

**PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK SEBAGAI
ALAT BANTU UNTUK MENGANALISIS SIFAT
TERMODINAMIKA ZAT**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik Mesin**



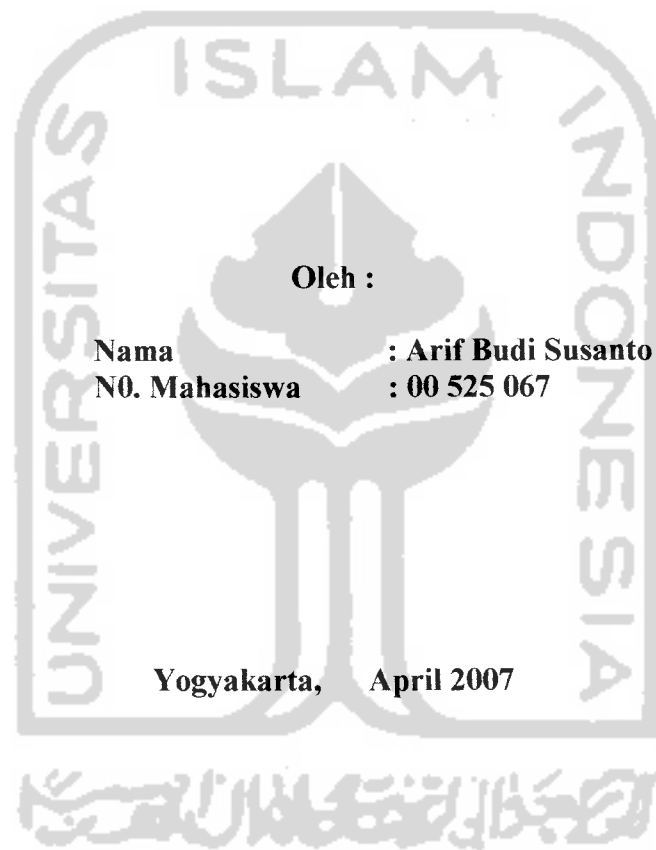
oleh :

Nama : Arif Budi Susanto
No. Mahasiswa : 00 525 067

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2007**

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK SEBAGAI ALAT
BANTU UNTUK MENGANALISIS SIFAT
TERMODINAMIKA ZAT**



Oleh :

Nama : Arif Budi Susanto
N0. Mahasiswa : 00 525 067

Yogyakarta, April 2007

Pembimbing I

Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng

Pembimbing II

Agung Nugroho Adi, ST. MT.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

**PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK
SEBAGAI ALAT BANTU UNTUK MENGANALISIS
SIFAT TERMODINAMIKA ZAT**

TUGAS AKHIR

oleh :

Nama : Arif Budi Susanto

No. Mahasiswa : 00 525 067

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai
Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

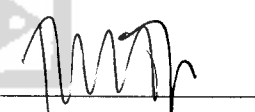
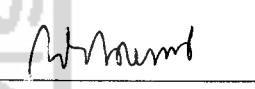

Yogyakarta, 27 April 2007

Tim Penguji,

Ir. H. Hidayat, M.M.
Ketua

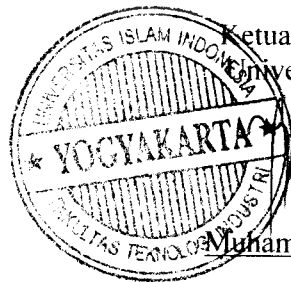
Agung Nugroho Adi, ST, MT.
Anggota I

Purtojo, ST.
Anggota II



Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Mesin
Universitas Islam Indonesia



Muhammad Ridwan, ST, MT.

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur senantiasa terpanjatkan ke hadirat ALLAH SWT atas segala rahmat, hidayah dan petunjuk-NYA sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik dan semoga hasil tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi orang lain serta membawa berkah bagi ku.

Amin !

Ucapan terimakasih yang tak henti-hentinya terucap untuk kedua orang tuaku, ayahanda Achmad Kishadi dan ibunda tercinta Amini yang senantiasa mendidik, menasehati dan mendoakan keberhasilan ananda tanpa jemu dengan penuh kasih sayang dan kesabaran.

Kakakku, mbak herning yang bawel...jangan galak-galak dunk kalo kasih nasehat, tar malah berantem. Tapi terimakasih...itu merupakan wujud rasa sayang pada adikmu yang bandel ini. Juga untuk mas deny...trims masukannya. Zaky jagoanku.....besok gede mau jadi apa...?? jangan nakal ya..

Teruntuk sandaran hatiku....ari firda 'CIPLUK' uswati ! than'X buat semua kasih sayang, pengorbanan dan dukungan yang tlah kamu berikan. Jangan bosan-bosan dengan sikap dan sifatku slama ini ya!

Buat temen-temen semua...makasih atas bantuan dan dukungannya terutama iwan, makasih banget ifmunya ya!!! Kamu mang bener-bener temen sejatiku, Jangan putusin hubungan ini yaaa. Hidup iwangg.....iwan'tompe' smangat kejain TA ne dan cepet dapet momongan!! Doni 'tempe' dan fajar "ndut" ojo maen game wae.... , agus'ngawi', deni'99" smangat ya... temen qoz lama, ahong..angkriangan yukf..., gultom dan hanif...trims atas masukan dan kritiknya., noris...sori..aku duluan ya. Hasrul"talebho" trims laptopnya.

Mangkoe's community...budi"cak lion" ojo waleh ma aku ya...tumpangannya itu looo...kamarmu enak tenan. Siganteng Addy Schivoetra yang telah memberikan inspirasi tentang cinta dan kehidupan, sehingga aku dapat mendapatkan wanita yang aku inginkan. Edoz...buruan cari cewekkk jarbil..ojo turu wae, dedy....kurangi maen game nya, juga buat temen-temen yang ga mungkin ku lupakan dan aku sebutin one by one.

Thanks guys.....!!!

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah s.w.t. atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Perancangan Perangkat Lunak Sebagai Alat Bantu Untuk Menganalisis Sifat Termodinamika Zat”** dapat penulis selesaikan dengan sebaik-baiknya.

Penulisan Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu (S1) Jurusan Teknik Mesin di lingkungan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Penyusunan Tugas Akhir ini dilaksanakan oleh mahasiswa sesuai dengan materi Tugas Akhir yang dipilihnya dan dibantu oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir.

Dalam kesempatan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan, untuk itu secara khusus penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ayah, Ibu dan kakakku tercinta yang senantiasa mendidik, mendoakan dan memberikan kasih sayang yang tiada henti-hentinya.
2. Bapak Fatul Wahid, ST. M.Sc. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Muhammad Ridlwan, ST. MT. selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
4. Bapak Ir. Paryana Puspaputra, M.Eng. selaku Pembimbing I dan Bapak Agung Nugroho Adi, ST. MT. selaku Pembimbing II Tugas Akhir. Terimakasih atas segala bantuan, dukungan dan semangat serta kemudahan yang telah diberikan.
5. Teman-teman yang telah membantu memberikan ide, kritik dan masukan dalam pembuatan tugas akhir ini.

6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu penyusunan Tugas Akhir ini. Semoga amal ibadah serta kebaikan yang telah diberikan mendapat imbalan dari Allah SWT.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna karena keterbatasan kemampuan dan pengalaman. Penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat membangun. Semoga penulisan Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis khususnya dan pembaca pada umumnya.

Wassalamu'alaikum Wr.Wb.



Yogyakarta, April 2007

Penulis

Arif Budi Susanto

ABSTRAKSI

Selama ini Termodinamika dianggap sebagai matakuliah yang sulit dipahami oleh sebagian mahasiswa. Hal tersebut terjadi karena materi yang ada di dalamnya berhubungan dengan perhitungan data numerik sehingga membutuhkan proses penyelesaian yang tepat dan akurat. Secara umum Termodinamika mempelajari tentang panas dan energi suatu zat.

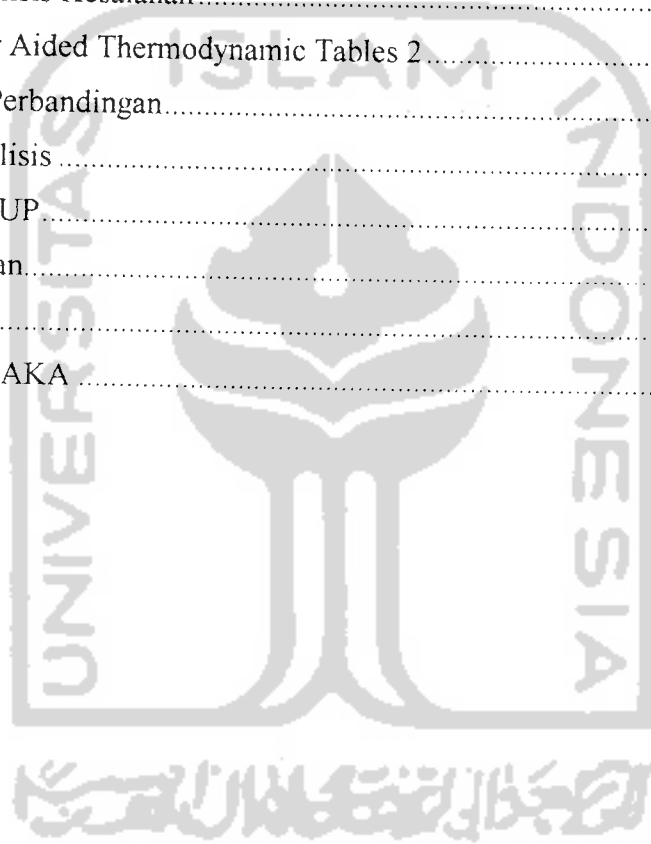
Untuk membantu memudahkan pemahaman dan penyelesaian terhadap masalah yang dihadapi, dibuatlah suatu program dengan menggunakan perangkat lunak Matlab. Penggunaan Matlab sangat sesuai karena fasilitas-fasilitas yang ada di dalamnya sangat memungkinkan untuk melakukan proses penghitungan yang dibutuhkan dalam menyelesaikan persoalan yang ada. Dengan perangkat lunak Matlab yang dibuat dengan seksama, permasalahan yang terjadi bisa diatasi. *User* diharapkan dapat berinteraksi dengan mudah dan cepat dalam menjalankannya. Dengan memasukkan data awal yang diketahui sebagai *input* akan didapatkan hasil *output* yang diharapkan.

Untuk mengetahui kebenaran dan keakuratan hasil akhir dari program yang telah dibuat, diperlukan suatu pembandingan. Dalam hal ini, pembandingan yang digunakan adalah perangkat lunak yang berbasis termodinamika (CATT2) dan pengerjaan secara manual. Dari hasil akhir program yang telah dibuat, didapatkan nilai yang berdekatan dengan nilai pembandingnya (CATT2 dan pengerjaan secara manual).

Kata kunci : sifat zat, fluida

2.3.6 Entropi (<i>Entropy</i>).....	16
2.3.7 Zat Murni (<i>Pure Substance</i>).....	16
2.3.7.1 Keadaan Cair.....	18
2.3.7.2 Campuran Fase Cair-Uap.....	18
2.3.7.3 Keadaan Uap.....	19
2.4 Persamaan Gas Ideal.....	20
2.4.1 Faktor Kompresibilitas (<i>Z</i>).....	20
2.4.2 Kalor Spesifik (<i>Specific Heat</i>).....	21
2.4.2.1 Kalor Spesifik Volum Konstan (c_v).....	21
2.4.2.2 Kalor Spesifik Tekanan Konstan (c_p).....	21
2.5 Matlab.....	22
2.5.1 Window Utama Matlab.....	23
2.5.2 Matlab Editor (<i>M-File</i>).....	23
BAB III PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK.....	26
3.1 Metode Analisis Perangkat Lunak.....	26
3.1.1 Kebutuhan Masukan.....	27
3.1.2 Analisis Kebutuhan Keluaran.....	27
3.1.3 Kebutuhan Perangkat Lunak.....	27
3.2 Perancangan Perangkat Lunak.....	28
3.2.1 Diagram Alir Sistem (<i>flowchart</i>).....	28
3.2.2 Pembuatan Data.....	30
3.2.2.1 Pembuatan Basis Data.....	30
3.2.2.2 Pembuatan Batasan.....	31
3.2.2.3 Pembuatan <i>function</i>	32
3.2.3 Membuat Menu Pilihan.....	33
3.3 Hasil Perancangan.....	35
3.3.1 Flowchart Pilihan Fluida Gas Ideal.....	36
3.3.2 Flowchart Pilihan Fluida Air.....	38
3.3.3 Flowchart Pilihan Fluida Refrigeran.....	42
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	45
4.1 Pengujian Program.....	45

4.2 Pengujian dan Analisis	45
4.2.1 Analisis Pengujian Menu Pilihan	45
4.2.2 Analisis Kondisi Sistem dan Perhitungan	46
4.2.2.1 Fase Cair	46
4.2.2.2 Fase Campuran Uap-Cair	48
4.2.2.3 Fase Uap	49
4.2.3 Analisis Kesalahan	49
4.3 Computer Aided Thermodynamic Tables 2	50
4.4 Analisis Perbandingan	51
4.5 Hasil Analisis	57
BAB V PENUTUP	59
5.1 Kesimpulan	59
5.2 Saran	59
DAFTAR PUSTAKA	60
LAMPIRAN	



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gaya yang bekerja pada sistem yang bergerak	7
Gambar 2.2 Konsep energi potensial	8
Gambar 2.3 Kerja yang dilakukan terhadap gaya (F) dan jarak (s)	9
Gambar 2.4 Diagram P-v untuk batas kerja	10
Gambar 2.5 Perpanjangan batang padat	10
Gambar 2.6 Pemekaran lapisan cair	11
Gambar 2.7 Grafik P-v	14
Gambar 2.8 Permukaan P-v-T (a) pandangan tiga dimensi. (b) diagram fase. ...	17
Gambar 2.9 Diagram T-v untuk air	18
Gambar 2.10 Window utama Matlab	23
Gambar 2.11 Matlab Editor	24
Gambar 2.12 Tampilan toolboxes dalam Matlab	24
Gambar 3.1 Diagram alir program	29
Gambar 3.2 Data table untuk air (Temperature Table)	31
Gambar 3.3 Batasan untuk temperatur dan tekanan pada fluida air	32
Gambar 3.4 Penggunaan <i>function</i> pada kondisi campuran	33
Gambar 3.5 Menu pilihan untuk jenis fluida yang digunakan	34
Gambar 3.6 Pengkondisian persyaratan fase untuk air	35
Gambar 3.7 Diagram alir fluida gas ideal	36
Gambar 3.8 Diagram alir untuk fluida air	38
Gambar 3.9 Diagram alir untuk data masukan P dan T	39
Gambar 3.10 Diagram alir untuk data masukan T dan v	40
Gambar 3.11 Diagram alir untuk fluida refrigerant	42
Gambar 4.1 Menu pilihan untuk fluida	46
Gambar 4.2 Hasil perhitungan dengan menggunakan program yang telah dibuat untuk fase cair	47
Gambar 4.3 Hasil perhitungan fase campuran uap-cair pada fluida air	48
Gambar 4.4 Hasil perhitungan fase uap pada fluida air	49

Gambar 4.5 Halaman peringatan..... 50
Gambar 4.6 Halaman utama CATT2 50



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Perbandingan program Matlab dengan CATT2.....	51
Tabel 4.2 Analisis hasil perhitungan program Matlab dengan CATT2	52
Tabel 4.3 Analisis hasil perhitungan program Matlab dengan pengerjaan manual.....	56



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan teknologi komputer bukan menjadi suatu hal yang mewah lagi. Banyak persoalan yang dapat diselesaikan dengan memanfaatkan teknologi komputer. Dengan kemajuannya, tidak menutup kemungkinan komputer akan menggantikan tenaga manusia dalam berbagai bidang pekerjaan karena kemampuannya yang dianggap lebih baik. Salah satunya di bidang pendidikan. Dalam dunia pendidikan, pemanfaatan teknologi komputer sedang ditingkatkan untuk membantu pembelajaran dan menyelesaikan persoalan-persoalan yang ada mulai dari jenjang dasar sampai dengan jenjang tertinggi.

Dalam pemanfaatannya, pemrograman komputer dilakukan dengan berbagai metode, mulai dari yang paling sederhana sampai dengan yang paling rumit. Metode dengan pendekatan terstruktur dianggap paling tepat karena sesuai dengan teknik yang dibutuhkan dalam pengembangan sistem.

Dalam analisis termodinamika selalu dibutuhkan data nilai sifat suatu zat. Nilai sifat dapat diperiksa dengan mengembangkan suatu persamaan matematis hubungan antar sifat zat yang bersangkutan. Namun biasanya hubungan antar sifat untuk semua zat sangat kompleks sehingga sangat sulit untuk dimasukkan ke dalam suatu persamaan sederhana. Karena itu data sifat biasanya berupa tabel yang berisi data sifat dari beberapa zat yang sering digunakan dalam penerapan termodinamika. Tabel tersebut membutuhkan data yang sangat banyak dan dikumpulkan dari hasil pengukuran yang membutuhkan waktu lama. Jenis sifat yang ada dalam tabel termodinamika adalah tekanan, temperatur, volume spesifik, energi internal, entalpi dan entropi.

Untuk menyelesaikan permasalahan yang ada dalam termodinamika dengan menggunakan teknologi komputer, dibutuhkan suatu perangkat lunak yang mempunyai

fasilitas pendukung yang memadai dalam hal perhitungan, peraturan logika dan kemudahan pemakaian program. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu bahasa pemrograman yang terstruktur, handal, praktis dan mudah dalam pengoperasiannya. Matlab adalah salah satu bahasa pemrograman yang memiliki semua persyaratan yang dibutuhkan dalam mengatasi permasalahan tersebut. Perangkat lunak yang dibangun ini dipergunakan sebagai alat bantu untuk proses penyelesaian persoalan. Kemampuan program untuk menyelesaikan persoalan tidak dapat menggantikan aktivitas analisis teknik yang cermat berupa pengembangan dan analisis model, serta perhitungan singkat secara manual. Pada akhirnya perlu dikaji apakah hasil yang diperoleh dapat diterima.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan di atas maka dapat dirumuskan masalah yang akan dihadapi, yaitu bagaimana membuat program untuk menyelesaikan permasalahan yang berhubungan dengan sifat zat dalam termodinamika dengan memanfaatkan perangkat lunak Matlab.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menyederhanakan masalah dan menghindari kerancuan karena pembahasan yang terlalu luas maka permasalahan akan dibatasi dalam hal :

1. Fluida yang digunakan adalah air, gas ideal dan refrigeran (R-134a dan R-22).
2. Mencari penyelesaian permasalahan yang berhubungan dengan sifat-sifat zat dalam fluida, yaitu tekanan (P), temperatur (T), volume spesifik (v), energi internal (u), entalpi (h) dan entropi (s) pada kondisi cair, campuran cair-uap dan uap *superheat*
3. Data tabel air menggunakan tabel air saturasi temperatur, tabel air saturasi tekanan dan tabel air super panas [CEN04]. Untuk refrigeran-134a adalah tabel refrigeran-134a saturasi temperatur, tabel refrigeran-134a saturasi tekanan dan tabel refrigeran-134a super panas [CEN04]. Sedangkan refrigeran-22 menggunakan tabel refrigeran-22 saturasi temperatur, tabel

BAB II DASAR TEORI

2.1 Definisi dan Aplikasi Termodinamika

Kata “termodinamika” berasal dari bahasa Yunani *therme* (kalor) dan *dynamis* (kerja). Dengan demikian termodinamika dapat diartikan sebagai ilmu tentang energi, yang secara spesifik membahas hubungan antara energi panas dan kerja [MOR04]. Berbagai aspek tentang termodinamika telah menarik perhatian sejak dulu, tetapi pendalaman lebih lanjut baru dimulai melalui pemikiran mengenai pergerakan daya dari kalor (*heat*), yaitu kemampuan benda panas menghasilkan kerja (*work*). Hal ini dibuktikan dengan ditemukannya mesin uap sebagai aplikasi dari termodinamika. Para ahli (*engineer*), menggunakan prinsip-prinsip termodinamika dan pengetahuan teknik lainnya untuk menganalisis dan merancang sesuatu sesuai dengan kebutuhan manusia. Berbagai upaya untuk memperbaiki hasil rancangan dan meningkatkan kinerjanya dapat diukur melalui berbagai faktor seperti peningkatan pada keluaran produk, pengurangan biaya produksi dan dampak negatif terhadap lingkungan.

2.2 Sistem (*System*)

Tahap penting dalam analisis teknik adalah menjelaskan secara tepat apa yang sedang dikaji. Analisis bertujuan untuk meyakinkan bahwa keseluruhan komponen dapat terpadu dengan baik serta memenuhi batasan-batasan dan peraturan yang berlaku. Dalam termodinamika digunakan istilah sistem untuk mengidentifikasi subjek analisis. Setelah sistem terdefinisikan dan interaksi yang berhubungan dengan sistem lain terdefinisi, maka hukum atau hubungan fisika dapat digunakan. Sistem adalah segala sesuatu yang ingin dipelajari. Segala sesuatu yang berada di luar sistem disebut dengan lingkungan (*surrounding*). Sistem dipisahkan dengan lingkungannya oleh batas sistem (*boundary*) [MOR04].

Jenis sistem dalam termodinamika ada 2, yaitu sistem tertutup (*closed system*) dan sistem terbuka (*open system*) atau volume atur.

Sistem tertutup selalu berisi materi yang sama, dimana perpindahan massa melalui batas sistem (*boundary*) tidak akan terjadi. Sedangkan energi dapat keluar atau masuk sistem. Sistem tertutup disebut juga dengan massa atur (*control mass*). Jenis khusus dari sistem tertutup yang tidak dapat berinteraksi dengan cara apapun dengan lingkungan disebut sebagai sistem terisolasi (*isolated system*).

Sistem terbuka terdiri dari ruang yang tetap, tetapi massa dan energi dapat keluar atau masuk melewati batas sistem. Sistem terbuka disebut juga sebagai volume atur (*control volume*).

2.3 Sifat (*Property*)

Karakteristik dari sistem disebut dengan sifat. Sifat termodinamika dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu sifat intensif dan sifat ekstensif. Sifat intensif adalah sifat sistem yang berdiri sendiri (*independent*), tidak terpengaruh oleh ukuran sistem dan dapat bervariasi di setiap bagian sistem pada waktu yang berbeda. Temperatur dan tekanan termasuk sifat intensif. Disebut sifat ekstensif jika nilai dari keseluruhan sistem merupakan penjumlahan nilai dari setiap bagian yang menyusun sistem tersebut. Sifat ekstensif dipengaruhi oleh ukuran sistem dan dapat berubah menurut waktu. Massa, volume dan energi total merupakan contoh sifat ekstensif [CEN04].

2.3.1 Energi

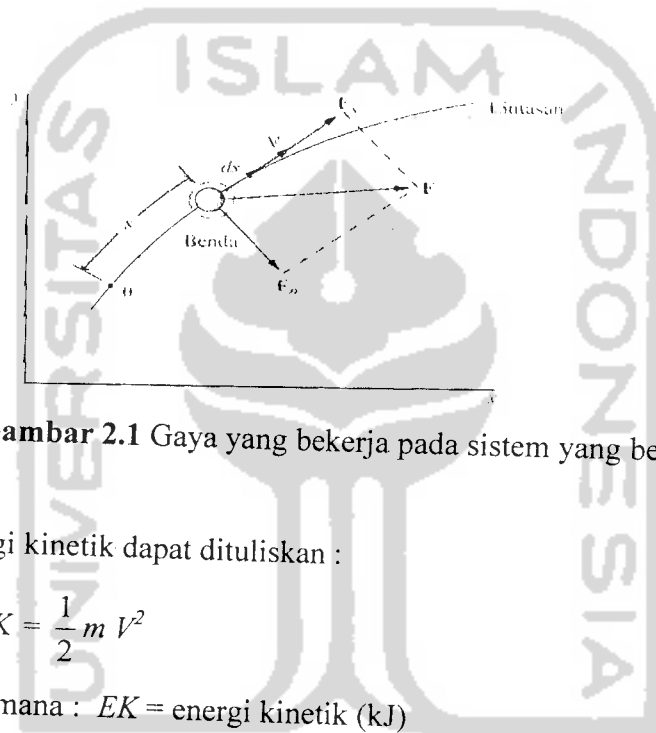
Energi adalah kemampuan untuk melakukan perubahan. Energi dapat disimpan, berpindah maupun dirubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Dalam termodinamika, konsep energi diperluas dengan memperhitungkan perubahan lain yang dapat diamati.

Perubahan energi total sistem dipengaruhi oleh tiga komponen. Pertama adalah energi kinetik yang berhubungan dengan pergerakan sistem secara keseluruhan. Berikutnya adalah perubahan energi potensial, yang berkaitan dengan posisi sistem secara keseluruhan dalam medan gravitasi bumi dan bentuk

perubahan energi lainnya yang disatukan dalam energi internal (*internal energy*). Energi juga dapat di-*konversi* dari satu bentuk ke bentuk lain dan dipindahkan antar sistem.

1. Energi Kinetik

Merupakan energi yang berhubungan dengan kecepatan suatu sistem. Karena energi kinetik berhubungan dengan benda secara keseluruhan, maka energi kinetik termasuk sifat ekstensif.



Gambar 2.1 Gaya yang bekerja pada sistem yang bergerak

Persamaan energi kinetik dapat dituliskan :

$$EK = \frac{1}{2} m V^2 \quad (2.1)$$

dimana : EK = energi kinetik (kJ)

m = massa benda (kg)

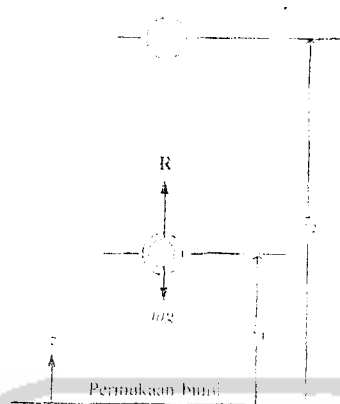
V = volume (m^3)

Perubahan energi kinetik ΔEK adalah :

$$\Delta EK = EK_2 - EK_1 = \frac{1}{2} m (V_2^2 - V_1^2) \quad (2.2)$$

2. Energi Potensial

Adalah energi yang berkaitan dengan posisi (ketinggian) suatu sistem. Energi potensial berhubungan dengan gaya gravitasi, sehingga menjadi bagian sistem yang terdiri dari benda dan bumi.



Gambar 2.2 Konsep energi potensial

Persamaan energi potensial dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$EP = m g z. \quad (2.3)$$

dimana : EP = energi potensial (kJ)

m = massa benda (kg)

g = gaya gravitasi (m/s^2)

z = ketinggian (m)

Perubahan energi potensial ΔEP adalah :

$$\Delta EP = \Delta EP_2 - \Delta EP_1 = mg (z_2 - z_1) \quad (2.4)$$

3. Energi Internal (*Internal Energy*)

Energi internal adalah energi yang terkandung dalam molekul suatu zat. Biasanya berhubungan dengan aktivitas dan struktur molekul. Energi internal disimbolkan dengan U , sedangkan perubahan energi internal pada suatu proses adalah $U_2 - U_1$. Energi internal spesifik mempunyai simbol u yang bergantung pada penggunaan basis satuan massa atau mol. Energi internal terdiri dari energi sensibel dan laten, energi kimia energi nuklir. Energi sensibel adalah energi yang berhubungan dengan temperatur zat. Semakin tinggi temperatur, semakin tinggi juga energi sensibelnya. Energi laten adalah energi yang berkaitan dengan perubahan fase zat.

Energi total dalam suatu sistem (E) merupakan penjumlahan dari energi dalam bentuk mikroskopik dan makroskopik. Energi mikroskopik berupa energi internal sedangkan energi makroskopik dapat berupa energi kinetik dan energi potensial. Dari penjelasan tersebut, dapat diambil kesimpulan bahwa energi total suatu sistem adalah :

$$E = U + KE + PE \quad (2.5)$$

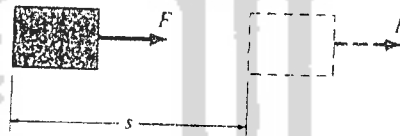
Sedangkan perubahan energinya :

$$\Delta E = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE \quad (2.6)$$

Pada sistem tertutup, energi hanya dapat berpindah melewati batas sistem dalam bentuk kerja (*work*) dan perpindahan kalor (*heat transfer*).

1. Kerja (Work)

Kerja (W) adalah energi yang dikeluarkan untuk melakukan gaya (F) dengan jarak tertentu (s) [HOL81]. Dengan demikian kerja yang dilakukan oleh atau pada sistem dihitung berdasarkan gaya dan pergeserannya.



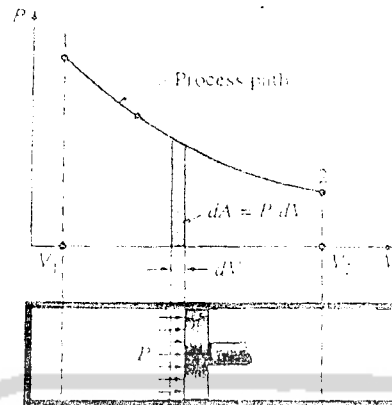
Gambar 2.3 Kerja yang dilakukan terhadap gaya (F) dan jarak (s)

Dari gambar 2.3 diatas, secara matematis persamaan kerja dapat ditulis dengan :

$$W = \int_{s_1}^{s_2} F ds \quad (2.7)$$

Persamaan diatas sangat penting dalam kajian termodinami ka karena digunakan untuk menghitung beberapa bentuk kerja, diantaranya kerja kompresi atau ekspansi gas (cairan), pemuaiian benda padat atau pemekaran lapisan cairan. Berdasar gambar 2.4 dengan P adalah tekanan gas, total volumenya V , maka diperoleh suatu persamaan :

$$\delta W_b = F ds = PA ds = PdV \quad (2.8a)$$



Gambar 2.4 Digram P-v unutup batas kerja

Kerja total yang dilakukan selama proses dalam piston akan menghasilkan bentuk kerja diferensial terhadap posisi akhir, yaitu :

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P dV \quad (2.8b)$$

dengan P : tekanan

V : volume

Gambar 2.5 Perpanjangan batang padat

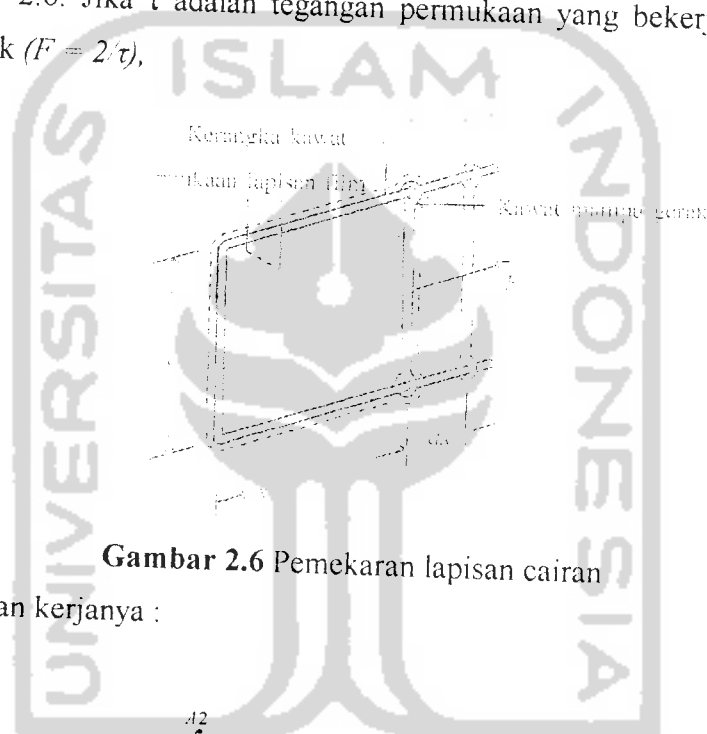
Untuk kerja pada pemuaihan benda padat (seperti pada gambar 2.5) adalah berhubungan dengan σ (tegangan normal yang bekerja pada ujung batang), dimana $F = \sigma A$, maka persamaannya dapat ditulis :

$$W = - \int_{x_1}^{x_2} \sigma A dx \quad (2.9)$$

dengan σ : tegangan normal

x : panjang batang

Pada pemekaran lapisan cairan, terdapat 2 permukaan lapisan seperti ditunjukkan pada gambar 2.6. Jika τ adalah tegangan permukaan yang bekerja pada kawat yang bergerak ($F = 2\tau$),



Gambar 2.6 Pemekaran lapisan cairan

maka persamaan kerjanya :

$$W = - \int_{A_1}^{A_2} \tau dA \quad (2.10)$$

Diberikan tanda minus karena kerja dikerjakan pada sistem saat dx positif.

Kerja merupakan suatu cara untuk memindahkan energi. Jadi, pengertian kerja tidak merujuk pada apa yang sedang dipindahkan dari suatu sistem ke sistem lain, atau apa yang sedang disimpan ke dalam sistem. Energi dipindahkan dan disimpan ketika kerja dilakukan [MOR04]. Pada dasarnya nilai kerja bergantung pada rincian interaksi yang terjadi antara sistem dengan lingkungannya selama proses berlangsung, dan bukan hanya keadaan awal dan akhir sistem.

Untuk mengurangi kesalahpahaman dan memudahkan perhitungan yang ada, maka diperlukan konvensi tanda, yaitu :

- Win (-) : sistem membutuhkan kerja
 : sistem dikenai kerja
 : energi total sistem bertambah
- Wout (+) : sistem menghasilkan kerja
 : sistem melakukan kerja
 : energi total sistem berkurang

2. Kalor (Q)

Kalor adalah fungsi dari perbedaan temperatur, dimana temperatur hanya bisa mengalir dari temperatur tinggi ke temperatur rendah. Selain kerja, faktor lain yang juga dapat menyebabkan terjadinya perpindahan energi dari suatu sistem dengan lingkungannya adalah kalor. Seperti halnya kerja, kalor juga memerlukan konvensi tanda dimana perpindahan kalor ke dalam sistem dinyatakan sebagai positif, sedangkan perpindahan kalor keluar dari sistem dianggap negatif.

- Qin (+) : perpindahan kalor masuk dalam sistem
 : energi dalam sistem bertambah
- Qout (-) : perpindahan kalor dari sistem
 : energi dalam sistem berkurang

Kalor dapat berpindah melalui beberapa metode, yaitu konduksi (*conduction*), radiasi (*radiation*) dan konveksi (*convection*). Konduksi adalah perpindahan energi akibat interaksi antar partikel dari suatu zat, dari partikel yang lebih aktif ke partikel yang kurang aktif. Konduksi dapat terjadi pada benda padat, cair maupun gas. Radiasi merupakan energi yang dipindahkan oleh gelombang elektromagnetik (karena perbedaan konfigurasi atom atau molekul). Radiasi tidak membutuhkan media untuk perambatannya. Sedangkan konveksi adalah perpindahan energi antara permukaan benda padat dengan aliran gas atau cairan.

Dari pembahasan yang telah diuraikan dan sebagai bentuk penerapan hukum termodinamika pertama, maka dapat disimpulkan bahwa :

$$\left[\begin{array}{l} \text{Perubahan jumlah} \\ \text{energi yang terdapat} \\ \text{dalam sistem} \end{array} \right] = \left[\begin{array}{l} \text{jumlah energi netto berupa} \\ \text{k calor yang dipindahkan ke} \\ \text{dalam sistem} \end{array} \right] - \left[\begin{array}{l} \text{Jumlah energi netto berupa} \\ \text{kerja yang dipindahkan} \\ \text{ke luar sistem} \end{array} \right]$$

Dengan kata lain, pernyataan tersebut dapat dirubah menjadi :

$$Q - W = \Delta E \quad (2.11)$$

dimana $\Delta E = \Delta EK + \Delta EP + \Delta U$, maka persamaannya akan menjadi :

$$Q - W = \Delta EK + \Delta EP + \Delta U \quad (2.12)$$

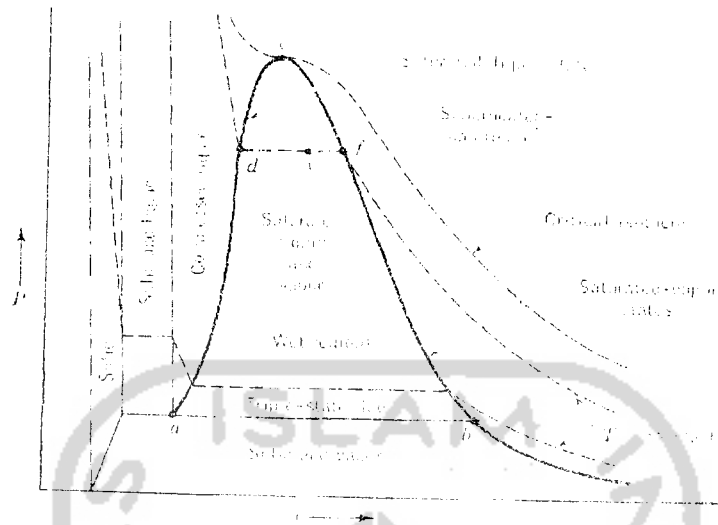
Pernyataan tersebut merupakan bentuk kesetimbangan energi (*energy balance*) untuk sistem tertutup.

2.3.2 Tekanan (Pressure)

Tekanan (P) dapat diartikan sebagai gaya normal per satuan luas pada suatu batas sistem [PITZ87]. Persamaan umum tekanan dapat dituliskan sebagai berikut :

$$P = \frac{\Delta F_{normal}}{\Delta A} \quad (2.13)$$

dengan A adalah luas bidang dan ΔF_{normal} adalah gaya tekan yang bekerja tegak lurus terhadap bidang. Gaya yang bekerja pada bidang dengan melintasi suatu fluida dapat diuraikan menjadi dua komponen, yang pertama adalah gaya diberikan pada suatu bidang dengan komponen yang tegak lurus (normal) terhadap bidang disebut dengan tegangan normal (*normal stress*) dan yang kedua adalah komponen sejajar dengan bidang disebut tegangan geser (*shear stress*).



Gambar 2.7 Grafik P-v

Tekanan aktual yang biasa diberikan pada sistem disebut dengan tekanan absolut (*absolute pressure*). Sedangkan perbedaan antara tekanan absolut dalam sistem dengan tekanan absolut dari atmosfer di luar sistem disebut sebagai tekanan gage atau tekanan vakum (*vacuum pressure*).

Tekanan terukur digunakan jika tekanan sistem lebih tinggi dari tekanan atmosfer, P_{atm} .

$$P(\text{terukur}) = P(\text{absolut}) - P_{atm}(\text{absolut}) \quad (2.14)$$

Jika tekanan atmosfer di luar sistem lebih besar dari tekanan di dalam sistem, maka digunakan tekanan vakum.

$$P(\text{vakum}) = P_{atm}(\text{absolut}) - P(\text{absolut}) \quad (2.15)$$

2.3.3 Temperatur (*Temperature*)

Secara sederhana temperatur dapat dikatakan sebagai besaran yang menyatakan “panas” atau “dingin” suatu zat (*object*) [CEN04]. Adanya aktifitas temperatur dapat diketahui dengan cara mengamati kesetimbangan termal. Jika dua buah benda yang mempunyai tempeatur sama didekatkan dengan benda ketiga, maka ketiganya dapat mencapai kesetimbangan termal (mempunyai panas yang sama) tanpa harus saling bersentuhan.

2.3.4 Volum Spesifik (*Specific volume*)

Volum spesifik (v) didefinisikan sebagai volume (m^3) per satuan massa (kg). Satuan dalam SI adalah m^3/kg . Volum spesifik merupakan sifat intensif. Persamaan umumnya :

$$v = \frac{V}{m} \quad (2.16)$$

Pada kasus tertentu, penulisan volum spesifik akan lebih mudah dimengerti jika diberikan dalam basis molar dibandingkan dengan basis massa. Jumlah suatu senyawa dalam kilomol, N , dapat diperoleh dengan membagi massa, m , dalam kilogram dengan berat molekulnya, M , dalam $kg/kmol$ [PITZ87].

Dari penjelasan diatas didapat :

$$N = \frac{m}{M} \quad (2.17)$$

Untuk menandai sifat berbasis molar, maka digunakan garis atas (*bar*) pada penulisan simbolnya. Sehingga \bar{v} berarti volume per kmol. Berdasarkan persamaan (2.17) hubungan antara v dengan \bar{v} dapat dituliskan :

$$\bar{v} = Mv \quad (2.18)$$

2.3.5 Entalpi (*Enthalpi*)

Dalam banyak kasus, fungsi entalpi (H) dianggap tidak terlalu spesifik, meskipun mempunyai nilai yang berhubungan dengan energi. Entalpi (H) tidak perlu dianggap sebagai bentuk spesifik dari energi, tetapi secara sederhana dapat diartikan sifat yang berfungsi untuk menganalisa perubahan volume pada saat tekanan konstan [PITZ87]. Persamaan entalpi adalah :

$$H = U + PV \quad (2.19)$$

entalpi per satuan massa :

$$h = u + Pv \quad (2.20)$$

Untuk gas ideal, karena energi internal spesifik hanya bergantung pada temperatur, maka persamaan (2.20) akan berubah. Dengan menggunakan persamaan keadaan gas ideal $Pv=RT$, dan definisi entalpi : $h = u + Pv$, dimana $u = u(T)$, sehingga didapat :

$$h = u(T) + RT \quad (2.20a)$$

2.3.6 Entropi (*Entropy*)

Entropi (S) merupakan sebuah sifat. Perubahan entropi suatu sistem yang berlangsung dari keadaan satu ke keadaan yang lain mempunyai nilai yang sama untuk setiap semua proses. Entropi dapat didefinisikan sebagai persamaan tertentu tanpa disertai dengan pengertian fisik.

$$T dS = dH - V dP \quad (2.21a)$$

Dalam basis satuan massa :

$$T ds = du + P dv \quad (2.21b)$$

$$T ds = dh - v dP \quad (2.21c)$$

Dari persamaan 2.21b dan 2.21c didapatkan nilai entropi untuk gas ideal yaitu :

a. Untuk volume konstan

$$s = c_v \ln \frac{T_2}{T_1} + R \ln \frac{v_2}{v_1} \quad (2.21d)$$

b. Untuk tekanan konstan

$$s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (2.21e)$$

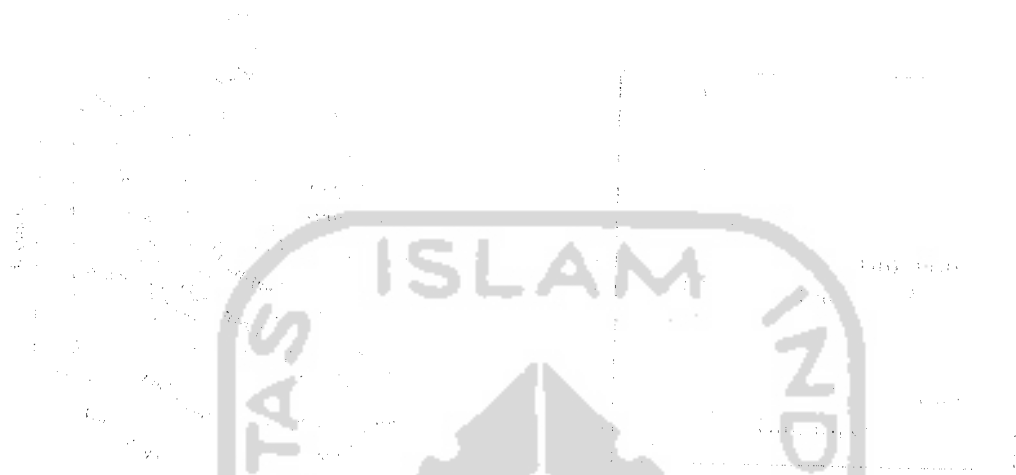
2.3.7 Zat Murni (*Pure Substance*)

Zat murni adalah zat yang mempunyai komposisi kimia yang tetap dan homogen, dapat berupa campuran dari beberapa elemen, asal seragam (tidak ada fase yang berbeda). Fase pada zat murni adalah padat, cair dan gas.

Perubahan Fase

Keadaan suatu sistem tertutup yang berada pada kesetimbangan (*equilibrium*) merupakan kondisi yang berdasarkan pada nilai dari sifat termodinamikanya. Secara khusus keadaan atau sifat termodinamika dapat ditentukan berdasarkan nilai sifat bebasnya. Energi sistem dapat dirubah secara bebas melalui kalor dan kerja. Dengan demikian suatu sifat bebas dapat

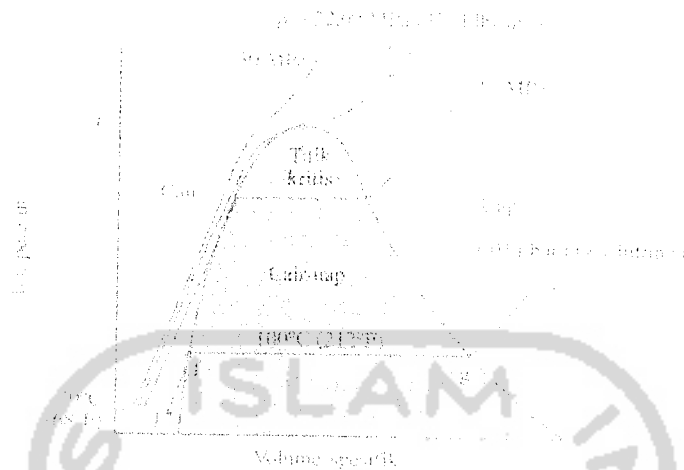
dihubungkan dengan perpindahan kalor sebagai suatu bentuk untuk mengubah energi.



Gambar 2.8 Permukaan P-v-T (a) pandangan tiga dimensi. (b) diagram fase

Dari gambar di atas, dapat diketahui bahwa ada tiga daerah fase yang akan terjadi, yaitu daerah fase tunggal (*single-phase region*), daerah dua fase (*two-phase region*) dan garis tripel (*triple line*). Pada daerah fase tunggal (*single-phase region*), suatu keadaan dapat ditentukan oleh setiap pasangan sifat : tekanan, volume spesifik dan temperatur, karena seluruhnya bersifat bebas. Daerah diantara fase tunggal adalah daerah dua fase (*two-phase region*) dimana terdapat dua fase dalam kesetimbangan : fase cair-uap, padat-cair dan padat-uap. Pada daerah dua fase temperatur dan tekanan bersifat tidak bebas. Hal ini berarti pada daerah dua fase, keadaan tidak dapat ditentukan hanya dengan tekanan dan temperatur saja namun membutuhkan pasangan sifat lainnya. Sepanjang garis tripel terdapat satu titik yang disebut titik tripel (*triple point*) yang berfungsi sebagai acuan untuk mendefinisikan skala temperatur [CEN04].

Peristiwa yang terjadi ketika suatu zat murni mengalami perubahan fase perlu dipahami dengan baik. Fase yang akan menjadi topik bahasan diantaranya adalah cair, campuran fase cair-uap dan keadaan uap. Suatu keadaan di mana perubahan fase berawal dan berakhir disebut keadaan jenuh (*saturation state*).



Gambar 2.9 Diagram T-v untuk air

2.3.7.1 Keadaan Cair

Pada keadaan ini, zat murni masih dalam bentuk cair. Keadaan cair sepanjang garis 1-f pada gambar 2.9 seringkali disebut sebagai keadaan cair subdingin (*subcooled liquid*) karena temperturnya berada di bawah temperatur saturasi pada tekanan tertentu. Keadaan yang demikian juga disebut sebagai keadaan cair tekan (*compressed liquid*) karena tekanan yang lebih tinggi dari tekanan jenuh pada temperatur tertentu.

2.3.7.2 Campuran Fase Cair-Uap

Daerah ini ditunjukkan sepanjang garis j-g (pada gambar 2.9). Penambahan kalor pada tekanan tertentu menyebabkan pembentukan uap tanpa terjadi perubahan temperatur tetapi volume spesifiknya meningkat. Ketika campuran cair dan uap berada dalam kesetimbangan, fase cair merupakan cair jenuh dan uap merupakan uap jenuh. Campuran fase cair-uap dapat dibedakan nilai sifat satu dengan lainnya menggunakan sifat intensif yang dikenal sebagai kualitas (x), yaitu perbandingan massa uap terhadap massa total campuran. Nilai dari kualitas (x):

$$x = \frac{m_{uap}}{m_{cair} + m_{uap}} \quad (2.22)$$

Kualitas mempunyai nilai dari nol sampai dengan satu. Pada keadaan cair jenuh, nilai dari $x = 0$ dan keadaan uap jenuh, $x = 1$. Meskipun didefinisikan sebagai nilai perbandingan, kualitas dapat juga diberikan dalam bentuk persentase.

Volume spesifik campuran dua fase cair-uap dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan (2.22) sebagai berikut :

Volume total campuran adalah jumlah volume fase cair dan uap.

$$v = v_{\text{cair}} + v_{\text{uap}} \quad (2.22a)$$

jika dibagi dengan massa total campuran, m , maka diperoleh :

$$v = \frac{V}{m} = \frac{V_{\text{cair}}}{m} + \frac{V_{\text{uap}}}{m} \quad (2.22b)$$

Karena pada daerah ini fase cair adalah cair jenuh dan untuk fase uap adalah uap jenuh, $v_{\text{cair}} = m_{\text{cair}} v_f$ dan $v_{\text{uap}} = m_{\text{uap}} v_g$, maka :

$$v = \left(\frac{m_{\text{cair}}}{m} \right) v_f + \left(\frac{m_{\text{uap}}}{m} \right) v_g \quad (2.22c)$$

Kualitas didefinisikan sebagai $x = m_{\text{uap}}/m$, dan $m_{\text{cair}}/m = 1 - x$, maka jika di substitusikan dengan persamaan (2.22c) maka :

$$v = (1 - x)v_f + xv_g = v_f + x(v_g - v_f) \quad (2.22d)$$

Dengan menggunakan cara yang sama, nilai dari energi spesifik, entalpi dan entropi bisa diperoleh :

$$u = u_f + x(u_g - u_f) \quad (2.23)$$

$$h = h_f + x(h_g - h_f) \quad (2.24)$$

$$s = s_f + x(s_g - s_f) \quad (2.25)$$

2.3.7.3 Keadaan Uap

Jika pemanasan lanjut diberikan pada tekanan yang tetap, maka akan terjadi peningkatan untuk temperatur dan volume spesifiknya. Hal ini ditunjukkan oleh s pada gambar 2.9. Keadaan pada titik s disebut sebagai keadaan uap panas lanjut (*superheated vapor*) karena sistem berada pada temperatur yang lebih tinggi dari temperatur jenuh pada tekanan yang diberikan.

2.4 Persamaan Gas Ideal

Gas ideal mempunyai struktur yang jarak antara molekul saling berjauhan sehingga dapat dianggap interaksi antar molekul tidak ada dan gaya tarik menarik antar molekul rendah. Pembahasan mengenai gas ideal berhubungan dengan temperatur, tekanan dan volume spesifik. Persamaan umum gas ideal adalah :

$$P v = R T \quad (2.26)$$

Ada beberapa bentuk persamaan gas ideal yang lainnya dengan mempertimbangkan hubungan antara tekanan, volume spesifik dan temperatur adalah sebagai berikut. Jika $v = \frac{V}{m}$ maka persamaan (2.26) akan menjadi :

$$PV = mRT \quad (2.27)$$

Selanjutnya $m = MN$ dan $R = \frac{Ru}{M}$, sehingga persamaan (1) berubah :

$$PV = NRuT \quad (2.28)$$

dengan P = tekanan (kPa)

v = volume spesifik (m^3/kg)

R = konstanta gas, tergantung pada jenis gas

T = temperaur absolut (K)

V = volume (m^3)

M = berat molekul (kg/kmol)

N = jumlah molekul (kmol)

Ru = konstanta gas universal (kJ/kg.K)

2.4.1 Faktor Kompresibilitas (Z)

Untuk mengetahui apakah suatu zat termasuk gas ideal atau gas riil adalah dengan mencari faktor kompresibilitas (Z), yaitu faktor yang menunjukkan seberapa besar penyimpangan suatu gas riil dari perilaku gas ideal. Faktor kompresibilitas disebut juga dengan rasio volume.

$$Z = \frac{Pv}{RT} = \frac{v_{aktual}}{v_{ideal}} \quad (2.29)$$

Untuk gas ideal, maka nilai dari faktor kompresibelnya $Z = 1$, sedangkan untuk gas riil $Z < 1$ atau $Z > 1$.

2.4.2 Kalor Spesifik (*Specific heat*)

Kalor spesifik atau kapasitas kalor adalah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur satu satuan massa per satu derajat. Terdapat dua jenis kalor spesifik, yaitu kalor spesifik volume konstan (c_v) dan kalor spesifik tekanan konstan (c_p).

2.4.2.1 Kalor Spesifik Volume Konstan (c_v)

Merupakan perubahan energi internal terhadap waktu pada volume konstan. Karena gas mengikuti model gas ideal, energi internal spesifik bergantung hanya pada temperatur, begitu juga kalor spesifik hanya sebagai fungsi temperatur. Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$c_v(T) = \frac{du}{dT} \quad (\text{gas ideal}) \quad (2.30)$$

Dengan memisahkan variabel dalam persamaan (2.30)

$$du = c_v(T) dT \quad (2.31)$$

Setelah diintegalkan akan didapat persamaan :

$$u(T_2) - u(T_1) = \int_{T_1}^{T_2} c_v(T) dT \quad (2.32)$$

2.4.2.2 Kalor Spesifik Tekanan Konstan (c_p)

Adalah perubahan entalpi terhadap temperatur pada tekanan konstan. Dengan cara yang sama (karena gas mengikuti model gas), enthalpi spesifik juga hanya bergantung pada temperatur. persamaan untuk kalor spesifik c_p adalah :

$$c_p(T) = \frac{dh}{dT} \quad (2.33)$$

Dengan memisahkan variabel dalam persamaan (2.30)

$$dh = c_p(T) dT \quad (2.34)$$

Setelah diintegrasikan :

$$h(T_2) - h(T_1) = \int_{T_1}^{T_2} c_p(T) dT \quad (2.35)$$

Hubungan penting antara kalor spesifik gas ideal didapat dengan menurunkan persamaan (2.20a) dan (2.32) akan mendapat :

$$c_p(T) = c_v(T) + R \quad (2.36)$$

2.5 Matlab

Bahasa pemrograman sebagai media untuk berinteraksi antara manusia dengan komputer dewasa ini dibuat agar semakin mudah dan cepat. Pada akhirnya semua bahasa pemrograman akan semakin memanjakan pemakainya dengan penambahan fungsi-fungsi baru yang sangat mudah digunakan.

Matlab dikembangkan sebagai bahasa pemrograman sekaligus sebagai visualisasi yang menawarkan banyak kemampuan untuk menyelesaikan berbagai kasus yang berhubungan dengan berbagai disiplin keilmuan. Matlab memberikan sistem interaktif yang menggunakan konsep *array/matrik* sebagai standar variabel elemennya tanpa membutuhkan *pen-deklarasi-an array*, karena Matlab memiliki kemampuan tersendiri untuk mengenali tipe data yang dimasukkan dan dapat mengganti tipe data tersebut pada waktu yang relatif bersamaan tanpa adanya kesalahan, tidak seperti pada bahasa lain. Matlab sering digunakan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang melibatkan operasi matematika, matriks dan lainnya [GUN06]. Matlab mempunyai kelompok aplikasi untuk solusi khusus yang disebut *toolboxes*. *Toolboxes* merupakan kumpulan fungsi-fungsi Matlab yang memperluas lingkungan kerja Matlab untuk memecahkan masalah khusus. Matlab banyak digunakan pada :

- a. Matematika dan Komputasi
- b. Pengembangan Algoritma
- c. Analisis Numerik
- d. Pemodelan, simulasi dan pembuatan *Prototype*
- e. Grafik saintifik dan *engineering*
- f. Membangun aplikasi, termasuk *graphical user interface*

2.5.1 Window Utama Matlab

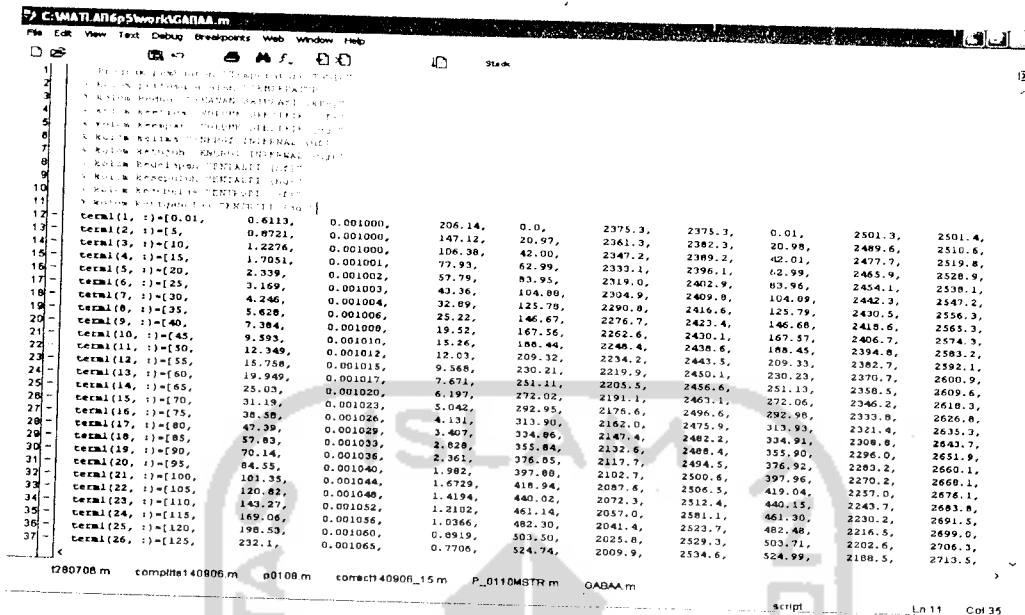
Window ini adalah *window* induk yang meliputi seluruh lingkungan kerja Matlab. Tidak ada fungsi utama yang ditawarkan oleh *window* ini selain sebagai tempat untuk men-*debug* program yang telah dibuat.



Gambar 2.10 Window utama Matlab

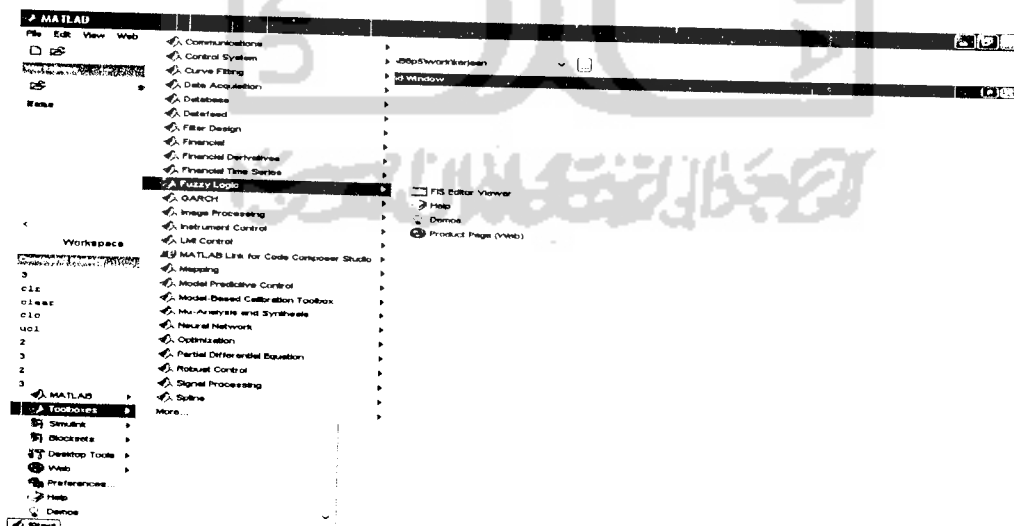
2.5.2 Matlab Editor (M-File)

Window ini berfungsi untuk membuat skrip program Matlab. Walaupun skrip program dapat dibuat dengan menggunakan berbagai program seperti *notepad*, *word* dan lainnya. Namun sangat dianjurkan untuk menggunakan Matlab Editor karena kemampuannya dalam mendeteksi kesalahan pengetikan sintak oleh *programmer*.



Gambar 2.11 Matlab Editor

Matlab mempunyai kelompok aplikasi untuk solusi khusus yang disebut *toolboxes*. *Toolboxes* merupakan kumpulan fungsi-fungsi Matlab yang memperluas lingkungan kerja Matlab untuk memecahkan masalah khusus.



Gambar 2.12 Tampilan *toolboxes* dalam Matlab

2.6 Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*)

Kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) merupakan salah satu bagian ilmu komputer yang membuat komputer dapat melakukan pekerjaan seperti dan sebaik yang dilakukan manusia. AI membentuk cabang yang sangat penting pada ilmu komputer, berhubungan dengan perilaku, pembelajaran dan adaptasi yang cerdas dalam sebuah mesin. Penelitian dalam AI menyangkut pembuatan mesin untuk mengotomatisasikan tugas-tugas yang membutuhkan perilaku cerdas. Ada beberapa jenis metode yang terdapat dalam AI, tetapi metode yang sesuai untuk pembuatan program ini adalah sistem pakar (*expert system*). Sistem pakar adalah suatu program komputer yang memperlihatkan kemampuan atau keahlian dalam pemecahan masalah di bidang tertentu sebanding dengan seorang pakar. Keahlian sistem pakar dalam memecahkan suatu masalah diperoleh dengan cara merepresentasikan pengetahuan seorang atau beberapa orang pakar dalam format tertentu dan menyimpannya dalam basis pengetahuan [ARHAM04]. Keunggulan sistem pakar diantaranya :

- a. Kemampuan menghimpun dan menghitung data dalam jumlah besar
- b. Kemampuan menyimpan data dalam waktu yang lama dalam bentuk tertentu
- c. Kemampuan pengerjaan perhitungan secara cepat dan tepat serta mempunyai kecepatan yang tinggi untuk mencari lagi data yang tersimpan.

BAB III

PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

Untuk melakukan interaksi dengan pemakai atau *user*, program yang akan dirancang haruslah mampu berkomunikasi secara baik dengan *user*. Untuk merancang program tersebut diperlukan perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*) dan aspek manusia itu sendiri (*brainware*). Pada bagian ini akan dijelaskan bagaimana perancangan perangkat lunak yang akan digunakan untuk membuat program.

3.1 Metode Analisis Perangkat Lunak

Untuk melakukan pengembangan sistem perangkat lunak dibutuhkan model atau metode pengembangan sistem. Metodologi pengembangan sistem merupakan kesatuan metode-metode, konsep-konsep pengerjaan, aturan-aturan ataupun prosedur-prosedur yang akan digunakan untuk mengembangkan sistem tersebut.

Tahap analisis digunakan untuk mengetahui dan menerjemahkan permasalahan dan kebutuhan perangkat lunak serta kebutuhan sistem yang akan dirancang. Metode analisis yang akan digunakan adalah metode analisis dengan pendekatan terstruktur yang lengkap dengan teknik yang dibutuhkan dalam pengembangan sistem. Metode ini dalam pemrosesannya membahas analisis terhadap masukan (*input*) dan keluaran (*output*) yang dinyatakan dengan pembuatan diagram arus (*flowchart*), algoritma pemrograman, pengujian dan perbaikan kesalahan (*testing and debugging*) dalam membuat metode tersebut. Hasil akhir dari analisis terhadap metode pendekatan terstruktur yang digunakan diharapkan mendapatkan sistem yang strukturnya dapat didefinisikan dengan baik dan jelas. Dari uraian diatas, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam melakukan analisis, diantaranya kebutuhan proses, analisis kebutuhan keluaran dan kebutuhan bahasa pemrograman.

3.1.1 Kebutuhan Masukan

Untuk menyelesaikan analisis persamaan termodinamika sederhana diperlukan masukan-masukan yang berupa nilai awal, diantaranya temperatur (T), tekanan (P), volume spesifik (v), energi internal (u), entalpi (h) dan entropi (s). Kemudian data-data tersebut akan diproses dan akan ditampilkan hasilnya.

Kebutuhan proses masukan (*input*) data dilakukan dengan cara memasukkan data-data yang diperlukan oleh sistem. Dalam proses perhitungannya, minimal ada dua sifat zat yang diketahui. Pertama-tama salah satu dari nilai temperatur (T) atau tekanan (P) dimasukkan, menyusul kemudian salah satu dari sifat termodinamika lainnya sebagai data keduanya (volume spesifik (v), energi internal (u), entalpi (h) atau entropi (s)).

3.1.2 Analisis kebutuhan Keluaran

Kebutuhan data dalam pembuatan sistem disusun untuk proses analisis terhadap persamaan termodinamika sederhana secara komputasi numeris yang menghasilkan nilai dan menampilkannya dalam bentuk grafis. Kebutuhan keluaran ditampilkan secara komunikatif (*user friendly*) yang dibuat dalam bentuk sistem yang bersifat interaktif, maksudnya *user* sebagai pengguna akhir dapat menggunakan sistem tersebut secara aktif dengan memasukkan data-data yang diperlukan sistem untuk menyelesaikan analisis persamaan termodinamika sederhana.

3.1.3 Kebutuhan Perangkat Lunak

Pada proses analisis persamaan termodinamika ini, untuk mengolah data masukan maka penanganan proses pengolahan data dan tampilan keluarannya menggunakan perangkat lunak Matlab.

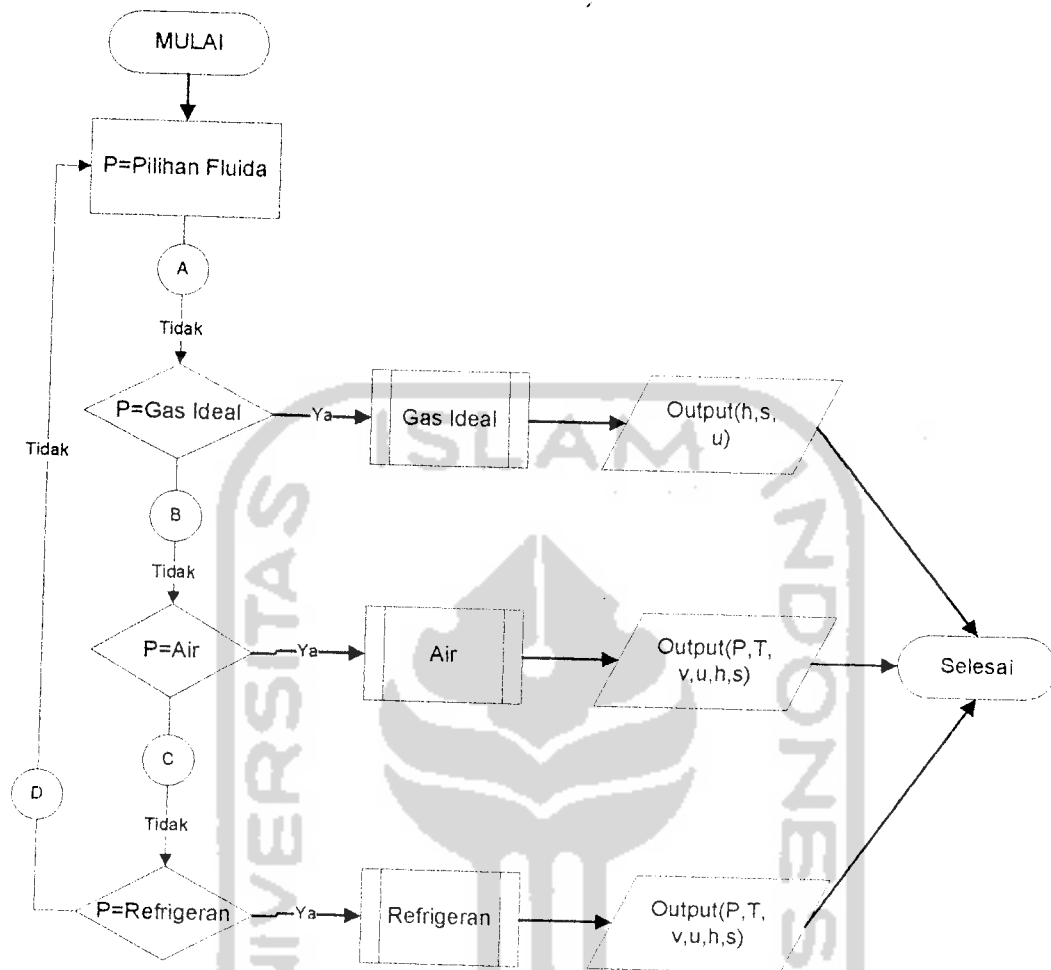
3.2 Perancangan Perangkat Lunak

Program aplikasi ini dibuat untuk mencari penyelesaian numeris persamaan termodinamika sederhana. Aplikasi yang dibuat diharapkan mampu menghasilkan program yang mudah dioperasikan. Program harus mampu memberi fasilitas masukan data yang representatif dan memberi keluaran yang sesuai serta mempunyai tingkat kebenaran yang baik, sehingga antara pengguna dan komputer dapat saling berinteraksi. Selain itu pengguna juga mampu merasakan keunggulan program tersebut.

Proses perancangan perangkat lunak akan menggunakan metode perancangan berarah alir data. Metode ini menyajikan diagram struktur data diagram alir (*flowchart*) sesuai dengan model program yang telah dibuat.

3.2.1 Diagram Alir Sistem (*flowchart*)

Metode alternatif untuk menyatakan sebuah algoritma sistem adalah dengan menggambarannya sebagai diagram alir (*flowchart*). Diagram alir merupakan pernyataan algoritma secara visual atau grafis dengan menggunakan sederetan blok dan tanda panah. Diagram alir dibuat secara keseluruhan kemudian akan dibagi menjadi diagram alir yang lebih spesifik untuk memudahkan pemahaman terhadap proses kerja perangkat lunak yang dibuat. Diagram alir (*flowchart*) merupakan bahasa informal yang menyediakan urutan perintah secara logika bagaimana analisis sistem memecahkan suatu masalah tertentu sehingga lebih jelas dan mudah dipahami. Diagram alir dari program yang akan dibuat tercantum pada gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir program

Dari diagram alir pada gambar 3.1, maka dapat dijelaskan pemakaian simbol-simbol yang terdapat pada diagram alir tersebut :

- Mulai**, penanda proses mulai dikerjakan.
- P = Pilihan Fluida**, merupakan tahap proses, untuk menentukan fluida yang akan dipakai.
- P = Gas Ideal**, untuk menyatakan bahwa proses akan berjalan dengan menggunakan fluida gas ideal
 - Jika “Ya”, maka proses akan dilanjutkan pada perhitungan yang ada di dalamnya, yaitu dengan menggunakan persamaan gas ideal sampai akhirnya mendapat hasil yang diinginkan.

- Jika “Tidak”, maka bukan fluida gas ideal yang digunakan dan akan dilanjutkan ke proses berikutnya.
- d. **P = Air**, untuk menyatakan bahwa proses akan berjalan dengan menggunakan fluida air.
 - Jika “Ya”, proses akan berlanjut pada perhitungan dengan menggunakan tabel data air sehingga mendapatkan hasil yang diharapkan.
 - Jika “Tidak”, maka bukan fluida air yang digunakan dan proses akan dilanjutkan pada tahap berikutnya.
- e. **P = Refrigeran**, untuk menyatakan bahwa proses akan berjalan dengan menggunakan fluida refrigeran.
 - Jika “Ya”, maka proses akan berlanjut pada perhitungan berikutnya dengan menggunakan tabel data refrigeran yang relevan sampai mendapat hasil akhir.
 - Jika “Tidak”, maka bukan fluida refrigeran yang digunakan dan proses akan kembali pada pilihan fluida (b) karena fluida yang dimasukkan tidak ada dalam pilihan (b).

3.2.2 Pembuatan Data

3.2.2.1 Pembuatan Basis Data

Analisis program akan membahas masalah sifat dalam termodinamika, yaitu temperatur, tekanan, volume spesifik, energi internal, entalpi dan entropi. Data dari masing-masing sifat diperoleh dari tabel sifat. Karena data yang dianalisis berbentuk tabel, maka nilai numeris sifat harus dimasukkan ke dalam suatu basis data tertentu untuk memudahkan pemanggilannya pada saat pemrosesan berlangsung. Data dibuat dalam bentuk matriks sehingga program yang dihasilkan tidak terlalu panjang. Kutipan pembuatan basis data sifat zat dapat dilihat pada gambar 3.2, dalam hal ini data sifat untuk air.

% Data untuk 'Tabel Air' water Temperature Table

T={0.01	5	10	15	20	25	30
F={0.6113	0.8721	1.2276	1.7351	2.359	3.149	4.246
v _f ={0.001	0.001	0.001	0.001001	0.001002	0.001003	0.001004
v _g ={206.14	147.12	106.33	77.93	57.79	43.36	32.89
u _f ={0.01	20.97	42	62.99	83.95	104.83	125.73
u _g ={2375.3	2332.3	2339.2	2396.1	2402.9	2409.8	2416.6
h _f ={0.01	20.98	42.01	62.99	83.96	104.89	125.79
h _g ={2501.4	2510.6	2519.3	2528.9	2538.1	2547.2	2556.3
s _f ={0.001	0.0761	0.151	0.2245	0.2968	0.3674	0.4369
s _g ={9.1562	9.0257	8.9003	8.7814	8.6672	8.558	8.4533

Gambar 3.2 Data tabel untuk air (*Temperature Table*)

Pembuatan basis data untuk temperatur (T) dan tekanan (P) dipisahkan. Hal ini berlaku untuk fluida air dan refrigeran (R-22 dan R-134a) sedangkan untuk gas ideal tidak memerlukannya karena dianalisis dengan menggunakan persamaan umum gas ideal. Maksud dari pemisahan ini adalah karena kedua sifat tersebut merupakan sifat utama yang salah satu atau keduanya harus ada dalam masukan program. Jika kedua sifat tersebut tidak dimasukkan dengan benar program tidak akan berjalan atau akan memunculkan peringatan. Selain merupakan sifat utama pemisahan juga bertujuan agar pembuatan program menjadi lebih sederhana.

3.2.2.2 Pembuatan Batasan

Agar program dapat berjalan sesuai dengan harapan, diperlukan suatu batasan terhadap data-data yang akan dianalisis khususnya fluida air dan refrigeran karena kedua fluida tersebut menggunakan data tertentu sebagai acuan untuk menyelesaikan persoalan yang ada. Pada fluida air sebagian besar sumber referensi menggunakan batas ketetapan awal untuk temperatur adalah titik beku air (0 °C). Sedangkan pada refrigeran (R-22 dan R-134a) tidak ada batasan nilai awal yang mutlak untuk temperatur yang dijadikan sebagai ketetapan. Meskipun batasan awal yang digunakan berbeda tetapi analisis yang dihasilkan adalah sama. Untuk mengetahui kebenaran hasil yang dianalisis dilakukan dengan cara mencari selisih hasil antara kondisi awal dan kondisi akhirnya. Pembuatan batasan data dapat dilihat gambar 3.3 untuk fluida air.

```

datainput(1)= input('masukkan harga T (0 s.d 13000 kPa): ');
if(datainput(1)<0) || (datainput(1)>13000)
    disp('Masukan T tidak sesuai silahkan RUN ulang')
    break
end
datainput(2)= input('masukkan harga P (0 s.d 60000 kPa): ');
if(datainput(2)<0) || (datainput(2)>60000)
    disp('Masukan P tidak sesuai silahkan RUN ulang')
    break
end

Tinp=datainput(1);
Pinp=datainput(2);
%jika T & P <= 0
if (datainput(1)<=0) & (datainput(2)<=0)
    fprintf(' Maaf...masukan anda salah !!!\n');
    disp(' Silahkan RUN ulang !!!');

%jika T not in range
elseif (datainput(2)<=0) & (datainput(1)<0,01) || (1300<datainput(1))
    fprintf(['T = ' num2str(datainput(1)) ' is not in range !!!\n']);

%jika P not in range
elseif (datainput(1)<=0) & (datainput(2)<0,6113) || (60000<datainput(2))
    fprintf(['P = ' num2str(datainput(2)) ' is not in range !!!\n']);

```

Gambar 3.3 Batasan untuk temperatur dan tekanan pada fluida air

3.2.2.3 Pembuatan *function*

Penyederhanaan program diperlukan agar lebih efisien baik dalam ukuran program maupun kecepatan dalam pemrosesannya. Penggunaan *function* dapat diterapkan untuk menghubungkan proses yang satu dengan lainnya yang saling berhubungan. Langkah ini diperlukan karena program menganalisis perhitungan data numerik yang banyak. Pemanfaatan *function* dapat ditemukan pada gambar 3.4.

```

function hasil_campuran= kondisicair_gas(Mhasilf,Mhasilg,Mhasilf_rl,tiwa,tdatainput)

Mhasil= [Mhasilf; Mhasilg];

% kasus untuk data 'P' dan 'T' saja
Mhasil= [Mhasilf_rl; Mhasilg];

% mencari dataa untuk parameter yang digunakan
% Mhasil(1,1) == mencari nilai untuk pada k=1,1
% Mhasil(1,2) == mencari nilai untuk pada k=1,2
if tiwa == 2
    diiw= tdatainput;
    p3carit= [Mhasil(1,2), Mhasil(2,2)] ; % mencari nilai untuk pada k=1,2
    % interpolasi untuk parameter yang digunakan
    kondisicair_gas= interp1(p3carit,Mhasil,diiw);

    T = tdatainput(1);
    P = tdatainput(2);
    v = kondisicair_gas(2,3);
    u = kondisicair_gas(2,4);
    h = kondisicair_gas(2,5);
    % kondisicair_gas(2,6);

```

Gambar 3.4 Penggunaan *function* pada kondisi campuran

3.2.3 Membuat Menu Pilihan

Tujuan dari pembuatan menu pilihan adalah untuk memberi pilihan kepada pengguna terhadap media atau jenis fluida yang digunakan. Dalam hal ini fluida yang digunakan adalah air, refrigeran dan gas ideal. Tampilan menu pilihan dibuat sesederhana mungkin sehingga pengguna mudah memahami. Sintak yang digunakan untuk menampilkan menu pilihan dapat dilihat pada gambar 3.5.

```

disp('===== Thermo soft l =====');
disp('== menu utama :      ==');
disp('== 1. Gas Ideal      ==');
disp('== 2. Water           ==');
disp('== 3. Refrigerant     ==');
inputmenu= input('Pilihan Anda : ');
%initiate T P v u h s
datainput=[0 0 0 0 0 0];
switch inputmenu
    case 1 %menu_gasideal
        diGasId;
    case 2 %menu_air
        diTPvuhs;
    case 3 %menu_refrie

```

```

    direfrec;
    otherwise
    fprintf('Pilihan Anda belum benar');
end

```

Gambar 3.5 Menu pilihan untuk jenis fluida yang digunakan

Dari gambar 3.1 dan gambar 3.5, dapat diberikan penjelasan yang lebih lanjut mengenai jenis fluida yang digunakan sebagai berikut :

a. Gas ideal

Pilihan gas ideal akan berjalan jika pengguna atau *user* memilih angka satu (dari gambar 3.3). Ada beberapa jenis gas ideal yang akan dianalisis, diantaranya nitrogen (N_2), oksigen (O_2) dan karbondioksida (CO_2). Untuk gas ideal pemrosesannya menggunakan persamaan umum gas ideal,

$$Pv = RT \quad (4.1)$$

Hasil akhir dari perhitungan dengan persamaan gas ideal akan memiliki selisih perbedaan yang lebih besar untuk temperatur yang semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi nilai temperatur, nilai kalor spesifik (c_p , c_v) akan semakin besar juga karena kalor spesifik merupakan fungsi dari temperatur. Sedangkan program yang dibuat dalam proses perhitungannya menggunakan persamaan umum gas ideal, dengan nilai dari kalor spesifik dianggap konstan. Kalor spesifik berhubungan erat dengan energi internal (u) dan entalpi (h).

$$u = c_v T \quad (4.2)$$

$$h = c_p T \quad (4.3)$$

Nilai entropi (s) dapat diperoleh dari hubungan antara persamaan umum gas ideal dengan kalor spesifik, yaitu :

$$s = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (4.4)$$

b. Air dan Refrigeran

Proses analisis untuk air dan refrigeran pada dasarnya adalah sama, yang membedakannya adalah nilai data yang diperoleh untuk masing-masing sifat

zatnya. Ada 3 perubahan fase yang terjadi pada air dan refrigeran, yaitu cair, campuran uap-air dan uap. Tiap-tiap fase ada persyaratan tertentu. Gambar 3.4 merupakan contoh sintak persyaratan tiap-tiap fase untuk fluida air.

```

if datainput(2) <= 0
    datainput(3) = input('Masukkan Massa (kg) : ');
    if datainput(3) > 0
        disp('Tik : ');
        if datainput(3) < MhasilF(3);
            disp('kondisi cair');
            tik=3;
            kondisicairT(MhasilF, MhasilF_ml, tik, datainput);
        elseif (datainput(3) > MhasilF(3)) & (datainput(3) < MhasilG(3));
            disp('kondisi air_gas');
            tiwa=3;
            kondisicair_gass(MhasilF, MhasilG, MhasilF_ml, tiwa, datainput);
        elseif (datainput(3) > MhasilG(3));
            disp('kondisi superheat');
            tabelA6B;
        end;
    end;
end;

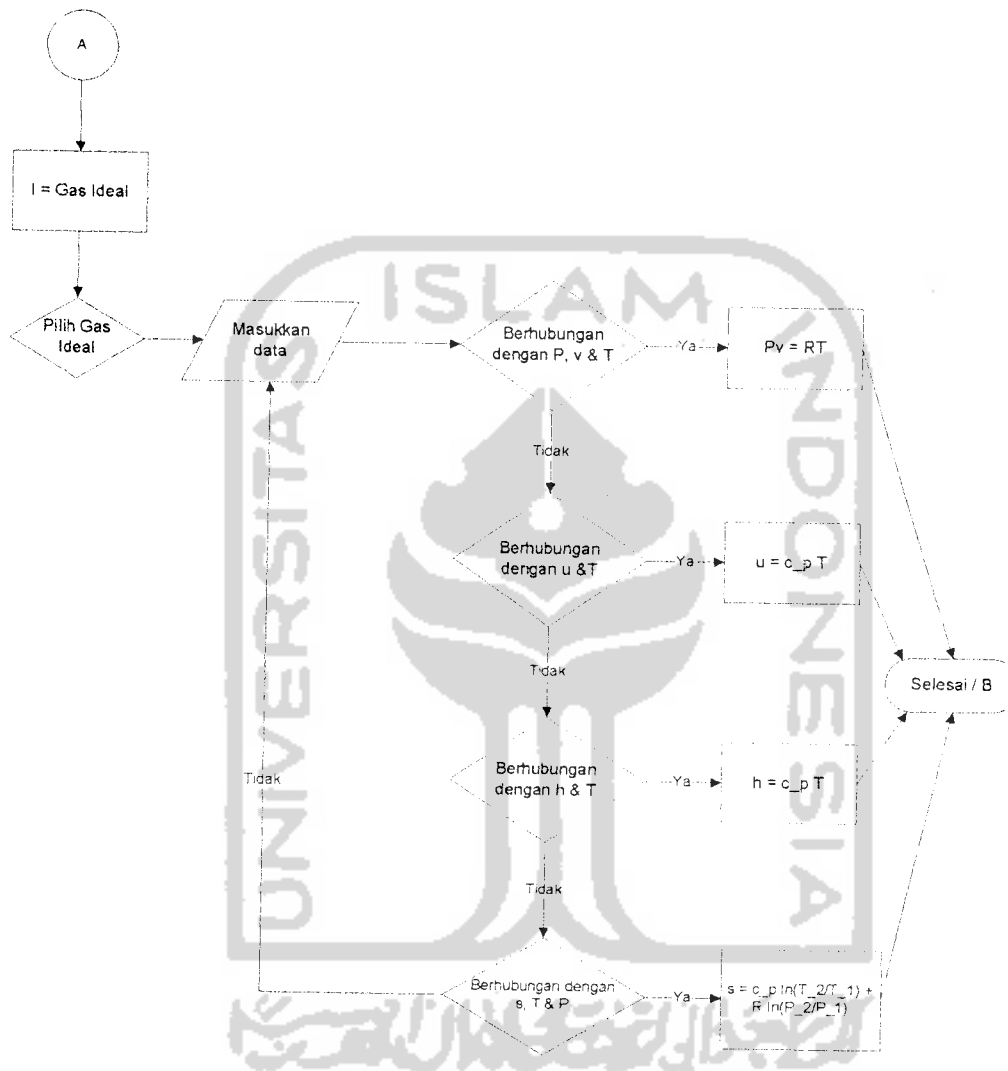
```

Gambar 3.6 Pengkondisian persyaratan fase untuk air

3.3 Hasil Perancangan

Hasil pada tahap perancangan berkaitan erat dengan hasil tahap analisis, karena pada tahap analisis telah ditentukan fungsi-fungsinya, metode dan perangkat lunak yang dipakai. Dari tahap analisis tersebut didapat suatu gambaran tentang sistem aplikasi perangkat lunak untuk menyelesaikan persoalan yang ada. Dari gambar 3.1, hasil perancangan sistem dapat ditunjukkan dalam diagram alir sistem sebagai berikut.

3.3.1 Flowchart Pilihan Fluida Gas Ideal



Gambar 3.7 Diagram alir fluida gas ideal

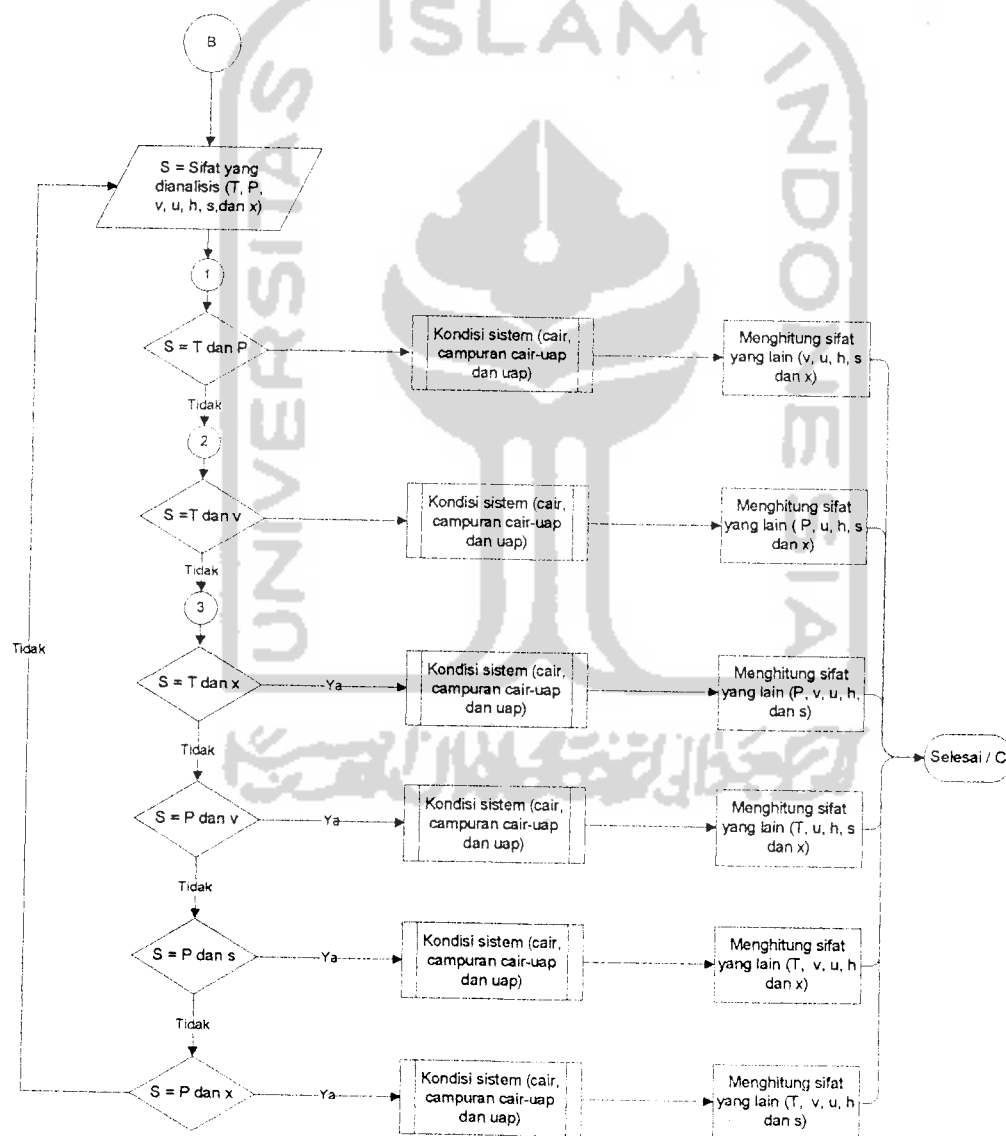
Dari diagram alir pada gambar 3.7, maka dapat dijelaskan pemakaian simbol-simbol yang terdapat pada diagram alir tersebut sebagai berikut :

- A**, penanda proses mulai dikerjakan.
- I = Gas Ideal**, merupakan tahap masukan (*input*) untuk memilih gas ideal yang akan dipilih

- c. **Pilih Gas Ideal**, ada beberapa jenis gas ideal yang digunakan. Perhitungan yang digunakan pada setiap gas ideal adalah sama, yang membedakan adalah nilai kalor spesifik untuk masing-masing gas.
- d. **Masukkan data**, merupakan tahap masukan untuk data-data yang diketahui dan yang akan dianalisis oleh program yang telah dibuat.
- e. **Berhubungan dengan P, v & T**, merupakan masukan yang berhubungan dengan tekanan (P), temperatur (T) dan volume spesifik (v). Untuk mencari sifat zat lainnya dilakukan dengan menggunakan persamaan umum gas ideal.
- Jika “Ya”, proses akan berlanjut pada perhitungan berikutnya dengan mencari nilai energi internal (u), entalpi (h) dan entropi (s).
 - Jika “Tidak”, maka persamaan yang digunakan bukan persamaan umum gas ideal dan proses akan dilanjutkan pada tahap berikutnya.
- f. **Berhubungan dengan u & T**, merupakan masukan yang berhubungan dengan energi internal (u) & temperatur (T). Untuk mencari nilai sifat zat lain dilakukan dengan menggunakan persamaan kalor spesifik untuk energi internal ($u = c_v T$).
- Jika “Ya”, proses akan berlanjut pada perhitungan berikutnya dengan mencari nilai entalpi ($h = u + Pv$) dan entropi (s).
 - Jika “Tidak”, maka persamaan ini tidak sesuai untuk digunakan. Proses akan berlanjut pada tahap berikutnya.
- g. **Berhubungan dengan h & T**, merupakan masukan yang berhubungan dengan entalpi (h) & temperatur (T). Untuk mencari nilai sifat zat lain dilakukan dengan menggunakan persamaan kalor spesifik untuk entalpi ($h = c_p T$).
- Jika “Ya”, proses akan berlanjut pada perhitungan berikutnya dengan mencari nilai energi internal (u) dan entropi (s).
 - Jika “Tidak”, maka persamaan yang digunakan tidak sesuai.
- h. **Berhubungan dengan s, T & P**, merupakan masukan yang berhubungan dengan entropi (s), temperatur (T) dan tekanan (P). Untuk mencari nilai sifat zat lain dilakukan dengan menggunakan persamaan entropi.

- Jika “Ya”, proses akan berlanjut pada perhitungan berikutnya untuk mencari nilai energi internal(u) dan entalpi (h).
- Jika “Tidak”, proses akan kembali pada menu masukan data (d) karena masukan yang diberikan tidak sesuai dengan menu pilihan yang ada.

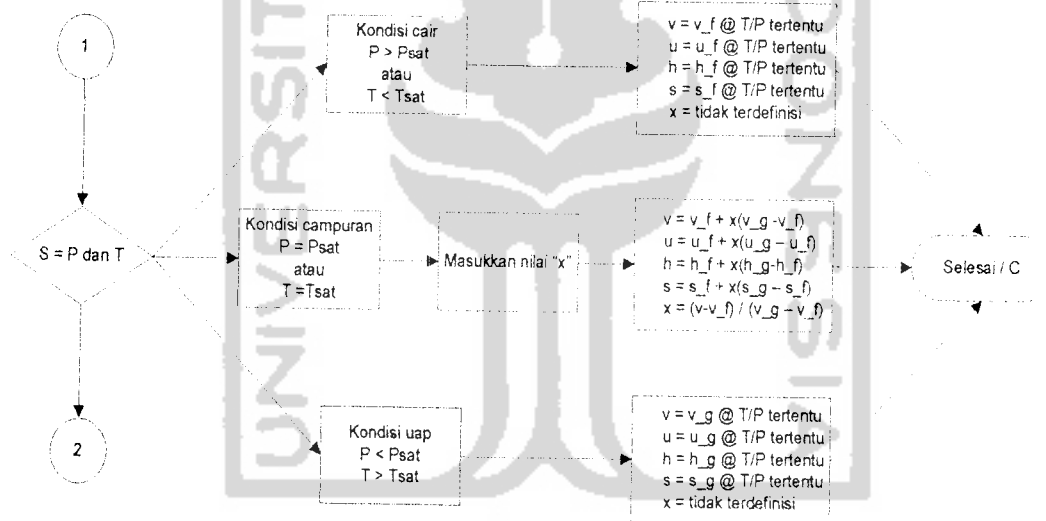
3.3.2 Flowchart Pilihan Fluida Air



Gambar 3.8 Diagram alir untuk fluida air

Dari gambar diagram alir di atas (gambar 3.8), maka dapat dijelaskan pemakaian simbol-simbolnya sebagai berikut :

- B**, penanda proses mulai dikerjakan.
- S = Sifat yang dianalisis**, merupakan tahap masukan untuk sifat zat yang akan dianalisis pada program yang telah dibuat.
- S = T dan P**, merupakan masukan untuk sifat zat temperatur (T) dan tekanan (P). Untuk memperjelas proses yang berlangsung pada satu sistem dengan masukan temperatur dan tekanan tampilan pada gambar 3.9 akan memperjelasnya.



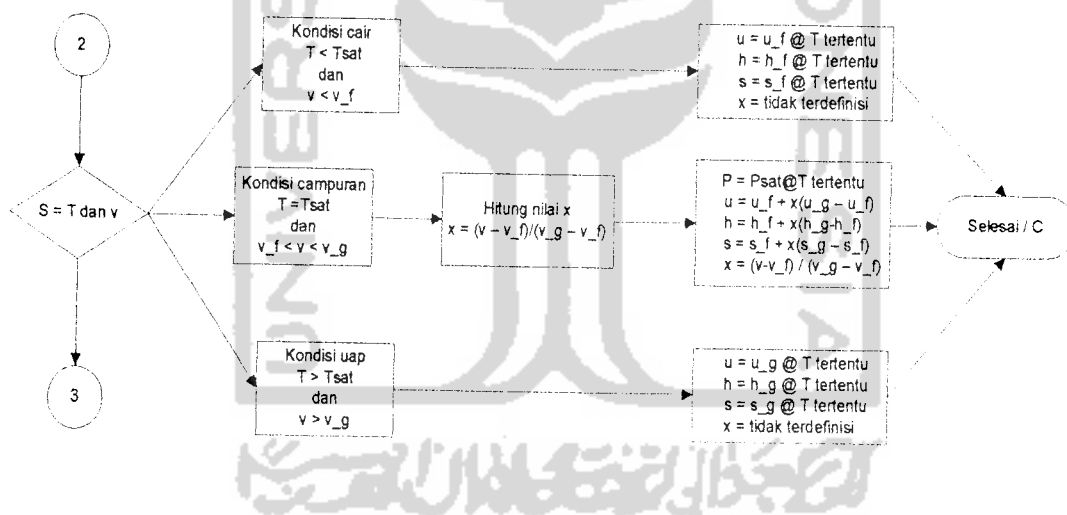
Gambar 3.9 Diagram alir untuk data masukan P dan T

- Jika “Ya”, proses akan berlanjut pada proses berikutnya dengan menentukan kondisi yang sedang berlangsung dan mencari sifat zat yang dicari (v, u, h, s dan x). Penentuan fase zat tergantung pada persyaratannya, yaitu :

- Jika nilai $T < T_{sat}$ pada tekanan tertentu atau nilai $P > P_{sat}$ pada temperatur tertentu maka proses dalam keadaan cair.

- Jika nilai $T = T_{sat}$ atau nilai $P = P_{sat}$, maka proses dalam fase campuran uap-cair. Kondisi campuran ditandai dengan adanya nilai kualitas (x). Nilai kualitas berkisar antara $0 < x < 1$.
- Jika nilai $T > T_{sat}$ atau $P < P_{sat}$, proses dalam fase uap.
- Jika “Tidak”, maka sifat zat yang digunakan bukan T dan P , dan proses akan dilanjutkan pada tahap berikutnya (2).

d. $S = T$ dan v , merupakan input untuk nilai sifat zat temperatur (T) dan volume spesifik (v). Gambar 3.10 akan memperjelas proses yang berlangsung dalam suatu sistem dari diagram alir pada gambar 3.8 dengan data masukan temperatur dan volume spesifik.



Gambar 3.10 Diagram alir untuk data masukan T dan v

- Jika “Ya”, proses akan berlanjut pada perhitungan berikutnya dengan menentukan kondisi yang sedang berlangsung dan mencari sifat zat yang dicari (P , u , h , s dan x). Kondisi atau fase zat yang sedang berlangsung dapat diketahui dengan menggunakan persyaratan kondisi, yaitu :

- Jika nilai $v < v_f$, maka suatu proses dalam fase cair.

- Jika nilai $v_f < v < v_g$, proses berada pada fase campuran uap-cair. Dalam fase campuran, nilai kualitas (x) dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$x = \frac{(v - v_f)}{v_g - v_f} \quad (4.5)$$

- Jika nilai $v > v_g$, suatu proses berada dalam fase uap.

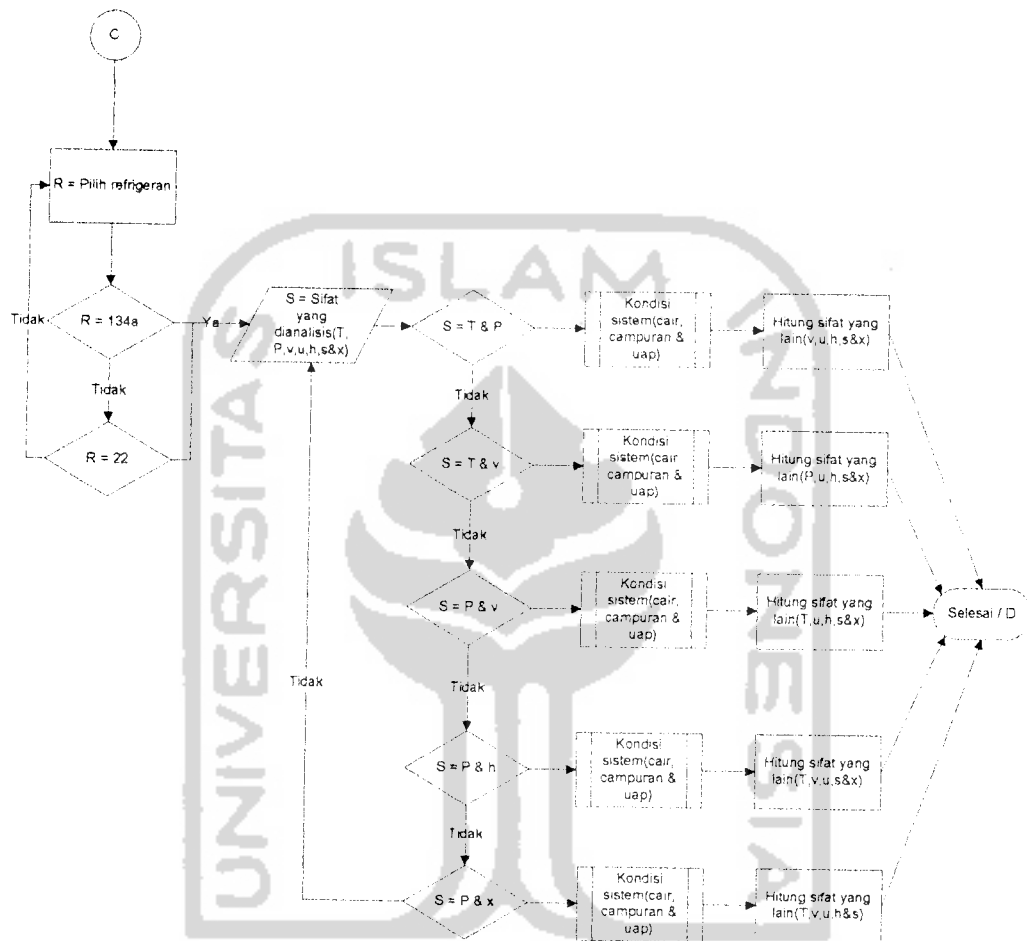
- Jika “Tidak”, maka sifat zat yang digunakan bukan T dan v , dan proses akan dilanjutkan pada tahap berikutnya (3).

e. **S = P dan x**, merupakan masukan untuk nilai sifat zat tekanan (P) dan kualitas (x).

- Jika “Ya”, proses akan berlanjut pada perhitungan berikutnya dengan menentukan kondisi yang sedang berlangsung (cair, campuran uap-cair atau uap) dan mencari sifat zat yang dicari (T , v , u , h dan s).

- Jika “Tidak”, maka sifat zat yang digunakan bukan P dan s , dan proses akan kembali pada sifat yang akan dianalisis (b) karena *input* yang dimasukkan tidak ada dalam pilihan (b).

3.3.3 Flowchart Pilihan Fluida Refrigeran



Gambar 3.11 Diagram alir untuk fluida Refrigeran

Dari gambar diagram alir diatas (gambar 3.11), maka dapat dijelaskan pemakaian simbol-simbol yang terdapat pada diagram alir sebagai berikut :

- a. **C**, penanda proses mulai dikerjakan.
- b. **Pilih Refrigeran**, merupakan tahap proses, untuk menentukan jenis refrigeran
- c. **R = 134a**, refrigeran yang digunakan adalah refrigeran R134a
 - Jika “Ya”, proses akan dilanjutkan pada perhitungan yang ada di dalamnya sampai akhirnya mendapat hasil yang diinginkan
 - Jika “Tidak”, maka bukan refrigeran R134a yang digunakan dan akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya

- d. **R = 22**, refrigeran yang digunakan adalah refrigeran R22
- Jika “Ya”, proses berlanjut pada perhitungan yang ada sampai mendapat hasil yang diinginkan
 - Jika “Tidak”, maka proses akan kembali ke tahap “Pilih Refrigeran” karena masukan yang diberikan tidak ada dalam menu pilihan
- e. **S = Sifat yang dianalisis**, merupakan tahap masukan *input* untuk sifat zat yang akan dianalisis pada program yang telah dibuat.
- f. **S = T dan P**, merupakan masukan untuk nilai sifat zat temperatur (T) dan tekanan (P).
- Jika “Ya”, proses akan berlanjut pada proses berikutnya dengan menentukan kondisi yang sedang berlangsung dan mencari sifat zat yang dicari (v , u , h , s dan x). Penentuan fase zat tergantung pada persyaratannya, yaitu :
 - Jika nilai $T < T_{sat}$ pada tekanan tertentu dan nilai $P > P_{sat}$ pada temperatur tertentu maka proses dalam keadaan cair.
 - Jika nilai $T = T_{sat}$ dan nilai $P = P_{sat}$, maka proses dalam fase campuran uap-cair.
 - Jika nilai $T > T_{sat}$ dan $P < P_{sat}$, proses dalam fase uap.
 - Jika “Tidak”, maka sifat zat yang digunakan bukan T dan P, dan proses akan dilanjutkan pada tahap berikutnya.
- g. **S = T dan v**, merupakan input untuk nilai sifat zat temperatur (T) dan volume spesifik (v).
- Jika “Ya”, proses akan berlanjut pada perhitungan berikutnya dengan menentukan kondisi yang sedang berlangsung dan mencari sifat zat yang dicari (P , u , h , s dan x). Kondisi atau fase zat yang sedang berlangsung dapat diketahui dengan menggunakan persyaratan kondisi, yaitu :
 - Jika nilai $v < v_f$, maka suatu proses dalam fase cair.
 - Jika nilai $v_f < v < v_g$, proses berada dalam fase campuran uap-cair.
 - Jika nilai $v > v_g$, suatu proses berada dalam fase uap.

- Jika “Tidak”, maka sifat zat yang digunakan bukan T dan v, dan proses akan dilanjutkan pada tahap berikutnya
- h. **S = P dan x**, merupakan masukan untuk nilai sifat zat tekanan (P) dan kualitas (x).
- Jika “Ya”, proses akan berlanjut pada perhitungan berikutnya dengan menentukan kondisi yang sedang berlangsung (cair, campuran uap-cair atau uap) dan mencari sifat zat yang dicari (T, v, u, h dan s).
 - Jika “Tidak”, maka sifat zat yang digunakan bukan P dan x, dan proses akan kembali pada sifat yang akan dianalisis (e) karena masukan yang dimasukkan tidak ada dalam pilihan (e).



BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Program

Program yang telah dibuat harus diuji nilai dan tingkat kebenarannya. Pengujian program bertujuan untuk mengetahui apakah perangkat lunak yang telah dibuat dapat berjalan sesuai dengan fungsi-fungsi yang diharapkan dan apakah sudah sesuai dengan tujuan dari pembuatan perangkat lunak tersebut. Untuk mengetahui keberhasilan dan tingkat kebenaran program yang telah dibuat, maka hasil yang telah diperoleh akan dibandingkan dengan pembandingan lainnya. Dalam hal ini yang digunakan sebagai pembandingan adalah CATT2 (*Computer Aided Thermodynamic Tables 2*) dan pengerjaan secara manual.

4.2 Pengujian dan Analisis

Pada tahap pengujian ini akan dilihat apakah perangkat lunak sudah dapat berjalan sesuai dengan fungsi dan kebutuhan. Perangkat lunak akan diuji dengan masukan-masukan yang benar sesuai dengan prosedur-prosedur yang telah ditetapkan.

4.2.1 Analisis Pengujian Menu Pilihan

Pengguna atau *user* akan memilih menu jenis fluida yang telah disediakan, pilihan menu dapat dilihat pada gambar 4.1. Setelah pengguna memilih salah satu menu, maka akan muncul data-data sifat yang akan digunakan sebagai data masukannya (*input*). Pengguna tinggal mengisi data-data yang diketahui dan akan mendapat hasil yang diharapkan.

```

>> thermo_aktif
===== Thermo_aktif =====
== menu utama : ==
== 1. Gas Ideal ==
== 2. Water ==
== 3. Refrigerant ==
== ==
=====
Pilihan Anda : 2
=====
=====
-----
masukkan harga T (K) dalam derajat Celcius : 10
masukkan harga P (kPa) dalam kPa : 100
masukkan harga v :

```

Gambar 4.1 Menu pilihan untuk fluida

4.2.2 Analisis Kondisi Sistem dan Perhitungan

Seperti yang telah dibahas, kondisi suatu zat dapat berupa cair, campuran uap-cair dan uap. Tidak semua fluida mengalami kondisi atau fase tersebut. Fluida yang mengalami perubahan fase diantaranya air dan refrigeran. Untuk mengetahui kondisi suatu proses yang sedang berlangsung perlu diketahui juga fase yang terjadi.

4.2.2.1 Fase Cair

Untuk mengetahui kebenaran dari perangkat lunak yang telah dibuat, diperlukan suatu persoalan yang hasil akhirnya dapat dijadikan sebagai perbandingan. Misalnya diketahui temperatur (T) 100 C dan tekanan (P) 105 kPa dengan fluida air. Hasil perhitungan untuk sifat termodinamika zat lainnya dapat dilihat pada gambar 4.2.


```

===== Thermo soft1 =====
== MENU utama : ==
== 1. Gas Ideal ==
== 2. Air ==
== 3. Refrigerant ==
== ==
=====
Pilihan Anda : 2
=====
=====
masukkan harga T (K dalam derajat Celsius) :100
masukkan harga P (kPa dalam kPa) :100
T:
kondisi cair
=====
T (K) == 300
=====
P (kPa) == 100
=====
rho (kg/m3) == 999.999
=====
u (kJ/kg) == 418.94
=====
h (kJ/kg) == 418.94
=====
s (kJ/kg*K) == 1.30569

```

Gambar 4.2 Hasil perhitungan dengan menggunakan program yang telah dibuat untuk fase cair

4.2.2.3 Fase Uap

Suatu sistem berada dalam kondisi dengan tekanan 50 kPa, volum spesifiknya $8,5 \text{ m}^3/\text{kg}$ untuk fluida air. Penyelesaian persoalan ini dapat diketahui hasil akhirnya pada gambar 4.4.

```

===== Thermo: airfo =====
** menu utama : **
** 1. Gas Ideal **
** 2. Air **
** 3. Refrigeran **
=====
Pilihan Anda : 2
=====
masukkan harga T (K dalam derajat Celcius) : 10
masukkan harga P (KPa dalam kPa) : 50
masukkan harga v (m3/kg) : 8,5
By
Kondisi superheat
=====
T (K) == 283,15
=====
P (kPa) == 50
=====
v (m3/kg) == 8,5
=====
u (kJ/kg) == 3317,1548
=====
h (kJ/kg) == 3312,2028
=====
s (kJ/kgK) == 9,5889
=====

```

Gambar 4.4 Hasil perhitungan fase uap pada fluida air

4.2.3 Analisis Kesalahan

Untuk mengetahui adanya kesalahan yang mungkin terjadi, program akan menyampaikan suatu peringatan. Pengujian akan dilakukan dengan cara mengabaikan perintah atau batasan yang telah ditentukan. Analisis kesalahan dapat dilihat pada gambar 4.5.

```

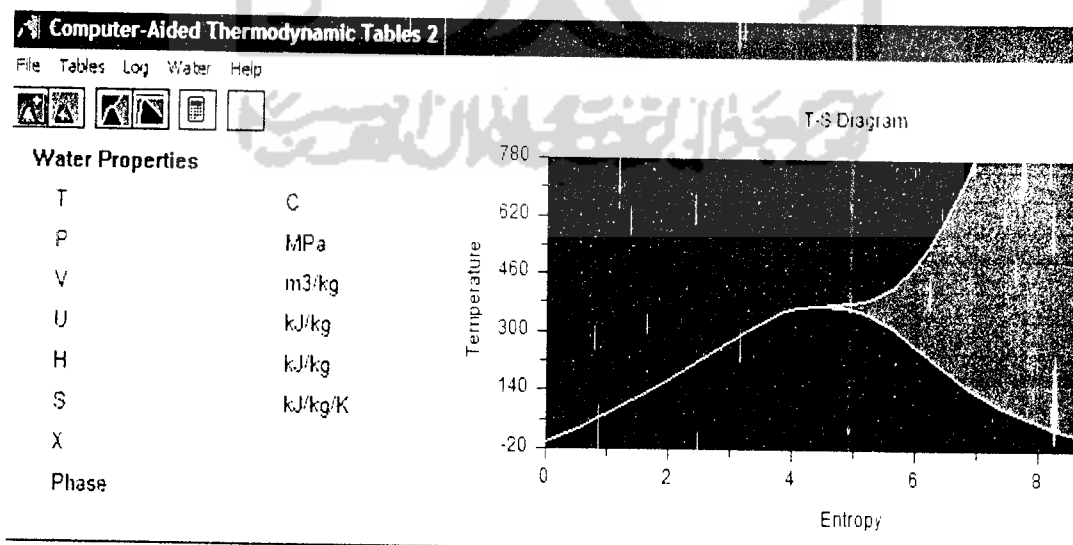
===== Thermo soft1 =====
== menu utama :                               ==
== 1. Gas Ideal                               ==
== 2. Air                                       ==
== 3. Refrigerant                              ==
==                                             ==
=====
Pilihan Anda : 2
=====
=====
masukkan harga T (T dalam derajat Celsius) : 0
masukkan harga P (P dalam kPa) : 0
Maaf... masukan anda salah!!
Silahkan coba lagi!!!

```

Gambar 4.5 Halaman peringatan

4.3 Computer Aided Thermodynamic Tables 2

Sebagaimana program *Perancangan Perangkat Lunak Sebagai Alat Bantu Untuk Menganalisis Sifat Termodinamika Zat*, aplikasi CATT2 ini juga berfungsi untuk melakukan perhitungan permasalahan termodinamika. Tampilan dari aplikasi CATT2 dapat dilihat pada gambar 4.6.



Gambar 4.6 Halaman utama CATT2

4.4 Analisis Perbandingan

Pada analisis perbandingan *Perancangan Perangkat Lunak Sebagai Alat Bantu Untuk Menganalisis Sifat Termodinamika Zat* dibandingkan dengan *Computer Aided Thermodynamic Tables 2 (CATT2)* terdapat beberapa kelebihan dan kekurangan dari masing-masing aplikasi. Hasil analisis perbandingan tampilan, masukan sistem dan keluaran sistem seperti pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Tabel perbandingan Program Matlab dengan CATT2

Perbandingan	Program Matlab	CATT2
1. Tampilan	Lebih sederhana	Lebih variatif
2. Masukan sistem	Data masukan diberikan secara berurutan	Memilih data yang diketahui dan mengatur kebutuhan data yang diperlukan
3. Keluaran sistem	Hasil dari perhitungan mempunyai tingkat ketelitian empat angka penting dibelakang koma	Hasil perhitungan mempunyai ketelitian dua angka penting di belakang koma

Untuk mengetahui tingkat kesalahan perhitungan yang terjadi pada program yang telah dibuat, hasil akhirnya perlu dievaluasi kembali. Analisis hasil perhitungan antara program yang telah dibuat dengan parameter pembandingan (CATT2 dan pengerjaan manual) terdapat dalam tabel 4.2 dan 4.3.

Tabel 4.2 Analisis hasil perhitungan Program Matlab dengan CATT2

No	Perhitungan	Program Matlab	CATT2	Rasio kesalahan (€ %)
1	T = 100 C, P = 105 kPa dengan fluida air	<pre> kondisi_awal ===== T (C) == 100 P (kPa) == 105 V (m3/kg) == 0.001044 U (kJ/kg) == 418.9 H (kJ/kg) == 419 S (kJ/kgK) == 1.307 X ===== Phase Compressed Liquid </pre>	<pre> T 100 C P 0.105 MPa V 0.001044 m3/kg U 418.9 kJ/kg H 419 kJ/kg S 1.307 kJ/kgK X Phase Compressed Liquid </pre>	<pre> €v = 0 % €u = 0,009 % €h = 0,009 % €s = 0,008 % </pre>
2	P = 1 MPa, v = 0.15 m ³ /kg dan fasenya air.	<pre> kondisi_awal ===== T (C) == 179.9 P (MPa) == 1 V (m3/kg) == 0.15 U (kJ/kg) == 2165 H (kJ/kg) == 2315 S (kJ/kgK) == 5.564 X (kg*kg) == 0.7701 X ===== Phase Liquid Vapor Mixture </pre>	<pre> T 179.9 C P 1 MPa V 0.15 m3/kg U 2165 kJ/kg H 2315 kJ/kg S 5.564 kJ/kgK X 0.7701 Phase Liquid Vapor Mixture </pre>	<pre> €T = 0,006 % €u = 0,011 % €h = 0,008 % €s = 0 % €x = 0,001% </pre>

3	<p>P = 50 kPa, v = 8,5 m³/kg untuk fluida air.</p>	<pre> ===== Kondisi Superheated ===== T (C) = 647.9437 P (kPa) = 50 v (m3/kg) = 8.5 u (kJ/kg) = 3386.1 h (kJ/kg) = 3811.3 s (kJ/kg.K) = 9.5364 Phase = Dense Fluid (T>TC) ===== </pre>	<p>T = 647.9 C P = 0.05 MPa v = 8.5 m³/kg u = 3386 kJ/kg h = 3811 kJ/kg s = 9.536 kJ/kg.K</p>	<p>eT = 0,007 % e_u = 0,034 e_h = 0,031 % e_s = 0,022 %</p>
4	<p>Refrigeran R22 dengan temperatur -16C dan tekanan 0.2855 MPa</p>	<pre> ===== Kondisi Superheated ===== T (C) = -16 P (kPa) = 285.5 v (m3/kg) = 0.000747 u (kJ/kg) = 25.99 h (kJ/kg) = 26.21 s (kJ/kg.K) = 0.1064 Phase = Saturated Liquid ===== </pre>	<p>T = -16 C P = 0.2849 MPa v = 0.000747 m³/kg u = 25.99 kJ/kg h = 26.21 kJ/kg s = 0.1064 kJ/kg.K</p>	<p>e_v = 0,001 % e_u = 1,88 % e_h = 1,83 % e_s = 1,82 %</p>

5	<p>Refrigeran R22 dengan $T = 2\text{ C}$ dan $v = 0.0035\text{ m}^3/\text{kg}$</p>	<pre> ===== Kondisi Campuran ===== T (C) = 2 ===== P (MPa) = 0.53308 ===== V (m3/kg) = 0.0035 ===== U (kJ/kg) = 57.81 ===== H (kJ/kg) = 59.67 ===== S (kJ/kgK) = 0.2299 ===== X = 0.06249 ===== Phase = Liquid Vapor Mixture ===== X ===== </pre>	<p>T 2 C</p> <p>P 0.5308 MPa</p> <p>V 0.0035 m³/kg</p> <p>U 57.81 kJ/kg</p> <p>H 59.67 kJ/kg</p> <p>S 0.2299 kJ/kgK</p> <p>X 0.06249</p> <p>Phase Liquid Vapor Mixture</p>	<p>EP = 0,099 %</p> <p>Eu = 0,859 %</p> <p>Eh = 0,835 %</p> <p>Es = 0,866 %</p> <p>Ex = 0,094 %</p>
6	<p>Gas Nitrogen dengan tekanan konstan 0,1 MPa pada kondisi awal temperaturnya 100 C. Kemudian dipanaskan hingga kondisi akhir mencapai 500 C.</p>	<pre> ===== Kondisi Campuran ===== T (C) = 100 ===== P (MPa) = 0.1 ===== V (m3/kg) = 0.37493 ===== U (kJ/kg) = 374.84 ===== H (kJ/kg) = 376.16 ===== S (kJ/kgK) = 1.2131 ===== X = 0 ===== Phase = Gas ===== X ===== </pre>	<p>Energy (kJ) 198.2 kJ/kmol</p> <p>Energy (kJ) 198.2 kJ/kmol</p> <p>Enthalpy (kJ) 2187 kJ/kmol</p> <p>Enthalpy (kJ) 916 kJ/kmol</p>	<p>Mass basis</p> <p>7.073 kJ/kg K</p> <p>7.073 kJ/kg K</p> <p>78.05 kJ/kg</p> <p>32.7 kJ/kg</p>

	<p> Δu = 297,2 kJ/kg Δh = 415,6 kJ/kg Δs = 2,4125 kJ/kg*K </p>	<p> Δu = 310,3 kJ/kg Δh = 429,05 kJ/kg Δs = 0,778 kJ/kg </p>	<p> Δu = 4,222 % Δh = 3,134 % Δs = 10,361 % </p>
<pre> ===== 502 E (kJ/kg) == 0,12 ===== E (kJ/kg) == 323,5 ===== E (kJ/kg) == 619,5 ===== E (kJ/kg) == 1000 ===== </pre>	<p>Entropy (s) 219,9 kJ/moleK</p> <p>Entropy (s) 219,9 kJ/moleK</p> <p>Enthalpy (h) 1424 kJ/mole</p> <p>Energy (u) 776 kJ/mole</p>	<p>Mass basis</p> <p>7851 kJ/kg</p> <p>7851 kJ/kg</p> <p>507,1 kJ/kg</p> <p>277,5 kJ/kg</p>	

Tabel 4.3 Analisis hasil perhitungan Program Matlab dengan Pengerjaan Manual

No	Perhitungan	Program Matlab	Pengerjaan Manual	Rasio kesalahan (%)
1	T = 360 C, P = 20 MPa dengan fluida air	<pre> ===== Kondisi awal ===== T (C) = 360 P (MPa) = 20 v (m^3/kg) = 0,00182226 u (kJ/kg) = 1702,8 h (kJ/kg) = 1739,3 s (kJ/kg*K) = 3,8872 ===== </pre>	<p>T = 360 C P = 20 MPa v = 0,00182226 m³/kg u = 1702,8 kJ/kg h = 1739,3 kJ/kg s = 3,8872 kJ/kg *K</p>	<p>εv = 3,862 % εu = 1,315 % εh = 1,219 % εs = 0,967 %</p>
2	P = 1 MPa, v = 0.15 m ³ /kg dan fasanya air	<pre> ===== Kondisi awal ===== T (C) = 179,903 P (MPa) = 1 v (m^3/kg) = 0,15 u (kJ/kg) = 2164,77 h (kJ/kg) = 2314,81 s (kJ/kg*K) = 5,56 x = 0,77 ===== </pre>	<p>T = 179,903 C P = 1 MPa v = 0,15 m³/kg u = 2164,77 kJ/kg h = 2314,81 kJ/kg s = 5,56 kJ/kg*K x = 0,77</p>	<p>εT = 0,004 % εu = 0,041 % εh = 0,003 % εs = 0,004 % εx = 0,002 %</p>

Perbedaan hasil antara program yang telah dibuat dengan pembandingan CATT2 (tabel 4.2) adalah karena metode yang digunakan berbeda. Dari tabel hasil analisis di atas (tabel 4.2) selisih perbedaan hasil antara program yang telah dibuat dengan CATT2 relatif kecil kecuali untuk gas ideal. Hal ini disebabkan karena proses penghitungan yang berbeda (program yang dibuat menggunakan persamaan umum gas ideal). Meskipun hasil perhitungan berbeda, namun yang digunakan adalah selisih hasil antara kondisi awal dan kondisi akhir pada suatu proses karena tidak ada ketetapan nilai awal yang pasti untuk gas ideal. Kesalahan yang terjadi pada hasil akhir program yang telah dibuat berkisar antara 1 % - 2 % (untuk fluida air dan refrigeran) sedangkan untuk gas ideal 4 % - 12 %.

Untuk perbandingan dengan pengerjaan secara manual, perbedaan terdapat pada saat kondisi cair pada fluida air sedangkan hasil perhitungan lainnya adalah sama. Perbedaan tersebut dimungkinkan karena pada saat kondisi cair, pengerjaan manual menggunakan tabel air, sedangkan program yang dibuat menggunakan pendekatan dari tabel air saturasi. Tingkat kesalahan yang terjadi berkisar antara 1 % - 4 %.

Untuk refrigeran, pengambilan referensi data yang digunakan berbeda antara refrigeran 134a (R-134a) dengan refrigeran 22 (R-22). Meskipun pengambilan referensi berbeda, tingkat kesalahan yang terjadi hampir sama antara keduanya. Untuk refrigeran tidak ada nilai batas awal yang mutlak sehingga untuk mengetahui kebenaran hasil perhitungannya digunakan perbedaan selisih hasil antara kondisi awal dan kondisi akhir. Kesalahan yang terjadi terhadap CATT2 berkisar antara 1 % - 3 %.

4.5 Hasil Analisis

Analisis perbandingan di atas menunjukkan bahwa nilai akhir yang dihasilkan oleh program yang telah dibuat mendekati kebenaran. Pengujian juga dilakukan terhadap kemudahan penggunaan program oleh *user* yang dilakukan 10 mahasiswa. Setelah mencoba menggunakan program yang telah dibuat, mahasiswa mengisi kuisisioner yang diberikan. Hasil pengujian menunjukkan

bahwa program mudah dijalankan, mudah dimengerti dan dapat membantu pemahaman terhadap termodinamika. Kemudahan kinerja penggunaan program dapat diketahui dari hasil kuisisioner pada lampiran 1.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah melalui tahapan analisis, pengkodean dan pengujian maka dapat mengambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a. Nilai akhir yang didapat dari hasil perhitungan terhadap permasalahan yang ada dengan menggunakan program yang telah dibuat mempunyai tingkat ketelitian berkisar antara 1 % - 4 % (relatif kecil) untuk fluida air dan refrigeran sedangkan untuk gas ideal adalah 4 % - 10 % (cukup besar).
- b. Program *Perancangan Perangkat Lunak Sebagai Alat Bantu Untuk Menganalisis Sifat Termodinamika Zat* ini dapat dipakai untuk membantu pemahaman terhadap mata kuliah Termodinamika.

5.2 Saran

Saran untuk pengembangan *Perancangan Perangkat Lunak Sebagai Alat Bantu Untuk Menganalisis Sifat Termodinamika Zat* ke depan adalah :

- a. Kelengkapan untuk informasi-informasi yang ada pada *Perancangan Perangkat Lunak Sebagai Alat Bantu Untuk Menganalisis Sifat Termodinamika Zat* agar dapat ditambah.
- b. Proses perhitungan agar dilakukan lebih cermat dan teliti lagi, terutama pada gas ideal. Karena jika menggunakan kalor spesifik yang nilainya dianggap konstan, hasil akhir yang didapat akan mempunyai selisih yang besar untuk temperatur yang nilainya semakin tinggi.
- c. Adanya fasilitas-fasilitas tambahan yang sekiranya lebih membantu dan memudahkan pengguna dalam mempelajari termodinamika.

DAFTAR PUSTAKA

- [PITZ87] Pitzer, Kenneth. *Thermodynamics (3th ed)*. WASHINGTON, DC: McGraw-Hill, inc. 1987.
- [MOR04] Moran, Michael J. & Shapiro, Howard N. *Fundamentals of Engineering Thermodynamics (3th ed)* New York: John Wiley & Sons, inc. 1995.
- [CEN04] Chengel, Yunus A. & Boles, Michael A. *Thermodynamics an Engineering approach (4th ed)*. WASHINGTON, DC: McGraw-Hill, inc. 2004.
- [HOL81] Holman, J.P. *Thermodynamics*. WASHINGTON, DC: McGraw-Hill, inc. 1981.
- [ARHAM04] Arhami, Muhammad. *Konsep Dasar Sistem Pakar*. Yogyakarta. 2004.
- [GUN04] Away, Gunaidi. *The Shortcut of Matlab Programming*. Bandung: Informatika. 2004.

LAMPIRAN



Lampiran 1 Hasil kuisioner terhadap kinerja program yang telah dibuat

Pertanyaan 1 : Apakah program yang dibuat mudah dalam penggunaannya atau pengoperasiannya ?

Jawaban : Sangat Setuju = 2 orang
Setuju = 8 orang

Pertanyaan 2 : Apakah tampilan program sesuai dengan kebutuhan untuk menyelesaikan persoalan ?

Jawaban : Setuju = 7 orang
Tidak Setuju = 3 orang

Pertanyaan 3 : Apakah fluida yang dianalisis perlu ditambah ?

Jawaban : Sangat Setuju = 2 orang
Setuju = 6 orang
Tidak Setuju = 2 orang

Pertanyaan 4 : Apakah program membantu pemahaman terhadap termodinamika ?

Jawaban : Setuju = 8 orang
Tidak Setuju = 2 orang

Pertanyaan 5 : Setujukah jika program dapat digunakan untuk menyelesaikan persamaan termodinamika ?

Jawaban : Setuju = 7 orang
Tidak Setuju = 3 orang

Pertanyaan 6 : Setujukah jika program dikembangkan lebih baik lagi, mahasiswa lebih tertarik mempelajari termodinamika ?

Jawaban : Sangat Setuju = 5 orang
Setuju = 5 orang

Lampiran 4 Tabel temperatur saturasi refrigeran 22

TABLE A-16 Properties of Saturated Refrigerant 22 (Liquid-Vapor): Temperature Table

Temp. °C	Press. bars	Specific Volume m ³ /kg		Internal Energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/kg · K	
		Sat. Liquid $v_f \times 10^3$	Sat. Vapor v_g	Sat. Liquid u_f	Sat. Vapor u_g	Sat. Liquid h_f	Evap. h_{fg}	Sat. Vapor h_g	Sat. Liquid s_f	Sat. Vapor s_g
-60	0.3749	0.6833	0.5370	-21.57	203.67	-21.55	245.35	223.81	-0.0964	1.0547
-50	0.6451	0.6966	0.3239	-10.89	207.70	-10.85	239.44	228.60	-0.0474	1.0256
-45	0.8290	0.7037	0.2564	-5.50	209.70	-5.44	236.39	230.95	-0.0235	1.0126
-40	1.0522	0.7109	0.2052	-0.07	211.68	0.00	233.27	233.27	0.0000	1.0005
-36	1.2627	0.7169	0.1730	4.29	213.25	4.38	230.71	235.09	0.0186	0.9914
-32	1.5049	0.7231	0.1468	8.68	214.80	8.79	228.10	236.89	0.0369	0.9828
-30	1.6389	0.7262	0.1355	10.88	215.58	11.00	226.77	237.78	0.0460	0.9787
-28	1.7819	0.7294	0.1252	13.09	216.34	13.22	225.43	238.66	0.0551	0.9746
-26	1.9345	0.7327	0.1159	15.31	217.11	15.45	224.08	239.53	0.0641	0.9707
-22	2.2695	0.7393	0.0997	19.76	218.62	19.92	221.32	241.24	0.0819	0.9631
-20	2.4534	0.7427	0.0926	21.99	219.37	22.17	219.91	242.09	0.0908	0.9595
-18	2.6482	0.7462	0.0861	24.23	220.11	24.43	218.49	242.92	0.0996	0.9559
-16	2.8547	0.7497	0.0802	26.48	220.85	26.69	217.05	243.74	0.1084	0.9525
-14	3.0733	0.7533	0.0748	28.73	221.58	28.97	215.59	244.56	0.1171	0.9490
-12	3.3044	0.7569	0.0698	31.00	222.30	31.25	214.11	245.36	0.1258	0.9457
-10	3.5485	0.7606	0.0652	33.27	223.02	33.54	212.62	246.15	0.1345	0.9424
-8	3.8062	0.7644	0.0610	35.54	223.73	35.83	211.10	246.93	0.1431	0.9392
-6	4.0777	0.7683	0.0571	37.82	224.43	38.14	209.56	247.70	0.1517	0.9361
-4	4.3638	0.7722	0.0535	40.12	225.13	40.46	208.00	248.45	0.1602	0.9330
-2	4.6647	0.7762	0.0501	42.42	225.82	42.78	206.41	249.20	0.1688	0.9300
0	4.9811	0.7803	0.0470	44.73	226.50	45.12	204.81	249.92	0.1773	0.9271
2	5.3133	0.7844	0.0442	47.04	227.17	47.46	203.18	250.64	0.1857	0.9241
4	5.6619	0.7887	0.0415	49.37	227.83	49.82	201.52	251.34	0.1941	0.9213
6	6.0275	0.7930	0.0391	51.71	228.48	52.18	199.84	252.03	0.2025	0.9184
8	6.4105	0.7974	0.0368	54.05	229.13	54.56	198.14	252.70	0.2109	0.9157
10	6.8113	0.8020	0.0346	56.40	229.76	56.95	196.40	253.35	0.2193	0.9129
12	7.2307	0.8066	0.0326	58.77	230.38	59.35	194.64	253.99	0.2276	0.9102
16	8.1268	0.8162	0.0291	63.53	231.59	64.19	191.02	255.21	0.2442	0.9048
20	9.1030	0.8263	0.0259	68.33	232.76	69.09	187.28	256.37	0.2607	0.8996
24	10.164	0.8369	0.0232	73.19	233.87	74.04	183.40	257.44	0.2772	0.8944
28	11.313	0.8480	0.0208	78.09	234.92	79.05	179.37	258.43	0.2936	0.8893
32	12.556	0.8599	0.0186	83.06	235.91	84.14	175.18	259.32	0.3101	0.8842
36	13.897	0.8724	0.0168	88.08	236.83	89.29	170.82	260.11	0.3265	0.8790
40	15.341	0.8858	0.0151	93.18	237.66	94.53	166.25	260.79	0.3429	0.8738
45	17.298	0.9039	0.0132	99.65	238.59	101.21	160.24	261.46	0.3635	0.8672
50	19.433	0.9238	0.0116	106.26	239.34	108.06	153.84	261.90	0.3842	0.8603
60	24.281	0.9705	0.0089	120.00	240.24	122.35	139.61	261.96	0.4264	0.8455

Lampiran 5 Tabel super panas fluida refrigeran 22 (*Superheat refrigerant 22*)

TABLE A-18 Properties of Superheated Refrigerant 22 Vapor

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/kg · K
$p = 0.4 \text{ bar} = 0.04 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = -58.86^\circ\text{C}$)					$p = 0.6 \text{ bar} = 0.06 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = -51.40^\circ\text{C}$)			
Sat.	0.50559	204.13	224.36	1.0512	0.34656	207.14	227.93	1.0294
-55	0.51532	205.92	226.53	1.0612				
-50	0.52787	208.26	229.38	1.0741	0.34895	207.80	228.74	1.0330
-45	0.54037	210.65	232.24	1.0868	0.35747	210.20	231.65	1.0459
-40	0.55284	213.02	235.13	1.0995	0.36594	212.62	234.58	1.0586
-35	0.56526	215.45	238.05	1.1117	0.37437	215.06	237.52	1.0711
-30	0.57766	217.88	240.99	1.1239	0.38277	217.53	240.49	1.0835
-25	0.59002	220.35	243.95	1.1360	0.39114	220.02	243.49	1.0956
-20	0.60236	222.85	246.95	1.1479	0.39948	222.54	246.51	1.1077
-15	0.61468	225.38	249.97	1.1597	0.40779	225.08	249.55	1.1196
-10	0.62697	227.93	253.01	1.1714	0.41608	227.65	252.62	1.1314
-5	0.63925	230.52	256.09	1.1830	0.42436	230.25	255.71	1.1430
0	0.65151	233.13	259.19	1.1944	0.43261	232.88	258.85	1.1545
$p = 0.8 \text{ bar} = 0.08 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = -45.73^\circ\text{C}$)					$p = 1.0 \text{ bar} = 0.10 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = -41.09^\circ\text{C}$)			
Sat.	0.26503	209.41	230.61	1.0144	0.21818	211.25	232.77	1.0051
-45	0.26597	209.76	231.04	1.0163				
-40	0.27245	212.21	234.01	1.0292	0.21633	211.79	233.42	1.0059
-35	0.27890	214.65	236.99	1.0418	0.22158	214.29	236.44	1.0187
-30	0.28530	217.17	239.99	1.0543	0.22679	216.80	239.48	1.0313
-25	0.29167	219.68	243.02	1.0666	0.23197	219.34	242.54	1.0438
-20	0.29801	222.22	246.06	1.0788	0.23712	221.90	245.61	1.0560
-15	0.30433	224.78	249.13	1.0908	0.24224	224.48	248.70	1.0681
-10	0.31062	227.37	252.22	1.1026	0.24734	227.08	251.82	1.0801
-5	0.31690	229.98	255.34	1.1143	0.25241	229.71	254.95	1.0919
0	0.32315	232.62	258.47	1.1259	0.25747	232.36	258.11	1.1035
5	0.32939	235.29	261.64	1.1374	0.26251	235.04	261.29	1.1151
10	0.33561	237.98	264.83	1.1488	0.26753	237.74	264.50	1.1265
$p = 1.5 \text{ bars} = 0.15 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = -32.08^\circ\text{C}$)					$p = 2.0 \text{ bars} = 0.20 \text{ MPa}$ ($T_{\text{sat}} = -25.18^\circ\text{C}$)			
Sat.	0.14721	214.77	236.86	0.9830	0.11232	217.42	239.88	0.9691
-30	0.14872	215.85	238.16	0.9883				
-25	0.15232	218.45	241.30	1.0011	0.11242	217.51	240.00	0.9696
-20	0.15588	221.07	244.45	1.0137	0.11520	220.19	243.23	0.9825
-15	0.15941	223.70	247.61	1.0260	0.11795	222.88	246.47	0.9952
-10	0.16292	226.35	250.78	1.0382	0.12067	225.58	249.72	1.0076
-5	0.16640	229.02	253.98	1.0502	0.12336	228.30	252.97	1.0199
0	0.16987	231.70	257.18	1.0621	0.12603	231.03	256.23	1.0310
5	0.17331	234.42	260.41	1.0738	0.12868	233.78	259.51	1.0438
10	0.17674	237.15	263.66	1.0854	0.13132	236.54	262.81	1.0555
15	0.18015	239.91	266.93	1.0968	0.13393	239.33	266.12	1.0671
20	0.18355	242.69	270.22	1.1081	0.13653	242.14	269.44	1.0786
25	0.18693	245.49	273.53	1.1193	0.13912	244.97	272.79	1.0899

Lampiran 6 Tabel temperatur saturasi refrigeran 134a

TABLE A-15a
Saturated refrigerant-134a—Temperature table

Temp. °C <i>T</i>	Press. MPa <i>P_{sat}</i>	Specific volume m ³ /kg		Internal energy kJ/kg		Enthalpy kJ/kg			Entropy kJ/(kg · K)	
		Sat. liquid <i>v_f</i>	Sat. vapor <i>v_g</i>	Sat. liquid <i>u_f</i>	Sat. vapor <i>u_g</i>	Sat. liquid <i>h_f</i>	Evap. <i>h_{fg}</i>	Sat. vapor <i>h_g</i>	Sat. liquid <i>s_f</i>	Sat. vapor <i>s_g</i>
-40	0.05164	0.0007055	0.3569	-0.04	204.45	0.00	222.89	222.89	0.0000	0.9560
-36	0.06332	0.0007113	0.2947	4.68	206.73	4.73	220.67	225.40	0.0201	0.9506
-32	0.07704	0.0007172	0.2451	9.47	209.01	9.52	218.37	227.90	0.0401	0.9456
-28	0.09305	0.0007233	0.2052	14.31	211.29	14.37	216.01	230.38	0.0600	0.9411
-24	0.10199	0.0007265	0.1882	16.75	212.43	16.82	214.80	231.62	0.0699	0.9390
-20	0.11160	0.0007296	0.1728	19.21	213.57	19.29	213.57	232.85	0.0798	0.9370
-16	0.12182	0.0007326	0.1590	21.68	214.70	21.77	212.32	234.08	0.0897	0.9351
-12	0.13299	0.0007361	0.1464	24.17	215.84	24.26	211.05	235.31	0.0996	0.9332
-8	0.14483	0.0007395	0.1350	26.67	216.97	26.77	209.76	236.53	0.1094	0.9315
-4	0.15746	0.0007428	0.1247	29.18	218.10	29.30	208.45	237.74	0.1192	0.9298
0	0.16640	0.0007466	0.1163	31.25	219.26	31.39	207.17	238.95	0.1289	0.9282
4	0.21704	0.0007569	0.0919	39.38	222.69	39.54	203.60	242.54	0.1583	0.9229
8	0.25274	0.0007644	0.0794	44.56	224.84	44.75	200.15	244.90	0.1777	0.9213
12	0.29282	0.0007721	0.0689	49.79	227.06	50.02	197.21	247.23	0.1970	0.9199
16	0.33765	0.0007801	0.0600	55.08	229.27	55.35	194.19	249.53	0.2162	0.9185
20	0.38750	0.0007884	0.0525	60.43	231.48	60.73	191.07	251.80	0.2354	0.9171
24	0.44294	0.0007971	0.0460	65.83	233.63	66.18	187.85	254.03	0.2545	0.9157
28	0.50418	0.0008062	0.0405	71.29	235.78	71.69	184.52	256.27	0.2735	0.9143
32	0.57160	0.0008157	0.0359	76.80	237.91	77.26	181.09	258.48	0.2924	0.9130
36	0.64568	0.0008257	0.0317	82.37	240.01	82.90	177.55	260.65	0.3113	0.9099
40	0.68530	0.0008309	0.0296	85.18	241.05	85.75	175.73	261.48	0.3208	0.9082
44	0.72675	0.0008362	0.0281	88.00	242.08	88.61	173.89	262.30	0.3302	0.9076
48	0.77006	0.0008417	0.0265	90.84	243.10	91.49	172.00	263.00	0.3396	0.9070
52	0.81528	0.0008473	0.0250	93.70	244.12	94.39	170.09	264.48	0.3490	0.9064
56	0.86247	0.0008530	0.0236	96.58	245.12	97.31	168.14	265.45	0.3584	0.9058
60	0.91168	0.0008590	0.0223	99.47	246.11	100.25	166.15	266.40	0.3678	0.9053
64	0.96298	0.0008651	0.0210	102.38	247.09	103.21	164.12	267.33	0.3772	0.9047
68	1.0164	0.0008714	0.0199	105.30	248.06	106.19	162.05	268.24	0.3866	0.9041
72	1.0720	0.0008780	0.0188	108.25	249.02	109.19	159.94	269.14	0.3960	0.9035
76	1.1299	0.0008847	0.0177	111.22	249.96	112.22	157.79	270.01	0.4054	0.9030
80	1.2526	0.0008989	0.0159	117.22	251.73	118.35	155.33	271.63	0.4243	0.9017
84	1.3851	0.0009142	0.0142	123.31	253.55	124.58	152.66	273.24	0.4432	0.9004
88	1.5278	0.0009308	0.0127	129.51	255.23	130.93	149.75	274.68	0.4622	0.8990
92	1.6813	0.0009488	0.0114	135.82	256.81	137.42	146.57	275.99	0.4814	0.8973
96	2.1162	0.0010027	0.0086	152.22	260.15	154.34	124.08	278.43	0.5302	0.8918
100	2.6324	0.0010766	0.0064	169.88	262.14	172.71	106.41	279.12	0.5814	0.8827
104	3.2435	0.0011949	0.0046	189.82	261.34	193.69	87.63	276.32	0.6380	0.8655
108	3.9742	0.0015443	0.0027	218.60	246.49	224.74	34.40	259.13	0.7196	0.8117

Lampiran 7 Tabel uap super panas R-134a (*Superheated refrigerant 134a vapor*)

TABLE A-16
Superheated refrigerant 134a

T °C	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/(kg · K)	v m ³ /kg	u kJ/kg	h kJ/kg	s kJ/(kg · K)
$P = 0.06 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -37.07^\circ\text{C})$					$P = 0.10 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -26.43^\circ\text{C})$			
Sat.	0.31003	206.12	224.72	0.9520	0.19170	212.15	231.35	0.9395
-20	0.33530	217.80	237.98	1.0362	0.19770	216.77	236.54	0.9602
-10	0.34992	224.97	245.99	1.0371	0.20686	224.07	244.70	0.9918
0	0.36433	232.24	254.10	1.0675	0.21557	231.41	252.99	1.0227
10	0.37861	239.69	262.41	1.0973	0.22473	238.96	261.43	1.0531
20	0.39279	247.32	270.89	1.1267	0.23349	246.67	270.02	1.0823
30	0.40688	255.12	279.53	1.1557	0.24216	254.54	278.76	1.1122
40	0.42091	263.10	288.35	1.1844	0.25070	262.58	287.66	1.1411
50	0.43487	271.25	297.34	1.2126	0.25930	270.79	296.72	1.1696
60	0.44879	279.58	306.51	1.2405	0.26779	279.16	305.94	1.1977
70	0.46266	288.08	315.84	1.2681	0.27623	287.70	315.32	1.2254
80	0.47650	296.75	325.34	1.2954	0.28464	296.40	324.87	1.2526
90	0.49031	305.58	335.00	1.3224	0.29302	305.27	334.57	1.2793
$P = 0.14 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -18.80^\circ\text{C})$					$P = 0.18 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -12.73^\circ\text{C})$			
Sat.	0.13945	216.52	236.04	0.9322	0.10983	219.94	239.71	0.9273
-10	0.14549	226.93	243.40	0.9506	0.11135	222.02	242.06	0.9382
0	0.15219	236.55	251.66	0.9922	0.11676	229.67	250.69	0.9684
10	0.15875	236.21	260.43	1.0230	0.12207	237.44	259.41	0.9993
20	0.16520	246.01	269.13	1.0532	0.12723	245.33	268.23	1.0304
30	0.17155	253.96	277.97	1.0828	0.13230	253.35	277.17	1.0604
40	0.17783	262.06	286.96	1.1120	0.13730	261.53	286.24	1.0893
50	0.18404	270.32	296.09	1.1407	0.14222	269.85	295.45	1.1187
60	0.19020	278.74	305.37	1.1690	0.14710	278.31	304.79	1.1472
70	0.19635	287.32	314.80	1.1969	0.15193	286.93	314.28	1.1753
80	0.20241	296.06	324.39	1.2241	0.15672	295.71	323.92	1.2030
90	0.20846	304.95	334.14	1.2516	0.16148	304.63	333.70	1.2303
100	0.21449	314.01	344.04	1.2785	0.16622	313.72	343.63	1.2573
$P = 0.20 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -10.09^\circ\text{C})$					$P = 0.24 \text{ MPa } (T_{\text{sat}} = -5.37^\circ\text{C})$			
Sat.	0.09933	221.43	241.30	0.9253	0.08343	224.07	244.09	0.9222
-10	0.09938	221.50	241.38	0.9256				
0	0.10438	229.23	250.10	0.9582	0.08574	228.31	248.69	0.9399
10	0.10922	237.05	258.69	0.9898	0.08993	236.26	257.84	0.9721
20	0.11394	244.99	267.76	1.0206	0.09399	244.30	266.85	1.0034
30	0.11856	253.06	276.77	1.0508	0.09794	252.45	275.95	1.0339
40	0.12311	261.26	285.86	1.0804	0.10181	260.72	285.16	1.0637
50	0.12758	269.61	295.12	1.1094	0.10562	269.12	294.47	1.0930
60	0.13201	278.10	304.50	1.1380	0.10937	277.67	303.91	1.1216
70	0.13639	286.74	314.02	1.1661	0.11307	286.35	313.49	1.1501
80	0.14073	295.53	323.68	1.1939	0.11674	295.18	323.19	1.1780
90	0.14504	304.47	333.48	1.2212	0.12037	304.15	333.04	1.2055
100	0.14932	313.57	343.43	1.2483	0.12398	313.27	343.03	1.2326