

PELAKSANAAN PENELITIAN

➤ **SIKLUS I (Pemahaman Diferensial Parsial)**

Tindakan I (Pemahaman Diferensial Parsial)

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 :Lampiran VII).

Kegiatan perkuliahan matematika untuk Termodinamika ini dilaksanakan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- a. Pertama-tama dosen menjelaskan tentang konsep-konsep matematika penting yang harus dikuasai untuk memudahkan mempelajari termodinamika.
- b. Melaksanakan perkuliahan dengan metode *diskusi,ceramah, dan tanya jawab* mengikuti buku panduan Matematika untuk termodinamika yang telah dipersiapkan sebelumnya.
- c. Pada setiap sub pokok bahasan sudah disediakan soal-soal yang harus langsung dicoba oleh mahasiswa. Sehingga bila perkuliahan sudah sampai pada materi tersebut, mahasiswa diberi kesempatan untuk mengerjakan soal-soal tersebut secara mandiri, lalu selanjutnya bila pekerjaan mereka sudah dikumpulkan, mereka harus mencocokkan setiap jawaban mereka dengan kunci jawaban yang tersedia. Bila mereka sudah menyelesaikan semua soal tersebut, semua pekerjaan mereka dikumpulkan dan diperiksa lalu dibagikan sebagai feedback. Dan mereka diharuskan menelusuri proses pekerjaan mereka sampai menyadari kesalahannya sendiri. Begitu seterusnya sampai materi dalam diktat kecil itu habis.
- d. Bila semua materi dalam diktat tersebut telah selesai dibicarakan, mereka akan mendapat ujian untuk keseluruhan topik yang ada dalam diktat kecil tersebut.

➤ **SIKLUS II (Pemahaman Diferensial Parsial)**

Tindakan II (Pemahaman Diferensial Parsial)

- a. Melaksanakan perkuliahan dengan metode *diskusi,ceramah, dan tanya jawab* mengikuti buku panduan Matematika untuk termodinamika yang telah dipersiapkan sebelumnya, tetapi dengan menggunakan *Pendekatan Teknik*. Artinya materi-materi yang masih dirasakan sulit untuk dipahami (seperti pada tabel di atas), diupayakan contoh-contoh kongkritnya dalam termodinamika. Pada siklus kedua ini perkuliahan lebih diarahkan pada kegiatan *diskusi kelompok yang difasilitasi dengan soal-soal untuk bahan diskusi yang disesuaikan dengan materi-materi yang masih menjadi masalah*.
- b. Pada setiap sub pokok bahasan sudah disediakan soal-soal yang harus langsung dicoba oleh mahasiswa. Sehingga bila diskusi kelompok sudah sampai pada materi tersebut, mahasiswa diberi kesempatan untuk mengerjakan soal-soal tersebut secara mandiri, lalu selanjutnya bila pekerjaan mereka sudah dikumpulkan, mereka harus mencocokkan setiap jawaban mereka dengan kunci jawaban yang tersedia. Bila mereka sudah menyelesaikan semua soal tersebut, semua pekerjaan mereka dikumpulkan dan diperiksa lalu dibagikan sebagai *feedback*. Dan mereka diharuskan menelusuri proses pekerjaan mereka sampai menyadari kesalahannya sendiri. Begitu seterusnya sampai materi dalam diktat kecil itu habis.
- c. Bila semua materi dalam diktat tersebut telah selesai didiskusikan, mereka akan mendapat ujian untuk keseluruhan topik yang ada dalam diktat kecil tersebut.

➤ **SIKLUS I (Termodinamika)**

Tindakan I (Pemahaman Grafik, Pemahaman Konsep dan Penerapan Konsep)

Sebelum menjelaskan tindakan kelas yang dilakukan pada pembelajaran Termodinamika, ada baiknya peneliti akan memaparkan gambaran umum tentang

sistem pelaksanaan perkuliahan Termodinamika di Jurusan Pendidikan Fisika FPMIPA UPI.

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 5 kali 50 menit dalam seminggu .

Pada siklus I, perkuliahan diisi dengan kegiatan pendalaman materi melalui *ceramah, diskusi, tanya jawab, demonstrasi, melatih penerapan 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. Semua materi dibahas dengan pendekatan teknik, artinya setiap konsep yang dibahas selalu dikaitkan dengan terapannya dalam kehidupan sehari-hari dan dalam teknologi.*

Pada awal perkuliahan, isi perkuliahan termodinamika dijelaskan secara singkat tetapi menyeluruh agar mahasiswa mendapatkan gambaran secara utuh tentang struktur materi perkuliahan, yang meliputi :

- 1) **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.
- 2) **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 siklus, postulat suatu keadaan, konsep suhu dan hukum kenol termodinamika, manometer, barometer, pengukuran suhu, dan tugas mengerjakan soal-soal yang berkaitan dengan Bab II.

- 3) **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.
- 4) **Bab IV, Usaha** : Proses kuasistatik, usaha kuasistatik, konvensi tanda usaha, diagram P-V dan W sebagai luas, usaha pada sistem hidrostatis, usaha pada sistem paramagnetik, usaha pada sistem dielektrik, usaha pada sistem majemuk, dan soal-soal yang berkaitan dengan Bab IV.
- 5) **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.
- 6) **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.
- 7) **Bab VII, Gas ideal dan Gas Nyata**: 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.
- 8) **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.

- 9) **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.
- 10) **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.
- 11) **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.
- 12) **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.

➤ **SIKLUS II (Termodinamika)**

Tindakan II (Pemahaman Grafik,Pemahaman Konsep dan Penerapan Konsep)

Berdasarkan hasil observasi dan refleksi pada tindakan siklus I melalui Instrumen Tes Termodinamika I (Lampiran III), maka untuk menyembuhkan kelemahan-kelemahan mahasiswa pada siklus I , dirancang lagi tindakan berikutnya untuk siklus II.

Pada siklus II, pendalaman semua materi yang diberikan pada siklus I dilaksanakan melalui kegiatan *seminar*. Dalam pelaksanaannya, mahasiswa dibagi 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 (rangkuman) 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** : Bahan seminarnya adalah Bab I dan Bab II (Bab I : Basics concepts of thermodynamics dan Bab II : Properties of pure substances).
- **Kelompok II** : Bahan seminarnya adalah bab III (The first law of thermodynamics Closed System).
- **Kelompok III** : Bahan seminarnya adalah Bab IV (The first law of thermodynamics control volumes).
- **Kelompok IV** : Bahan seminarnya adalah Bab V (The second law of thermodynamics).
- **Kelompok V** : Bahan seminarnya adalah bab VI (Entropy).
- **Kelompok VI** : Bahan seminarnya adalah bab VII (Second law analysis of engineering systems).
- **Kelompok VII** : Bahan seminarnya adalah Bab VIII (Gas power cycles).
- **Kelompok VIII** : Bahan seminarnya adalah Bab IX (Vapor and combined power cycles).

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 dan kena sasaran untuk menyembuhkan kelemahan-kelemahan yang masih dialami mahasiswa dari kegiatan siklus I

Diskusi pada kegiatan seminar ini lebih banyak membicarakan pemahaman konsep dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari dan dalam teknologi. Sebagai contoh, pada saat membicarakan konsep usaha dan kalor, proses dan

siklus ,reservoir kalor, dan lain-lain, dengan mengambil contoh-contoh aplikasi pada proses penghasilan usaha mekanik pada motor bakar seperti mesin-mesin dengan bahan bakar bensin,solar dan lain-lain). Pada saat membicarakan hukum kenol Termodinamika tentang konsep suhu, pembicaraan diarahkan pada 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.

Pada akhir kegiatan seminar, dosen memberikan *penegasan kembali* tentang konsep-konsep yang dibahas. Misalnya bila membahas konsep suhu dan hukum kenol termodinamika, dosen memberikan penegasan kembali mulai dari pengertian suhu secara formal, pengertian sistem dan lingkungan, interaksi termal melalui dinding diatermik dan adiabatik, penegasan perumusan hukum kenol 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. 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. Begitu pula untuk Bab yang lainnya.

Untuk mendalami *grafik*, baik interpretasi grafik mengenai proses isitermik, adiabatik, isentropik, isobarik, dan isikhorik, maupun transformasi grafik dari diagram P-V terhadap diagram P-T misalnya, mahasiswa langsung diarahkan pada data-data nyata dari hasil eksperimen yang sudah digrafikkan. Oleh karena mereka harus memahami 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.

Pemahaman konsep dan penerapannya pada tindakan II ini sangat ditekankan. Misalnya tentang konsep 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, 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, panas jenis gas nyata, panas jenis gas ideal, aspek-aspek termodinamika pada sistem teknik, dan lain-lain.

Masih pada penekanan pemahaman konsep. Masalah interaksi dalam termodinamika adalah masalah yang sangat penting. Sehingga pada siklus II ini mendapat perhatian khusus. 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.

Sebagai pengayaan, pada siklus II juga diberikan materi **Hukum Pertama Termodinamika** (control volume atau sistem terbuka). Hal ini penting, karena dalam penerapan kehidupan sehari-hari dan dalam teknik kebanyakan sistem yang ditemui justru 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 sebelumnya, 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 kompresor, 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. Dari sini tanda-tanda kearah peningkatan penguasaan pemahaman materi yang diharapkan sudah nampak.

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.

HASIL PENELITIAN

Observasi dan Refleksi I (Pemahaman Diferensial Parsial)

Tindakan I untuk pembelajaran diferensial parsial, kemudian di evaluasi dengan menggunakan instrumen *Tes Kemampuan Diferensial Parsial* (Lampiran I), dan hasilnya sebagai berikut :

Tabel 3 : Hasil observasi dan refleksi tindakan I untuk pemahaman diferensial parsial pada termodinamika

No.	Masalah-Masalah Yang Masih Dialami Pembelajar	Persentase Pembelajar
1.	Tidak dapat menyebutkan diferensial parsial yang mungkin ada dari suatu fungsi yang ada dan baik	30%
2.	Tidak dapat menyebutkan diferensial total yang mungkin ada dari suatu fungsi yang diketahui	42%
3.	Tidak mampu menjabarkan turunan parsial dari sebuah fungsi sederhana yang sudah eksplisit	27%
4.	Tidak dapat menjelaskan pengertian fisis dari diferensial total ,diferensial parsial kesatu dan kedua	33%
5.	Tidak dapat menggunakan Syarat Euler untuk menentukan apakah suatu diferensial total itu eksak atau tidak eksak	23%
6.	Tidak dapat menjelaskan pengertian fisis dari diferensial eksak dan tak eksak	46%
7.	Tidak dapat mengembalikan diferensial total yang eksak ke dalam bentuk fungsi aslinya	10%
8.	Tidak dapat menyelesaikan persoalan integral garis, yang garisnya dikendalikan oleh suatu fungsi	20%
9.	Tidak dapat membaca definisi koefisien-koefisien penting dalam termodinamika yang ditulis dalam bentuk diferensial parsial (seperti :koefisien muai kubik isobarik, kompressibilitas isotermik, dll)	26%
10.	Tidak dapat menentukan diferensial parsial pertama untuk suatu variabel tertentu yang terdapat dalam suatu fungsi yang tidak dapat dieksplisitkan.	55%
11.	Tidak dapat menggunakan teorema-teorema yang menyatakan hubungan penting antara diferensial parsial untuk mencari diferensial parsial dari fungsi yang rumit	55%
12.	Tidak dapat membedakan pengertian diferensial eksak dan tak eksak melalui syarat-syarat matematis	45%

13.	Tidak dapat menentukan diferensial parsial kedua dari suatu fungsi yang tidak dapat dieksplicitkan	56%
14.	Tidak dapat menuliskan perubahan infinit total suatu variabel yang merupakan fungsi dari dua variabel lainnya, bila kedua variabel itu mengalami perubahan parsial secara infinitesimal	43%

Observasi dan Refleksi II (Pemahaman Diferensial Parsial)

Tindakan pada siklus II kemudian dievaluasi dengan menggunakan instrumen *Tes Kemampuan Diferensial Parsial* (Lampiran I), dan hasilnya sebagai berikut :

Tabel 4 : Hasil observasi dan refleksi tindakan II untuk pemahaman diferensial parsial pada termodinamika

No.	Masalah-Masalah Yang Masih Dialami Pembelajar	Persentase Pembelajar
1.	Tidak dapat menyebutkan diferensial parsial yang mungkin ada dari suatu fungsi yang ada dan baik	10%
2.	Tidak dapat menyebutkan diferensial total yang mungkin ada dari suatu fungsi yang diketahui	23%
3.	Tidak mampu menjabarkan turunan parsial dari sebuah fungsi sederhana yang sudah eksplisit	12%
4.	Tidak dapat menjelaskan pengertian fisis dari diferensial total ,diferensial parsial kesatu dan kedua	17%
5.	Tidak dapat menggunakan Syarat Euler untuk menentukan apakah suatu diferensial total itu eksak atau tidak eksak	11%
6.	Tidak dapat menjelaskan pengertian fisis dari diferensial eksak dan tak eksak	22%
7.	Tidak dapat mengembalikan diferensial total yang eksak ke dalam bentuk fungsi aslinya	5%
8.	Tidak dapat menyelesaikan persoalan integral garis, yang garisnya dikendalikan oleh suatu fungsi	9%
9.	Tidak dapat membaca definisi koefisien-koefisien penting dalam termodinamika yang ditulis dalam bentuk diferensial parsial (seperti :koefisien muai kubik isobarik, kompressibilitas isotermik, dll)	14%
10.	Tidak dapat menentukan diferensial parsial pertama untuk suatu variabel tertentu yang terdapat dalam suatu fungsi yang tidak dapat dieksplicitkan.	21%
11.	Tidak dapat menggunakan teorema-teorema yang menyatakan hubungan penting antara diferensial parsial untuk mencari diferensial parsial dari fungsi yang rumit	23%
12.	Tidak dapat membedakan pengertian diferensial eksak dan	27%

	tak eksak melalui syarat-syarat matematis	
13.	Tidak dapat menentukan diferensial parsial kedua dari suatu fungsi yang tidak dapat dieksplisitkan	16%
14.	Tidak dapat menuliskan perubahan infinit total suatu variabel yang merupakan fungsi dari dua variabel lainnya, bila kedua variabel itu mengalami perubahan parsial secara infinitesimal	18%

Observasi dan Refleksi I (Pemahaman Grafik, Pemahaman Konsep dan Penerapan Konsep)

Berdasarkan tindakan yang diberikan pada siklus I untuk *pemahaman konsep grafik*, maka diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 5 : Hasil observasi dan refleksi tindakan I untuk pemahaman grafik

NO	MASALAH-MASALAH YANG MASIH DIALAMI MAHASISWA PADA PEMAHAMAN GRAFIK DALAM TERMODINAMIKA	PERSENTASI MAHASISWA
1.	Tidak dapat menggambarkan sketsa kurva dari suatu persamaan.	17%
2.	Tidak dapat membedakan bentuk kurva dari berbagai jenis persamaan.	21%
3.	Tidak bisa membuat persamaan matematik, baik yang linear maupun yang kuadratis bila diberikan titik koordinatnya.	19%
4.	Tidak dapat menyatakan persamaan garis singgung pada suatu titik dari suatu persamaan.	23%
5.	Tidak dapat membedakan bentuk kurva dari persamaan $f(x,y)=0$ dengan persamaan $f(x,y,z)=0$.	18%
6.	Tidak dapat menafsirkan pengertian kemiringan suatu garis dan gradien garis dari suatu fungsi.	25%
7.	Tidak dapat menentukan besarnya usaha yang dikerjakan sistem terhadap lingkungan dan sebaliknya yang dialami proses pada diagram P-V.	27%
8.	Tidak dapat menentukan besarnya usaha dan kalor yang terlibat pada suatu siklus pada diagram P-V	28%
9.	Tidak dapat menyatakan proses isobarik, isokhorik, isotermik, adiabatik, dan isentropik untuk gas ideal pada diagram P-V, V-T, P-T dan T-S.	34%
10.	Tidak dapat menyebutkan jenis proses yang dinyatakan dengan kurva pada diagram P-V, V-T, P-T dan T-S.	36%
11.	Tidak dapat menyebutkan rangkaian proses pada suatu siklus yang dinyatakan dalam diagram P-V, V-T, P-T dan T-S.	33%

12.	Tidak dapat menentukan besaran Usaha, Kalor yang terlibat dan Perubahan Energi Dalam pada masing-masing proses pada suatu siklus yang dinyatakan dalam diagram P-V, V-T, P-T dan T-S.	41%
13.	Tidak dapat mentransformasikan suatu proses pada diagram tertentu ke diagram yang lainnya.	45%
14.	Tidak dapat mentransformasikan suatu siklus yang dinyatakan pada diagram tertentu ke diagram yang lainnya.	76%
15.	Tidak dapat menentukan fase suatu zat murni atau keadaan agregasi pada diagram P-V, P-T, maupun diagram P-V-T	68%
16.	Tidak dapat membedakan proses adiabatik reversibel kompresi dan proses adiabatik reversibel ekspansi pada diagram T-S	56%
17.	Tidak dapat membedakan proses isothermal reversibel ekspansi dan kompresi pada diagram T-S	60%
18.	Tidak dapat menyatakan proses isokhorik reversibel untuk volume yang berbeda pada diagram T-S	67%
19.	Tidak dapat menyatakan proses isobarik reversibel untuk tekanan yang berbeda pada diagram T-S	59%
20.	Tidak dapat membuat sketsa kurva proses isothermal reversibel, isokhorik reversibel, dan isobarik reversibel untuk gas ideal pada diagram T-S	68%

Selanjutnya berdasarkan tindakan yang diberikan pada siklus I untuk *pemahaman konsep dan penerapan termodinamika*, maka diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 6 : Hasil observasi dan refleksi terhadap tindakan I pada pemahaman konsep termodinamika dan penerapannya

NO	MASALAH-MASALAH YANG MASIH DIALAMI MAHASISWA DALAM PEMAHAMAN KONSEP-KONSEP TERMODINAMIKA DAN PENERAPANNYA	PERSENTASE MAHASISWA
1.	Tidak dapat menjelaskan konsep-konsep dasar yang dipergunakan dalam termodinamika dan alasan pentingnya konsep tersebut (misalnya : sitem, lingkungan, proses, siklus, suhu, kalor, reservoir kalor, thermometric property, usaha, energi dalam, interaksi usaha, interaksi kalor, entropi, uap, gas, uap jenuh, tekanan jenuh, perubahan fase zat, dll)	23%
2.	Tidak dapat menerapkan konsep-konsep dasar yang dipergunakan dalam termodinamika (misalnya konsep suhu dan thermometric property dalam membuat alat ukur suhu, pentingnya siklus dalam prinsip kerja mesin mobil 4 tak, dll)	34%
2.	Tidak dapat membedakan analisis termodinamika untuk berbagai sistem termodinamika seperti sistem	29%

	hidrostatik,sistem paramagnetik,sistem dielektrik,sistem terbuka dan sistem tertutup	
3.	Tidak dapat membedakan sistem ideal dan sistem nyata serta menerapkan prinsip-prinsip ideal kedalam keadaan nyata dan sebaliknya.	36%
4.	Tidak dapat memahami essensi dari prinsip-prinsip dan hukum-hukum termodinamika dan menerapkan prinsip-prinsip dan hukum-hukum tersebut kedalam sistem ideal dan sistem nyata, baik pada sistem hidrostatik, sistem paramagnetik, maupun sistem dielektrik.	37%
5.	Tidak dapat memetakan hubungan antar konsep, hubungan antar prinsip, dan hubungan antar hukum-hukum termodinamika.	41%
6.	Tidak memahami pentingnya pembatasan-pembatasan dalam termodinamika seperti konsep kesetimbangan termal, kesetimbangan mekanik, kesetimbangan kimia, proses kuasistatik, proses reversibel, proses irreversibel,dll. ,serta menerapkan pembatasan-pembatasan tersebut untuk menganalisis sistem termodinamika ideal dan nyata.	43%
7.	Tidak dapat merepresentasikan pernyataan matematika kedalam bahasa verbal dan sebaliknya .	38%
8.	Tidak dapat menganalisis kecenderungan-kecenderungan data hasil eksperimen baik dalam bentuk tabel maupun dalam bentuk grafik, sehingga dari kecenderungan-kecenderungan itu diperoleh suatu aturan atau prinsip yang penting.	40%
9.	Tidak dapat mentranslasi dan mengekstrapolasi keberlakuan suatu aturan,prinsip, maupun hukum yang berlaku pada suatu sistem ke sistem yang lain.	45%
10.	Tidak dapat mentranslasi interpretasi yang berlaku pada suatu sistem dengan gangguan tertentu, jika terhadapnya diberikan gangguan yang lain.	56%

Observasi dan Refleksi II (Pemahaman Grafik, Pemahaman Konsep dan Penerapan Konsep)

Berdasarkan tindakan yang diberikan pada siklus II untuk *pemahaman grafik*, diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 7 : Hasil observasi dan refleksi tindakan II untuk pemahaman grafik

NO	MASALAH-MASALAH YANG MASIH DIALAMI MAHASISWA PADA PEMAHAMAN GRAFIK DALAM TERMODINAMIKA	PERSENTASI MAHASISWA
----	--	----------------------

1.	Tidak dapat menggambarkan sketsa kurva dari suatu persamaan.	9%
2.	Tidak dapat membedakan bentuk kurva dari berbagai jenis persamaan.	12%
3.	Tidak bisa membuat persamaan matematik, baik yang linear maupun yang kuadratis bila diberikan titik koordinatnya.	7%
4.	Tidak dapat menyatakan persamaan garis singgung pada suatu titik dari suatu persamaan.	15%
5.	Tidak dapat membedakan bentuk kurva dari persamaan $f(x,y)=0$ dengan persamaan $f(x,y,z)=0$.	9%
6.	Tidak dapat menafsirkan pengertian kemiringan suatu garis dan gradien garis dari suatu fungsi.	12%
7.	Tidak dapat menentukan besarnya usaha yang dikerjakan sistem terhadap lingkungan dan sebaliknya yang dialami proses pada diagram P-V.	13%
8.	Tidak dapat menentukan besarnya usaha dan kalor yang terlibat pada suatu siklus pada diagram P-V	12%
9.	Tidak dapat menyatakan proses isobarik, isokhorik, isotermik, adiabatik, dan isentropik untuk gas ideal pada diagram P-V, V-T, P-T dan T-S.	18%
10.	Tidak dapat menyebutkan jenis proses yang dinyatakan dengan kurva pada diagram P-V, V-T, P-T dan T-S.	21%
11.	Tidak dapat menyebutkan rangkaian proses pada suatu siklus yang dinyatakan dalam diagram P-V, V-T, P-T dan T-S.	14%
12.	Tidak dapat menentukan besaran Usaha, Kalor yang terlibat dan Perubahan Energi Dalam pada masing-masing proses pada suatu siklus yang dinyatakan dalam diagram P-V, V-T, P-T dan T-S.	15%
13.	Tidak dapat mentransformasikan suatu proses pada diagram tertentu ke diagram yang lainnya.	16%
14.	Tidak dapat mentransformasikan suatu siklus yang dinyatakan pada diagram tertentu ke diagram yang lainnya.	23%
15.	Tidak dapat menentukan fase suatu zat murni atau keadaan agregasi pada diagram P-V, P-T, maupun diagram P-V-T	27%
16.	Tidak dapat membedakan proses adiabatik reversibel kompresi dan proses adiabatik reversibel ekspansi pada diagram T-S	22%
17.	Tidak dapat membedakan proses isothermal reversibel ekspansi dan kompresi pada diagram T-S	19%
18.	Tidak dapat menyatakan proses isokhorik reversibel untuk volume yang berbeda pada diagram T-S	31%
19.	Tidak dapat menyatakan proses isobarik reversibel untuk tekanan yang berbeda pada diagram T-S	26%

20.	Tidak dapat membuat sketsa kurva proses isothermal reversibel, isokhorik reversibel, dan isobarik reversibel untuk gas ideal pada diagram T-S	29%
-----	---	-----

Berdasarkan tindakan pada siklus II untuk *pemahaman konsep dan penerapannya* maka diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 8 : Hasil observasi dan refleksi terhadap tindakan II pada pemahaman konsep termodinamika dan penerapannya

NO	MASALAH-MASALAH YANG MASIH DIALAMI MAHASISWA DALAM PEMAHAMAN KONSEP-KONSEP TERMODINAMIKA DAN PENERAPANNYA	PERSENTASE MAHASISWA
1.	Tidak dapat menjelaskan konsep-konsep dasar yang dipergunakan dalam termodinamika dan alasan pentingnya konsep tersebut (misalnya : sitem, lingkungan, proses, siklus, suhu, kalor, reservoir kalor, thermometric property, usaha, energi dalam, interaksi usaha, interaksi kalor, entropi, uap, gas, uap jenuh, tekanan jenuh, perubahan fase zat, dll)	9%
2.	Tidak dapat menerapkan konsep-konsep dasar yang dipergunakan dalam termodinamika (misalnya konsep suhu dan thermometric property dalam membuat alat ukur suhu, pentingnya siklus dalam prinsip kerja mesin mobil 4 tak, dll)	14%
2.	Tidak dapat membedakan analisis termodinamika untuk berbagai sistem termodinamika seperti sistem hidrostatik, sistem paramagnetik, sistem dielektrik, sistem terbuka dan sistem tertutup	12%
3.	Tidak dapat membedakan sistem ideal dan sistem nyata serta menerapkan prinsip-prinsip ideal kedalam keadaan nyata dan sebaliknya.	17%
4.	Tidak dapat memahami essensi dari prinsip-prinsip dan hukum-hukum termodinamika dan menerapkan prinsip-prinsip dan hukum-hukum tersebut kedalam sistem ideal dan sistem nyata, baik pada sistem hidrostatis, sistem paramagnetik, maupun ssitem dielektrik.	13%
5.	Tidak dapat memetakan hubungan antar konsep, hubungan antar prinsip, dan hubungan antar hukum-hukum termodinamika.	22%
6.	Tidak memahami pentingnya pembatasan-pembatasan dalam termodinamika seperti konsep kesetimbangan termal, kesetimbangan mekanik, kesetimbangan kimia, proses kuasistatik, proses reversibel, proses irreversibel, dll. ,serta menerapkan pembatasan-pembatasan tersebut untuk menganalisis sistem termodinamika ideal dan nyata.	18%

7.	Tidak dapat merepresentasikan pernyataan matematika kedalam bahasa verbal dan sebaliknya .	19%
8.	Tidak dapat menganalisis kecenderungan-kecenderungan data hasil eksperimental baik dalam bentuk tabel maupun dalam bentuk grafik, sehingga dari kecenderungan-kecenderungan itu diperoleh suatu aturan atau prinsip yang penting.	19%
9.	Tidak dapat mentranslasi dan mengekstrapolasi keberlakuan suatu aturan,prinsip, maupun hukum yang berlaku pada suatu sistem ke sistem yang lain.	17%
10.	Tidak dapat mentranslasi interpretasi yang berlaku pada suatu sistem dengan gangguan tertentu, jika terhadapnya diberikan gangguan yang lain.	22%

KESIMPULAN DAN SARAN

- **Kesimpulan**

Paket program Matematika untuk Termodinamika yang digunakan dalam pembelajaran Termodinamika yang dilaksanakan dengan metode diskusi,ceramah, dan tanya jawab mengikuti langkah-langkah yang diberikan dalam buku panduan Matematika untuk termodinamika tersebut, memberikan daya serap rata-rata untuk penguasaan diferensial parsial yang akan digunakan dalam Termodinamika sebesar 63,5%. Selanjutnya, perkuliahan dengan metode diskusi,ceramah, dan tanya jawab mengikuti buku panduan Matematika untuk termodinamika dengan menggunakan *Pendekatan Teknik*, artinya materi-materi yang masih dirasakan sulit untuk dipahami, diupayakan contoh-contoh kongkritnya dalam termodinamika, mampu meningkatkan daya serap rata-rata menjadi sebesar 83,7%.

Perkuliahan untuk pendalaman materi grafik dalam termodinamika, pemahaman konsep-konsep termodinamika dan terapannya, dilakukan dengan *ceramah, diskusi, tanya jawab,demonstrasi, melatih penerapan 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. Semua materi dibahas dengan pendekatan teknik, artinya setiap konsep yang dibahas selalu dikaitkan dengan terapannya*

dalam kehidupan sehari-hari dan dalam teknologi. Tindakan ini memberikan daya serap rata-rata untuk pemahaman grafik sebesar 58,9%, sedangkan untuk pemahaman konsep-konsep termodinamika dan terapannya memberikan daya serap sebesar 57,8%.

Cara yang sama seperti dilakukan pada tindakan di atas dilakukan kembali untuk pembahasan grafik dalam termodinamika, pemahaman konsep-konsep termodinamika dan terapannya. Namun pendalaman semua materi yang diberikan dilaksanakan melalui kegiatan *seminar*. Dalam pelaksanaannya, mahasiswa dibagi 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 (rangkuman) dan diseminarkan di depan 7 kelompok yang lainnya. Demikian hal ini terus bergilir, sampai semua materi selesai diseminarkan. Ternyata tindakan ini mampu meningkatkan daya serap untuk pemahaman grafik dalam termodinamika menjadi 66,0%, sedangkan daya serap rata-rata untuk pemahaman konsep dan penerapannya menjadi 81,2%.

- **Saran**

Penelitian tindakan kelas ini baru dilakukan untuk dua siklus. Hasil observasi dan refleksi pada siklus kedua, baik untuk pemahaman diferensial parsial, pemahaman grafik-grafik pada termodinamika, pemahaman konsep-konsep termodinamika maupun terapannya sudah ada. Selanjutnya tinggal merencanakan tindakan untuk siklus ketiga dan seterusnya. Bila ada yang berminat untuk melakukannya, hal ini sangat mungkin untuk dilakukan.

ABSTRAK

Sebagai dosen mata kuliah termodinamika yang telah mengajar selama 4 tahun, peneliti sering mengamati bahwa umumnya mahasiswa yang mengikuti perkuliahan termodinamika sering mengalami kesulitan dalam **penguasaan diferensial parsial dan interpretasi fisisnya, menafsirkan grafik, pemahaman konsep-konsep termodinamika dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari dan dalam teknologi**. Untuk mengatasi hal ini telah dilakukan penelitian tindakan berbasis kelas dengan multimetoda. Pembelajaran diferensial parsial untuk termodinamika dengan metode **diskusi, ceramah, dan tanya jawab** mengikuti langkah-langkah yang diberikan dalam diktat "**Matematika untuk Termodinamika**", memberikan daya serap rata-rata untuk penguasaan diferensial parsial sebesar **63,5%**. Selanjutnya, perkuliahan yang sama dengan metode **diskusi, ceramah, dan tanya jawab** mengikuti diktat "**Matematika untuk termodinamika**" dengan menggunakan **Pendekatan Teknik**, mampu meningkatkan daya serap rata-rata menjadi sebesar **83,7%**. Perkuliahan untuk pendalaman materi grafik, pemahaman konsep-konsep termodinamika dan terapannya, dilakukan dengan ceramah, diskusi, tanya jawab, demonstrasi, melatih penerapan 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, memberikan daya serap rata-rata untuk **pemahaman grafik sebesar 58,9%**, dan untuk **pemahaman konsep-konsep termodinamika dan terapannya memberikan daya serap sebesar 57,8%**. Cara yang sama seperti yang dilakukan pada tindakan sebelumnya ditambah **kegiatan seminar**, mampu meningkatkan daya serap untuk **pemahaman grafik dalam termodinamika menjadi 66,0%**, sedangkan daya serap rata-rata untuk **pemahaman konsep dan penerapannya menjadi 81,2%**.