

MODUL SOAL TERMODINAMIKA TEKNIK I

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem

Kania Amelia Safitri, S.T., M.T.

Ir. Elang Pramudya Wijaya, S.T., M.T., IPM.

IPB UNIVERSITY Kampus Dramaga Bogor

PRAKATA

Puji syukur kami panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga modul soal **Termodinamika Teknik I** ini dapat disusun. Modul ini dirancang sebagai panduan pembelajaran bagi mahasiswa untuk memahami konsep-konsep termodinamika secara mendalam melalui ringkasan materi, contoh soal, dan pembahasan yang terstruktur.

Termodinamika merupakan salah satu cabang ilmu teknik yang penting, karena menjadi dasar dalam memahami dan merancang berbagai sistem energi. Oleh karena itu, modul ini bertujuan untuk membantu mahasiswa menguasai prinsip-prinsip termodinamika dengan pendekatan yang sistematis dan aplikatif.

Modul ini terdiri dari tiga bagian utama. Bagian pertama memuat ringkasan materi yang disusun secara ringkas namun padat untuk memudahkan pemahaman konsep. Bagian kedua adalah kumpulan contoh soal yang dirancang untuk memberikan ilustrasi penerapan teori dalam berbagai kasus praktis. Sedangkan bagian ketiga berisi pembahasan soal secara rinci, yang diharapkan dapat membantu mahasiswa memahami langkah-langkah penyelesaian masalah secara logis.

Kami menyadari bahwa modul ini masih memiliki kekurangan. Oleh karena itu, kami sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk penyempurnaan modul ini di masa mendatang. Semoga modul ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa dalam proses belajar dan memberikan kontribusi positif dalam pengembangan ilmu teknik, khususnya di bidang termodinamika.

Penyusun

Kania Amelia Safitri, S.T., M.T.

Ir. Elang Pramudya Wijaya, S.T., M.T., IPM.

Departemen Teknik Mesin dan Biosistem

Institut Pertanian Bogor

Desember 2024

DAFTAR ISI

PRAKATA	i
DAFTAR ISI.....	ii
1 ENERGI DAN HUKUM I TERMODINAMIKA	1
1.1 Ringkasan Materi Hukum I Termodinamika	1
1.2 Contoh Soal.....	2
2 EVALUASI SIFAT-SIFAT TERMODINAMIKA.....	4
2.1 Ringkasan Materi Evaluasi Sifat-Sifat Termodinamika.....	4
2.2 Contoh Soal.....	5
3 ANALISIS VOLUME KONTROL MENGGUNAKAN ENERGI.....	7
3.1 Ringkasan Materi Analisis Volume Kontrol Menggunakan Energi.....	7
3.2 Contoh Soal.....	9
4 HUKUM II TERMODINAMIKA	11
4.1 Ringkasan Materi Hukum II Termodinamika	11
4.2 Contoh Soal.....	13
5 PEMBAHASAN	15
5.1 Metodologi Penyelesaian Masalah Termodinamika	15
5.2 Pembahasan Contoh Soal.....	16
BAB I ENERGI DAN HUKUM I TERMODINAMIKA.....	16
BAB II EVALUASI SIFAT-SIFAT TERMODINAMIKA.....	19
BAB III ANALISIS VOLUME KONTROL MENGGUNAKAN ENERGI.....	22
BAB IV HUKUM II TERMODINAMIKA.....	25

1 ENERGI DAN HUKUM I TERMODINAMIKA

1.1 Ringkasan Materi Hukum I Termodinamika

Energi dapat disimpan di dalam sistem dalam bentuk energi dalam (U), energi kinetik (EK), dan energi potensial (EP). Energi juga dapat dipindahkan masuk dan keluar sistem. Energi dapat dipindahkan masuk dan keluar sistem pada sistem tertutup dengan dua cara yaitu melalui kerja (W) dan perpindahan panas (Q). Kerja dan perpindahan panas bukan bagian dari *properties* dalam sistem batas (*system boundary*). Dalam mekanika, kerja adalah perpindahan energi yang berhubungan dengan gaya makroskopis dan perpindahan dalam sistem batas. Definisi termodinamika untuk kerja dalam bab ini memperluas pengertian kerja dari mekanika yang mencakup jenis kerja lainnya. Perpindahan energi oleh panas terjadi karena adanya perbedaan temperatur antara lingkungan dan sistem, dan terjadi ke arah penurunan temperatur. Perpindahan panas dapat terjadi melalui tiga skema yaitu, konduksi, radiasi dan konveksi. Berikut adalah ketentuan yang digunakan untuk kerja dan perpindahan panas.

- W, \dot{W} > 0 sistem melakukan kerja
 < 0 sistem dikenakan kerja

- Q, \dot{Q} > 0 sistem menerima panas
 < 0 sistem melepas panas

Energi merupakan bagian dari *extensive property* pada sistem, yang mana perubahannya menjadi bagian penting di dalam sistem. Perubahan energi dapat dihitung melalui persamaan keseimbangan energi. Keseimbangan energi untuk sistem tertutup dapat dilihat pada persamaan (1.1) dan (1.2) serta untuk laju perubahan energi dapat dilihat pada persamaan (1.3).

$$E_2 - E_1 = Q - W \quad (1.1)$$

$$\Delta EK + \Delta EP + \Delta U = Q - W \quad (1.2)$$

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} \quad (1.3)$$

1.2 Contoh Soal

1. Tuliskan persamaan kesetimbangan energi untuk sistem tertutup dan jelaskan arti dari setiap parameter dalam persamaan!
2. Jelaskan tentang internal energi, dan berikan 3 contohnya!
3. Tuliskan tanda dan konvensi untuk arah kerja (W)!
4. Tuliskan tanda dan konvensi untuk arah pindah panas (Q)!
5. Sebuah objek memiliki massa 0.5 kg dan kecepatan 30 m/s tentukanlah,
 - a. kecepatan akhir dalam (m/s). Jika energi kinetik dari objek turun menjadi 130 J.
 - b. perubahan ketinggian pada objek dalam (m), Jika perubahan energi potensial sebesar 130 J. Percepatan gravitasi (g) = 9.81 m/s².
6. Sebuah objek dengan massa 2 kg mengalami perubahan kecepatan dari 200 m/s menjadi 500 m/s dikarenakan perubahan gaya. Maka hitunglah kerja yang dilakukan oleh gaya dalam kJ. Jika tidak ada interaksi yang terjadi antara objek dengan lingkungan.
7. Pesawat memiliki massa 5000 kg terbang dengan kecepatan 150 m/s dan ketinggian 10,000 m, di mana kedua nilai tersebut diukur relatif terhadap permukaan bumi. Jika percepatan gravitasi konstan pada nilai 9.78 m/s². Maka tentukanlah,
 - a. Energi kinetik dan potensial pada pesawat dalam (kJ).
 - b. Kecepatan akhir pesawat dalam (m/s). Apabila energi kinetik bertambah sebesar 10,000 kJ tanpa adanya perubahan ketinggian.
8. Sebuah gas mengalami ekspansi dari keadaan awal di mana $p_1 = 500$ kPa dan $V_1 = 0.1$ m³ ke keadaan akhir di mana $p_2 = 100$ kPa. Hubungan antara tekanan dan volume selama proses adalah konstan ($pV = \text{konstan}$). Di mana $n = 1.5$,
 - a. gambarlah diagram p-V untuk proses tersebut dan,
 - b. hitunglah kerja pada proses tersebut dalam (kJ).
9. Sebuah gas mengalami ekspansi dari keadaan awal di mana $p_1 = 500$ kPa dan $V_1 = 0.1$ m³ ke keadaan akhir di mana $p_2 = 100$ kPa. Hubungan antara tekanan dan volume selama proses adalah konstan ($pV^n = \text{konstan}$) di mana $n = 0$.
 - a. Gambarlah diagram p-V untuk proses tersebut dan,
 - b. Hitunglah kerja pada proses tersebut dalam (kJ).
10. Dua kilogram udara dimasukkan ke dalam tabung yang terisolasi dengan volum sebesar 0.6 m³. Pada tabung terdapat *paddle wheel* yang mentransfer energi ke udara dalam laju konstan sebesar 10 W dalam waktu 1 jam. Jika tidak ada perubahan energi kinetik dan potensial pada sistem. Tentukanlah,
 - a. volume spesifik udara pada keadaan akhir, dalam (m³/kg).

- b. energi yang ditransfer oleh kerja (kJ).
 - c. perubahan internal energi spesifik udara (kJ/kg).
11. Sebuah sistem tertutup bermassa 20 kg melepaskan panas sebesar 1000 kJ dari sistem ke lingkungan. Didapati sistem dikenakan kerja sebesar 200 kJ. Jika pada keadaan awal diketahui spesifik internal energi sebesar 300 kJ/kg. Abaikan perubahan energi kinetik dan potensial selama proses berlangsung. Maka,
- a. berapakah internal energi spesifik di akhir proses , dalam (kJ/kg)
 - b. jika diketahui volume dan tekanan awal massa adalah 0.5 m^3 dan 10 kPa, berapakah volume akhir sistem jika $pV^n = \text{konstan}$, di mana $n = 1.5$
12. Sebuah massa sebesar 5 kg dalam sistem tertutup menerima sebuah kerja sebesar 9 kJ dari lingkungan. Selama proses berlangsung ketinggian sistem meningkat sebesar 700 m. Spesifik internal energi sistem menurun sebesar 6 kJ/kg dan tidak ada perubahan energi kinetik pada sistem. Jika percepatan gravitasi ditetapkan sebesar 9.6 m/s^2 . Maka, hitunglah laju panas yang terjadi pada sistem, dalam (kJ).

2 EVALUASI SIFAT-SIFAT TERMODINAMIKA

2.1 Ringkasan Materi Evaluasi Sifat-Sifat Termodinamika

Bab ini memberikan gambaran kepada kita bagaimana hubungan properti untuk berbagai macam zat dalam bentuk tabel, grafik, dan persamaan. Penggunaan tabel untuk melihat keterkaitan antara properti menjadi hal yang diperhatikan dalam Bab ini.

Aspek utama dalam analisis termodinamika adalah menentukan keadaan (*fixing states*). Hal ini dipandu oleh prinsip keadaan untuk sistem kompresibel sederhana dan murni, yang ditandai dengan keadaan intensif (*intensive state*) ditetapkan oleh dua nilai properti intensif yang independen. Aspek penting lain dari analisis termodinamika adalah menemukan lokasi keadaan dari proses melalui diagram yang sesuai: diagram $p - v$, $T - v$, dan $p - T$. Keterampilan menetapkan keadaan menggunakan diagram properti sangat penting untuk memecahkan permasalahan yang melibatkan keseimbangan energi.

Pemodelan gas ideal pada Bab ini diperkenalkan dengan menggunakan faktor kompresibilitas sebagai titik awal pertinjauan, yang mana pengaturan ini menekankan keterbatasan model gas ideal. Apabila memungkinkan untuk menggunakan pemodelan gas ideal, perlu ditekankan bahwa panas spesifik secara umum bervariasi terhadap fungsi temperatur dan lebih menonjolkan dalam penggunaan tabel gas ideal dalam penyelesaian persoalan.

Persamaan yang digunakan dalam mengevaluasi sifat-sifat termodinamika untuk dua fase campuran (*liquid-vapor*) dapat dilihat dalam persamaan (2.1) yang menggambarkan *quality* (x) dari campuran *liquid-vapor*. Dalam mencari volume spesifik (v) dua fase campuran (*liquid-vapor*) dapat dilihat dalam persamaan (2.2), dan untuk energi dalam spesifik (u) serta entalpi spesifik (h) dapat dilihat dalam persamaan (2.3) dan (2.4) secara berurutan.

$$x = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{liquid}} + m_{\text{vapor}}} \quad (2.1)$$

$$v = (1 - x)v_f + xv_g = v_f + x(v_g - v_f) \quad (2.2)$$

$$u = (1 - x)u_f + xu_g = u_f + x(u_g - u_f) \quad (2.3)$$

$$h = (1 - x)h_f + xh_g = h_f + x(h_g - h_f) \quad (2.4)$$

2.2 Contoh Soal

1. Merujuk pada diagram fase, jelaskan mengapa lapisan tipis air cair terbentuk di bawah bilah sepatu seluncur es.
2. Apakah air pada suhu -40°C dapat berada dalam bentuk uap? Atau dalam bentuk cair?
3. Mengapa pipa air yang membeku cenderung pecah?
4. Di dalam sebuah piston-silinder terdapat dua-fase campuran *liquid-vapor* dari Refrigerant 22, didapati temperatur awal sebesar 24°C dengan *quality* sebesar 95%. Proses ekspansi terjadi hingga tekanan mencapai 1 bar. Selama proses berlangsung tekanan dan volume spesifik dihubungkan melalui persamaan $pv = \text{konstan}$. Maka tentukanlah, kerja dan perpindahan panas yang terjadi pada refrigerant per unit massa, (kJ/kg).
5. Refrigerant 134a melalui proses di mana hubungan tekanan-volume digambarkan dalam persamaan $pv^n = \text{konstan}$. Keadaan awal dan akhir refrigerant tetap dengan nilai $p_1 = 200 \text{ kPa}$, $T_1 = -10^{\circ}\text{C}$, dan $p_2 = 1000 \text{ kPa}$, $T_2 = 50^{\circ}\text{C}$. Hitunglah kerja dan perpindahan panas yang terjadi selama proses dalam satuan kJ per kg refrigerant.
6. Dua kilogram refrigerant 134a, memiliki tekanan awal sebesar 2 bar dan volume sebesar 0.12 m^3 . Refrigerant melalui sebuah proses di mana tekanan konstan hingga volume menjadi dua kali lipat. Jika energi potensial dan kinetik diabaikan. Tentukanlah kerja dan perpindahan panas yang terjadi pada proses tersebut dalam kJ.
7. Sebuah tangki tertutup dan kaku mengandung 2 kg air yang awalnya berada pada suhu 80°C dengan kualitas 0,6. Perpindahan panas terjadi hingga tangki hanya mengandung uap jenuh. Efek energi kinetik dan potensial dapat diabaikan. Apabila air sebagai sistem, tentukan jumlah energi yang dipindahkan melalui panas, dalam kJ.
8. Uap air berada dalam wadah tertutup yang kaku dengan volume 1 m^3 . Pada awalnya, tekanan dan suhu uap adalah 7 bar dan 500°C . Suhu turun karena adanya perpindahan panas ke lingkungan sekitar. Tentukan suhu pada saat kondensasi pertama kali terjadi, dalam $^{\circ}\text{C}$, serta fraksi massa yang telah terkondensasi ketika tekanan mencapai 0,5 bar. Selain itu, hitung volume, dalam m^3 , yang ditempati oleh cairan jenuh pada kondisi akhir.
9. Hitunglah volume spesifik dalam m^3/kg dan entalpi spesifik dalam kJ/kg untuk ammonia pada suhu 20°C dan tekanan 1.0 MPa.
10. Sebuah tangki berisi $0,05 \text{ m}^3$ nitrogen (N_2) pada suhu 21°C dan tekanan 10 MPa. Tentukan massa nitrogen dalam kg, menggunakan: (a) model gas ideal. (b) data dari

diagram kompresibilitas. Berikan komentar tentang penerapan model gas ideal untuk nitrogen pada kondisi ini.

11. Gas helium (He) yang awalnya berada pada tekanan 2 bar dan suhu 200 K mengalami proses polytropik, dengan $n = k$, hingga mencapai tekanan akhir 14 bar. Tentukan kerja dan transfer kalor untuk proses tersebut, masing-masing dalam kJ per kg helium. Asumsikan gas sebagai gas ideal.

3 ANALISIS VOLUME KONTROL MENGGUNAKAN ENERGI

3.1 Ringkasan Materi Analisis Volume Kontrol Menggunakan Energi

Bab ini membahas analisis energi dalam sistem *control volume* (CV), yaitu sistem terbuka di mana massa dapat keluar atau masuk, tidak seperti sistem tertutup. Fokus utama bab ini adalah aplikasi hukum pertama termodinamika (konservasi energi) pada *control volume*.

Konsep Control Volume

- *Control Volume* : Wilayah tetap dalam ruang yang dikelilingi oleh *control surface*. Massa dan energi dapat melintasi permukaan ini.
- *Control Surface*: Batas yang memisahkan CV dari lingkungannya, yang dapat berupa permukaan nyata (pipa, tangki) atau garis imajiner.

Hukum Pertama Termodinamika pada Control Volume

Hukum pertama untuk CV menyatakan bahwa perubahan energi dalam CV disebabkan oleh perpindahan energi melalui kerja, panas, dan energi yang terbawa massa yang masuk dan keluar, persamaan (3.1) menunjukkan kesetimbangan energi pada sistem terbuka.

$$\frac{dE}{dt} = \dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_{in} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) - \sum \dot{m}_{out} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (3.1)$$

Di mana: $\frac{dE}{dt}$ adalah energi dalam CV (energi dalam, energi kinetik, dan energi potensial). \dot{Q} , laju perpindahan panas masuk ke CV. \dot{W} , laju kerja yang dilakukan CV ke lingkungan. \dot{m} , laju aliran massa masuk atau keluar CV. h , entalpi per satuan massa. $\frac{v^2}{2}$, energi kinetik per satuan massa, dan gz adalah energi potensial per satuan massa.

Aplikasi pada Sistem Stasioner

Untuk sistem stasioner atau tunak (energi dalam CV tidak berubah terhadap waktu), persamaan di atas menjadi:

$$0 = \dot{Q} - \dot{W} + \sum \dot{m}_{in} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) - \sum \dot{m}_{out} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (3.2)$$

Persamaan (3.2) ini sering digunakan dalam analisis mesin-mesin teknik seperti turbin, kompresor, pompa, dan penukar panas.

Kerja dalam Control Volume

Kerja dalam CV meliputi:

- Kerja Aliran : Kerja akibat tekanan fluida masuk atau keluar dari CV
- Kerja Poros : Kerja mekanis yang dilakukan poros dalam turbin atau kompresor.
- Kerja Lainnya: Termasuk kerja listrik atau kerja akibat gaya lainnya.

Energi yang Dibawa oleh Aliran Massa

Massa yang masuk atau keluar dari CV membawa energi dalam bentuk:

- Energi dalam (u).
- Energi kinetik ($\frac{v^2}{2}$).
- Energi potensial (gz).
- Entalpi (h), yang mencakup energi dalam dan kerja aliran.

Aplikasi Umum *Control Volume*

Beberapa aplikasi praktis yang dijelaskan meliputi:

- *Nozzle* dan *Diffuser*: Alat untuk mengubah kecepatan aliran fluida tanpa menghasilkan kerja.
- Turbin: Mengubah energi fluida menjadi energi mekanis.
- Kompresor dan Pompa: Menambah energi fluida melalui kerja poros.
- Penukar Panas: Mentransfer energi panas antar aliran fluida tanpa melibatkan kerja.
- Katup (*Throttling Device*): Menurunkan tekanan fluida secara isentalpi.

Pendekatan Penyelesaian Masalah

- Identifikasi CV dan permukaannya.
- Tentukan asumsi yang relevan (misalnya, sistem stasioner, aliran satu dimensi).
- Terapkan hukum konservasi massa:

$$\sum \dot{m}_{in} = \sum \dot{m}_{out}$$

- Terapkan hukum pertama termodinamika untuk CV.
- Gunakan tabel properti termodinamika untuk menentukan parameter zat kerja.

Studi Kasus dan Aplikasi Nyata

- Analisis efisiensi turbin dan kompresor.
- Perancangan penukar panas dalam industri.
- Evaluasi proses *throttling* dalam sistem pendingin.

Bab ini memberikan gambaran analisis untuk memahami dan merancang perangkat teknik yang melibatkan aliran massa dan energi. Penguasaan konsep ini menjadi dasar dalam aplikasi keteknikan seperti pembangkit listrik, sistem pendingin, dan alat transportasi energi.

3.2 Contoh Soal

1. Ketika udara masuk ke dalam diffuser dan melambat, apakah tekanannya meningkat atau menurun?
2. Sebuah tangki kaku yang terisolasi dikosongkan. Sebuah katup dibuka dan udara atmosfer pada suhu 20°C , 1 atm masuk hingga tekanan di dalam tangki mencapai 1 bar, pada saat katup ditutup. Apakah suhu akhir udara di dalam tangki akan sama dengan, lebih besar, atau lebih kecil dari 20°C ?
3. Udara memasuki volume kontrol dengan satu saluran masuk dan satu saluran keluar pada tekanan 8 bar, temperatur 600 K, dan kecepatan 40 m/s melalui sebuah penampang aliran sebesar 20 cm^2 . Pada bagian keluar didapati tekanan sebesar 2 bar, dan temperatur sebesar 400 K, serta kecepatan aliran sebesar 350 m/s. Udara berperilaku sebagai gas ideal dalam kondisi tunak. Tentukanlah;
 - a. Laju aliran massa, dalam kg/s
 - b. Luas penampang pada sisi keluar udara, dalam cm^2 .
4. Minyak sayur untuk memasak dikeluarkan dari botol tabung yang memiliki penyemprot nosel. Berdasarkan label, botol tersebut dapat menyemprotkan minyak sebanyak 560 kali, selama 0.25 s disetiap penyemprotan, dan massa minyak yang keluar sebesar 0.25 g. Tentukanlah.
 - a. Laju aliran massa disetiap penyemprotan, dalam g/s
 - b. Jumlah massa yang tersisa di dalam botol setelah 560 kali penyemprotan, dalam g, jika massa awal minyak dalam botol sebesar 170 g.
5. Refrigerant 134a memasuki sebuah kondensor dalam kondisi tunak pada tekanan 9 bar dan temperatur 50°C , di mana diameter pipa penampang yang dilalui sebesar 2.5 cm. Pada bagian keluar diketahui tekanan sebesar 9 bar dengan temperatur sebesar 30°C , dan kecepatan sebesar 2.5 m/s. Jika diketahui laju aliran massa masuk refrigerant sebesar 6 kg/min. Tentukanlah.
 - a. Kecepatan refrigerant pada sisi inlet, dalam m/s.
 - b. Diameter sisi pipa bagian luar, dalam cm.
6. Sebuah turbin yang diisolasi dengan baik berkerja dalam kondisi tunak. Ditunjukkan pada gambar di bawah. Uap air masuk dengan tekanan sebesar 3 MPa, 400°C , dengan debit aliran sebesar $85\text{ m}^3/\text{min}$. Sejumlah uap air terekstrasi oleh turbin pada tekanan 0.5 MPa dan temperatur 180°C . Sisa uap air mengalami ekspansi hingga mencapai tekanan 6 kPa dengan *quality* sebesar 90%. Jika total energi yang dihasilkan turbin adalah 11,400 kW. Maka tentukanlah,
 - a. Laju aliran massa uap air di pada ke dua sisi keluar dalam kg/h
 - b. Diameter, dalam m, untuk saluran yang dilalui oleh uap air yang terekstrasi, jika kecepatan didapati sebesar 20 m/s.

7. Udara masuk ke dalam *fan* berdiameter 0,6 meter pada suhu 16°C , tekanan 101 kPa, dan keluar pada suhu 18°C , tekanan 105 kPa, dan laju aliran volumetrik $0,35\text{ m}^3/\text{s}$. Dengan mengasumsikan perilaku gas ideal, Jika sistem berjalan pada keadaan tunak. Tentukanlah :
 - a. Laju aliran massa udara, dalam kg/s.
 - b. Laju aliran volumetrik udara di inlet, dalam m^3/s .
 - c. Kecepatan udara pada sisi *inlet* dan *outlet*, dalam m/s.
8. Refrigeran 134a mengalir pada keadaan tunak melalui pipa horizontal panjang dengan diameter dalam 4 cm, masuk sebagai uap jenuh pada suhu 8°C dengan laju aliran massa 17 kg/menit. Uap refrigeran keluar pada tekanan 2 bar. Jika laju perpindahan panas ke refrigeran adalah 3,41 kW, tentukan suhu keluar, dalam $^{\circ}\text{C}$, dan kecepatan di inlet dan outlet, masing-masing dalam m/s.
9. Udara masuk ke dalam volume kontrol yang beroperasi pada keadaan tunak dengan tekanan 1,05 bar, suhu 300 K, laju aliran volumetrik $12\text{ m}^3/\text{menit}$ dan keluar pada tekanan 12 bar, suhu 400 K. Perpindahan panas terjadi dengan laju 20 kW dari volume kontrol ke lingkungan sekitarnya. Abaikan efek energi kinetik dan potensial, tentukanlah daya, dalam kW.
10. Saluran masuk ke mesin jet membentuk sebuah diffuser yang secara bertahap memperlambat udara yang masuk hingga kecepatan relatif terhadap mesin menjadi nol sebelum udara masuk ke kompresor. Pertimbangkan sebuah pesawat jet yang terbang pada kecepatan 1000 km/jam di mana tekanan atmosfer lokal adalah 0,6 bar dan suhu udara adalah 8°C . Dengan mengasumsikan perilaku gas ideal dan mengabaikan perpindahan panas serta efek energi potensial, tentukanlah suhu udara yang masuk ke kompresor, dalam $^{\circ}\text{C}$

4 HUKUM II TERMODINAMIKA

4.1 Ringkasan Materi Hukum II Termodinamika

Hukum II Termodinamika memberikan wawasan yang lebih dalam tentang arah alami proses energi dan keterbatasan dalam konversi energi. Bab ini membahas prinsip dasar, formulasi matematis, dan penerapannya dalam berbagai sistem teknik.

Prinsip Dasar Hukum II Termodinamika

Hukum II menyatakan bahwa tidak semua energi panas dapat diubah sepenuhnya menjadi kerja, dan setiap proses alami memiliki arah tertentu. Konsep ini sering dihubungkan dengan ketidakteraturan atau entropi sistem.

Pernyataan Hukum II

- Pernyataan Kelvin-Planck: Tidak mungkin membuat mesin kalor yang bekerja dalam suatu siklus dan hanya menghasilkan kerja bersih tanpa membuang energi panas ke reservoir suhu rendah.
- Pernyataan Clausius: Tidak mungkin ada proses yang menyebabkan perpindahan panas dari reservoir suhu rendah ke reservoir suhu tinggi tanpa kerja eksternal.

Mesin Kalor dan Efisiensi

Mesin kalor adalah perangkat yang bekerja berdasarkan siklus untuk mengubah panas menjadi kerja.

- Efisiensi mesin kalor (η) didefinisikan sebagai:

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{in}}$$

Di mana W_{net} adalah kerja bersih, dan Q_{in} adalah energi panas yang diterima dari reservoir suhu tinggi.

Refrigerasi dan COP (*Coefficient of Performance*)

Sistem refrigerasi dan pompa kalor bekerja berdasarkan prinsip Hukum II dengan tujuan memindahkan panas dari suatu tempat ke tempat lain.

- COP untuk refrigerasi:

$$COP = \frac{Q_{out}}{W_{net}}$$

- COP untuk pompa kalor:

$$COP = \frac{Q_{in}}{W_{net}}$$

Entropi dan Hukum II

Entropi (S) adalah properti termodinamika yang mengukur tingkat ketidakteraturan sistem. Hukum II dalam bentuk entropi menyatakan:

$$\Delta S_{total} = \Delta S_{sistem} + \Delta S_{lingkungan} \geq 0$$

Ketidakteraturan selalu meningkat dalam proses alami (kecuali untuk proses reversibel, di mana $\Delta S_{total} = 0$).

- **Persamaan Entropi**

Perubahan entropi untuk sistem dengan panas yang masuk atau keluar diberikan oleh:

$$\Delta S_{total} = \int \frac{\delta Q}{T}$$

Di mana δQ adalah energi panas yang ditambahkan dan T adalah suhu absolut pada saat pertukaran panas.

Proses Reversibel dan Irreversibel

- **Proses Reversibel:** Proses ideal di mana tidak ada kehilangan energi akibat gesekan, perpindahan panas tak sempurna, atau ketidakteraturan lainnya.
- **Proses Irreversibel:** Proses nyata di mana ketidaksempurnaan seperti gesekan, perpindahan panas tak sempurna, dan kehilangan energi menyebabkan peningkatan entropi.

Siklus Carnot

Siklus Carnot adalah siklus ideal yang terdiri dari dua proses isentropik (adiabatik reversibel) dan dua proses isothermal.

- Efisiensi Carnot diberikan oleh:

$$\eta = 1 - \frac{T_{cold}}{T_{hot}}$$

Di mana T_{hot} dan T_{cold} adalah temperatur pada reservoir panas dan dingin.

Aplikasi Hukum II Termodinamika

- **Analisis Siklus:** Digunakan untuk mengevaluasi efisiensi mesin kalor, refrigerasi, dan pompa kalor.
- **Analisis Exergy (Ketersediaan Energi):** Mengukur kemampuan sistem untuk melakukan kerja berguna dengan mempertimbangkan lingkungan sebagai referensi.
- **Irreversibilitas:** Menghitung kehilangan kerja potensial akibat ketidaksempurnaan proses.

Bab ini menekankan bahwa Hukum II Termodinamika tidak hanya membatasi efisiensi konversi energi, tetapi juga memberikan pemahaman akan arah dan ketidaksempurnaan proses termodinamika. Hal ini menjadi dasar dalam desain dan analisis dalam sistem keteknikan di bidang energi.

4.2 Contoh Soal

1. Sebuah sistem terdiri dari sebuah kubus es dalam secangkir air keran. Kubus es mencair dan akhirnya mencapai keseimbangan. Bagaimana kerja dapat dikembangkan saat es dan air mencapai keseimbangan?
2. Uap pada keadaan tertentu masuk ke dalam turbin yang beroperasi pada keadaan tunak dan mengembang secara adiabatik hingga tekanan yang lebih rendah yang ditentukan. Apakah Anda bisa memprediksi daya yang dihasilkan akan lebih besar pada ekspansi yang dapat dibalik secara internal (*internally reversible*) atau ekspansi aktual?
3. Sebuah pompa panas menerima energi melalui perpindahan panas dari udara luar pada suhu 0°C dan melepaskan energi melalui perpindahan panas ke dalam rumah pada suhu 20°C . Apakah ini melanggar pernyataan Clausius dari hukum kedua termodinamika? Jelaskan!
4. Seorang penemu mengklaim telah mengembangkan sebuah perangkat yang menjalani siklus termodinamika yang berhubungan secara termal dengan dua reservoir. Sistem menerima energi Q_C dari reservoir dingin dan melepaskan energi Q_H ke reservoir panas sambil menghasilkan sejumlah kerja bersih ke lingkungan sekitarnya. Tidak ada transfer energi lain antara perangkat dan lingkungan sekitarnya. Gunakan hukum kedua termodinamika untuk mengevaluasi klaim penemu tersebut.
5. Dua siklus daya yang dapat dibalik (*reversible power cycles*) disusun secara seri. Siklus pertama menerima energi melalui perpindahan panas dari reservoir pada suhu T_H dan melepaskan energi ke reservoir pada suhu antara T . Siklus kedua menerima energi yang dibuang oleh siklus pertama dari reservoir pada suhu T dan melepaskan energi ke reservoir pada suhu T_C yang lebih rendah dari T . Turunkan persamaan untuk suhu antara T dalam kaitannya dengan T_H dan T_C ketika:
 - a. Kerja bersih dari kedua siklus daya adalah sama.
 - b. Efisiensi termal dari kedua siklus daya adalah sama.
6. Sebuah siklus pendinginan yang beroperasi antara dua reservoir menerima energi Q_C dari reservoir dingin pada $T_C = 280\text{ K}$ dan melepaskan energi Q_H ke reservoir panas pada $T_H = 320\text{ K}$. Untuk setiap kasus berikut, tentukan apakah siklus beroperasi secara terbalik (*reversibly*), tidak terbalik (*irreversibly*), atau tidak mungkin (*impossible*):
 - a. $Q_C = 1500\text{ kJ}$, $W_{\text{cycle}} = 150\text{ kJ}$
 - b. $Q_C = 1400\text{ kJ}$, $Q_H = 1600\text{ kJ}$.
 - c. $Q_H = 1600\text{ kJ}$, $W_{\text{cycle}} = 400\text{ kJ}$.
7. Sebuah siklus daya beroperasi antara reservoir pada suhu T dan reservoir dengan suhu lebih rendah pada 280 K . Pada keadaan tunak, siklus menghasilkan daya sebesar 40 kW sambil melepaskan 1000 kJ/menit energi melalui perpindahan panas ke reservoir dingin. Tentukan nilai teoritis minimum untuk T , dalam K .

8. Seorang penemu mengklaim telah mengembangkan siklus pendinginan yang memerlukan *input* daya bersih sebesar 1,2 kW untuk menghilangkan 25.000 kJ/jam energi melalui perpindahan panas dari reservoir pada suhu 30°C dan melepaskan energi melalui perpindahan panas ke reservoir pada suhu 20°C. Tidak ada transfer energi lain dengan lingkungan sekitar. Evaluasilah klaim ini.
9. Pada keadaan tunak, sebuah siklus pendinginan menghilangkan 18.000 kJ/jam energi melalui perpindahan panas dari sebuah ruang yang dipertahankan pada suhu 40°C dan melepaskan energi melalui perpindahan panas ke lingkungan sekitar pada suhu 20°C. Jika koefisien performa siklus ini adalah 25 persen dari koefisien performa siklus pendinginan yang dapat dibalik (*reversible refrigeration cycle*) yang beroperasi antara reservoir termal pada kedua suhu tersebut, tentukan *input* daya ke siklus tersebut, dalam kW.
10. Dua kilogram air menjalani siklus daya Carnot. Selama ekspansi isothermal, air dipanaskan hingga menjadi uap jenuh dari keadaan awal di mana tekanannya 40 bar dan kualitasnya 15%. Uap tersebut kemudian mengembang secara adiabatik hingga tekanan 1,5 bar dan melakukan kerja sebesar 491,5 kJ/kg.
 - a. Gambarkan siklus tersebut pada koordinat p–v.
 - b. Evaluasi panas dan kerja untuk setiap proses, dalam kJ.
 - c. Evaluasi efisiensi termal.

5 PEMBAHASAN

5.1 Metodologi Penyelesaian Masalah Termodinamika

Modul ini bertujuan untuk membantu mahasiswa/i dalam mempelajari cara menyelesaikan masalah teknik yang melibatkan prinsip-prinsip termodinamika. Untuk itu, disediakan contoh soal dan latihan, di mana menguasai dasar-dasar termodinamika hanya bisa dicapai melalui latihan rutin.

Untuk memaksimalkan hasil belajar, diperlukan pendekatan yang sistematis. Hindari menyelesaikan masalah secara terburu-buru dengan langsung menggunakan persamaan yang tampak cocok, memasukkan angka, dan menghitung cepat. Pendekatan yang tidak terstruktur dapat menyebabkan kesulitan saat masalah menjadi lebih kompleks. Oleh karena itu, solusi masalah sebaiknya diorganisir dengan lima langkah berikut:

- **Diketahui:**
 - Nyatakan dengan singkat dalam kata-kata sendiri apa saja informasi yang diberikan dalam soal.
 - Bacalah soal dengan teliti dan pahami isinya.
- **Ditanyakan:**
 - Nyatakan secara ringkas apa yang harus dicari atau ditentukan dari soal.
- **Skema dan Data Diberikan:**
 - Gambar sketsa sistem yang akan dianalisis.
 - Tentukan apakah sistem adalah *sistem tertutup* atau *kontrol volume*.
 - Identifikasi batas sistem dan labeli sketsa dengan informasi yang relevan dari soal.
 - Catat semua nilai properti yang diketahui atau diperlukan untuk perhitungan.
 - Buat diagram properti yang sesuai (seperti diagram $P - V$ atau $T - s$) untuk menunjukkan keadaan kunci dan proses yang terjadi.
 - Sketsa yang baik sangat penting untuk membantu pemahaman masalah.
- **Asumsi:**
 - Catat semua asumsi penyederhanaan yang digunakan untuk mempermudah analisis masalah.
 - Asumsi ini bisa dicatat pada sketsa jika diperlukan.
- **Analisis:**
 - Berdasarkan asumsi, sederhanakan persamaan dasar dan hubungan yang relevan untuk mendapatkan hasil yang diinginkan.
 - Kerjakan persamaan secara aljabar selama mungkin sebelum memasukkan angka.
 - Identifikasi tabel, grafik, atau persamaan properti yang diperlukan untuk mencari data tambahan.
 - Pastikan satuan konsisten saat memasukkan nilai numerik ke dalam persamaan.
 - Lakukan perhitungan dengan cermat, lalu periksa apakah hasilnya logis dan tanda aljabarnya benar.

Pendekatan ini membantu menyelesaikan masalah dengan lebih terstruktur, mengurangi kesalahan, dan memberikan pemahaman yang mendalam.

5.2 Pembahasan Contoh Soal

BAB I ENERGI DAN HUKUM I TERMODINAMIKA

- 6 Dik : $m = 2 \text{ kg}$
 $v_1 = 200 \text{ m/s}$
 $v_2 = 500 \text{ m/s}$

Dit : $W \text{ (kJ)} = ?$

Skema : 

Asumsi : (1) Objek berada pada sistem tertutup
 (2) Resultan gaya merupakan satu-satunya interaksi yang terjadi di antara objek dan lingkungan

Analisis : Berdasarkan asumsi (2), kerja dari resultan gaya harus sama dengan perubahan energi kinetik, maka;

$$W = \frac{1}{2} m(v_2^2 - v_1^2)$$

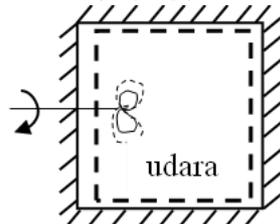
$$W = \frac{1}{2} 2 \text{ kg} (500^2 - 200^2) \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \left| \frac{1 \text{ N}}{1 \text{ kg m/s}^2} \right| \left| \frac{1 \text{ kJ}}{10^3 \text{ N m}} \right|$$

$$W = 210 \text{ kJ}$$

Kesimpulan, perubahan energi kinetik terjadi disebabkan adanya transfer energi melalui kerja sebesar 210 kJ

- 10 Dik : $m = 2 \text{ kg}$
 $V = 0.6 \text{ m}^3$
 $\dot{W} = -10 \text{ W}$ (dalam waktu (t) 1 jam)

Dit : a. $v \text{ (m}^3/\text{s)} = ?$ (pada keadaan akhir)
 b. $W \text{ (kJ)} = ?$
 c. $\Delta u \text{ (kJ/kg)} = ?$

Skema : 

Asumsi : (1) Udara berada pada sistem tertutup
 (2) Tidak ada panas yang keluar dan masuk ke dalam sistem, maka $Q = 0$ dan tidak ada perubahan energi kinetik juga potensial
 (3) Keadaan awal dan akhir setimbang

Analisis : Tidak ada perubahan volume, maka volume spesifik pada keadaan awal dan akhir adalah sama.

a. Mencari volume spesifik

$$v_2 = v_1$$

$$v_2 = V/m$$

$$v_2 = (0.6 \text{ m}^3) / (2 \text{ kg})$$

$$v_2 = 0.3 \text{ m}^3/\text{kg}$$

b. Mencari kerja (W)

$$W = \int_0^t \dot{W} dt = \int_0^{1 \text{ jam}} -10 \text{ W} dt$$

$$W = (-10 \text{ W})(1 \text{ jam}) \left| \frac{1 \text{ J/s}}{1 \text{ W}} \right| \left| \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ jam}} \right| \left| \frac{1 \text{ kJ}}{10^3 \text{ J}} \right|$$

$$W = -36 \text{ kJ}$$

c. Mencari spesifik entalpi

$$\Delta EK + \Delta EP + \Delta U = Q - W$$

$$0 + 0 + \Delta U = 0 - W$$

$$m \Delta u = -W$$

$$\Delta u = -W/m$$

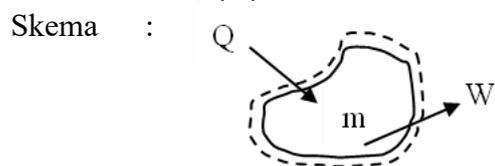
$$\Delta u = -(-36 \text{ kJ}) / (2 \text{ kg})$$

$$\Delta u = 18 \text{ kJ/kg}$$

Kesimpulan, berdasarkan perhitungan didapatkan volume spesifik sebesar $0.3 \text{ m}^3/\text{kg}$ kerja yang diberikan pada sistem sebesar -36 kJ , dan perubahan spesifik entalpi sebesar 18 kJ/kg .

- 12 Dik : $m = 5 \text{ kg}$
 $W = -9 \text{ kJ}$
 $\Delta h = 700 \text{ m}$
 $\Delta u = -6 \text{ kJ/kg}$
 $\Delta EK = 0$
 $g = 9.6 \text{ m/s}^2$

Dit : $Q (\text{kJ}) = ?$



- Asumsi : (1) Objek berada pada sistem tertutup
 (2) Tidak ada perubahan energi kinetik
 (3) Percepatan gravitasi konstan

Analisis : Berdasarkan asumsi (2), maka persamaan energi dapat dituliskan kembali menjadi

$$\Delta EK + \Delta EP + \Delta U = Q - W$$

$$0 + \Delta EP + \Delta U = Q - W$$

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

$$m g \Delta h + m \Delta u = Q - W$$

$$Q = W + m g \Delta h + m \Delta u$$

$$Q = (-9 \text{ kJ}) + (5 \text{ kg}) (9.6 \text{ m/s}^2) (700 \text{ m}) + (5 \text{ kg}) (-6 \text{ kJ/kg})$$

$$Q = -5.4 \text{ kJ}$$

Kesimpulan, jadi panas yang masuk ke dalam sistem sebesar 5.4 kJ. Di mana tanda negatif menggambarkan panas terserap oleh sistem

BAB II EVALUASI SIFAT-SIFAT TERMODINAMIKA

6 Dik : Refrigerant 134a

$$m = 2 \text{ kg}$$

$$p_1 = 2 \text{ bar}$$

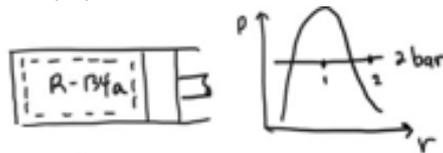
$$V_1 = 0.12 \text{ m}^3$$

$$V_2 = 0.24 \text{ m}^3$$

Dit : a. W (kJ) = ?

b. Q (kJ) = ?

Skema :



Asumsi : (1) Refrigerant berada pada sistem tertutup

(2) Tekanan yang terjadi konstan selama proses terjadi $p_1 = p_2$

(3) Tidak ada perubahan energi kinetik dan potensial

Analisis : Mencari kerja yang terjadi pada sistem,

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p \, dV = p (V_2 - V_1)$$

$$W = (2 \text{ bar}) (0.24 - 0.12) \text{ m}^3 \left| \frac{10^5 \text{ N/m}^2}{1 \text{ bar}} \right| \left| \frac{1 \text{ kJ}}{10^3 \text{ N m}} \right|$$

$$W = 24 \text{ kJ}$$

Mencari nilai perpindahan panas yang terjadi pada sistem

$$\Delta EK + \Delta EP + \Delta U = Q - W$$

Berdasarkan asumsi yang ada maka persamaan energi dapat dituliskan kembali menjadi,

$$0 + 0 + \Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = m (u_2 - u_1)$$

$$Q = m (u_2 - u_1) + W$$

Tabel A-11 menunjukkan, ketika

$$v = V/m$$

$$v_1 = 0.12 \text{ m}^3 / 2 \text{ kg}$$

$v_1 = 0.06 \text{ m}^3/\text{kg}$ dan $p_1 = 2 \text{ bar}$, didapatkan nilai

$$v_{g1} = 0.0993 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ dan } v_{f1} = 0.7532 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$x_1 = \frac{v_1 - v_{f1}}{v_{g1} - v_{f1}} = \frac{0.06 - 0.7532 \times 10^{-3}}{0.0993 - 0.7532 \times 10^{-3}} = 0.6012$$

$$u_1 = u_{f1} + x_1(u_{g1} - u_{f1})$$

$$u_1 = 36.69 + (0.6012)(221.43 - 36.69)$$

$$u_1 = 147.76 \text{ kJ/kg}$$

Tabel A-12, pada $v_2 = 0.12 \text{ m}^3/\text{kg}$ dan $p_2 = 2 \text{ bar}$, maka didapatkan $u_2 = 255.66 \text{ kJ/kg}$

Sehingga,

$$Q = (2 \text{ kg}) (255.66 - 147.76) \text{ kJ/kg} + 24 \text{ kJ}$$

$$Q = 239.8 \text{ kJ}$$

- 7 Dik : $m = 2 \text{ kg}$
 $T = 80^\circ\text{C}$
 $x = 0.6$
 Dit : $Q \text{ (kJ)} = ?$
 Skema :



- Asumsi : (1) Uap air jenuh berada pada sistem tertutup
 (2) Volume konstan
 (3) Tidak ada kerja yang dikenakan dan dihasilkan sistem, $W = 0$
 (4) Tidak ada perubahan energi kinetik juga potensial

Analisis : Kesetimbangan energi untuk sistem tertutup
 $\Delta EK + \Delta EP + \Delta U = Q - W$
 Berdasarkan asumsi 3 dan 4 maka kesetimbangan energi dapat dituliskan kembali menjadi,
 $0 + 0 + \Delta U = Q - 0$
 $\Delta U = Q$
 $\Delta U = m (u_2 - u_1)$
 $Q = m (u_2 - u_1)$

Mencari nilai u_1
 Berdasarkan data dari Tabel A-2
 $u_1 = u_{f1} + x_1(u_{g1} - u_{f1})$
 $u_1 = 334.86 + (0.6)(2482.2 - 334.86)$
 $u_1 = 1623.26 \text{ kJ/kg}$

Mencari nilai v_1
 $v_1 = v_f + x_1(v_{g1} - v_{f1})$
 $v_1 = 1.0291 \times 10^{-3} + (0.6)(3.407 - 1.0291 \times 10^{-3})$
 $v_1 = 2.0446 \text{ m}^3/\text{kg}$

Gunakan Tabel A-2, di mana $v_g = v_1 = v_2 = 2.0446 \text{ m}^3/\text{kg}$, didapatkan nilai $T \approx 93.5^\circ\text{C}$ dan berdasarkan nilai T tersebut ditemukan nilai $u_2 = 2498.8 \text{ kJ/kg}$, Maka,

$$Q = (2 \text{ kg}) (2498.8 - 1623.26) \text{ kJ/kg}$$

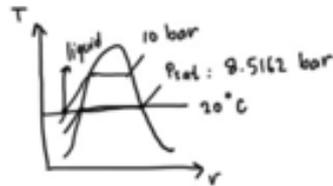
$$Q = 1751.1 \text{ kJ}$$

Kesimpulan, berdasarkan perhitungan didapatkan sistem menyerap panas sebesar 1751.1 kJ

- 9 Dik : Ammonia
 $T = 20^\circ\text{C}$
 $p = 1 \text{ MPa} = 10 \text{ bar}$

- Dit : $v \text{ (m}^3/\text{kg)} = ?$
 $u \text{ (kJ/kg)} = ?$

Skema :



- Analisis : Tabel A-13 pada $T = 20^\circ\text{C}$; $p_{sat} = 8.5162 \text{ bar}$
 Kondisi liquid ketika $p = 10 \text{ bar}$

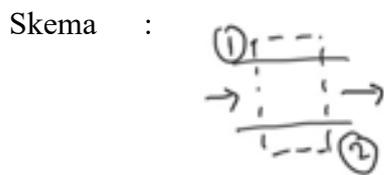
$$v \approx v_f (20^\circ\text{C}) = 1.6386 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h \approx h_f (20^\circ\text{C}) = 274.26 \text{ kJ/kg}$$

BAB III ANALISIS VOLUME KONTROL MENGGUNAKAN ENERGI

- 3 Dik : $p_1 = 8 \text{ bar}$
 $T_1 = 600 \text{ K}$
 $v_1 = 40 \text{ m/s}$
 $A_1 = 20 \text{ cm}^2$
 $p_2 = 2 \text{ bar}$
 $T_2 = 400 \text{ K}$
 $v_2 = 350 \text{ m/s}$

- Dit : $\dot{m}(\text{kg/s}) = ?$
 $A_2(\text{cm}^2) = ?$



- Asumsi : (1) Sistem control volum di atas dalam keadaan tunak
 (2) Air dimodelkan sebagai gas ideal
 (3) Aliran yang mengalir dalam satu dimensi (one dimensional flow) pada satu inlet dan exit

- Analisis : Persamaan kesetimbangan massa

$$\frac{dm}{dt} = \dot{m}_1 - \dot{m}_2$$

Dengan ,memasukan asumsi pertama maka

$$0 = \dot{m}_1 - \dot{m}_2$$

$$\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

Menggunakan data pada sisi inlet dan persamaan gas ideal maka,

$$p_1 V_1 = m_1 R T_1$$

$$v_1 = \frac{V_1}{m_1} = \frac{R T_1}{p_1}$$

$$\rho_1 = \frac{1}{v_1}$$

$$\dot{m} = \rho_1 A_1 v_1$$

$$\dot{m} = \frac{p_1}{R T_1} A_1 v_1$$

$$\dot{m} = \frac{(8 \text{ bar})}{\left(\frac{8.314 \text{ kJ}}{28.97 \text{ kg K}}\right) (600 \text{ K})} \left| \frac{10^5 \text{ N/m}^2}{1 \text{ bar}} \right| \left| \frac{1 \text{ kJ}}{10^3 \text{ N m}} \right| (0.002 \text{ m}^2)(40 \text{ m/s})$$

$$\dot{m} = 0.3717 \text{ kg/s}$$

Mencari luas penampang sisi exit

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2$$

$$\rho_1 A_1 v_1 = \rho_2 A_2 v_2$$

$$A_2 = \left(\frac{\rho_1}{\rho_2}\right) \left(\frac{v_1}{v_2}\right) A_1$$

$$\rho = \frac{p}{R T}$$

$$A_2 = \left(\frac{p_1}{p_2}\right) \left(\frac{T_2}{T_1}\right) \left(\frac{v_1}{v_2}\right) A_1$$

$$A_2 = \left(\frac{8}{2}\right) \left(\frac{400}{600}\right) \left(\frac{40}{350}\right) 20 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = 6.095 \text{ cm}^2$$

4 Dik : $m_o = 0.25 \text{ g}$, dalam waktu $(t) = 0.25 \text{ s}$

$x = 560$ semprotan

$m_{cv}(0) = 170 \text{ g}$

Dit : a. $\dot{m}_o(\text{kg/s}) = ?$

b. $m_{cv}(\text{g}) = ?$

Skema :



Asumsi : Sistem di atas menggunakan sistem kontrol volume

Analisis : Mencari nilai \dot{m}_o , diperlukan waktu 0.25 s untuk mengeluarkan 0.25 g minyak sayur maka,

$$\dot{m}_o = \frac{0.25 \text{ g}}{0.25 \text{ s}} = 0.1 \text{ g/s}$$

Kesetimbangan massa untuk kontrol volume di atas,

$$m_{cv}(\Delta t + t) - m_{cv}(0) = m_i - m_o$$

di mana $m_{cv}(0)$, adalah masa awal minyak sayur, m_o , adalah jumlah minyak sayur yang keluar dari kaleng dan m_i , adalah minya sayur yang dapat masuk ke kaleng (0).

$$m_o = 560 \text{ semprotan} \left(\frac{0.256 \text{ g}}{\text{semprotan}} \right)$$

$$m_o = 140 \text{ g}$$

Maka, sisa minya sayur yang terdapat di dalam kaleng adalah,

$$m_{cv} = m_{cv}(0) - m_o$$

$$m_{cv} = 170 \text{ g} - 140 \text{ g}$$

$$m_{cv} = 30 \text{ g}$$

7 Dik : $p_1 = 101 \text{ kPa}$

$T_1 = 16^\circ\text{C}$

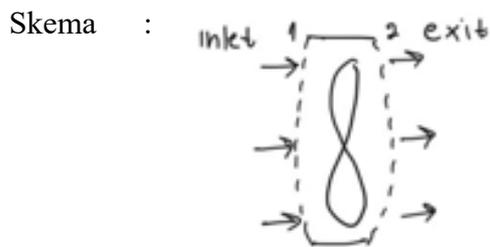
$$D = 0.6 \text{ m}$$

$$p_2 = 105 \text{ kPa}$$

$$T_2 = 18^\circ\text{C}$$

$$(A v)_2 = 0.35 \text{ m}^3/\text{s}$$

- Dit : a. \dot{m} (kg/s) = ?
 b. $(A v)_1$ (m³/s) = ?
 c. v_1 dan v_2 ($\frac{\text{m}}{\text{s}}$) = ?



- Asumsi : (1) Kipas di kelilingi oleh kontrol volume dalam keadaan tunak
 (2) Udara dimodelkan sebagai gas ideal

Analisis : Persamaan Kesetimbangan massa dapat dituliskan menjadi,

$$\dot{m}_1 - \dot{m}_2$$

Di mana

$$\dot{m} = \frac{(A v)_2}{v_2} = \frac{(A v)_2 p_2}{R T_2}$$

$$\dot{m} = \frac{(0.35 \text{ m}^3/\text{s}) (105 \text{ kPa}) \left| \frac{10^3 \text{ N/m}^2}{1 \text{ kPa}} \right| \left| \frac{1 \text{ kJ}}{10^3 \text{ N m}} \right|}{\left(\frac{8.314 \text{ kJ}}{28.97 \text{ kg K}} \right) (291 \text{ K})}$$

$$\dot{m} = 0.44 \text{ kg/s}$$

Mencari volumetrik pada sisi *inlet*

$$(A v)_1 = \dot{m} v_1 = \dot{m} \frac{R T_1}{p_1}$$

$$(A v)_1 = 0.44 \text{ kg/s} \left| \frac{\left(\frac{8.314 \text{ kJ}}{28.97 \text{ kg K}} \right) (289 \text{ K})}{101 \text{ kPa}} \right| \left| \frac{1 \text{ kPa}}{10^3 \text{ N/m}^2} \right| \left| \frac{10^3 \text{ N m}}{1 \text{ kJ}} \right|$$

$$(A v)_1 = 0.361 \text{ m}^3/\text{s}$$

Mencari nilai kecepatan pada sisi *inlet* dan *exit*

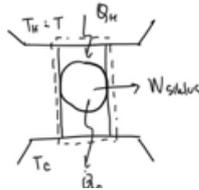
$$A = \frac{\pi D^2}{4} = \frac{\pi (0.6 \text{ m})^2}{4} = 0.2827 \text{ m}^2$$

$$v_1 = \frac{(A v)_1}{A} = \frac{0.361 \text{ m}^3/\text{s}}{0.2827 \text{ m}^2} = 1.28 \text{ m/s}$$

$$v_2 = \frac{(A v)_2}{A} = \frac{0.361 \text{ m}^3/\text{s}}{0.2827 \text{ m}^2} = 1.24 \text{ m/s}$$

BAB IV HUKUM II TERMODINAMIKA

- 7 Dik : Siklus daya
 $T_C = 280 \text{ K}$
 $\dot{W}_{siklus} = 40 \text{ kW}$
 $\dot{Q}_C = 1000 \text{ kJ/menit}$
 Dit : d. $T \text{ (K)} = ?$ (minimum, teoritis)
 Skema :



- Asumsi : (1) Sistem diilustrasikan seperti pada skema di atas
 (2) Sistem mengalami siklus daya
 (3) Data yang ada didapatkan pada kondisi tunak
 Analisis : Dalam kondisi tunak, siklus kesetimbangan energi dan efisiensi termal dapat diekspresikan dalam persamaan,

$$\dot{W}_{siklus} = \dot{Q}_H - \dot{Q}_C \text{ dan } \eta = \frac{\dot{W}_{siklus}}{\dot{Q}_H} \leq$$

$$\dot{Q}_H = \dot{W}_{siklus} + \dot{Q}_C$$

$$\dot{Q}_H = 40 \text{ kW} \left| \frac{1 \text{ kJ/s}}{1 \text{ kW}} \right| + 1000 \frac{\text{kJ}}{\text{min}} \left| \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right|$$

$$\dot{Q}_H = 56.67 \text{ kJ/s}$$

Maka,

$$\eta \leq \eta_{maks}$$

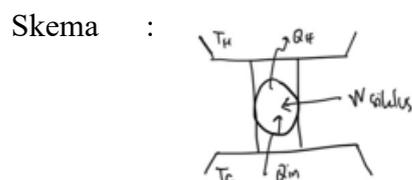
$$\eta = \frac{\dot{W}_{siklus}}{\dot{Q}_H} \leq 1 - \frac{T_C}{T_H}$$

$$\frac{40}{56.67} \leq 1 - \frac{280 \text{ K}}{T}$$

$$T \geq 952 \text{ K}$$

- 8 Dik : Siklus pendingin
 $\dot{W}_{siklus} = 1.2 \text{ kW}$
 $T_H = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$
 $T_C = -30^\circ\text{C} = 243 \text{ K}$
 $\dot{Q}_C = 25000 \text{ kJ/jam}$

Dit : Evaluasi klaim



Asumsi : Sistem diilustrasikan seperti pada skema di atas, di mana sistem mengalami siklus refrigerasi ketika menerima panas \dot{Q}_C dari reservoir dingin dan melepas panas \dot{Q}_H ke reservoir panas.

Analisis : Mencari nilai COP, berdasarkan data yang ada

$$\begin{aligned} \text{COP} &= \frac{\dot{Q}_C}{\dot{W}_{\text{siklus}}} \\ \text{COP} &= \frac{25000 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}}}{1.2 \text{ kW}} \left| \frac{1 \text{ kW}}{1 \text{ kJ/s}} \right| \left| \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}} \right| \\ \text{COP} &= 5.79 \end{aligned}$$

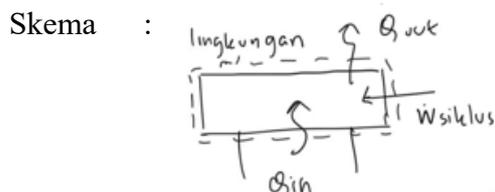
Maksimum COP dapat dihitung menggunakan persamaan,

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{maks}} &= \frac{T_C}{T_H - T_C} \\ \text{COP}_{\text{maks}} &= \frac{243 \text{ K}}{(293 - 243) \text{ K}} \\ \text{COP}_{\text{maks}} &= 4.86 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas klaim yang diberikan tidak benar, karena COP berdasarkan data yang diberikan melebihi nilai COPmaks yang memungkinkan.

- 9 Dik : Siklus pendingin
 $\dot{Q}_{in} = 18000 \text{ kJ/jam}$
 $T_{out} = -40^\circ\text{C} = 233 \text{ K}$
 $T_{in} = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}$
 $\text{COP} = 0.25 \text{ COP}_{\text{maks}}$

Dit : $\dot{W}_{\text{siklus}}(\text{kW}) = ?$



Asumsi : (1) Sistem diilustrasikan seperti pada skema di atas yang mengalami siklus refrigerasi

(2) Data yang ada merupakan data yang didapatkan pada kondisi tunak

(3) Area refrigerator dan lingkungan berperan sebagai reservoir dingin dan panas

Analisis : Maksimum COP dapat dihitung menggunakan persamaan,

$$\begin{aligned} \text{COP}_{\text{maks}} &= \frac{T_C}{T_H - T_C} \\ \text{COP}_{\text{maks}} &= \frac{233 \text{ K}}{(293 - 233) \text{ K}} \end{aligned}$$

$$COP_{maks} = 3.88$$

Maka,

$$COP = 0.25 COP_{maks}$$

$$COP = 0.25 (3.88)$$

$$COP = 0.97$$

$$COP = \frac{\dot{Q}_{in}}{\dot{W}_{siklus}}$$

$$\dot{W}_{siklus} = \frac{\dot{Q}_{in}}{COP}$$

$$\dot{W}_{siklus} = \frac{18000 \frac{\text{kJ}}{\text{jam}}}{0.97} \left| \frac{1 \text{ kW}}{1 \text{ kJ/s}} \right| \left| \frac{1 \text{ jam}}{3600 \text{ s}} \right|$$

$$\dot{W}_{siklus} = 5.15 \text{ kW}$$