas lagi disini. Pemabahasan lebih diorientasikan pada pendalaman teori secara utuh. Materi yang dibicarakan pada kegiatan perkuliahan ini adalah sebagai berikut : Definisi kalor, perpindahan kalor secara kuasistatik baik yang disertai kenaikan suhu maupun yang berlangsung pada suhu konstan ( ini sangat diperlukan untuk membahas konsep reversibilitas ), konsep reservoir kalor, perumusan hukum ke-1 ( kerja adiabatik dan energi dalam ), pengertian energi dalam, perumusan hukum ke-1. Secara umum, perumusan hukum ke-1 untuk proses infinit, perumusan hukum ke-1 untuk proses kuasistatik, kapasitas kalor, dan menentukan fungsi keadaan energi dalam sistem.

Seluruh pembahasan teori-teori diatas selalu dikaitkan dengan contoh-contoh kongkrit yang telah dibicarakan pada kegiatan seminar sebelumnya, dengan menghidupkan kegiatan diskusi yang melibatkan partisipasi seluruh mahasiswa peserta kuliah. Pada akhir perkuliahan dibahas beberapa contoh soal-soal untuk menajamkan pemahaman konsep-konsepnya. Selanjutnya mereka diberi tugas mengerjakan beberapa soal-soal yang berkaitan dengan pokok bahasana tersebut.

Selanjutnya kegiatan 14 sampai dengan kegiatan 32 sama seperti kegiatan-kegiatan sebelumnya , dengan materi yang berbeda sesuai dengan yang sudah dipaparkan sebelumnya.