

---

# 1

---

## **Konsep Umum Sistem Kontrol**

### **1.1. Pendahuluan**

Perkembangan ilmu dan teknologi selalu beriringan dengan tingkat peradaban manusia. Dengan bertambahnya ilmu dan teknologi yang dikuasai maupun yang diterapkan, diharapkan manusia dapat meningkatkan kesejahteraan peradaban manusia secara keseluruhan, walaupun dampak-dampak negatif selalu bermunculan seiring dengan kemajuan teknologi manusia.

Dalam perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek), manusia selalu berusaha untuk mencari suatu cara sehingga penerapan dari iptek itu sendiri memberikan banyak keuntungan dan meringankan beban kerja manusia.

Sistem kontrol (*control system*) merupakan suatu kumpulan cara atau metode yang dipelajari dari kebiasaan-kebiasaan manusia dalam bekerja, dimana manusia membutuhkan suatu pengamatan kualitas dari apa yang telah mereka kerjakan sehingga memiliki karakteristik sesuai dengan yang diharapkan pada mulanya. Perkembangan teknologi menyebabkan manusia selalu terus belajar

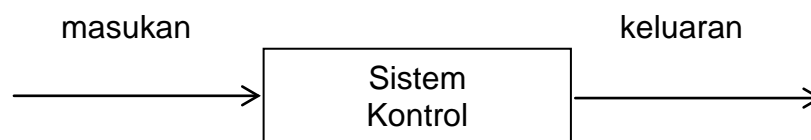
untuk mengembangkan dan mengoperasikan pekerjaan-pekerjaan kontrol yang semula dilakukan oleh manusia menjadi serba otomatis (dikendalikan oleh mesin).

Dalam aplikasinya, sistem kontrol memegang peranan penting dalam teknologi. Sebagai contoh, otomatisasi industri dapat menekan biaya produksi, mempertinggi kualitas, dan dapat menggantikan pekerjaan-pekerjaan rutin yang membosankan. Sehingga dengan demikian akan meningkatkan kinerja suatu sistem secara keseluruhan, dan pada akhirnya memberikan keuntungan bagi manusia yang menerapkannya.

## 1.2. Sasaran Sistem Kontrol

Dalam aplikasinya, suatu sistem kontrol memiliki tujuan/sasaran tertentu. Sasaran sistem kontrol adalah untuk mengatur keluaran (*output*) dalam suatu sikap / kondisi / keadaan yang telah ditetapkan oleh masukan (*input*) melalui elemen sistem kontrol.

Gambar 1.1 memperlihatkan suatu diagram umum suatu sistem kontrol.



Gambar 1.1. Diagram Umum Sistem Kontrol

Dengan adanya sasaran ini, maka kualitas keluaran yang dihasilkan tergantung dari proses yang dilakukan dalam sistem kontrol ini.

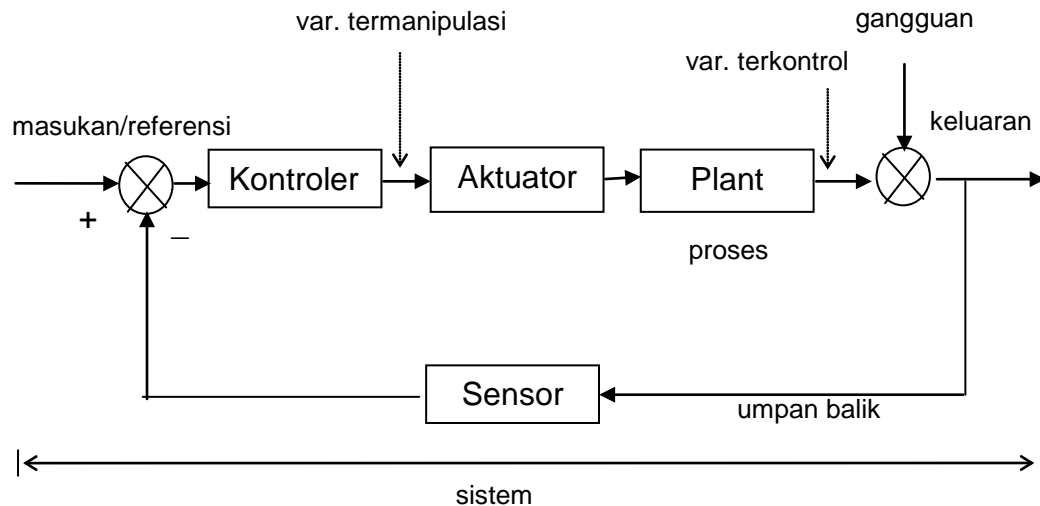
## 1.3. Definisi Istilah

Untuk memperjelas keterangan-keterangan dalam buku ini, berikut diberikan beberapa definisi istilah yang sering dipakai :

- a. Sistem (*system*) adalah kombinasi dari komponen-komponen yang bekerja bersama-sama membentuk suatu obyek tertentu.
- b. Variabel terkontrol (*controlled variable*) adalah suatu besaran (*quantity*) atau kondisi (*condition*) yang terukur dan terkontrol. Pada keadaan normal merupakan keluaran dari sistem.
- c. Variabel termanipulasi (*manipulated variable*) adalah suatu besaran atau kondisi yang divariasikan oleh kontroler sehingga mempengaruhi nilai dari variabel terkontrol.
- d. Kontrol (*control*) – mengatur, artinya mengukur nilai dari variabel terkontrol dari sistem dan mengaplikasikan variabel termanipulasi pada sistem untuk mengoreksi atau mengurangi deviasi yang terjadi terhadap nilai keluaran yang dituju.
- e. Plant (*Plant*) adalah sesuatu obyek fisik yang dikontrol.
- f. Proses (*process*) adalah sesuatu operasi yang dikontrol. Contoh : proses kimia, proses ekonomi, proses biologi, dll.
- g. Gangguan (*disturbance*) adalah sinyal yang mempengaruhi terhadap nilai keluaran sistem.
- h. Kontrol umpan balik (*feedback control*) adalah operasi untuk mengurangi perbedaan antara keluaran sistem dengan referensi masukan.
- i. Kontroler (*controller*) adalah suatu alat atau cara untuk modifikasi sehingga karakteristik sistem dinamik (*dynamic system*) yang dihasilkan sesuai dengan yang kita kehendaki.
- j. Sensor adalah peralatan yang digunakan untuk mengukur keluaran sistem dan menyatakannya dengan sinyal masukan sehingga bisa dilakukan suatu operasi hitung antara keluaran dan masukan.
- k. Aksi kontrol (*control action*) adalah besaran atau nilai yang dihasilkan oleh perhitungan kontroler untuk diberikan pada plant (pada kondisi normal merupakan variabel termanipulasi).

1. Aktuator (*actuator*), adalah suatu peralatan atau kumpulan komponen yang menggerakkan plant.

Gambar 1.2. memberikan penjelasan terhadap beberapa definisi istilah di atas.



Gambar 1.2. Sistem Kontrol Secara Lengkap

## 1.4. Contoh-Contoh Sistem Kontrol

Aplikasi sistem kontrol sudah ada sejak jaman nenek moyang kita dan masih berlanjut hingga jaman yang sudah modern ini. Pada jaman nenek moyang kita, sistem kontrol dilakukan oleh manusia yang berfungsi sebagai kontroler (pengatur). Misalnya pelepasan lembing (tombak) ke binatang buruan. Otak bertindak sebagai kontroler untuk mengatur arah, sudut, dan tenaga yang dibutuhkan oleh lembing sehingga bisa tepat mengenai binatang buruan. Tangan bertindak sebagai aktuator dan lembing merupakan plant yang diatur.

Pada konsep sistem kontrol modern, peralatan pembantu manusia semakin dioptimalkan untuk melakukan fungsi kontrol. Semakin modern dan canggih teknologi yang dikuasai, semakin canggih pula peralatan pembantu yang

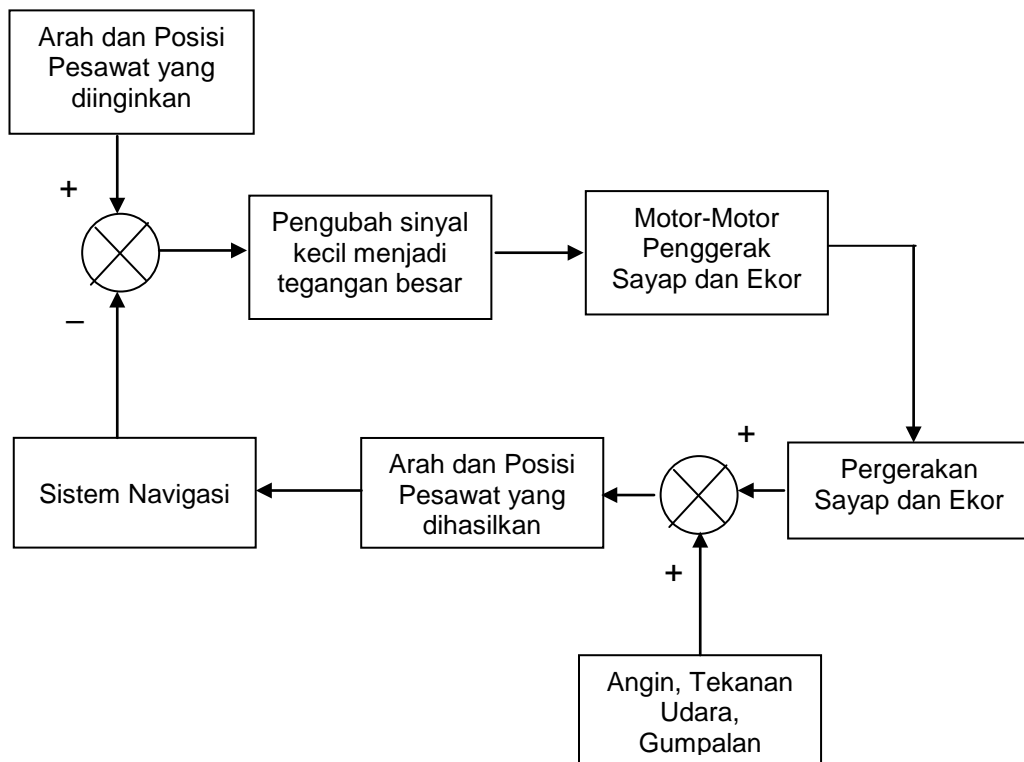
berfungsi sebagai alat kontrol. Seperti contoh, pada jaman awal-awal peradaban teknologi manusia, manusia sudah mengenal sistem pelampung untuk menghentikan aliran air yang masuk ke dalam bak kamar mandi.

Dalam era modern ini, penggunaan komputer dan mikroprosesor (*microcontroller*) semakin mendominasi untuk menggantikan peran otak sebagai kontroler. Dengan kelebihanannya mampu mengoperasikan fungsi-fungsi logika dan matematis serta kemampuannya menyimpan data dalam memorinya, membuat komputer atau mikroprosesor mampu menjalankan fungsi otak secara sederhana.

Berikut adalah beberapa contoh aplikasi sistem kontrol :

a. Sistem Autopilot pada Pesawat Terbang

Gambar 1.3 menunjukkan pemodelan sederhana dari sistem autopilot.



Gambar 1.3. Diagram Kotak Sistem Autopilot Pesawat

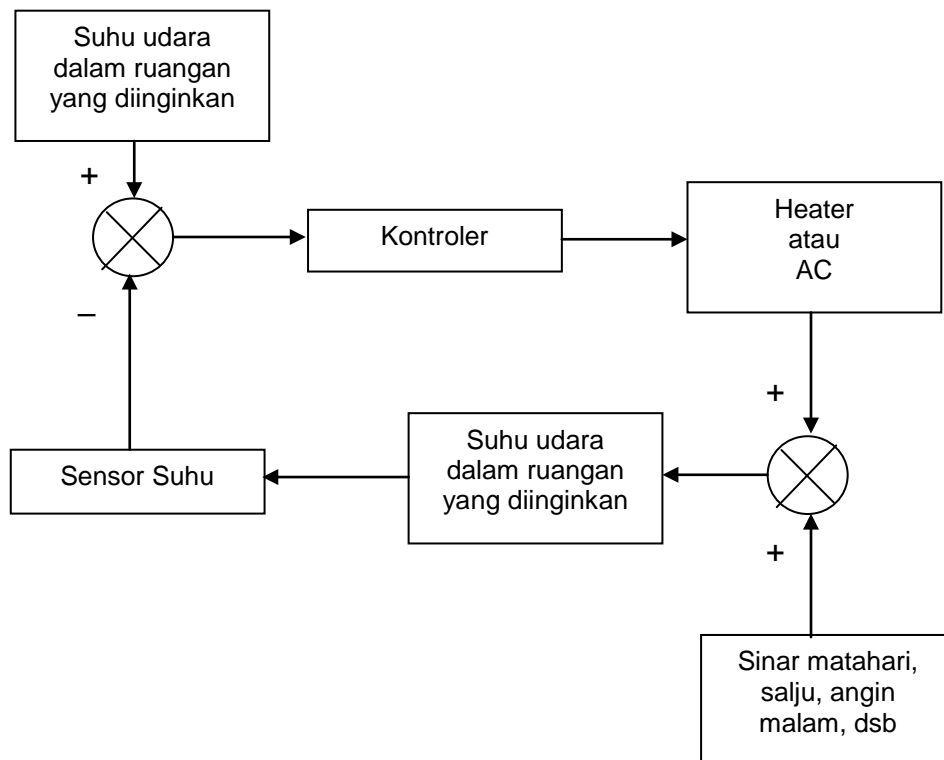
Dari diagram kotak pada Gambar 1.3, arah dan posisi pesawat yang diinginkan merupakan masukan dari sistem autopilot. Pergerakan sayap dan ekor adalah plant yang akan dikontrol sehingga menghasilkan keluaran arah dan posisi pesawat yang diinginkan. Adanya gangguan dari luar berupa angin, tekanan udara, gumpalan awan, dan sebagainya membuat arah dan posisi pesawat bisa berubah sehingga diperlukan peninjauan ulang untuk mengeleminir kesalahan yang terjadi tersebut.

Dalam sistem kontrol, adakalanya diperlukan suatu tanggapan (*response*) dari sistem yang cepat sehingga kesalahan-kesalahan yang terjadi dapat dikurangi semaksimal mungkin. Bayangkan apa yang terjadi jika arah pesawat bergeser sebesar  $1^\circ$  saja, maka untuk jarak yang jauh sekali misalnya untuk penerbangan Jakarta – London, akan menghasilkan pergeseran pendaratan yang cukup signifikan. Untuk itu diperlukan kontroler atau kompensator yang berfungsi mengatur atau memodifikasi sistem tersebut sehingga bisa menghasilkan tanggapan yang lebih cepat lagi.

#### b. Sistem Pengatur Suhu Udara dalam Ruangan

Diagram kotak suatu sistem pengatur suhu udara dalam ruangan diberikan oleh Gambar 1.4.

Dari diagram kotak pada Gambar 1.4, masukan dari sistem pengaturan suhu dalam ruangan adalah suhu yang dikehendaki pemakai ruangan tersebut. Pemilihan *heater* (pemanas) atau *AC* (*air conditioner*) disesuaikan dengan keadaan suhu dalam ruangan dan suhu yang diinginkan pemakai ruangan. Bila diinginkan suhu yang lebih hangat, maka pemanas akan dinyalakan, sebaliknya bila diinginkan suhu yang lebih dingin, maka AC akan diaktifkan. Keluaran dari sistem ini adalah suhu dalam ruangan tersebut. Keluaran ini bisa berubah bila terdapat gangguan dari luar misalnya terik panas matahari, turun hujan salju, dan sebagainya sehingga pemberian umpan balik sangat penting untuk menjaga kestabilan suhu ruangan. Pemberian kontroler bertujuan untuk mempercepat tanggapan sistem terhadap perubahan yang mungkin terjadi akibat adanya gangguan luar.



Gambar 1.4. Diagram Kotak Sistem Pengatur Suhu Udara dalam Ruangan

Contoh lain sistem kontrol adalah :

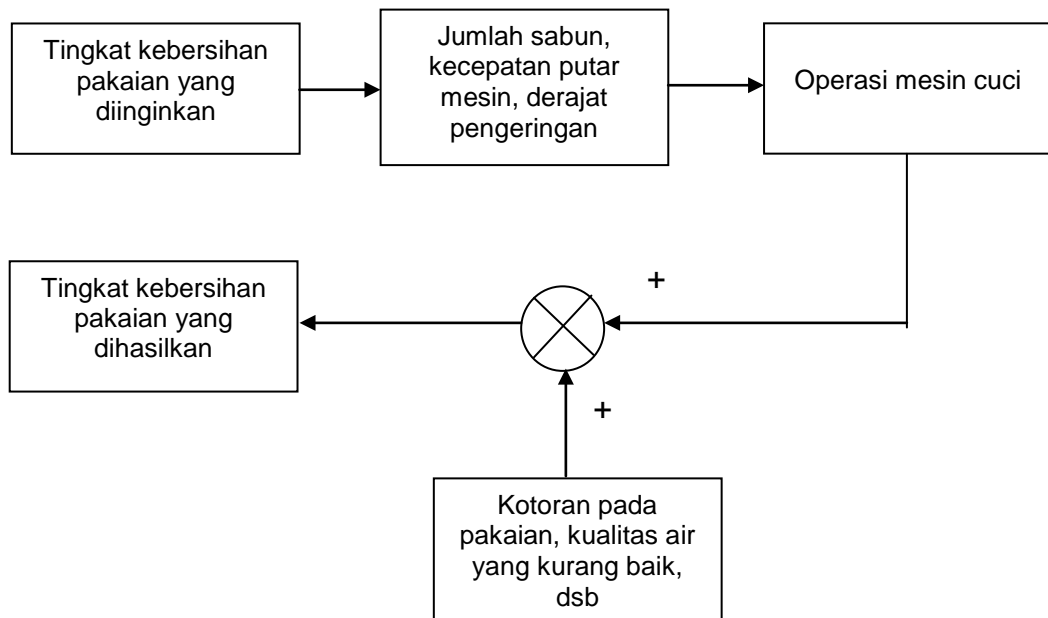
- Sistem Kontrol Lengan Robot (*Arm Manipulator*)
- Sistem Transmisi Otomatis pada Mobil
- Sistem Suspensi Mobil
- Sistem Kontrol Suhu Reaksi Kimia
- Dan sebagainya.

## 1.5. Sistem Kontrol Loop Terbuka dan Sistem Kontrol Loop Tertutup

### 1.5.1. Sistem Kontrol Loop Terbuka (*Open-Loop Control System*)

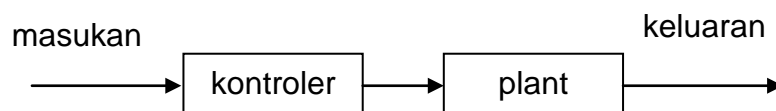
Suatu sistem kontrol yang mempunyai karakteristik dimana nilai keluaran tidak memberikan pengaruh pada aksi kontrol disebut Sistem Kontrol Loop Terbuka (*Open-Loop Control System*).

Contoh dari sistem loop terbuka adalah operasi mesin cuci. Penggilingan pakaian, pemberian sabun, dan pengeringan yang bekerja sebagai operasi mesin cuci tidak akan berubah (hanya sesuai dengan yang diinginkan seperti semula) walaupun tingkat kebersihan pakaian (sebagai keluaran sistem) kurang baik akibat adanya faktor-faktor yang kemungkinan tidak diprediksikan sebelumnya.. Diagram kotak pada Gambar 1.5 memberikan gambaran proses ini.



Gambar 1.5. Operasi Mesin Cuci

Secara umum, sistem kontrol loop terbuka diberikan oleh Gambar 1.6.



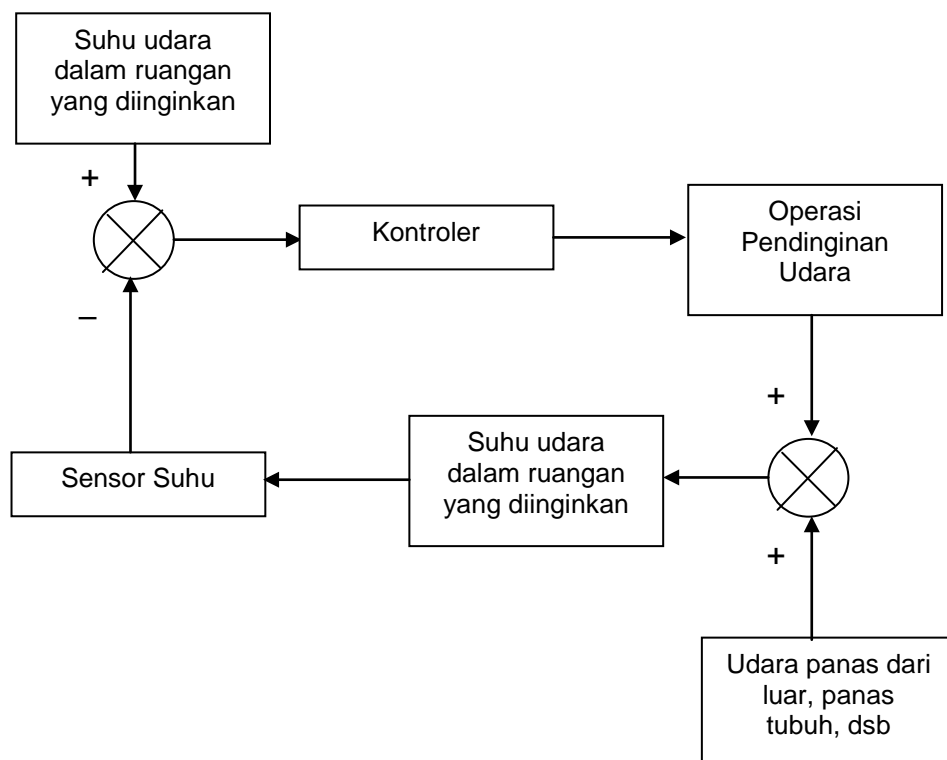
Gambar 1.6. Sistem Kontrol Loop Terbuka



Sistem kontrol loop terbuka ini memang lebih sederhana, murah, dan mudah dalam desainnya, akan tetapi akan menjadi tidak stabil dan seringkali memiliki tingkat kesalahan yang besar bila diberikan gangguan dari luar.

### 1.5.2. Sistem Kontrol Loop Tertutup (*Closed-Loop Control System*)

Sistem kontrol loop tertutup adalah identik dengan sistem kontrol umpan balik, dimana nilai dari keluaran akan ikut mempengaruhi pada aksi kontrolnya.

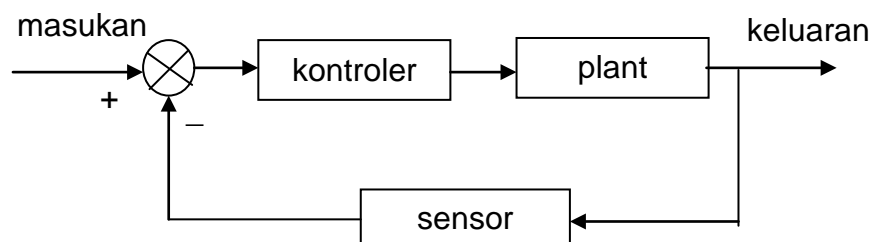


Gambar 1.7. Proses Umpan Balik Pendingin Udara (AC)

Contoh dari sistem ini banyak sekali, salah satu contohnya adalah operasi pendinginan udara (AC). Masukan dari sistem AC adalah derajat suhu yang diinginkan si pemakai. Keluarannya berupa udara dingin yang akan mempengaruhi suhu ruangan sehingga suhu ruangan diharapkan akan sama dengan suhu yang diinginkan. Dengan memberikan umpan balik berupa derajat

suhu ruangan setelah diberikan aksi udara dingin, maka akan didapatkan kesalahan (*error*) dari derajat suhu aktual dengan derajat suhu yang diinginkan. Adanya kesalahan ini membuat kontroler berusaha memperbaikinya sehingga didapatkan kesalahan yang semakin lama semakin mengecil. Gambar 1.7 memberikan penjelasan mengenai proses umpan balik sistem AC ini.

Secara umum, sistem kontrol loop tertutup diberikan oleh Gambar 1.8.



Gambar 1.8. Sistem Kontrol Loop Tertutup

Dibandingkan dengan sistem kontrol loop terbuka, sistem kontrol loop tertutup memang lebih rumit, mahal, dan sulit dalam desain. Akan tetapi tingkat kestabilannya yang relatif konstan dan tingkat kesalahannya yang kecil bila terdapat gangguan dari luar, membuat sistem kontrol ini lebih banyak menjadi pilihan para perancang sistem kontrol.

## 1.6. Perancangan Sistem Kontrol

Dalam perancangan sistem kontrol, langkah pertama yang harus dilakukan adalah menganalisa sistem yang akan dikontrol terlebih dahulu. Pembuatan model yang lebih sederhana akan mempermudah kita dalam menganalisa sistem tersebut. Kemudian pemodelan tersebut dapat kita nyatakan dalam suatu persamaan matematis, sehingga aplikasi perhitungan matematis akan sangat memungkinkan dalam menganalisa sistem tersebut. Permasalahan mengenai model matematik ini akan dibahas dalam Bab II pada buku ini.

Selanjutnya untuk mendapatkan kinerja sistem yang sesuai dengan kehendak kita, maka diperlukan data-data yang akurat tentang pengujian sistem tersebut terhadap masukan tertentu sehingga kita dapat menemukan cara yang tepat dalam mengatasi permasalahan yang timbul. Pengujian terhadap masukan fungsi-fungsi step, ramp, dan impuls serta analisisnya diberikan pada Bab III, sedangkan pengujian terhadap masukan sinusoidal dimana fungsi frekuensi sangat diperhatikan diberikan pada Bab VII.

Persoalan lain yang seringkali timbul dalam perancangan sistem kontrol adalah masalah kestabilan. Suatu sistem yang stabil akan memberikan kinerja yang lebih baik daripada sistem yang tidak stabil bila diberikan gangguan dari luar. Untuk analisa kestabilan sistem ini Bab IV dari buku ini akan memperinci penjelasan mengenai konsep kestabilan dan cara-cara mendapatkannya.

Dalam menganalisa suatu sistem kontrol dan usaha perbaikan kinerja sistem seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, diperlukan penggambaran-penggambaran secara grafis yang dapat memvisualisasikan karakteristik suatu sistem. Bab V dan Bab VII memberikan beberapa cara yang umum digunakan untuk keperluan ini, dimana pada Bab V dikhususkan untuk analisa tanggapan waktu, dan pada Bab VII pada tanggapan frekuensi.

Setelah pengenalan karakteristik dari suatu sistem dapat dilakukan, maka langkah selanjutnya adalah pembuatan suatu kontroler atau kompensator yang berfungsi untuk memperbaiki kinerja sistem tersebut. Bab VI memberikan penjelasan mengenai cara membuat kontroler dan kompensator tersebut dalam analisa tanggapan waktu, sedangkan Bab VIII memberikan penjelasan perancangan pada tanggapan frekuensi.

---

## **Latihan Soal :**

1.