



MODUL : TEKNIK PENGATURAN

UNIVERSITAS HARAPAN MEDAN
Fakultas Teknik dan Komputer
2022

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah diktat mata kuliah Teknik Pengaturan (21-3-09-3-5-03-2) ini berhasil disusun dengan semaksimal mungkin. Modul ini disusun mengacu pada silabus mata kuliah yang diberlakukan untuk program S1 yang disajikan pada tiap semester dengan jumlah SKS 2 (Dua). Diktat ini diterbitkan untuk kalangan sendiri pada Program Teknik Mesin FAKULTAS TEKNIK DAN KOMPUTER UNIVERSITAS HARAPAN MEDAN .Penulis mengucapkan terimakasih atas suport dan masukan yang diberikan teman teman Dosen di Fakultas Teknik dan Komputer Universitas Harapan Medan, selama penyusunan Modul ini.

Modul mata kuliah Teknik Pengaturan ini diharapkan bisa membantu mahasiswa dalam memahami materi yang disampaikan Dosen. Dalam diktat ini menyajikan bermacam-macam contoh soal dan latihan soal dalam setiap BAB, yang mana mahasiswa diharapkan bisa memanfaatkan dengan baik untuk memperkuat pemahaman materi setiap BAB. Namun demikian, mahasiswa sebaiknya juga membaca buku-buku referensi yang lain tentang Perancangan Elemen Mesin (Machine Design) sehingga diperoleh informasi yang lebih lengkap dalam upaya memahami materi perkuliahan.

Bagaimanapun, diktat ini masih diperlukan perbaikan secara bertahap, oleh karena itu mohon kritik dan saran untuk kesempurnaan diktat ini.

Kami menyampaikan terimakasih kepada semua pihak yang membantu penulisan diktat ini. Semoga bermanfaat bagi pembaca.

Medan, Januari 2022

Penulis

(Ir.Junaidi,M.M.,M.T.)
NIDN :0103036301

DAFTAR ISI

BAB.1 Konsep Umum Sistem Kontrol

**BAB.2. SISTEM KONTROL LOOP TERBUKA
DAN TERTUTUP**

BAB.3. SISTEM PENGENDALIAN

BAB.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[1].

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.

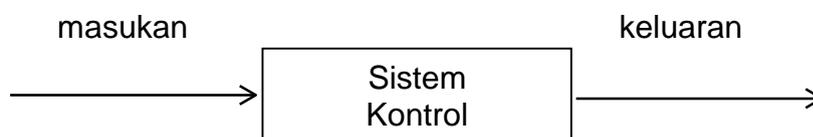
Sistem kontrol (*control system*) merupakan suatu kumpulan cara atau metode yang dipelajari dari kebiasaan-kebiasaan manusia dalam bekerja, dimana manusia membutuhkan suatu pengamatan kualitas dari apa yang telah mereka kerjakan sehingga memiliki karakteristik sesuai dengan yang diharapkan pada mulanya. 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[2].

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 menerapkan

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.

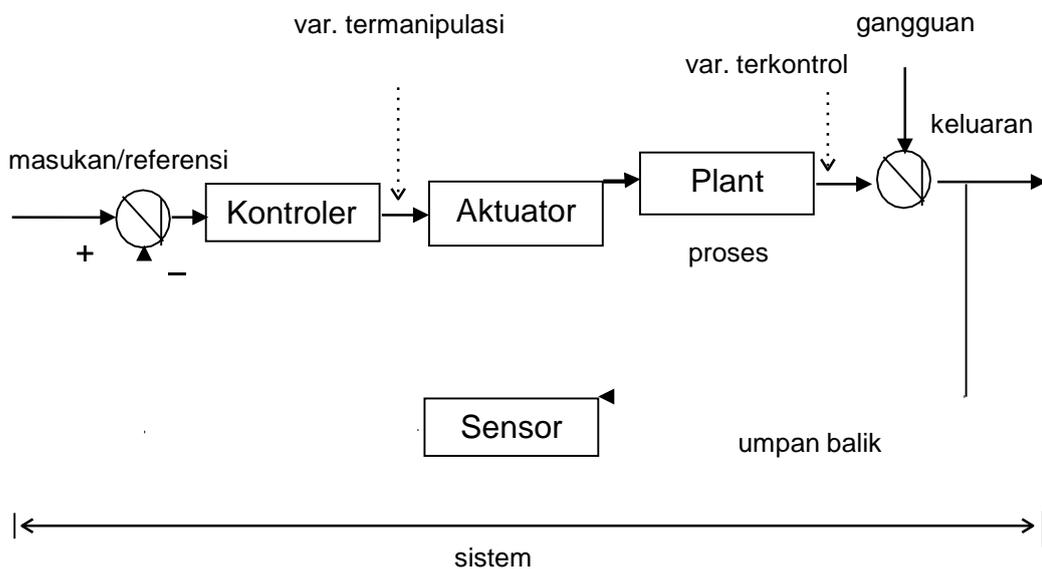
- f. Proses (*process*) adalah sesuatu operasi yang dikontrol. Contoh : proseskimia, proses ekonomi, proses biologi, dll.
- g. Gangguan (*disturbance*) adalah sinyal yang mempengaruhi terhadap nilai keluaran sistem.
- h. Kontrol umpan balik (*feedback control*) adalah operasi untuk mengurangi perbedaan 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 menyetarakannya 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).

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

- l. Sistem (*system*) adalah kombinasi dari komponen-komponen yang bekerja bersama-sama membentuk suatu obyek tertentu.
- m. Variabel terkontrol (*controlled variable*) adalah suatu besaran (*quantity*) atau kondisi (*condition*) yang terukur dan terkontrol. Pada keadaan normal merupakan keluaran dari sistem.
- n. Variabel termanipulasi (*manipulated variable*) adalah suatu besaran atau kondisi yang divariasikan oleh kontroler sehingga mempengaruhi nilai dari variabel terkontrol.
- o. 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.
- p. Plant (*Plant*) adalah sesuatu obyek fisik yang dikontrol.
- q. Proses (*process*) adalah sesuatu operasi yang dikontrol. Contoh : proseskimia, proses ekonomi, proses biologi, dll.

- r. Gangguan (*disturbance*) adalah sinyal yang mempengaruhi terhadap nilai keluaran sistem.
- s. Kontrol umpan balik (*feedback control*) adalah operasi untuk mengurangi perbedaan antara keluaran sistem dengan referensi masukan.
- t. Kontroler (*controller*) adalah suatu alat atau cara untuk modifikasi sehingga karakteristik sistem dinamik (*dynamic system*) yang dihasilkan sesuai dengan yang kita kehendaki.
- u. Sensor adalah peralatan yang digunakan untuk mengukur keluaran sistem dan menyatakannya dengan sinyal masukan sehingga bisa dilakukan suatu operasi hitung antara keluaran dan masukan.
- v. Aksi kontrol (*control action*) adalah besaran atau nilai yang dihasilkan oleh perhitungan kontroler untuk diberikan pada plant (pada kondisi normal merupakan variabel termanipulasi).
- w. Aktuator (*actuator*), adalah suatu peralatan atau kumpulan komponen yang menggerakkan plant

Gambar 1.2. memberikan penjelasan terhadap beberapa definisi istilah diatas.



Gambar 1.2. Sistem Kontrol Secara Lengkap

1.4. Contoh-Contoh Sistem Kontrol

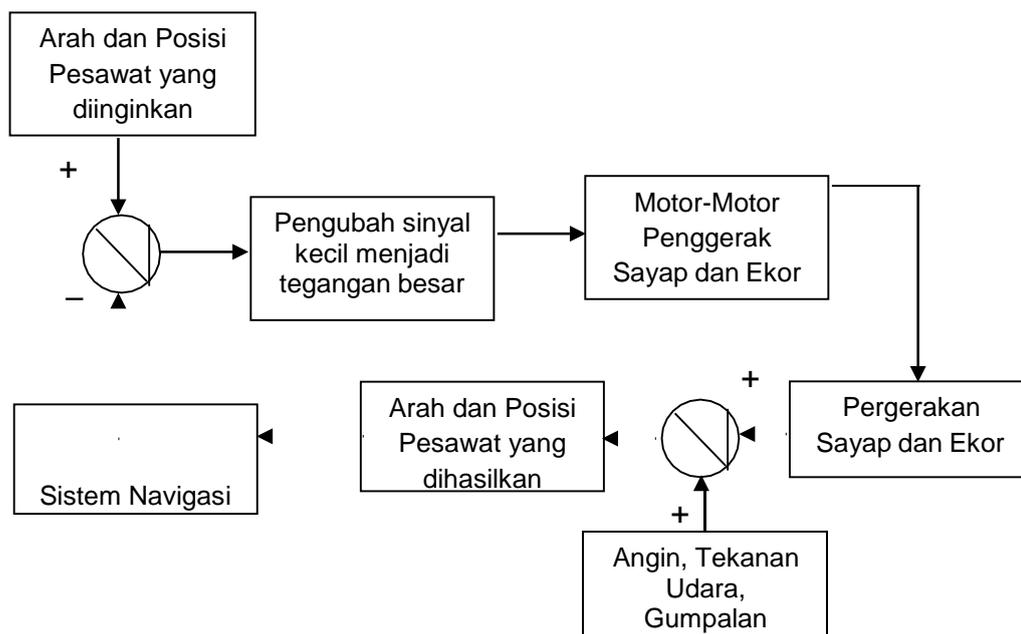
Aplikasi sistem kontrol sudah ada sejak jaman nenek moyang kita dan masih berlanjut

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[3]. 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

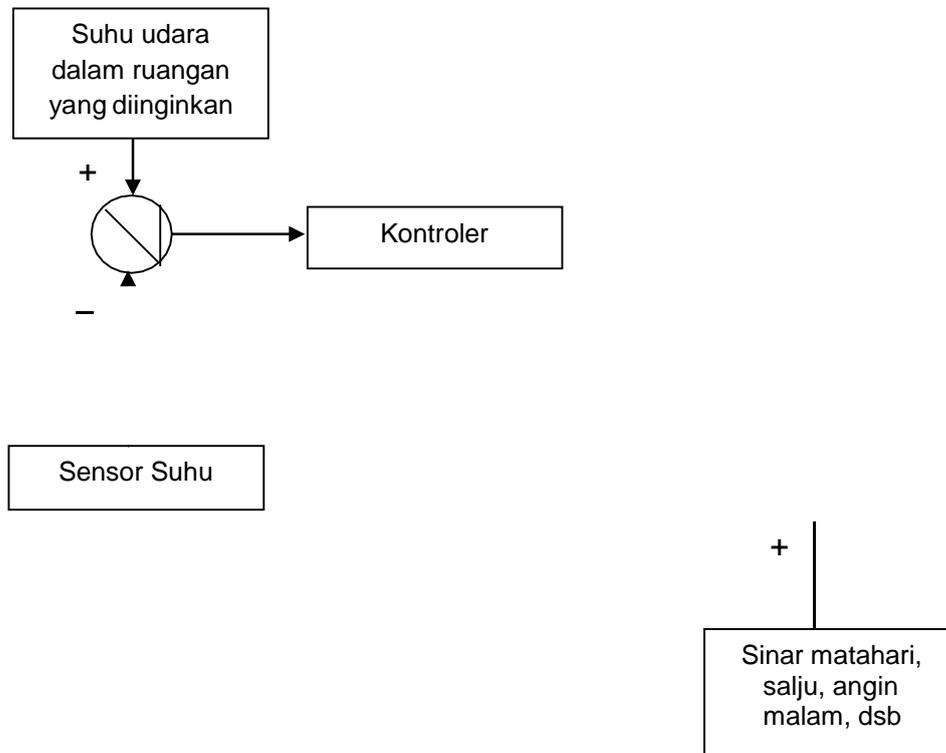
Dari diagram kotak pada Gambar 1.3, arah dan posisi pesawat yang diinginkan merupakan masukan dari sistem autopilot. Pergerakan sayap dan ekor adalah plant yang akan dikontrol sehingga menghasilkan keluaran arah dan posisi pesawat yang diinginkan. Adanya gangguan dari luar berupa angin, tekanan udara, gumpalan awan, dan sebagainya membuat arah dan posisi pesawat bisa berubah sehingga diperlukan peninjauan ulang untuk mengeleminir kesalahan yang terjadi tersebut[4].

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° 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.

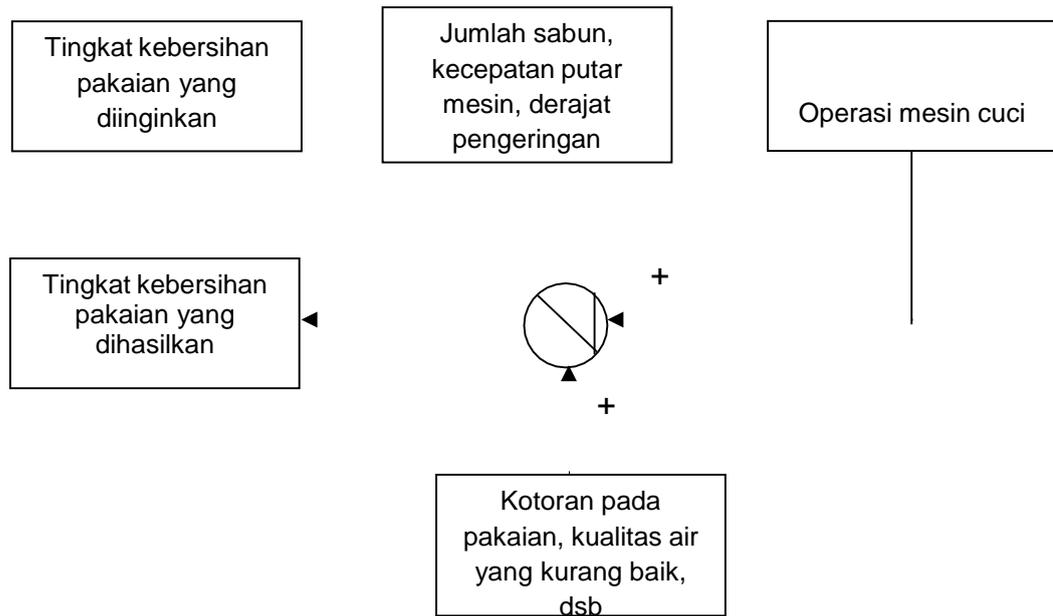
1.5. Sistem Kontrol Loop Terbuka dan Sistem Kontrol Loop Tertutup

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*)[2].

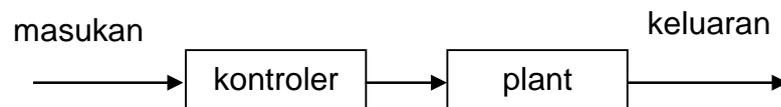
Contoh dari sistem loop terbuka adalah operasi mesin cuci. Penggilingan

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.

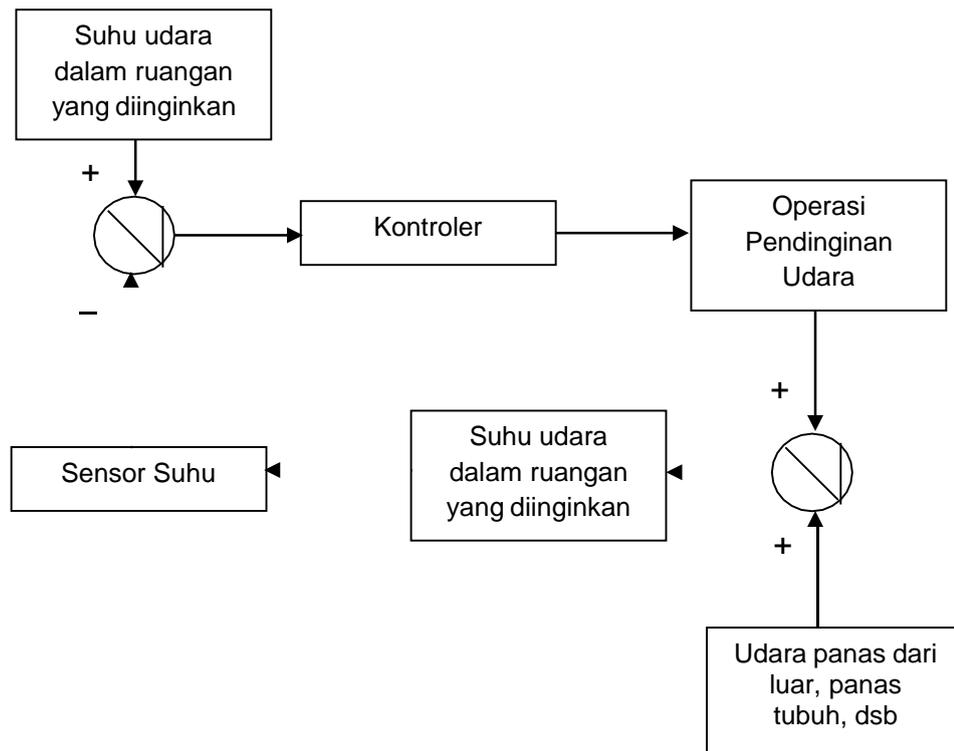


Gambar 1.6. Sistem Kontrol Loop Terbuka

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[5].

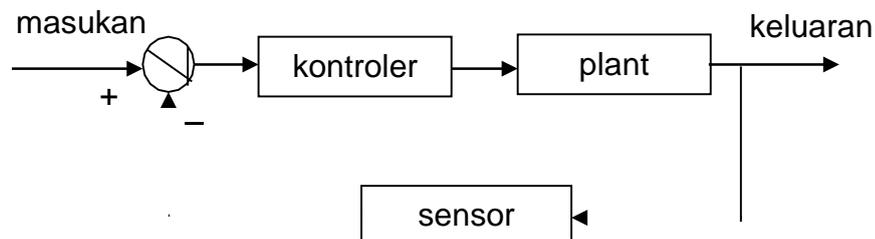


Gambar 1.7. Proses Umpan Balik Pendingin Udara (AC)

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, sedangkan pengujian terhadap masukan sinusoidal dimana fungsi frekuensi sangat diperhatikan.

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 dari buku ini akan memperinci penjelasan mengenai konsep kestabilan dan cara-cara mendapatkannya.

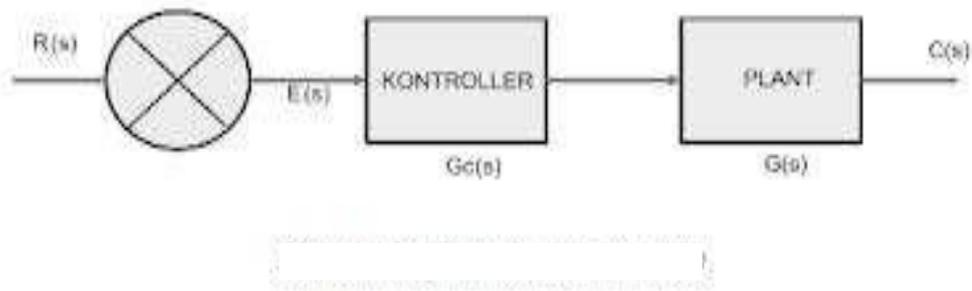
Dalam menganalisa suatu sistem kontrol dan usaha perbaikan kinerja sistem seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, diperlukan penggambaran-penggambaran secara grafis yang dapat memvisualisasikan karakteristik suatu sistem.

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.2.SISTEM KONTROL LOOP TERBUKA DAN TERTUTUP

2.1 Sistem Kontrol *Open Loop* dan *Close Loop*

Sistem Kontrol *Open Loop* atau kontrol lup terbuka adalah suatu sistem yang keluarannya tidak mempunyai pengaruh terhadap aksi kontrol. Artinya, sistem kontrol terbuka keluarannya tidak dapat digunakan sebagai umpan balik dalam masukan



Gambar 2.1 : Diagram blok *system open loop*

Dari gambar 2.1 di atas dapat diketahui persamaan untuk sistem lup terbuka :

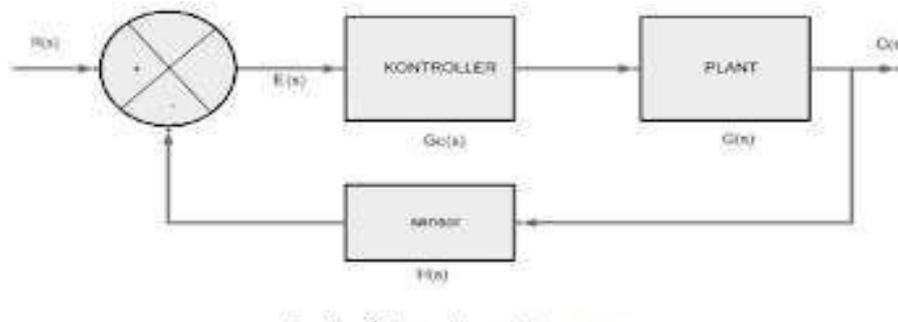
$$C(s) = R(s) \cdot G_c(s) \cdot G(s)$$

$$\frac{C(s)}{R(s)} = G_c(s) \cdot G(s)$$

Dalam suatu sistem kontrol terbuka, keluaran tidak dapat dibandingkan dengan masukan acuan. Jadi, untuk setiap masukan acuan berhubungan dengan operasi tertentu, sebagai akibat ketetapan dari sistem tergantung kalibrasi. Dengan adanya gangguan, *system control open loop* tidak dapat melaksanakan tugas sesuai yang diharapkan. *System control open loop* dapat digunakan hanya jika hubungan antara masukan dan keluaran diketahui dan tidak terdapat gangguan internal maupun eksternal.

Sistem kontrol lup tertutup (*Close Loop*)
Sistem kontrol lup tertutup adalah sistem kontrol yang sinyal keluarannya mempunyai pengaruh langsung pada aksi pengontrolan, sistem kontrol lup tertutup juga merupakan sistem kontrol berumpan balik. Sinyal kesalahan

penggerak, yang merupakan selisih antara sinyal masukan dan sinyal umpan balik (yang dapat berupa sinyal keluaran atau suatu fungsi sinyal keluaran atau turunannya, diumpangkan ke kontroler untuk memperkecil kesalahan dan membuat agar keluaran sistem mendekati harga yang diinginkan. Dengan kata lain, istilah “lup tertutup” berarti menggunakan aksi umpan – balik untuk memperkecil kesalahan sistem.



Gambar 2.2 : Sistem control lup tertutup

Dari gambar 2 di atas dapat diketahui persamaan yang digunakan dalam close loop sistem :

$$C(s) (1+H(s).G_c(s).G(s)) =R(s).G_c(s).G(s)$$

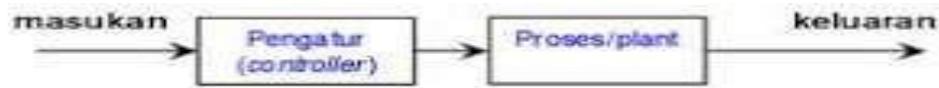
Pada Gambar 2.2 menunjukkan hubungan masukan dan keluaran dari sistem kontrol lup tertutup. Jika dalam hal ini manusia bekerja sebagai operator, maka manusia ini akan menjaga sistem agar tetap pada keadaan yang diinginkan, ketika terjadi perubahan pada sistem maka manusia akan melakukan langkah – langkah awal pengaturan sehingga sistem kembali bekerja pada keadaan yang diinginkan. Dalam hal lain jika kontroler otomatis digunakan untuk menggantikan operator manusia, sistem kontrol tersebut menjadi otomatis, yang biasa disebut sistem kontrol otomatis berumpan balik atau sistem kontrol lup tertutup, sebagai contoh adalah pengaturan temperatur. Sistem kontrol manual berumpan-balik dalam hal ini manusia bekerja dengan cara yang sama dengan sistem kontrol otomatis. Mata operator adalah analog dengan alat ukur kesalahan, otak analog dengan kontroler otomatis dan otot – ototnya

analog dengan aktuator. Hal inilah yang membedakan dengan sistem kontrol lup terbuka yang keluarannya tidak berpengaruh pada aksi pengontrolan, dimana keluaran tidak diukur atau diumpam-balikkan untuk dibandingkan dengan masukan. Sistem kontrol lup tertutup mempunyai kelebihan dari sistem kontrol lup terbuka yaitu penggunaan umpan-balik yang membuat respon sistem relatif kurang peka terhadap gangguan eksternal dan perubahan internal pada parameter sistem dan mudah untuk mendapatkan pengontrolan "Plant" dengan teliti, meskipun sistem lup terbuka mempunyai kelebihan yaitu kestabilan yang tak dimiliki pada sistem lup tertutup, kombinasi keduanya dapat memberikan performansi yang sempurna pada sistem.

2.2 Sistem kendali

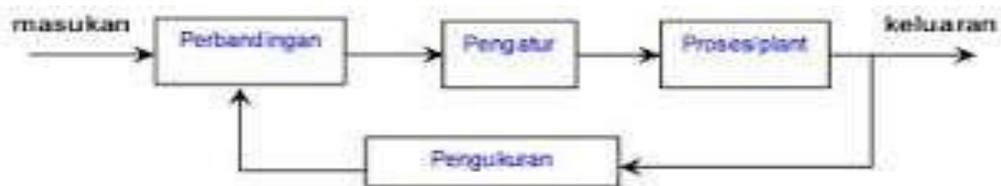
Dapat dikatakan sebagai hubungan antara komponen yang membentuk sebuah konfigurasi sistem, yang akan menghasilkan tanggapan sistem yang diharapkan. Jadi harus ada yang dikendalikan, yang merupakan suatu sistem fisis, yang biasa disebut dengan kendalian (*plant*). Masukan dan keluaran merupakan variabel atau besaran fisis. Keluaran merupakan hal yang dihasilkan oleh kendalian, artinya yang dikendalikan; sedangkan masukan adalah yang mempengaruhi kendalian, yang mengatur keluaran. Kedua dimensi masukan dan keluaran tidak harus sama.

Pada sistem kendali dikenal sistem lup terbuka (*open loop system*) dan sistem lup tertutup (*closed loop system*). Sistem kendali lup terbuka atau umpan maju (*feedforward control*) umumnya mempergunakan pengatur (*controller*) serta aktuator kendali (*control actuator*) yang berguna untuk memperoleh respon sistem yang baik. Sistem kendali ini keluarannya tidak diperhitungkan ulang oleh controller. Suatu keadaan apakah plant benar-benar telah mencapai target seperti yang dikehendaki masukan atau referensi, tidak dapat mempengaruhi kinerja kontroler



Gambar 2.3 : Sistem pengendalian lup terbuka

Pada sistem kendali yang lain, yakni sistem kendali lup tertutup (closed loop system) memanfaatkan variabel yang sebanding dengan selisih respon yang terjadi terhadap respon yang diinginkan. Sistem seperti ini juga sering dikenal dengan sistem kendali umpan balik. Aplikasi sistem umpan balik banyak dipergunakan untuk sistem kemudi kapal laut dan pesawat terbang. Perangkat sehari-hari yang juga menerapkan sistem ini adalah penyetelan temperatur pada almari es, oven, tungku, dan pemanas air.



Gambar 2.4 : Sistem pengendalian lup tertutup

Dengan sistem kendali gambar 2.4, kita bisa ilustasikan apabila keluaran aktual telah sama dengan referensi atau masukan maka input kontroler akan bernilai nol. Nilai ini artinya kontroler tidak lagi memberikan sinyal aktuasi kepada plant, karena target akhir perintah gerak telah diperoleh. Sistem kendali loop terbuka dan tertutup tersebut merupakan bentuk sederhana yang nantinya akan mendasari semua sistem pengaturan yang lebih kompleks dan rumit. Hubungan antara masukan (input) dengan keluaran (output) menggambarkan korelasi antara sebab dan akibat proses yang berkaitan. Masukan juga sering diartikan tanggapan keluaran yang diharapkan. Untuk mendalami lebih lanjut mengenai sistem kendali tentunya diperlukan pemahaman yang cukup tentang hal-hal yang berhubungan dengan sistem kontrol. Oleh karena itu selanjutnya akan dikaji beberapa istilah-istilah yang dipergunakan.

2.3. Istilah-istilah dalam sistem pengendalian

1. Masukan

Masukan atau input adalah rangsangan dari luar yang diterapkan ke sebuah sistem kendali untuk memperoleh tanggapan tertentu dari sistem pengaturan. Masukan juga sering disebut respon keluaran yang diharapkan.

2. Keluaran

Keluaran atau output adalah tanggapan sebenarnya yang didapatkan dari suatu sistem kendali.

3. *Plant*

Seperangkat peralatan atau objek fisik dimana variabel prosesnya akan dikendalikan, misalnya pabrik, reaktor nuklir, mobil, sepeda motor, pesawat terbang, pesawat tempur, kapal laut, kapal selam, mesin cuci, mesin pendingin (sistem AC, kulkas, *freezer*), penukar kalor (*heat exchanger*), bejana tekan (*pressure vessel*), robot dan sebagainya.

4. Proses

Berlangsungnya operasi pengendalian suatu variabel proses, misalnya proses kimiawi, fisika, biologi, ekonomi, dan sebagainya.

5. Sistem

Kombinasi atau kumpulan dari berbagai komponen yang bekerja secara bersama-sama untuk mencapai tujuan tertentu.

6. Diagram blok

Bentuk kotak persegi panjang yang digunakan untuk mempresentasikan model matematika dari sistem fisik. Contohnya adalah kotak pada gambar 1 atau 2.

7. Fungsi Alih (Transfer Function)

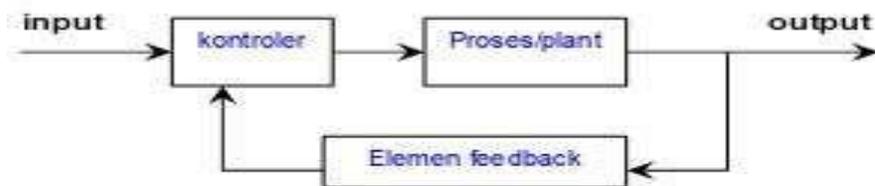
Perbandingan antara keluaran (output) terhadap masukan (input) suatu sistem pengendalian. Suatu misal fungsi alih sistem pengendalian loop terbuka gambar 1 dapat dicari dengan membandingkan antara output terhadap input. Demikian pula fungsi alih pada gambar

8. Sistem Pengendalian Umpan Maju (open loop system)

Sistem kendali ini disebut juga sistem pengendalian lup terbuka. Pada sistem ini keluaran tidak ikut andil dalam aksi pengendalian sebagaimana dicontohkan gambar 1. Di sini kinerja kontroler tidak bisa dipengaruhi oleh input referensi.

9. Sistem Pengendalian Umpan Balik

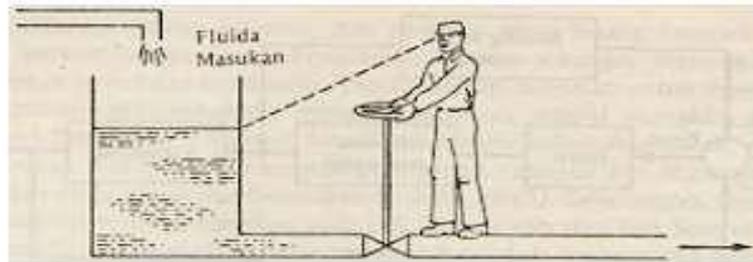
Istilah ini sering disebut juga sistem pengendalian loop tertutup. Pengendalian jenis ini adalah suatu sistem pengaturan dimana sistem keluaran pengendalian ikut andil dalam aksi kendali.



Gambar 2.5 : Sistem pengendalian lup tertutup

10. Sistem Pengendalian Manual

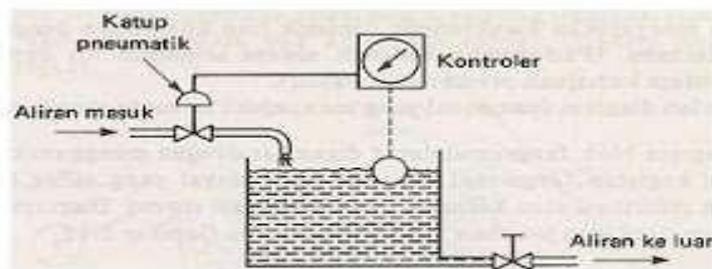
Sistem pengendalian dimana faktor manusia sangat dominan dalam aksi pengendalian yang dilakukan pada sistem tersebut. Peran manusia sangat dominan dalam menjalankan perintah, sehingga hasil pengendalian akan dipengaruhi pelakunya. Pada sistem kendali manual ini juga termasuk dalam kategori sistem kendali jerat tertutup. Tangan berfungsi untuk mengatur permukaan fluida dalam tangki. Permukaan fluida dalam tangki bertindak sebagai masukan, sedangkan penglihatan bertindak sebagai sensor. Operator berperan membandingkan tinggi sesungguhnya saat itu dengan tinggi permukaan fluida yang dikehendaki, dan kemudian bertindak untuk membuka atau menutup katup sebagai aktuator guna mempertahankan keadaan permukaan yang diinginkan.



Gambar 2.6 : sistem pengendalian level cairan secara manual

11. Sistem Pengendalian Otomatis

Sistem pengendalian dimana faktor manusia tidak dominan dalam aksi pengendalian yang dilakukan pada sistem tersebut. Peran manusia digantikan oleh sistem kontroler yang telah diprogram secara otomatis sesuai fungsinya, sehingga bisa memerankan seperti yang dilakukan manusia. Di dunia industri modern banyak sekali sistem kendali yang memanfaatkan kontrol otomatis, apalagi untuk industri yang bergerak pada bidang yang prosesnya membahayakan keselamatan jiwa manusia.



Gambar 2.7 : Sistem pengendalian level cairan secara otomatis

12. Variabel terkendali (*Controlled variable*)

Besaran atau variabel yang dikendalikan, biasanya besaran ini dalam diagram kotak disebut *process variable* (PV). Level fluida pada bejana pada gambar 4 merupakan variabel terkendali dari proses pengendalian. Temperatur

pada gambar 5 merupakan contoh variabel terkendali dari suatu proses pengaturan.

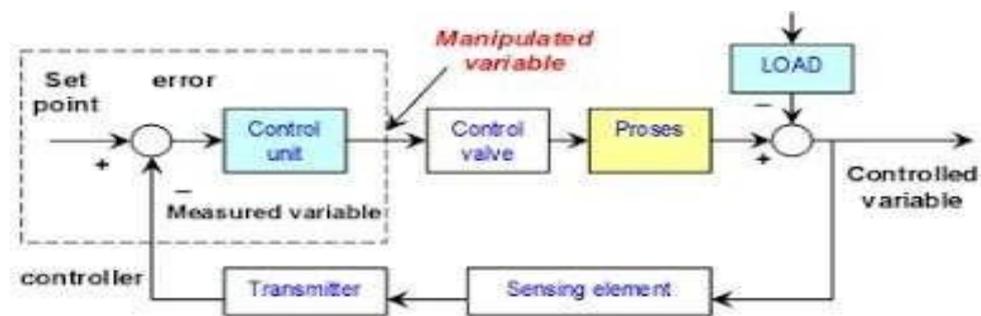
13. Manipulated variable

Masukan dari suatu proses yang dapat diubah-ubah atau dimanipulasi agar process variable besarnya sesuai dengan *set point* (sinyal yang diumpangkan pada suatu sistem kendali yang digunakan sebagai acuan untuk menentukan keluaran sistem kontrol). Masukan proses pada gambar 4 adalah laju aliran fluida yang keluar dari bejana, sedangkan masukan proses dari gambar 5 adalah laju aliran fluida yang masuk menuju bejana. Laju aliran diatur dengan mengendalikan bukaan katup.

14. Sistem Pengendalian Digital

Dalam sistem pengendalian otomatis terdapat komponen-komponen utama seperti elemen proses, elemen pengukuran (sensing element dan transmitter), elemen *controller* (*control unit*), dan *final control element*

(*control value*).



Gambar 2.8 : sistem pengendalian digital

15. Gangguan (*disturbance*)

Suatu sinyal yang mempunyai kecenderungan untuk memberikan efek yang melawan terhadap keluaran sistem pengendalian (variabel terkendali). Besaran ini juga lazim disebut *load*

16. Sensing element

Bagian paling ujung suatu sistem pengukuran (*measuring system*) atau sering disebut sensor. Sensor bertugas mendeteksi gerakan atau fenomena lingkungan yang diperlukan sistem kontroler. Sistem dapat dibuat dari sistem yang paling sederhana seperti sensor on/off menggunakan *limit switch*, sistem analog, sistem bus paralel, sistem bus serial serta sistem mata kamera. Contoh sensor lainnya yaitu *thermocouple* untuk pengukur temperatur, *accelerometer* untuk pengukur getaran, dan *pressure gauge* untuk pengukur tekanan.

17. Transmitter

Alat yang berfungsi untuk membaca sinyal sensing element dan mengubahnya supaya dimengerti oleh *controller*.

18. Aktuator

Piranti elektromekanik yang berfungsi untuk menghasilkan daya gerakan. Perangkat bisa dibuat dari system motor listrik (*motor DC servo, motor DC stepper, ultrasonic motor, linier motor, torque motor, solenoid*), sistem pneumatik dan hidrolik. Untuk meningkatkan tenaga mekanik aktuator atau torsi gerakan maka bisa dipasang sistem *gear box* atau *sprocket chain*.

19. Transduser

Piranti yang berfungsi untuk mengubah satu bentuk energi menjadi energi bentuk lainnya atau unit pengalih sinyal. Suatu contoh mengubah sinyal gerakan mekanis menjadi energi listrik yang terjadi pada peristiwa pengukuran getaran. Terkadang antara transmitter dan transduser dirancukan, keduanya memang mempunyai fungsi serupa. Transduser lebih bersifat umum, namun transmitter pemakaiannya pada sistem pengukuran.

20. Measurement Variable

Sinyal yang keluar dari transmitter, ini merupakan cerminan sinyal pengukuran.

21. Setting point

Besar variabel proses yang dikehendaki. Suatu kontroler akan selalu berusaha menyamakan variabel terkendali terhadap set point.

22. Error

Selisih antara set point dikurangi variabel terkendali. Nilainya bisa positif atau negatif, bergantung nilai set point dan variabel terkendali. Makin kecil error terhitung, maka makin kecil pula sinyal kendali kontroler terhadap plant hingga akhirnya mencapai kondisi tenang (*steady state*)

23. Alat Pengendali (*Controller*)

Alat pengendali sepenuhnya menggantikan peran manusia dalam mengendalikan suatu proses. Controller merupakan elemen yang mengerjakan tiga dari empat tahap pengaturan, yaitu

- membandingkan set point dengan *measurement variable*
- menghitung berapa banyak koreksi yang harus dilakukan, dan
- mengeluarkan sinyal koreksi sesuai dengan hasil perhitungannya,

24. Control Unit

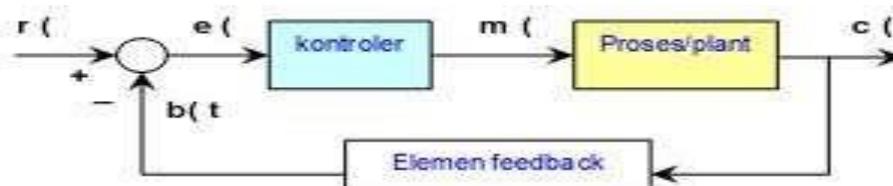
Bagian unit kontroler yang menghitung besarnya koreksi yang diperlukan.

25. Final Controller Element

Bagian yang berfungsi untuk mengubah *measurement variable* dengan memanipulasi besarnya *manipulated variable* atas dasar perintah kontroler.

26. Sistem Pengendalian Kontinyu

Sistem pengendalian yang berjalan secara kontinyu, pada setiap saat respon sistem selalu ada. Pada gambar 2.9 Sinyal $e(t)$ yang masuk ke kontroler dan sinyal $m(t)$ yang keluar dari kontroler adalah sinyal kontinyu.



Gambar 2.9 : sistem pengendalian kontinyu

2.3 Klasifikasi

Sistem kontrol dapat diklasifikasikan berdasarkan:

1. Rangkaian Sinyal Pengendalian

Rangkaian sinyal pengendalian terdiri dari :

a. Sistem kontrol loop terbuka (*open loop control system*)

Adalah sistem kontrol dimana aksi pengontrolannya (*input*) berdiri sendiri, tidak tergantung dari keluaran (*out put*) dari proses.

b. Sistem kontrol loop tertutup (*close loop control system*)

Adalah sistem kontrol dimana aksi pengontrolannya tergantung dari keluaran (*out put*). Sistem ini dapat bekerja secara manual atau otomatis. Pada sistem ini tidak memerlukan kalibrasi yang tinggi karena ada sistem umpan balik (*feed back*) dalam melaksanakan kontrolnya.

Umpan balik (*feedback*) adalah merupakan sifat dari sistem kontrol loop tertutup yang memungkinkan keluaran dibandingkan dengan masukan terhadap sistem sehingga aksi kontrol lebih akurat. Sehingga pada sistem ini setiap perubahan nilai *output* mempengaruhi pengendalian. Contoh : sistem mesin kemudi dan pengontrolan terhadap sistem pemanasan air.

2. Medianya

Jenis medianya terdiri dari :

a. Cara Pneumatik / Angin (*Pneumatic control system*)

Dasar - Dasar Pneumatik

Komponen pneumatik beroperasi pada tekanan 8 s.d. 10 bar, tetapi dalam praktik dianjurkan beroperasi pada tekanan 5 s.d. 6 bar untuk penggunaan yang ekonomis. Beberapa bidang aplikasi di industri yang menggunakan media pneumatik dalam hal penanganan material adalah sebagai berikut :

- 1). Pencekaman benda kerja
- 2). Penggeseran benda kerja
- 3). Pengaturan posisi benda k

Penerapan pneumatik secara umum :

- (a). Pengemasan
(*packaging*)
- (b). Pemakanan
(*feeding*)
- (c). Pengukuran
(*metering*)
- (d). Pengaturan buka dan tutup (*door or chute control*)
- (e). Pemindahan material (*transfer of materials*)
- (f). Pemutaran dan pembalikan benda kerja (*turning and inverting of parts*)
- (g). Pemilahan bahan (*sorting of parts*)
- (h). Penyusunan benda kerja (*stacking of components*)
- (i). Pencetakan benda kerja (*stamping and embosing of components*)

Susunan sistem pneumatik adalah sebagai berikut :

- (a). Catu daya (*energi supply*)
- (b). Elemen masukan (*sensors*)
- (c). Elemen pengolah (*processors*)
- (d). Elemen kerja (*actuators*)

1. Alasan Pemakaian Pneumatik

Dalam penggunaannya sistem pneumatik diutamakan karena beberapa hal yaitu :

- a. paling banyak dipertimbangkan untuk beberapa mekanisasi,
- b. dapat bertahan lebih baik terhadap keadaan-keadaan tertentu

2. Keuntungan Pemakaian Pneumatik

- a. Merupakan media/fluida kerja yang mudah didapat dan mudah diangkut .
- b. Dapat disimpan dengan mudah.
- c. Bersih dan kering.
- d. Aman terhadap kebakaran dan ledakan
- e. Tidak diperlukan pendinginan fluida kerja
- f. Rasional (menguntungkan)
- g. Kesederhanaan (mudah pemelihara

- h. Sifat dapat bergerak
 - i. Aman
 - j. Dapat dibebani lebih (tahan pembebanan lebih)
 - k. Jaminan bekerja besar
 - l. Biaya pemasangan murah
 - m. Pengawasan (kontrol)
 - n. Fluida kerja cepat
 - o. Dapat diatur tanpa bertingkat
 - p. Ringan sekali
 - q. Kemungkinan penggunaan lagi (ulang)
 - r. Konstruksi kokoh
 - s. Fluida kerja murah
3. Kerugian / terbatasnya Pneumatik
- a. Ketermampatan (udara).
 - b. Gangguan Suara (Bising)
 - c. Kegerbakan (volatile)
 - d. Kelembaban udara
 - e. Bahaya pembekuan
 - f. Kehilangan energi dalam bentuk kalor.
 - g. Pelumasan udara bertekanan
 - h. Gaya tekan terbatas
 - i. Ketidakteraturan
 - j. Tidak ada sinkronisasi
 - k. Biaya energi tinggi
4. Pemecahan Kerugian Pneumatik
- Pada umumnya, hal-hal yang merugikan dapat dikurangi atau dikompensasi dengan :
- a. Peragaman yang cocok dari komponen-komponen maupun alat pneumatik.
 - b. Pemilihan sebaik mungkin sistem pneumatik yang dibutuhkan

c. Kombinasi yang sesuai dengan tujuannya dari berbagai sistem penggerakan dan pengendalian (elektrik, pneumatik dan hidrolis).

2. Cara Hidrolis (*Hydraulic control system*)

Kapasitas aliran *lubricating oil* memiliki toleransi 0 - 12%, Sedangkan toleransi untuk kapasitas aliran *cooling water* adalah 0 – 10%. Untuk menjamin bahwa cooler LO berfungsi dengan baik direkomendasikan temperatur sea water diatur supaya tidak kurang dari 100 C. Katup pengontrol temperatur (*thermostatic valve*) sebagai alat untuk mengontrol temperature pelumas yang sudah didinginkan, pada system ini digunakan katup dengan jenis *three way* yang diset untuk membuka pada temperature $\leq 450C$. Angka 45 diambil berdasarkan range temperatur inlet engine sebesar 400 – 500 C. *Full flow filter* dipasang untuk menjamin bahwa kebersihan pelumas yang akan disuply ke engine.

3. Kombinasi

Sistem kontrol ini bisa menggunakan kombinasi antara sistem kontrol hidrolis dan elektrik maupun antara sistem kontrol pneumatik dan elektrik. Sehingga otomatis sistem kontrol ini akan menggabungkan beberapa cara dari sistem kontrol yang akan menyempurnakan keuntungan dari sistem kontrol ini (lebih menguntungkan). Tetapi tentunya faktor kerugiannya terdapat pada biaya didalam operasional maupun perawatan dan penempatannya.

4. Sistem Kontrol Pengoperasian Mesin Induk

Mesin induk bisa dioperasikan secara manual dari MCR melalui sistem remote kontrol pneumatic atau dari anjungan melalui sistem *remote control* otomatis. Bilamana dioperasikan dari anjungan, tuas pemindahan harus di set pada posisi *bridge control*. Setiap perubahan perintah di anjungan selama operasi dengan remote kontrol otomatis dari anjungan, menyebabkan nadanya sinyal acoustic pendek pada MCR. Pada sistem

siemens supplied engine telegraph, posisi telegraph di anjungan memungkinkan juga ditunjukkan di MCR.

1. Pemindahan Pengoperasian

Pemindahan pengoperasiannya ada beberapa cara , antara lain sebagai berikut ini :

a. *Changeover to bridge control*

Bila *power supply* telah dihidupkan dan tuas pemindah di set pada posisi *bridge control* berarti sistem *remote control* disiapkan untuk pengoperasian dari anjungan. Pada saat pemindahan pengoperasian lampu manual mati, lampu *bridge* berkedip dan *audible alarm* menyala. Pemindahan pengoperasian ke *bridge control* secara penuh dilaksanakan dengan menekan tombol bercahaya *bridge* di kontrol anjungan. *Alarm* sekarang padam dan lampu *bridge* yang berkedip berganti jadi menyala tetap. Dan sekarang di dalam pengoperasian sepenuhnya dilaksanakan dari anjungan.

b. *Change over to manual*

Dengan menggerakkan kembali tuas pembalik dari posisi *bridge control*, pengendalian dapat setiap saat dipindahkan lagi ke mesin tanpa waktu tunda. Hal ini ditunjukkan dengan lampu manual. Sebelum pemindahan dilaksanakan tuas pengaturan kecepatan harus ditempatkan pada posisi pengaturan kecepatan saat itu untuk menjaga perubahan kecepatan yang mendadak selama pemindahan. Lampu *bridge* yang berkedip dan *audible alarm* menunjukkan bahwa sistem *remote* kontrol otomatis yang dioperasikan dari anjungan tidak lama lagi akan diindahkan. Dengan menekan tombol *bridge* tersebut berarti pemindahan kontrol dibatalkan.

2. Menjalankan

Cara menjalankannya seperti di bawah ini :

a. Pindahkan tuas telegraph dari posisi stop ke posisi ahead atau astern.

b. *Rate transmitter* di set pada *starting reference value*.

Bila mesin diesel yang dijalankan dengan udara star melampaui batas putaran yang ditetapkan *cut off speed 1* akan menyebabkan katup *solenoid start* untuk udara start akan *de energize*. Bila mesin tidak berhasil dijalankan pada usaha start yang pertama, maka proses yang dijelaskan di atas akan diulangi secara otomatis pada saat kecepatan mesin turun di bawah nilai minimum.

3. Mematikan

Pindahkan tuas telegraph pada posisi off, hal ini menyebabkan katup selenoid *ahead* atau *astern* akan *de energize* tanpa ditunda, selanjutnya tuas bahan bakar bergerak ke posisi stop dan nilai *refern* kecepatan nol (*zero speed reference value*) diajukan ke *woodward governor*.

BAB III SISTEM PENGENDALIAN

3.1.Sistem Pengendalian

Secara umum sistem pengendalian adalah susunan komponen-komponen fisik yang dirakit sedemikian rupa sehingga mampu mengatur sistemnya sendiri atau sistem diluarnya. Sistem kontrol adalah proses pengaturan atau pengendalian terhadap satu atau beberapa besaran (variabel, parameter) sehingga berada pada suatu harga atau range tertentu. Istilah lain sistem kontrol atau teknik kendali adalah teknik pengaturan, sistem pengendalian, atau sistem pengontrolan (Pakpahan,1988).

Sistem pengendalian atau teknik pengaturan juga dapat didefinisikan suatu usaha atau perlakuan terhadap suatu sistem dengan masukan tertentu guna mendapatkan keluaran sesuai yang diinginkan. Dalam buku berjudul "Modern Control Systems", bahwa sistem pengaturan merupakan hubungan timbal balik antara komponen-komponen yang membentuk suatu konfigurasi sistem yang memberikan suatu hasil yang dikehendaki berupa respon (Dorf, 1983).

Contoh sistem pengaturan yang paling mendasar adalah kendali on-off saklar listrik. Aktivitas menghidupkan dan mematikan saklar menyebabkan adanya situasi saklar hidup atau mati. Masukan on atau off mengakibatkan terjadinya proses pada suatu pengendalian saklar listrik sehingga sistem bekerja sesuai dengan kondisi yang diinginkan, yaitu listrik menyala atau mati. Keadaan on-off (hidup atau mati) merupakan masukan, sedangkan mengalir dan tidak mengalirnya listrik merupakan keluaran. Suatu keadaan dimana listrik sudah dihidupkan namun

tidak menyala, berarti ada yang salah pada sistem tersebut. Proses yang dicontohkan itu mengilustrasikan sistem kendali yang terjadi secara manual.

Secara umum ada empat aspek yang berkaitan dengan sistem pengendalian yaitu masukan, keluaran, sistem dan proses. Masukan (input) adalah rangsangan dari luar yang diterapkan ke sebuah sistem kendali untuk memperoleh tanggapan tertentu dari sistem pengaturan. Keluaran (output) adalah tanggapan sebenarnya yang didapatkan dari suatu sistem kendali. Tanggapan ini bisa sama dengan masukan atau mungkin juga tidak sama dengan tanggapan pada masukannya. Untuk menggambarkan sistem pengendalian, kita bisa ilustrasikan dengan sebuah perangkat yang sering dikenal dalam kehidupan sehari-hari yaitu "sekering". Sekering merupakan alat yang dipergunakan untuk memutus arus listrik dan biasanya dipasang pada instalasi listrik PLN atau perangkat elektronik. Sekering akan putus apabila diberi beban arus listrik yang berlebihan, dan akibatnya lampu akan padam. Fenomena ini menunjukkan bahwa sebenarnya terjadi pengukuran terhadap aliran listrik, membandingkan terhadap kapasitas maksimal, dan selanjutnya melakukan langkah koreksi dengan cara memutus arus. Proses yang dicontohkan itu menggambarkan sistem kendali yang terjadi secara otomatis.

Menurut Distefano dkk (1992), ada tiga jenis sistem pengaturan dasar yakni:

1. Pengendalian Alamiah contohnya pengendalian suhu tubuh manusia, mekanisme buka-tutup pada jantung, sistem peredaran darah, sistem syaraf, sistem kendali pankreas dan kadar gula dalam darah, sistem pengaturan adrenalin, dan sistem kendali lainnya yang ada pada makhluk hidup.
2. Pengendalian Buatan contohnya yaitu mekanisme on-off pada saklar listrik, mekanisme buka-tutup pada keran air, sistem kontrol untuk menghidupkan dan

mematikan televisi/radio/tape, kendali pada mainan anak-anak, pengaturan pada kendali suhu ruangan ber-AC, serta kendali perangkat elektronik seperti pada kulkas, freezer dan mesin cuci.

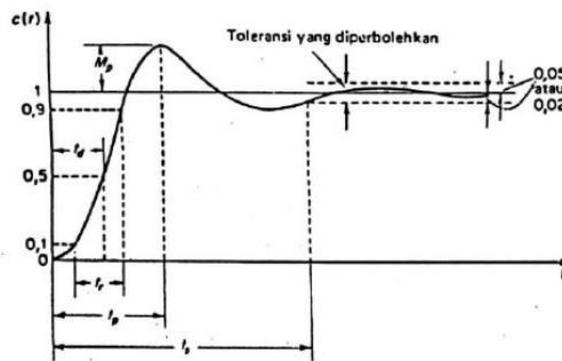
3. Sistem Kendali yang komponennya buatan dan alamiah contohnya adalah pengendalian ketika orang mengendarai sepeda, motor atau mobil. Pengendara senantiasa mempergunakan matanya sebagai komponen alamiah untuk mengamati keadaan, disamping itu pengendara juga mengatur kecepatan berkendara dengan mengatur putaran mesinnya yang merupakan komponen buatan.

3.2.Sistem Pengendalian Proses

Sistem pengendalian proses adalah gabungan kerja dari alat-alat pengendalian otomatis. Semua peralatan yang membentuk sistem pengendalian disebut instrumentasi pengendalian proses. Contoh sederhana instrumentasi pengendalian proses adalah saklar temperatur yang bekerja secara otomatis mengendalikan suhu setrika. Instrumentasi pengendalinya disebut temperature switch, saklar akan memutuskan arus listrik ke elemen pemanas apabila suhu setrika ada di atas titik yang dikehendaki. Sebaliknya saklar akan mengalirkan arus listrik ke elemen pemanas apabila suhu setrika ada di bawah titik yang dikehendaki. Pengendalian jenis ini adalah kendali ON-OFF.

Tujuan utama dari suatu sistem pengendalian adalah untuk mendapatkan kerja yang optimal pada suatu sistem yang dirancang. Untuk mengukur performansi dalam pengaturan, biasanya diekspresikan dengan ukuran-ukuran waktu naik (t_r), waktu puncak (t_p), settling time (t_s), maximum overshoot (M_p), waktu tunda / delay time (t_d), nilai error, dan damping ratio. Nilai tersebut bisa diamati pada respon transien dari suatu sistem pengendalian, misal gambar 1 Dalam optimisasi agar

mencapai target optimal sesuai yang dikehendaki, maka sistem kontrol berfungsi : melakukan pengukuran (measurement), membandingkan (comparison), pencatatan dan penghitungan (computation) dan perbaikan (correction).



Gambar 1. Respon Transien Sistem Pengendalian
(Marwan Effendy, 2011)

Pengendalian proses adalah disiplin rekayasa yang melibatkan mekanisme dan algoritma untuk mengendalikan keluaran dari suatu proses dengan hasil yang diinginkan. Contohnya, temperatur reaktor kimia harus dikendalikan untuk menjaga keluaran produk.

Pengendalian proses banyak sekali digunakan pada industri dan menjaga konsistensi produk produksi massal seperti proses pada pengilangan minyak, pembuatan kertas, bahan kimia, pembangkit listrik, dan lainnya. Pengendalian proses mengutamakan optimasi sehingga hanya diperlukan sedikit personel untuk mengoperasikan proses yang kompleks.

Sebagai contoh adalah sistem pengaturan temperatur ruangan agar temperatur ruangan terjaga konstan setiap saat, misalnya pada 20 °C. Pada kasus ini, temperatur disebut sebagai variabel terkendali. Selain itu, karena temperatur diukur oleh suatu termometer dan digunakan untuk menentukan kerja pengendali (apakah ruangan perlu didinginkan atau tidak), temperatur juga merupakan variabel input. Temperatur yang diinginkan (20 °C) adalah setpoint. Keadaan dari pendingin

(misalnya laju keluaran udara pendingin) dinamakan variabel termanipulasi karena merupakan variabel yang terkena aksi pengendalian.

Alat pengendalian yang umum digunakan adalah Programmable Logic Controller (PLC). Alat ini digunakan untuk membaca input analog maupun digital, melakukan serangkaian program logika, dan menghasilkan serangkaian output analog maupun digital. Pada kasus sistem pengaturan temperatur, temperatur ruangan menjadi input bagi PLC. Pernyataan-pernyataan logis akan membandingkan setpoint dengan masukan nilai temperatur dan menentukan apakah perlu dilakukan penambahan atau pengurangan pendinginan untuk menjaga temperatur agar tetap konstan. Output dari PLC akan memperbesar atau memperkecil aliran keluaran udara pendingin bergantung pada kebutuhan. Untuk suatu sistem pengendalian yang kompleks, perlu digunakan sistem pengendalian yang lebih kompleks daripada PLC. Contoh dari sistem ini adalah Distributed Control System (DCS) atau sistem SCADA.

3.3.Parameter parameter yang dikendalikan

Ada banyak parameter yang harus dikendalikan di dalam suatu proses diantaranya yang paling umum ada empat yaitu

1. Tekanan (pressure) di dalam suatu pipa/vessel,
2. Laju aliran (flow) didalam pipa
3. Temperatur di unit proses penukar kalor (heat exchanger), dan
4. Level permukaan cairan di sebuah tangki.

Disamping dari keempat tersebut diatas, parameter lain yang dianggap penting dan perlu dikendalikan karena keperluan spesifik proses diantaranya pH di industri kimia, warna produk di industri pencairan gas (LNG). Apabila yang dikendalikan pada sistem pengaturan adalah tekanan pada proses pembakaran di

ruang bakar, maka sistem pengendaliannya disebut sistem kendali tekanan pembakaran di ruang bakar. Jika yang dikendalikan adalah temperatur pada sebuah alat penukar kalor, maka sistem pengendaliannya disebut sistem kendali temperatur alat penukar kalor. Apabila yang dikontrol adalah level fluida pada bejana tekan suatu industri perminyakan, maka system kontrolnya dinamakan sistem kendali level cairan. Hal ini perlu dimengerti karena terkadang orang salah dalam penggunaan suatu kalimat, misalnya sistem kendali pesawat terbang. Pernyataan ini akan lebih lengkap jika diketahui variabel yang dikendalikan pada pesawat tersebut, apakah kecepatan terbang pesawat, ketinggian terbang, gerak rolling atau gerak pitching.

3.4. Aliran Fluida

3.4.1. Aliran laminar

Aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan - lapisan, atau lamina - lamina dengan satu lapisan meluncur secara lancar. Dalam aliran laminar ini viskositas berfungsi untuk meredam kecenderungan terjadinya gerakan relative antara lapisan. Sehingga aliran laminar memenuhi hukum viskositas Newton yaitu :

$$r = \mu \frac{du}{dy}$$

3.4.2. Aliran turbulen

Aliran dimana pergerakan dari partikel - partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami pencampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida kebagian fluida yang lain dalam skala yang besar. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata diseluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian - kerugian aliran.

3.4.3. Aliran transisi

Aliran transisi merupakan aliran peralihan dari aliran laminar ke aliran turbulen.

3.4.4. Hukum Bernouli

Hukum Bernouli dapat dicontohkan pada sebuah pipa, jika terdapat aliran fluida pada suatu pipa yang luas penampang dan ketinggiannya tidak sama. Misalnya massa jenis fluida ρ , kecepatan fluida pada penampang A1 sebesar V_1 , dalam waktu t panjang bagian system yang bergerak ke kanan $V_1 \cdot t$. Pada penampang A2 kecepatan V_2 dan dalam waktu t system yang bergerak ke kanan $V_2 \cdot t$.

Pada penampang A1 fluida mendapat tekanan p_1 dari fluida di kirinya dan pada penampang A2 mendapat tekanan : dari fluida di kananya. Gaya pada A1 adalah $F_1 = P_1 \cdot A_1$ dan penampang A2 adalah $F_2 = P_2 \cdot A_2$.

Dan dapat dirumuskan

$$p + \frac{1}{2}\rho \cdot V^2 + \rho \cdot g \cdot h = \text{konstan}$$

Rumus di atas dinamakan persamaan Bernouli untuk aliran fluida yang tidak kompresibel. Persamaan tersebut pertama kali diajukan oleh Daniel Bernouli dalam teorinya *Hidrodinamika*.

3.4.5. Dinamika Proses

Pabrik kimia merupakan susunan/rangkaian berbagai unit pengolahan yang terintegrasi satu sama lain secara sistematis dan rasional. Tujuan pengoperasian pabrik secara keseluruhan adalah mengubah (mengkonversi) bahan baku menjadi produk yang lebih bernilai guna. Dalam pengoperasiannya,

pabrik akan selalu mengalami gangguan (*disturbance*) dari lingkungan eksternal. Selama beroperasi, pabrik harus terus mempertimbangkan aspek keteknikan, keekonomisan, dan kondisi sosial agar tidak terlalu signifikan terpengaruh oleh perubahan-perubahan eksternal tersebut.

Dinamika proses menunjukkan unjuk kerja proses yang profilnya selalu berubah terhadap waktu. Dinamika proses selalu terjadi selama sistem proses belum mencapai kondisi tunak. Keadaan tidak tunak terjadi karena adanya gangguan terhadap kondisi proses yang tunak. Agar proses selalu stabil, karakteristik dinamika sistem proses dan sistem pemroses harus diidentifikasi. Jika dinamika peralatan dan perlengkapan operasi sudah dipahami, akan mudah dilakukan pengendalian, pencegahan kerusakan, dan pemantauan tempat terjadi kerusakan apabila unjuk kerja peralatan berkurang dan peralatan bekerja tidak sesuai dengan spesifikasi operasinya. Pembelajaran tentang dinamika proses penting untuk meramalkan kelakuan proses dalam suatu kondisi tertentu. Peramalan kelakuan proses perlu dilakukan untuk perancangan pengendalian proses yang bertujuan :

- Menekan pengaruh gangguan.
- Menjamin kestabilan proses.
- Mengoptimalkan performa sistem proses.
- Menjaga keamanan dan keselamatan kerja.
- Memenuhi spesifikasi produk yang diinginkan.
- Menjaga agar operasi tetap ekonomis.
- Memenuhi persyaratan lingkungan.

Dinamika Proses adalah suatu hal yang terjadi di dalam suatu sistem, dengan adanya *process variable* yang cepat berubah dengan berubahnya *manipulated variabel* (bukan contoh *valve*), ada pula yang lambat berubah. Ada proses yang sifatnya lamban, ada yang reaktif, ada yang mudah stabil, dan adapula yang mudah menjadi tidak stabil. Sehingga, pengendalian proses akan berbeda-beda. (Frans Gunterus, 1994).

Dalam dinamika proses sering dikaitkan dengan unsur kapasitas (*capacity*) dan kelambatan (*lag*). Dalam bahasa ilmu sistem pengendalian, dikatakan kapasitas proses tergantung pada sumber energi yang bekerja pada proses. Kalau sumber energi kecil dan kapasitas prosesnya besar, proses akan menjadi lambat. Kalau sumber energinya besar dan kapasitasnya prosesnya kecil, proses akan menjadi cepat.

Kata kapasitas dan kelambatan itulah yang kemudian dipakai sebagai standar (ukuran) untuk menyatakan dinamika proses secara kualitatif. Dalam bentuk kualitatif, proses dibedakan menjadi proses cepat dan proses lambat, atau kapasitas besar dan kapasitas kecil. Selain bentuk kualitatif, dinamika proses juga dinyatakan secara kuantitatif dalam bentuk *transfer function*. Secara umum, *transferfunction* suatu elemen proses ditandai dengan huruf G, dan gambar dalam bentuk diagram kotak seperti pada gambar berikut :



$$\text{Output} = G \times \text{input}$$

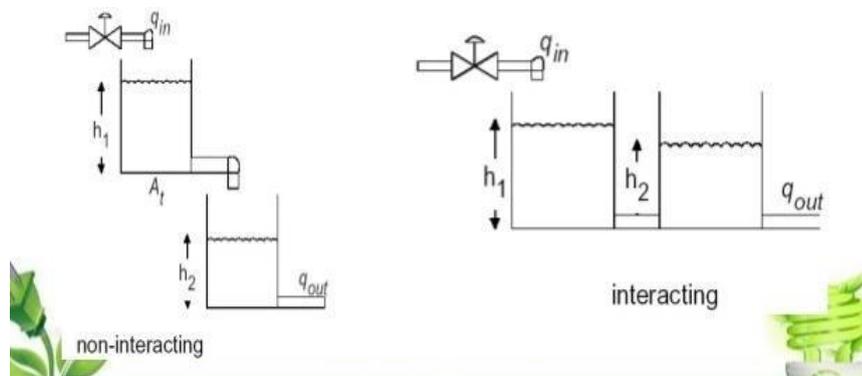
Gambar 2. Diagram Kontak Sebuah Proses
(Frans Gunterus, 1994)

Transfer function (G) mempunyai dua unsur *gain*, yaitu *steady state gain* yang sifatnya statik, dan *dynamic gain* yang sifatnya dinamik. Unsur *dynamic gain* muncul karena elemen proses mengandung unsur kelambatan. Oleh karena itu, bentuk *transfer function* elemen proses hampir pasti berbentuk persamaan matematika fungsi waktu yang ada dalam wujud persamaan differensial.

Persamaan differensial adalah persamaan yang menyatakan adanya kelambatan antara *input-output* suatu elemen proses. Semakin banyak pangkat persamaan differensial, semakin lambat dinamika proses. Sebuah elemen proses kemudian dinamai orde satu (*first order process*) karena persamaan differensialnya berpangkat satu. Dinamai proses orde dua (*second order process*) karena differensialnya berpangkat dua. Dinamai proses orde banyak (*high order process*) karena differensialnya berorde banyak. Pangkat persamaan dalam differensial juga mencerminkan jumlah kapasitas yang ada di elemen proses. Suatu orde satu juga disebut *one capacity process* atau *single capacity process*. Proses orde dua juga disebut *two capacity process*. Proses orde banyak juga disebut *multicapacity process*.

3.4.6. Proses Orde Dua

Salah satu cara untuk menyatakan hubungan *input-output* suatu proses adalah dengan menjabarkannya dalam bentuk matematik, yang disebut *transfer function*. Bentuk *transfer function* elemen proses, hampir selalu ada dalam bentuk persamaan differensial. Bila persamaan differensial itu berpangkat satu, prosesnya disebut proses orde satu. Apabila persamaan differensial itu berpangkat dua, prosesnya disebut proses orde dua. Dan bila berpangkat banyak prosesnya disebut proses orde banyak.



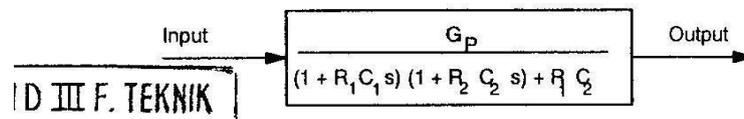
Gambar 3. Proses Orde Dua
(Frans Gunterus, 1994)

Proses orde dua merupakan gabungan dua proses orde satu. Di dalam konfigurasi input-output, keempat tangki itu dirangkaikan dalam dua konfigurasi yang berbeda yaitu konfigurasi *interacting-capacities* dan konfigurasi *non-interacting capacities*. Pada proses orde dua *interacting-capacities* ketinggian level dikedua tangki akan mempengaruhi besarnya *flow* yang keluar dari tangki pertama sedangkan pada proses orde dua *non-interacting capacities* ketinggian level dikedua tangki jelas tidak saling mempengaruhi.

3.4.7. Proses Orde Dua Interacting-Capacities

Proses orde dua *interacting-capacities* dapat kembali dilihat pada gambar 2. Karena pada proses orde dua *non-interacting capacities*, *flow* yang keluar dari tangki pertama tidak berpengaruh pada tingginya level di tangki kedua (h_2). Dan pada proses orde dua *interacting capacities*, *flow* yang keluar dari tangki pertama akan berpengaruh pada tinggi level di tangki kedua (h_2). Hal itu disebabkan *flow* yang tadinya mengalir karena beda tekanan h_2 dengan *atmosfer*, sekarang mengalir karena beda tekanan h_2 dikurangi h_1 . Karena keadaan saling mempengaruhi itulah proses ini disebut proses orde dua *interacting capacities*.

Tanpa harus melihat detailnya, *transfer function* proses ini pasti akan lebih kompleks dari *transfer function* proses orde dua *non-interacting capacities*. Diagramkotak serta *transfer function* proses orde dua *interacting capacities* dapat dilihat pada gambar 4 :



Gambar 4. Diagram kotak dan *transfer function* proses orde dua *interacting capacities*

Perbedaan *transfer function* proses orde dua *non interacting capacities* dengan *transfer function* proses orde dua *interacting capacities* ada pada faktor $R_1 C_2$.

Kalau harga $R_1 C_2$ kecil dapat diharapkan bahwa dinamika proses orde dua *interacting capacities* akan sama dengan proses orde dua *non interacting capacities*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Drs.Triwiyatno.ST, *Buku Ajar Sistem Kontrol Analok*. 2010.
- [2] H. Z. Shengnan Wang, Yun-Ze Li, Member, IEEE, Yang Liu and X. X. Yunhua Li, Member, IEEE, Wei Guo, “Temperature Control of Permanent-Magnet Synchronous Motor Using Phase Change Material,” in *IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AI)*, 2015, pp. 1635–1640.
- [3] S. Hestukoro, I. Roza, and D. Morfi Nst, “Process Analysis of High Speed Steel Cutting Calculation (HSS) with S45 C Material on Universal Machine Tool,” *Int. J. Innov. Sci. Res. Technol.*, vol. 3, no. 1, 2018, [Online]. Available: www.ijisrt.com447
- [4] J. Junaidi, S. Hestukoro, A. Yanie, J. Jumadi, and E. Eddy, “IMPLEMENTATION ANALYSIS of CUTTING TOOL CARBIDE with CAST IRON MATERIAL S45 C on UNIVERSAL LATHE,” in *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, vol. 930, no. 1. doi: 10.1088/1742-6596/930/1/012044.
- [5] J. J, “Working process of TU 3a CNC frais machine using software system,” *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 9, no. 3, p. 658, Aug. 2020, doi: 10.14419/ijet.v9i3.29682.

