

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 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 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 lustrasikan 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 Distefanodkk (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

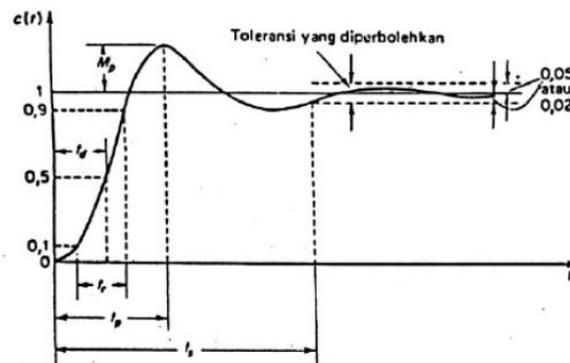
kendali suhu ruangan ber-AC, serta kendali perangkat elektronik seperti pada kulkas, freezer dan mesin cuci.

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.

2.2 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 unjuk 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 1.2. 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 otomasi 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 ($20\text{ }^{\circ}\text{C}$) 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.

2.3 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 sistem 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.

2.4 Aliran Fluida

2.4.1 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 :

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

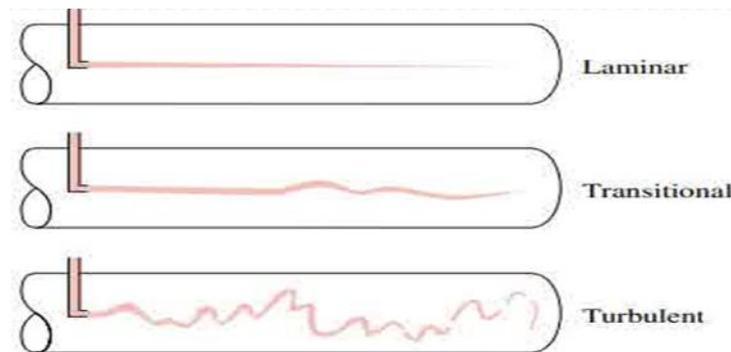
2.4.2 Aliran Turbulen

Aliran dimana pergerakan dari partikel – partikel fluida sangat tidak menentu karena mengalami percampuran serta putaran partikel antar lapisan, yang mengakibatkan saling tukar momentum dari satu bagian fluida ke bagian 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.

2.4.3 Aliran Transisi

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



Gambar 2. Pola Aliran Fluida
(Ilham Khoir, 2014)

2.5 Hukum Bernouli

Hukum Bernouli dapat di cintohkan 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*.

2.6 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 (mengonversi) 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 :

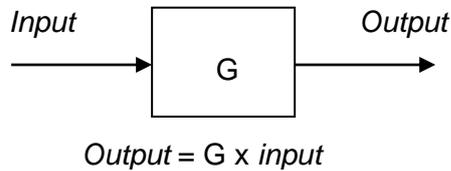
- Menekan pengaruh gangguan.
- Menjamin kestabilan proses.
- Mengoptimalkan performa sistem proses.
- Menjaga keamanan dan keselamatan kerja.
- Memenuhi spesifikasi produk yang diinginkan.
- Menjaga agar operasi tetap ekonomis.
- Memenuhi persyaratan lingkungan.

Dinamika Proses adalah suatu hal yang terjadi di dalam suatu sistem, dengan adanya *process variable* yang cepat berubah dengan berubahnya *manipulated variable* (bukan contoh *valve*), ada pula yang lambat berubah. Ada proses yang sifatnya lamban, ada yang reaktif, ada yang mudah stabil, dan ada pula 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, *transfer*

function suatu elemen proses ditandai dengan huruf G, dan gambar dalam bentuk diagram kotak seperti pada gambar berikut :



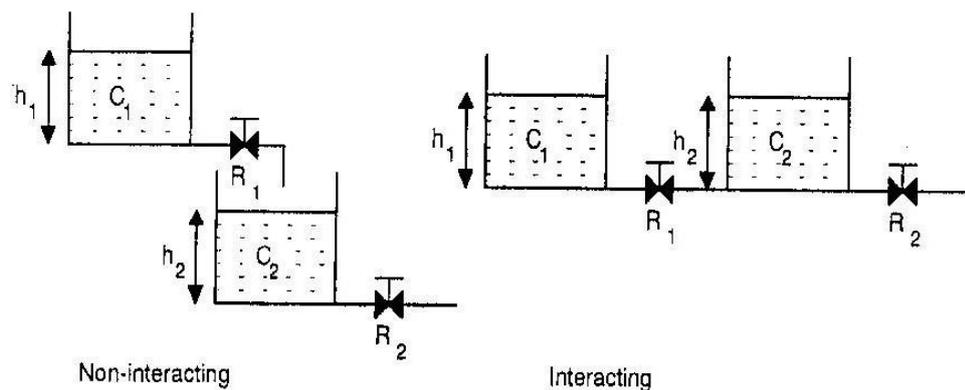
Gambar 3. Diagram Kontak Sebuah Proses
(Frans Gunterus, 1994)

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*.

2.7 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.



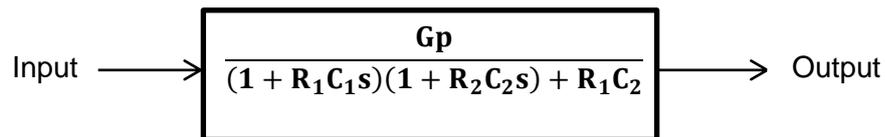
Gambar 4. Proses Orde Dua
(Frans Gunterus, 1994)

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.

2.8 Proses Orde Dua *Interacting-Capacities*

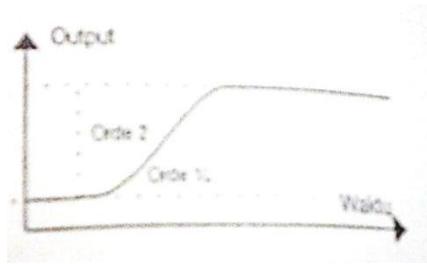
Proses orde dua *interacting-capacities* dapat kembali dilihat pada gambar 2. Karena pada proses orde dua *non-interacting capacities*, *flow* yang keluar dari tangki pertama tidak berpengaruh pada tingginya level di tangki kedua (h_2). Dan pada proses orde dua *interacting capacities*, *flow* yang keluar 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*. Diagram kotak serta transfer function proses orde dua *interacting capacities* dapat dilihat pada gambar 3 :



Gambar 5. Diagram kotak dan transfer function proses orde dua *interacting*

Perbedaan transfer function proses orde dua *non interacting* dengan transfer function proses orde dua *interacting* ada pada faktor $R_1 C_2$. Kalau harga $R_1 C_2$ kecil dapat diharapkan bahwa dinamika proses orde dua *interacting* akan sama dengan proses orde dua *non interacting*.



Gambar 6. Kurva Waktu Orde Dua *Interacting Capacities*
(Frans Gunterus, 1994)

2.9 Hasil Kerja Sistem Pengendalian Otomatis

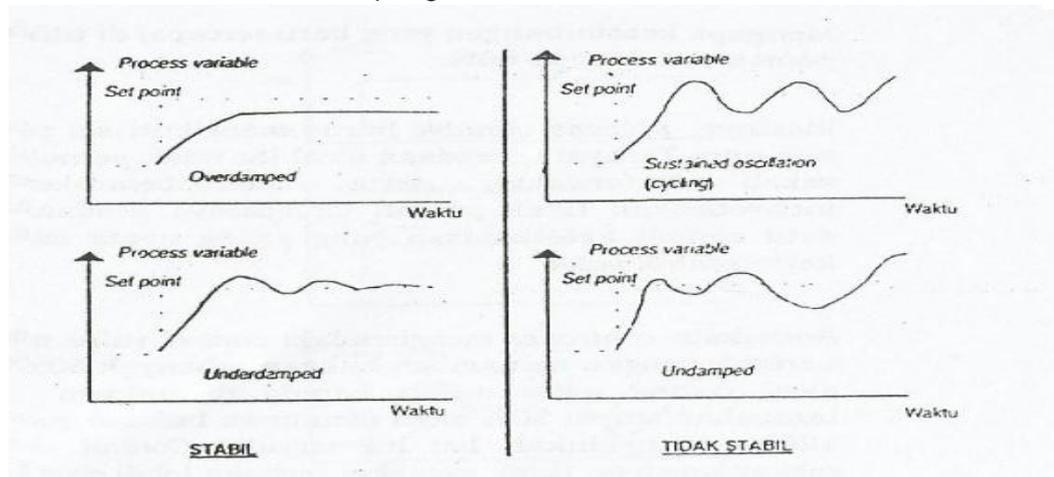
Suatu sistem pengendalian dikatakan stabil, apabila nilai *process variable* berhasil mendekati *set point* (besarnya *process variabel* yang dikehendaki), walaupun diperlukan waktu untuk itu. Keadaan stabil itu dapat dicapai dengan respon yang *overdumped* ataupun *underdumped*. kedua respon itu mempunyai kelebihan dan kekurangan masing-masing. Pada respon *underdumped*, jelas bahwa koreksi sistem berjalan lebih cepat dari respon *overdumped*. Tetapi, tidak berarti bahwa *underdumped* lebih bagus dari *overdumped*. Ada proses yang membutuhkan respon yang lambat (*overdumped*) dan ada yang membutuhkan respon yang cepat (*underdumped*).

Kebutuhan tersebut ditentukan oleh sifat proses dan kualitas produk yang dikehendaki. Operator yang berpengalaman tentu dapat menunjukkan di bagian mana proses memerlukan respon yang *overdumped* dan di bagian mana diperlukan yang *underdumped*. Yang pasti, sistem pengendalian tidak pernah menghendaki sistem yang tidak stabil. Tidak yang *sustain oscillation*, apalagi yang *undamped*.

Pada respon *sustain oscillation*, proses variabel tidak pernah sama dengan *set point*, proses variabel naik turun di sekitar *set point* seolah-olah seperti roda

sepeda yang sedang berputar. Oleh karena sifat ilmiah, *sustain oscillation* juga disebut *cycling*.

Pada respon *undamped*, proses variabel berosilasi dengan amplitudo semakin membesar. Proses variabel semakin lama semakin menjauhi *set point*, dan pada keadaan itu *control valve* akan terbuka-tertutup secara bergantian. Akibatnya, tercapailah keadaan yang sangat berbahaya seperti yang terjadi pada *feedback* positif. Kelak akan diketahui bahwa keadaan *sustain oscillation* dengan amplitudo yang kecil di sebagian proses dapat ditolerir sebentar, demi untuk penyetelan *control unit* (*tuning*). Namun, keadaan *undamped* (osilasi dengan amplitudo membesar) tidak pernah dapat ditolerir dalam keadaan bagaimana pun. Kedua keadaan tidak stabil di atas adalah keadaan yang paling tidak dikehendaki di dalam sistem pengendalian.



Gambar 7. Respon sistem pengendalian otomatis
(Frans Gunterus, 1994)