

Bab 4

PRINSIP – PRINSIP PEMODELAN FISIS

4.1 Fase-fase Pemodelan

Dalam bab ini kita akan mendiskusikan bagaimana membangun model – model matematika system dinamis. Kita akan memperhatikan masalah bagaimana mencapai model dalam bentuk

$$\begin{aligned}\frac{d}{dt}x(t) &= f(x(t),u(t)) \\ y(t) &= h(x(t),u(t))\end{aligned}\tag{4.1}$$

Dimulai dari sistem fisis, rekayasa, biologis, ekonomi atau lainnya.

Pemodelan adalah, sejalan dengan aktivitas keilmuan dan rekayasa yang lain, mirip dengan seni daripada ilmu pengetahuan. Pemodelan yang berhasil didasarkan pada perasaan terhadap masalah dan nalar seperti pada aspek formal yang dapat diajarkan. Dalam bab ini kita akan mengambil sikap nalar yang pragmatis terhadap pemodelan. Selanjutnya, dalam Bab 6, kita akan menunjukkan pendekatan sistematis yang menyelesaikan sebagian besar tetapi tidak semua masalah pemodelan.

Kita dapat membedakan tiga fase berikut ini dalam mencapai model matematika:

1. Masalah disusun secara terstruktur
2. Persamaan – persamaan dasar diformulasikan
3. Model ruang-keadaan dibentuk

Fase 1 terdiri dari usaha untuk membagi sistem kedalam beberapa sub sistem, menentukan sebab dan akibat, variabel – variabel apa yang penting dan bagaimana mereka berinteraksi. Ketika mengerjakan pekerjaan ini, penting untuk mengetahui penggunaan yang dimaksudkan dari model. Hasil dari fase 1 adalah diagram blok atau deskripsi yang sejenis. Fase ini meletakkan kebutuhan terbesar pada pembuat model dalam bentuk pemahaman dan intuisi terhadap sistem fisis. Dalam fase ini pula bahwa level kompleksitas dan tingkat pendekatan ditentukan.

Fase 2 melibatkan pemeriksaan beberapa subsistem tersebut, blok – blok, yang dihasilkan dari fase 1. Hubungan antara variabel dan konstanta dalam subsistem dibentuk. Dalam melakukannya, kita menggunakan hukum – hukum alam dan persamaan

fisis dasar yang diasumsikan berlaku. Ini sering berarti bahwa kita memperkenalkan beberapa pendekatan dan idealisasi (massa titik, gas ideal, dan sejenisnya) dalam rangka mencegah pernyataan yang terlalu kompleks. Untuk sistem non-teknis, dimana persamaan dasar yang secara umum diterima sangat sedikit, fase ini memberikan kesempatan untuk dugaan baru dan pemikiran inovatif.

Fase 3 kebalikan dari fase – fase sebelumnya, adalah tahap yang lebih formal yang bertujuan pada pengorganisasian persamaan-persamaan dan hubungan – hubungan yang tertinggal pada fase 2. Meskipun jika model telah didefinisikan setelah tahap 2, fase ini biasanya perlu untuk memberi model cocok untuk analisis dan simulasi. Selama fase 3 sebuah program aljabar komputer dapat membantu (lihat Bab 7), dan tidak selalu perlu untuk melakukan seluruh pekerjaan untuk menghasilkan bentuk eksplisit (4.1). Untuk tujuan simulasi mungkin cukup mencapai model ruang-keadaan untuk subsistem dilengkapi dengan instruksi untuk koneksi antar subsistem.

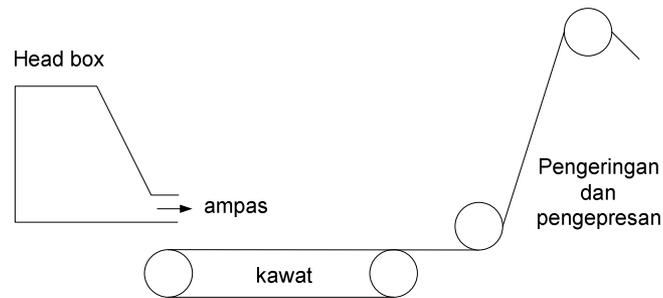
Tiga fase ini akan didiskusikan secara lebih detail dalam subbab berikut dalam bab ini, dimana kita akan juga menggambarkan penggunaannya dalam contoh fisis. Masalah penting dalam pemodelan adalah menemukan model yang tidak terlalu kompleks. Ini berarti bahwa kita harus selalu membuat penyederhanaan, idealisasi dan pendekatan. Penyederhanaan model didiskusikan dalam subbab 4.6.

4.2 Contoh: Pemodelan Head Box Mesin Kertas

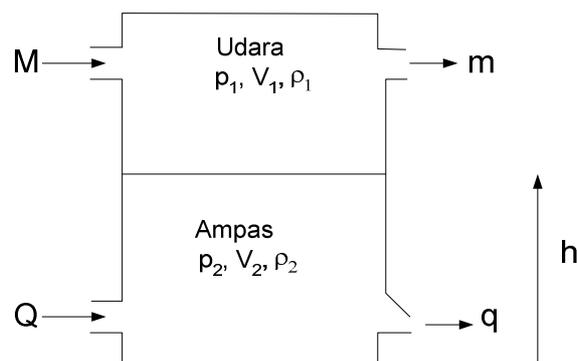
Untuk memberikan dimensi nyata pada diskusi kita mengenai fase – fase pemodelan, kita akan menggambarkan penggunaannya dalam contoh fisis, yaitu head box sebuah mesin kertas.

Pembuatan kertas dari bubur kertas pada dasarnya dilakukan dalam cara berikut. Bubur adalah adonan serat kayu dalam air. Bubur ini dituangkan diatas kabel, yang secara kontinyu menggerakkan mesh sepanjang 10 – 20 meter. Pada kabel sebagian besar air dialirkan keluar, menghasilkan lembaran kertas, yang kemudian dikeringkan, dipress dan digulung. Lihat diagram skematik pada gambar 4.1. Bubur dialirkan pada kabel oleh sebuah head box. Penting ini dilakukan dengan cara yang dikontrol baik agar memperoleh kualitas kertas yang seragam. Ini dicapai dengan mendorong bubur melalui

celah sempit. Head box modern menggunakan udara bertekanan untuk mencapai aliran seragam dan kecepatan tinggi yang cukup (mendekati 10 m/detik). Sebuah head box mesin kertas diperlihatkan pada gambar 4.2. kita akan menggambarkan prinsip – prinsip bab ini dengan pemodelan head box.



Gambar 4.1 Mesin Kertas



Gambar 4.2 Diagram head box. Variabel didefinisikan dalam subbab 4.3

4.3 Fase 1: Menstrukturkan Masalah

Ketika mengerjakan pekerjaan pemodelan, kesulitan utama adalah pemahaman struktur umum:

- Sinyal – sinyal apa yang diminati? (yaitu dianggap sebagai output?)
- Besaran yang mana yang penting untuk menggambarkan apa yang terjadi dalam sistem ?
- Dari besaran tersebut, mana yang berubah terhadap waktu dan mana yang harusnya dianggap sebagai variabel – variabel internal ?
- Besaran apa yang kurang lebih invarian terhadap waktu dan harus dianggap sebagai konstanta ?

- Variabel apa yang mempengaruhi beberapa variabel yang lain ?
- Hubungan apa yang statis dan mana yang dinamis ? (Bandingkan dengan gambar 3.6)

Menjawab pertanyaan – pertanyaan ini dapat membutuhkan pemahaman terhadap sistem dan kerja lebih banyak, tetap selalu perlu sebagai langkah awal dalam pemodelan. Ketika memodelkan sistem yang sudah ada, kita sering menggunakan percobaan sederhana untuk membantu langkah – langkah awal ini, contohnya untuk menentukan konstanta waktu dan pengaruh sinyal (lihat subbab 8.1).

Catat bahwa penggunaan yang dimaksudkan dari model harus diketahui ketika kita menjawab pertanyaan – pertanyaan tadi. Model yang hanya akan digunakan untuk perhitungan sederhana (apa yang menjadi konstanta waktu yang mendominasi dan perkiraan hasil statis ?) dapat memperbolehkan pendekatan kasar dan dapat mengabaikan banyak efek dan variabel. Model yang akan digunakan dalam keputusan desain yang penting membutuhkan perhatian lebih besar ketika menjawab pertanyaan – pertanyaan tersebut. Penggunaan yang dimaksudkan dari model menentukan kompleksitasnya.

Dalam pekerjaan pemodelan selanjutnya, mungkin setelah awal simulasi, kita memperoleh pemahaman lebih dalam mengenai sifat – sifat sistem. Kemudian adalah biasa untuk kembali ke tahap awal untuk mengubah beberapa keputusan.

Dalam beberapa kasus, adalah natural untuk bekerja dengan beberapa model secara paralel. Model – model ini dapat memiliki kompleksitas yang sangat berbeda dan dapat digunakan untuk menjawab pertanyaan berbeda. Ketika memodelkan mesin jet, kita kadang – kadang menggunakan model dengan ratusan keadaan untuk mempelajari masalah termal dan model dengan sejumlah keadaan untuk mendesain regulator.

Ketika kita telah memutuskan variabel apa dalam sistem yang diminati, tahap selanjutnya adalah memperjelas bagaimana mereka berinteraksi. Pada tahap ini yang utama adalah pertanyaan mengenai sebab dan akibat yang diperhatikan. Ekspresi kuantitatif, formula dan persamaan diperkenalkan dalam fase 2 (lihat subbab 4.1). Sering kali hasil dari analisis ini ditampilkan sebagai diagram blok (lihat subbab 3.1), yang dapat dilihat sebagai hasil dan tujuan fase 1.

Merangkum fase 1 dalam pemodelan, kita telah menetapkan berikut ini:

- Tentukan output dan sinyal eksternal untuk model. Putuskan variabel internal apa yang penting untuk menggambarkan sistem.
- Gambarkan interaksi antara sinyal eksternal, variabel internal dan output dalam sebuah diagram blok.

Kadang – kadang, khususnya dalam sistem yang lebih kompleks, adalah pantas untuk pertama – tama membagi sistem kedalam beberapa subsistem dan membagi subsistem lebih lanjut kedalam blok – blok. Dalam kasus tersebut kita mengiterasi diantara dua tahap tersebut.

Contoh Fase 1: Head Box

Perhatikan head box pada subbab 4.2 dan gambar 4.2. Kita diberikan data berikut ini:

A Input – input sistem:

M: laju aliran udara (aliran massa) (kg/s)

Q: laju aliran bubuk (aliran volume) (m^3/s)

B Output sistem:

Disini kita dapat memilih apa yang kita minati. Output laju aliran bubuk q harus menjadi minat kita, karena ini menentukan apa yang dialirkan kedalam kabel. Dan sesuai pula untuk menganggap ketinggian bubuk h sebagai output, karena akan ada pembatasan praktis padanya. Kita juga memilih tekanan lebih p_e dari landasan udara sebagai output:

q: laju aliran bubuk keluaran (aliran volume) (m^3/s)

h: ketinggian bubuk (m)

p_e : tekanan lebih landasan udara (N/m^2)

C Pembagian kedalam subsistem:

Adalah alami untuk menganggap bubuk kertas dan landasan udara sebagai subsistem terpisah. Variabel yang mempengaruhi subsistem udara adalah M dan V_1 (voluma yang ada), sedangkan subsistem bubuk memiliki input Q dan p_e . Kita memiliki hubungan berikut ini antara variabel – variabel tersebut:

M: adalah input kedalam keseluruhan sistem

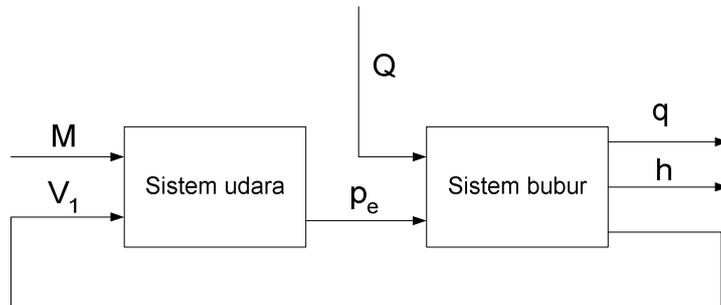
V_1 : tergantung pada ketinggian bubuk h

Q: adalah input kedalam keseluruhan sistem

p_e : adalah output dari subsistem udara

Ini menghasilkan diagram blok pada gambar 4.3.

Untuk memperoleh diagram blok yang lebih detail, kita memperkenalkan variabel dan konstanta dari subsistem yang dicari.



Gambar 4.3: Diagram blok dari head box

Subsistem Udara

Input:

M: aliran masuk udara (kg/s)

V₁: volume udara (m³)

Output:

P_e: tekanan lebih udara (N/m²)

Variabel Internal:

ρ₁: kerapatan udara (kg/m³)

m: massa aliran keluaran udara (kg/s)

p₁: tekanan dalam landasan udara (N/m²)

N: massa udara dalam landasan udara (kg)

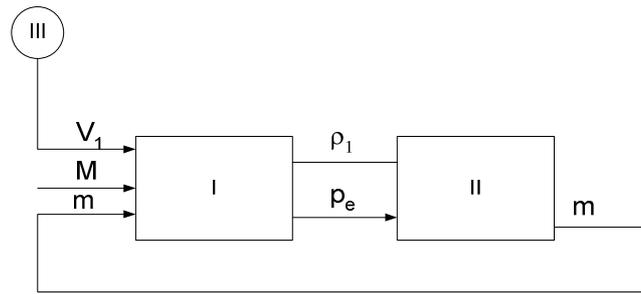
Konstanta:

T: temperatur absolut udara (K) (Kita menganggap proses fisis dalam landasan udara adalah isothermal)

A₁: luas potong aliran keluaran udara (m²)

R: konstanta gas untuk udara (m²/K/s²)

P₀: tekanan atmosfer (N/m²)



Gambar 4.4 Subsistem udara. III menandai sinyal dari blok III dari gambar 4.3

Subsistem Bubur

Input:

Q: laju aliran input (m^3/s)

P_e : tekanan lebih landasan udara (N/m^2)

Output:

Q: laju aliran keluaran (m^3/s)

H: ketinggian bubur (m)

Variabel internal:

H_{eff} : ketinggian efektif bubur (m) (lihat subbab 4.4)

V_2 : volume bubur (m^3)

Konstanta:

A: luas potong head box (m^2)

A_2 : luas potong celah (m^2)

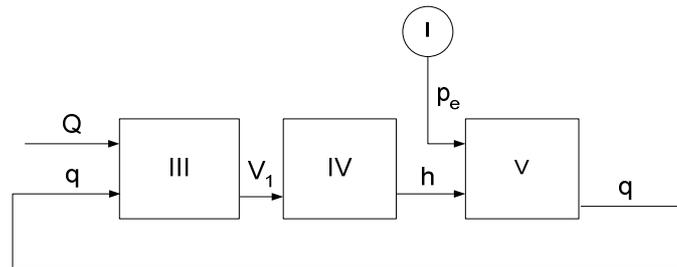
C: koefisien luas celah (lihat subbab 4.4)

V: volume total head box (m^3)

ρ_0 : kerapatan bubur (kg/m^3) (diasumsikan incompressible)

g: percepatan gravitasi (m/s^2)

Beberapa anggapan sederhana sekarang membawa pada diagram blok pada gambar 4.4 dan 4.5.



Gambar 4.5. Subsistem Bubur

4.4 Fase 2: Menyusun Persamaan – Persamaan Dasar

Kita sekarang harus mentransformasi model diagram blok yang diperoleh dalam fase 1 kedalam model matematis. Kita melakukannya dengan menformulasikan hubungan kuantitatif antara input dan output dari blok – blok yang berbeda. Dalam fase ini, kita menggunakan pengetahuan mengenai mekanika, fisika, ekonomi dan lainnya.

Hubungan antara variable sistem dapat berbeda jenis. Kadang – kadang mereka kembali pada hukum alam yang telah mapan seperti hukum Ohm yang mendeskripsikan hubungan antara arus dan tegangan untuk sebuah resistor. Dalam kasus lain hubungan itu mungkin diberikan oleh sebuah kurva hasil eksperimen yang memberikan, sebagai contoh, tekanan pada katup sebagai fungsi aliran. Situasi ketiga terjadi ketika kita menggunakan formula sederhana yang menggambarkan karakter umum dari hubungan tetapi secara jelas merupakan pendekatan kasar. Ini adalah situasi untuk model ekologis dan model ekonomis dalam subbab 2.2 dan 2.4.

Pekerjaan dalam fase 2 adalah sangat tergantung masalah. Bagaimanapun, untuk sistem dalam fisika dan rekayasa kita dapat memberikan pedoman tertentu untuk organisasi dari pekerjaan. Sampai keadaan tersebut kita mencatat bahwa hubungan antara besaran fisis biasanya dapat dibagi kedalam dua grup: hukum konservasi dan hubungan konstitutif.

1. Hukum konservasi menghubungkan besaran yang sejenis. Contoh umum adalah sebagai berikut:

- Daya masuk – daya keluar = energi yang disimpan tiap satuan waktu
- Laju aliran input – laju aliran output = volume yang disimpan tiap unit waktu
- Laju aliran massa input – laju aliran massa output = massa yang disimpan tiap unit waktu

Hukum Kirchhoff (jumlah arus pada sebuah titik pertemuan adalah nol, jumlah semua tegangan dalam sirkuit adalah nol) adalah juga contoh hukum konservasi.

Hukum konservasi menyatakan konservasi sejumlah besaran fisis dasar: konservasi energi, massa, elektron (hukum Kirchhoff) dan sebagainya.

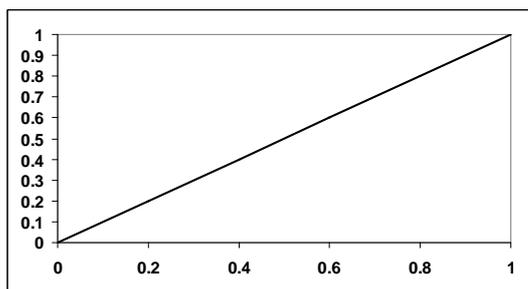
2. Hubungan konstitutif menghubungkan besaran yang berbeda jenis. Contohnya adalah hubungan antara tegangan dan arus pada resistor, kapasitor dan induktor, hubungan antara ketinggian dan arus keluaran dalam tangki dan hubungan antara penurunan tekanan dan aliran pada sebuah katup.

Hubungan konstitutif sering menggambarkan sifat – sifat bahan tertentu atau komponen tertentu atau blok didalam sistem. Ini digambarkan dalam gambar 4.6.

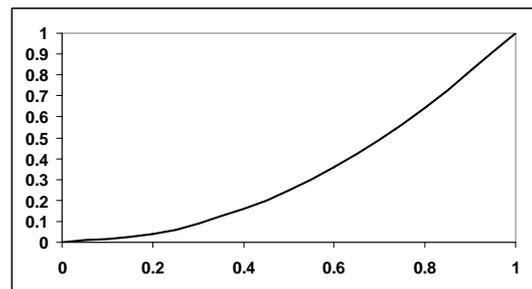
Catat bahwa hubungan ini adalah statis pada variabel yang dipilih. Dari sudut pandang pengguna tidak ada perbedaan mendasar antara hukum alam pada gambar 4.6a dan kurva eksperimen (atau tabel) pada gambar 4.6b, yang adalah spesifik untuk katup tertentu. Dalam praktek tentu lebih mudah untuk menggunakan hubungan linier yang sederhana.

Hubungan konstitutif, seperti yang pada gambar 4.6, selalu merupakan pendekatan. Ketidakakuratan tergantung pada tipe sistem dan ketelitian dalam menentukan kurvanya.

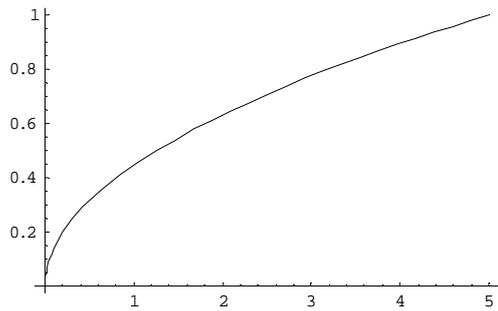
Catatan: Untuk alasan praktis, kita akan juga menganggap hubungan yang mengikuti definisi sebagai hubungan konstitutif. Kurva dalam gambar 4.6c misalnya, dapat diperoleh dari konservasi energi.



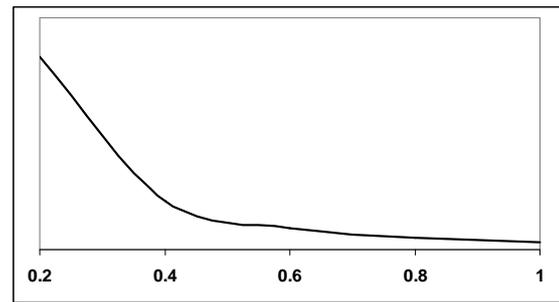
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.6 Hubungan Konstitutif. (a) arus sebagai fungsi tegangan pada resistor (b) aliran sebagai fungsi luas pada katup (c) aliran output sebagai fungsi ketinggian pada tangki (d) tekanan sebagai fungsi volume gas ideal pada suhu konstan (Semua variabel dinormalisasi pada internal 0 – 1)

Cara memformulasi yang baik persamaan dasar dari sebuah blok adalah sebagai berikut:

- Tuliskan hukum konservasi yang relevan untuk blok/subsistem
- Gunakan hubungan konstitutif yang sesuai untuk menyatakan hukum konservasi dalam variabel model. Hitung dimensi besaran – besaran yang berbeda sebagai pengecekan.

Kita menggambarkan prosedur tersebut menggunakan contoh head box.

Contoh Fase 2: Head Box

Kita melanjutkan contoh dari gambar 4.4 dan 4.5. Kita memperoleh hasil berikut untuk subsistem yang berbeda.

Sistem Udara I + II

Hukum konservasi (konservasi massa)

$$\dot{N} = M - m \quad (4.2)$$

Hubungan konstitutif

$$N = \rho_1 \cdot V_1 \quad (\text{massa} = \text{kerapatan} \cdot \text{volume}) \quad (4.3)$$

$$p_1 = R.T.\rho_1 \quad (\text{tekanan}) \quad (4.4)$$

Aliran massa m ditentukan dengan hukum Bernoulli untuk gas:

$$m = a_1 \sqrt{2p_e \rho_1} \quad (4.5)$$

Tekanan total adalah jumlah tekanan atmosfer dan tekanan lebih:

$$p_1 = p_e + p_o \quad (4.6)$$

Subsistem Bubur Kertas II + IV + V

Hukum konservasi (konservasi volume)

$$\dot{V}_2 = Q - q \quad (4.7)$$

Hubungan konstitutif

$$V_2 = Ah \quad (\text{volume} = \text{luas} \cdot \text{tinggi}) \quad (4.8)$$

$$V_1 = V - V_2 \quad (4.9)$$

Aliran q ditentukan oleh hukum Bernoulli, seperti pada subbab 2.3. Yang memperumit adalah tekanan lebih diatas bubur kertas. Mengkonversikan tekanan ini menjadi ketinggian bubur efektif, kita peroleh

Aliran keluar head box sekarang menjadi

$$h_{eff} = h + \frac{p_e}{\rho 2g} \quad (4.10)$$

Koefisien C mengkompensasi fakta bahwa hukum Bernoulli valid hanya pada lubang dengan luas penampang kecil dan untuk aliran tanpa energi hilang. Kita definisikan luas penampang efektif Ca_2 (m^2), dimana a_2 adalah luas geometris.

$$q = a_2 \cdot C \cdot \sqrt{2h_{eff}g} \quad (4.11)$$

4.5 Fase 3: Membentuk Model Ruang-Keadaan

Setelah fase 2 kita memperoleh, singkat kata, sebuah model matematis untuk sistem. Persamaan – persamaan itu sering tak terstruktur, bagaimanapun, dan tidak mudah untuk lanjut dari fase 2 ke simulasi. Dalam contoh kita bahas dalam sub bab terakhir, hasil dari fase 2 adalah 10 persamaan. Secara jelas ini dapat diorganisasikan dengan lebih baik. Dalam subbab ini kita akan mendemonstrasikan bagaimana berangkat dari fase 2 menuju model ruang-keadaan dalam bentuk (4.1).

Resep umum adalah jelas:

1. Pilih suatu set variabel keadaan
2. Nyatakan turunan waktu tiap variabel keadaan dengan bantuan variabel keadaan dan input

3. Nyatakan output sebagai fungsi variabel keadaan dan input.

Jika tahap 2 dan 3 berhasil, kita memiliki deskripsi ruang-keadaan seperti pada (4.1). Kesulitan – kesulitan dalam prosedur ini secara jelas terletak pada tahap 1. Bagaimana kita memilih variabel state ? Sebagai pedoman, berguna untuk mengingat interpretasi keadaan (lihat subbab 3.4). Variabel keadaan mewakili memory apa yang telah terjadi sebelumnya. Semua variabel internal berkaitan dengan penyimpanan besaran – besaran yang berbeda adalah kandidat untuk peran sebagai variabel keadaan.

Contoh 4.1. Besaran Disimpan

Berikut ini adalah contoh – contoh besaran yang disimpan:

- *Posisi massa titik (energi potensial tersimpan)*
- *Kecepatan massa titik (energi kinetik tersimpan)*
- *Muatan Kapasitor (energi medan listrik tersimpan)*
- *Arus melalui induktor (energi medan magnet tersimpan)*
- *Temperatur (energi termal tersimpan)*
- *Ketinggian tangki (volume tersimpan)*

Aturan lain adalah bahwa variabel internal, yang turunan waktunya terjadi dalam persamaan pada fase 2, adalah variabel keadaan yang cocok.

Ketika membentuk model ruang-keadaan (4.1), tidak perlu untuk mengumpulkan semua formula dan persamaan bersama-sama kedalam satu (bernilai vektor) persamaan. Untuk sistem yang lebih besar sering lebih menguntungkan untuk membuat model ruang-keadaan terpisah untuk beberapa subsistem dan kemudian menghubungkannya berdasarkan diagram blok. Model termodularkan seperti ini memungkinkan untuk memeriksa (dalam simulasi) apa yang terjadi ketika blok tertentu digantikan oleh blok lain.

Contoh Fase 3: Head Box

Dipandu dengan diskusi dalam subbab sebelumnya, kita membuat pilihan berikut ini sebagai variabel keadaan:

$$x_1 = V_2 \quad (\text{Volume bubuk kertas})$$

$$x_2 = N \quad (\text{Masa udara})$$

Kita sekarang harus mengekspresikan turunan waktu x_1 dan x_2 dengan hanya menggunakan x_1 , x_2 , M , Q , dan konstanta.

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 = \dot{V}_2 &= Q - q = Q - a_2 C \sqrt{2hg + \frac{2p_e}{\rho_2}} \\ &= Q - a_2 C \left[\frac{2gV_2}{A} + \frac{2(RT\rho_1 - p_o)}{\rho_2} \right]^{1/2} \\ &= Q - a_2 C \left[\frac{2g}{A} x_1 + \frac{2}{\rho_2} \left(\frac{RTx_2}{V - x_1} - p_o \right) \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (4.12)$$

Disini kita telah menggunakan tahap – tahap berurutan (4.7), (4.10), (4.11), (4.8) dan (4.4), (4.6) dan (4.9), (4.8).

$$\begin{aligned} \dot{x}_2 = \dot{N} &= M - m = M - a_1 \sqrt{2(p_1 - p_o)\rho_1} \\ &= M - a_1 \left[2 \left(RT \frac{N}{V_1} - p_o \right) \frac{N}{V_1} \right]^{1/2} \\ &= M - a_1 \left[2 \left(RT \frac{x_2}{V - x_1} - p_o \right) \frac{x_2}{V - x_1} \right]^{1/2} \end{aligned} \quad (4.13)$$

Disini persamaan – persamaan berikut ini digunakan: (4.2), (4.5), (4.6) (4.3), (4.4) dan (4.8), (4.9). Output dihitung dalam cara yang sama:

$$q = a_2 C \left[\frac{2g}{A} x_1 + \frac{2}{\rho_2} \left(\frac{RTx_2}{V - x_1} - p_o \right) \right]^{1/2} \quad (4.14)$$

$$p_e = RT \frac{x_2}{V - x_1} - p_o \quad (4.15)$$

$$h = \frac{x_1}{A} \quad (4.16)$$

Persamaan (4.12), (4.13) dan (4.14)-(4.16) sekarang membentuk sebuah model ruang-keadaan untuk head box, dan kita telah mencapai tujuan dari pemodelan.

Jumlah Variabel Keadaan

Sangat mudah untuk memeriksa apakah kita telah memilih cukup variabel keadaan. Tesnya adalah turunan waktu dapat diekspresikan dengan hanya menggunakan

variabel keadaan dan input pada sistem, bersama – sama dengan besaran konstan. Ini dapat lebih sulit untuk dapat menentukan jika ada variabel keadaan yang tidak diperlukan. Dalam contoh head box kita, N , p_1 , V_2 , dan h adalah kandidat memungkinkan sebagai variabel keadaan. Kita lihat secara langsung dari (4.8) bahwa tidak perlu untuk menetapkan V_2 dan h menjadi variabel keadaan. Disamping itu, tidak mudah, bagaimanapun, untuk melihat variabel mana yang redundan. Untuk model ruang-keadaan linier ada beberapa tes berdasarkan rangking matriks tertentu untuk menentukan jika kita memiliki jumlah keadaan minimal. Test berkaitan untuk sistem nonlinier lebih sulit untuk dilakukan, baik dari sudut pandang matematis dan komputasi. Bagaimanapun, ketika model digunakan dalam simulasi, satu-satunya kerugian (secara prinsip) dari terlalu banyak variabel keadaa adalah bahwa komputasi yang tidak perlu telah dilakukan. Hasil simulasi adalah sama untuk keduanya.